UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE PINTURA DE LA PLANTA TOYOTA DE VENEZUELA C.A"

Realizado Por:
ARGENIS ANTONIO DÍAZ LÓPEZ
C.I. 16.817.501

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar al título de:

INGENIERO MECÁNICO

Barcelona, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

“EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE PINTURA DE LA PLANTA TOYOTA DE VENEZUELA C.A”

ASESORES

Prof. Simón Bittar	Ing. Franklin Rincones
Asesor académico	Asesor industrial

Barcelona, julio de 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE

NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI

ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

DEPARTAMENTO DE MECÁNICA

"EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE PINTURA DE LA PLANTA TOYOTA DE VENEZUELA C.A"

Jurado:

El jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Aprobado

Prof. Simón Bittar
Asesor académico

Prof. Edgar Rodríguez
Jurado principal

Prof. Yordi González
Jurado principal

Barcelona, julio de 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado:

“LOS TRABAJOS DE GRADO SON EXCLUSIVA PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE Y SÓLO PODRÁN SER UTILIZADOS A OTROS FINES CON EL CONSENTIMIENTO DEL CONSEJO DE NÚCLEO RESPECTIVO, EL CUAL PARTICIPARÁ AL CONSEJO UNIVERSITARIO

DEDICATORIA

Para alcanzar nuestros sueños y metas no solo necesitamos la voluntad, las ganas, el empeño, la dedicación… también necesitamos el amor, el apoyo y el estímulo de nuestros seres más amados a quienes dedico este logro.

A mis padres, Gloris y Argenis a quienes les debo todo lo que soy y lo que tengo. No me alcanzará la vida para retribuirles todo el amor y el apoyo que he recibido de ustedes.

A mi hermana, Glorangel por el progreso que juntos hemos tenido… te quiero mucho.

Ustedes son lo más importante en mi vida, que Dios nos de mucha vida y salud para seguir siendo una familia unida.

A mi segunda madre, Tía Marvelys por quererme y hacerme sentir como a una más de sus hijos. Dios la bendiga, la quiero mucho.

No puede faltar la persona que ha estado a mi lado, queriéndome, entendiéndome y apoyándome en todo momento, mi novia Marianna a quien también dedico este logro por ser mi amiga, mi compañera, mi amor… se que soñabas con este triunfo… Te Amo….

A todas las personas que creyeron, apoyaron y confiaron en mí. (Tías, Tíos, Abuelos, Primos.)

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar agradezco a Dios, por llenarme siempre de bendiciones y sobre todo por darme la fortuna de poner siempre en mi camino personas tan especiales que me han apoyado y me han dado su aprecio, su cariño y su amor. Soy muy afortunado, Gracias mi Dios.

A ti mamá, por tu confianza y por ser más que mi madre, mi amiga. A ti papá por siempre hacernos saber que somos lo más importante en tu vida, por siempre consentirme como tu hijo. Gracias a los dos por haberme dado todo en la vida.

A mi hermana Glornagel por siempre estar allí apoyándome. Te quiero mucho

A mi cuñado Luis Rafael, por sus consejos, cariño y apoyo.

A mi novia Marianna, por ser la gran persona que eres, gracias por demostrarme siempre tu amor, por motivarme en los momentos difíciles , por todos los momentos que me has dado….y hacerme muy feliz en todo este tiempo juntos.

A Sr. Alfredo, por brindarme su amistad, por estar pendiente y ayudando en cualquier cosa que me hiciera falta. Gracias.

A Mis Amigos de toda la vida, Carlos Salazar, Rafael Meneses, Miguel, Chantal, Luisana, María Celeste, Fernando, la familia Sardella Munno, gracias a todos por sus consejos, apoyo y preocupación, además de todos esos buenos tiempos que hemos pasado juntos.

A Mis Compañeros en la Universidad, demostraron ser amigos de verdad, por todos esos momentos que vivimos juntos tanto dentro como fuera de la universidad, John, Alejandro, Miguel, Rodolfo, Yarrod..… Gracias a todos.

A todos los profesores del departamento de Ingeniería Mecánica por tener la importante labor de enseñarnos y orientarnos. De no ser por todo lo que aprendí de ustedes, este logro no habría sido posible. Especialmente agradezco a mi tutor, el profesor Simón Bittar por su valiosa colaboración en la realización de este trabajo.

A Joad Sifontes, que aparte de ser un amigo, me brindo su colaboración que sirvió de mucha ayuda para poder culminar mi tesis de grado.

A mi tutor industrial: Ing. Franklin Rinncones, A quienes fueron mis compañeros de oficina durante mis pasantías en Toyota de Venezuela: Edgar Cotoret, John Hernandez, Elys Gomez, Frank Loroño, Martínez, el Pollo, Keneth Brito, Sr. Arquímedes Bonilla.y al personal que labora en el Departamento de Mantenimiento por su valiosa colaboración.

A la empresa TOYOTA DE VENEZUELA, por permitirme desempeñar mis pasantías en sus instalaciones y por toda su colaboración.

A todas aquellas personas que Dios puso en mi camino para tenderme su mano y que también forman parte de mi vida. GRACIAS.

RESUMEN

En el siguiente trabajo se presenta la evaluación del sistema de suministro de aire comprimido en el área de pintura de la Planta Toyota de Venezuela. En este estudio se chequearon las condiciones de los elementos que lo conforman, se determinó la eficiencia del sistema de aire comprimido en la generación y distribución. En la primera fase, se elaboraron los planos isométricos del sistema. Luego se realizó la evaluación del sistema de aire comprimido paras las líneas de producción pertenecientes al área de pintura. En estas se simularon las redes de tuberías que suministran aire comprimido para las diferentes secciones, mediante un simulador de flujos en tuberías (Pipephase), donde se obtuvieron las caídas de presiones de las mismas, siendo las secciones más criticas Cabina de fondo, Sala de mezcla de esmalte y la tubería que alimenta el área de IMV (electropunto). Una vez evaluada las diferentes secciones de producción se realizaron las propuestas de mejoras para cada línea, como fueron la activación del compresor ZR-250 VSD, trabajando en conjunto con el ZR90, ZR3-65, quedando los otros dos (2) compresores en stan by y el rediseño de los diámetros de las tuberías.

CONTENIDO

RESOLUCIÓN IV

DEDICATORIA V

AGRADECIMIENTOS VI

RESUMEN IX

CONTENIDO X

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN 15

1.1 Reseña histórica. 15

1.2 Ubicación del área de estudio. 17

1.3 Planteamiento del problema. 19

1.4 Objetivos de la investigación. 20

1.4.1 Objetivo general. 20

1.4.2 Objetivos específicos. 20

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO 23

2.1 Antecedentes de la investigación. 23

2.2 Fundamentos teóricos. 24

2.2.1. Descripción del Sistema Productivo 24

2.2.1.1. Área de Sub-Ensamblaje o Soldadura 24

2.2.1.2. Área de Pintura 25

2.2.1.3. Área de Ensamblaje 27
2.2.2. Aire 28
2.2.3. Componentes del sistema de aire comprimido 28
2.2.3.1. Filtro del compresor 28
2.2.3.2. Compresor 29
2.2.3.2.1. Compresor de tornillo 29
2.2.3.3. Post enfriador 31
2.2.3.4. Trampa de líquidos 31
2.2.3.5. Válvula 32
2.2.3.6. Deposito de aire 32
2.2.3.7. Secadores 32
2.2.4. Caída de presión 33
2.2.5. Simulador de flujos en tuberías 34
2.2.5.1. Estructura del programa Pipephase 35
2.2.5.2. Keyword files 38
2.2.5.3. Ventajas del Software Pipephase. 38
2.3. Metodología desarrollada en el proyecto. 39
2.3.1. Revisión bibliográfica. 39
2.3.2. Descripción del funcionamiento actual 39
2.3.3. Elaboración de planos del sistema. 39
2.3.4. Simulación mediante el software Pipephase las líneas de flujo de aire comprimido pertenecientes al área de pintura 40
2.3.5. Evaluación del rendimiento del sistema de aire comprimido. 40

2.3.6. Evaluación de de propuestas de mejoras para el sistema de aire comprimido. 40

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DEL PROYECTO 41

3.1 Descripción del funcionamiento del sistema actual. 41

3.1.1. Descripción de la sala de compresores 42

3.1.1.1. Compresores de tornillo libres de aceite. 43

3.1.2. Sistema de acumulación de aire comprimido 45

3.1.3. Estaciones de acondicionamiento de aire comprimido 46

3.1.4. Sistema de expulsión de impurezas 48

3.1.5. Descripción del Puente Principal. 49

3.1.6. Descripción del área de Pintura. 49

3.1.6.1. Línea de Sello. 49

3.1.6.2. Línea de Fondo. 50

3.1.6.3. Línea de Lijado. 51

3.1.6.4. Línea de Esmalte. 52

3.1.6.5. Línea de Retoque. 52

3.1.6.6. Línea de Piezas Plásticas. 53

3.2. Levantamiento isométrico de la red de aire comprimido del área de pintura 56

3.3. Realización de la simulación con el software Pipephase 8.1 56

3.3.1. Construcción del modelo 57

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y ANÁLISIS 66

4.1. Evaluación del sistema actual 66
4.1.1. Evaluación de la primera etapa 66
4.1.2. Evaluación de la segunda etapa 69
4.2. Evaluación de propuestas de mejoras. 72
4.2.1. Propuesta para el aumento de la capacidad de generación de aire comprimido. 72
4.2.2. Propuesta de aumento del diámetro de la tubería secundaria L058. 73
4.2.3. Propuesta de aumento de diámetro del tramo de tubería (L034) de suministro de aire comprimido hacia la cabina de fondo. 74
4.2.4. Propuesta de aumento de diámetro del tramo de tubería (L075) de suministro de aire comprimido hacia la sala de mezcla de esmalte. 75
CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 78
5.1. Conclusiones. 78
5.2. Recomendaciones 79
BIBLIOGRAFÍA 81
ANEXOS 82
ANEXOS A. TABLAS 82

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Principio de funcionamiento de los compresores de tornillo. [5] 30
Figura 2.2. Cámara compresora de tornillos sincronizados. [5] 30
Figura 2.3. Simulador pipephase 8.1. [6] 34
Figura 3.1. Sistema neumático de la empresa. [2] 42
Figura 3.2. Diagrama de flujo del Compresor ZR refrigerado por agua. [4] 44
Figura 3.3. Acumuladores de aire comprimido (pulmones) 46
Figura 3.4. Diagrama de secado por enfriamiento. [4] 47
Figura 3.6. Secuencia a seguir para iniciar la simulación. 58
Figura 3.7. Primera etapa. 59
Figura 3.8. Segunda etapa 59
Figura 3.9. Datos de entrada en la fuente. 61
Figura 3.10. Datos de entrada en el destino. 62
Figura 3.11. Datos del levantamiento isométrico del sistema de aire comprimido perteneciente al área de pintura. 63
Figura 3.12. Corrida de la simulación. 64
Figura 4.1. Diagrama de simulación de la primera etapa. 67
Figura 4.2. Diagrama de simulación. 68
Figura 4.3. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L058. 68
Figura 4.4. Diagrama de simulación de la segunda etapa. 69
Figura 4.5. Diagrama de simulación. 71
Figura 4.6. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L034. 71
Figura 4.7. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L075. 72
Figura 4.8. Diagrama de simulación de la nueva propuesta para la primera etapa. 73
Figura 4.9. Diagrama de simulación de la nueva propuesta para la segunda etapa. 75

LISTA DE TABLA

Tabla 3.1. Características de los compresores Atlas Copco. [4] 44
Tabla 3.2. Características de los acumuladores de aire. [2] 45
Tabla 3.3. Características de las secadoras Atlas Copco. [4] 47
Tabla 3.4. Consumos de los equipos de la línea de sello. 49
Tabla 3.5. Consumos de los equipos de Pvc. 50
Tabla 3.6. Consumos de los equipos de la cabina de fondo. 50
Tabla 3.7. Consumos de los equipos de la sala de mezcla de fondo. 50
Tabla 3.8. Consumos de los equipos de la línea de lijado. 51
Tabla 3.9. Consumos de los equipos de la cabina de esmalte. 52
Tabla 3.10. Consumos de los equipos de la sala de esmalte. 52
Tabla 3.11. Consumos de los equipos de retoque. 52
Tabla 3.12. Consumos de los equipos de retoque mayor. 53
Tabla 3.13. Consumos de los equipos de piezas plásticas. 53
Tabla 3.14. Consumos de los equipos de piezas plásticas pequeñas. 54
Tabla 3.15. Consumo total por línea con las correcciones. 55
Tabla 3.16. Datos de la simulación primera etapa. 60
Tabla 3.17. Datos de la simulación segunda etapa. 60
Tabla 4.1. Caída de presión de la primera etapa. 67
Tabla 4.2. Caída de presión de la segunda etapa. 70
Tabla 4.3. Especificaciones técnicas para el trabajo actual de los compresores. 73
Tabla 4.4. Caída de presión de la nueva propuesta de la primera etapa. 74
Tabla 4.5. Caída de presión de la nueva propuesta de la de la segunda etapa. 76

CAPÍTULO 1
INTRODUCCIÓN

1.1 Reseña histórica.

La empresa Toyota nace en la década de los años 30 en Japón, gracias a las inquietudes del señor Sakichi Toyoda (1867-1930) por incursionar en el mundo automovilístico. Desde sus inicios la compañía fue concebida con el fin de diseñar, ensamblar, producir y distribuir vehículos de primera calidad para tener clientes plenamente satisfechos. En un principio sus instalaciones y su capacidad de producción podían cubrir solo la demanda interna, pero luego nace la necesidad de producir a gran escala, con la misma calidad y eficiencia con la que producían pequeños volúmenes. De esta manera la empresa supo abrirse camino en el competitivo mundo automotriz, con constancia, trabajo duro, superación y excelencia.

En 1959 se introduce en el mercado venezolano la marca Toyota mediante la importación de vehículos Toyota Land Cruiser FJ40, techo de lona, importación que se hizo posible a través de un convenio de la firma Toyota Motor Corporation (TMC) con los empresarios venezolanos Alfredo Behrens de La Costa y Carlos Siso Paván, conformándose la empresa Tocars C.A.

A partir del año 1963 esta empresa se ve en la obligación de ensamblar los vehículos Toyota en el país, ya que se prohibió la importación de vehículos completamente armados (CBU). Buscando solución a este problema, la directiva de Tocars contacta con una empresa ensambladora de camiones que operaba en Maracay llamada Indemaca, cuyas instalaciones permitían incorporar nuevas líneas de ensamblaje. En 1968 se concreta esta negociación, y en las nuevas instalaciones se

comienzan a ensamblar los modelos FJ40 y FJ45, junto con los nuevos modelos Hiace y FJ55.

En 1979 surge un ofrecimiento muy tentador por parte del gobierno venezolano, en ese entonces en manos del Dr. Luis Herrera Campins, en el que se propone a la empresa Tocars, C.A la instalación de una nueva planta ensambladora de vehículos en la ciudad de Cumaná, estado Sucre, contando con el financiamiento del FIV para la realización de este proyecto. Este ofrecimiento es aceptado con gratitud y luego de los estudios de factibilidad correspondientes se inicia la construcción de la planta ensambladora en febrero de 1981, culminándose en octubre de ese mismo año.

La producción en esta nueva planta se inician oficialmente el 26 de noviembre de 1981, introduciendo el ensamblaje de un nuevo vehículo, la camioneta Station Wagon FJ60, mientras que los modelos FJ40 y FJ45 seguían siendo ensamblados en Maracay, hasta abril de 1986, cuando definitivamente se trasladan todas las líneas de ensamblaje a la ciudad de Cumaná. En marzo de ese mismo año se comenzó el ensamblaje de un nuevo vehículo, llamado Corolla, el cual ya contaba con una gran aceptación en el mercado mundial y de igual manera sucedió desde su llegada a Venezuela, ocupando el primer lugar en ventas dentro de su categoría de vehículo de pasajeros.

Con la grave crisis económica que sufrió el país en el año 1989, el sector automotriz se vio seriamente afectado por la drástica disminución en la venta de vehículos, por lo que la empresa Tocars se ve obligada a suspender sus operaciones de ensamblaje durante 5 meses ese mismo año. Luego de este tiempo la empresa no pudo reponerse de las pérdidas ocasionadas por el paro y de la crisis en que estaba inmersa y decide buscar un financiamiento externo con el objeto de evitar el cierre definitivo de la planta. Consigue entonces que la empresa Toyota Motor Corporation

(TMC) sirviera de ente financiero, convirtiéndose en socio mayoritario de esta compañía.

Desde el año 1990 comienzan a coordinarse nuevos planes y estrategias para la reactivación de la producción, lo que motiva las inversiones y fomenta el desarrollo del recurso humano. La nueva directiva se traza nuevas metas, orientadas a mejorar la calidad, la productividad y reducir los costos. Siguiendo esta filosofía de mejora continua, en 1991 la empresa Toyota logra posicionarse en el primer lugar de producción y ventas en las categorías de vehículos de pasajeros y rústicos.

En Noviembre de1992 la empresa cambia su denominación cuando es dividida la empresa Tocars para formar el Grupo Toyota de Venezuela, conformada por cuatro empresas con diferentes actividades económicas, estableciendo la ciudad de Cumaná como su sede principal. Desde entonces han ido surgiendo y se han desarrollado nuevas tecnologías y métodos más efectivos de trabajo los cuales garantizan la estabilidad de la empresa y la satisfacción de los clientes. En la búsqueda de nuevas fronteras, Toyota incursiona en el mercado de los vehículos familiares y en el año 2001 lanza al mercado el modelo Terios (carro familiar). En el año 2002 y 2003 se trabajo arduamente en la instalación de los nuevos procesos de soldadura, capacitación del personal a través de cursos en el Japón y Argentina, para los nuevos modelos IMV, el cual se lanzó al mercado a finales del año 2006, además de los estudios de ampliación de las cabinas de pintura con lo cual se aspira aumentar la capacidad de producción de la planta.

1.2 Ubicación del área de estudio.

La empresa Toyota de Venezuela, C.A, geográficamente está ubicada en la ciudad de Cumaná Estado Sucre, en un área denominada Zona Industrial El Peñón, específicamente a la entrada del aeropuerto local, limitando al este con una explanada baldía (Desarrollo Habitacional “Nueva Toledo”) al oeste con las empresas

manufactureras Enveta C.A, y depósito “La Florida”, al noroeste con la empresa VCG (Venezuela Contaimers Group), al sur con la Avenida Industrial y su adyacencia, el aeropuerto internacional Antonio José de Sucre, y al norte con el cerro pan de azúcar con un área total de 255.440 metros.

Figura 1.1. Vista aérea de Toyota de Venezuela C.A. [2]

- Caracterización de la tubería (LINK): Es un tramo largo de tubería entre nodos. Un link está formado por uno o más equipos, tales como equipos de flujo o tuberías, o equipos de proceso (bomba, válvulas, separadores, etc.).
- Tubería (PIPE): Una tubería es un elemento que forma parte del link, es decir, un tramo de tubería.

- Nodo (JUNCTION): Es la conexión entre los equipos que conforman un sistema de tubería.

- Fuente (SOURSE): Es un extremo libre de la red o link, de donde parte el fluido, también es considerado como un nodo.

- Destino (SINK): Es un extremo libre de la red o link, a donde llega el fluido, también se considera nodo.

2.2.5.1. Estructura del programa Pipephase

La entrada (INPUNT) del programa está conformada por las siguientes ventanas o categorías:

- **Descripción de la simulación (Simulation Description):** En esta ventana se especifican los siguiente datos:

  - PROJECT (Nombre del proyecto).
  - PROBLEM (Nombre del problema).
  - USER (Nombre del usuario)
  - DATE (Fecha).
  - SITE (Lugar).
  - DESCRIPTION (Descripción).

- **Definición de la simulación (Simulation Definition):** En esta ventana se define el tipo de simulación y fluido.

  El tipo de simulación se puede calificar en:

  - Network Model (Cálculo de redes de tubería).
  - Gas Lift Analysis (Cálculo del sistema gas lift).
  - PVT Table Generation (Usados para generar tablas de datos PVT)

  El tipo de fluido se puede clasificar en:

  - Blackoil: Dos o tres fases (crudo, gas y/o agua), donde el crudo es dominante.
  - Compositional: El fluido es representado por componentes definidos, donde la definición es con componentes de librería, la fase del fluido puede ser gas, líquido o múltiple fase.
  - Compsitional / Blackoil: El Fluido es una combinación entre los tipos Compositinal y Blackoil.
  - Condensate (Gas): Dos fases o tres fases (crudo, gas y/o agua), donde el gas es dominante.
  - Liquid: Líquido fase simple.
  - Gas: Gas fase simple.
  - Steam: Vapor fase simple.

- **Dimensiones (Input Dimention):** Esta ventana permite definir el sistema de unidades dimensionales de entrada y salida del problema [9]. Los sistemas de unidades que se encuentran en la base de dato del programa son los siguientes:

  - Petroleum (sistema que usa el simulador por defecto).

- English.
- Metric.
- SI.

- **Propiedades de los fluidos (Fluid Property Data- PVT Data):**

  - Termodynamic Method (Métodos Termodinámicos).
  - Blackoil PVT Data (PVT Crudo).
  - Gas Condensate PVT Data (PVT Condensado).
  - Single Phase Liquid PVT Data (PVT fase liquida).
  - Single Phase Gas PVT Data (PVT fase gaseosa).
  - Steam PVT Data (PVT fase vapor).

- **Datos de los elementos de la red de trabajo**

Luego de introducir la información requerida para el sistema, se comienza la construcción de red de trabajo. Después de construida la red es necesario fijar los parámetros fijos de la tubería, así como los valores operacionales de presión, temperatura y flujo.

A continuación se describe la información requerida en cada uno de los elementos que conforman la red de trabajo:

- Fuentes (Sources): Se fija la temperatura, composición, la presión o tasa de flujo. Se le dan valores estimados de tasa de flujo en caso de haberse fijado la presión, o de presión en caso de haberse fijado la tasa de flujo.

- Destino (Sink): Solo se necesita fijar una variable ya sea presión o tasa de flujo, y estimar la variable que no se fije.

- Caracterización de la tubería (LINK): Es la unión entre una fuente (Source) o nodo de unión (Junction), con destino (Sink) u otra unión (Junction) [6]. Luego de haberse realizado la unión entre fuente y destino se caracteriza los equipos de proceso como bombas, separadores, válvulas, etc. Las tuberías que componen el link se caracterizan fijando así su longitud, diámetro interno o externo, su espesor, el espesor del aislamiento (si lo tiene), la rugosidad de la tubería, el coeficiente del aislamiento, si la tubería está enterrada, sumergida, aérea, el coeficiente de transferencia de calor exterior (tierra, agua, aire, etc.), y el desnivel topográfico de la tubería. Si se omiten algunos de estos parámetros el simulador asume un valor por defecto.

2.2.5.2. Keyword files

Son los que definen la simulación en Pipephase utilizando comandos conocidos como Keyword. Estos archivos pueden ser importados y exportados.

2.2.5.3. Ventajas del Software Pipephase.

- Puede resolver sistemas complicados mediante método numérico iterativo.

- Tiene una extensa librería, la cual permite seleccionar la ecuación más conveniente para la caída de presión en tuberías y el método termodinámico a utilizar para el tipo de fluido composicional.

- Una vez completada la programación, permite observar el comportamiento de las variables de estado del sistema, para los distintos escenarios [6].

2.3. Metodología desarrollada en el proyecto.

2.3.1. Revisión bibliográfica.

Consiste en una revisión bibliográfica, búsqueda y análisis de información en textos, trabajos de grado, catálogos, sitios Web, artículos de investigación que hacen referencia a los sistemas de suministro de aire comprimido, información suministrada por los asesores y entrevistas al personal de operadores. A fin de que se pueda facilitar los conocimientos del tema propuesto y realizar la elaboración del proyecto.

2.3.2. Descripción del funcionamiento actual.

Comprende la búsqueda de información sobre el sistema, equipos y componentes de los equipos asignados al estudio. Su desarrollo se sustenta en la identificación con visitas al área, captura de fotos, documentación y entrevistas sobre parámetros operaciones y de mantenimiento, además de búsqueda de manuales de fabricante, con el fin de conocer el funcionamiento de los mismos.

2.3.3. Elaboración de planos del sistema.

En esta etapa se elaborarán los planos isométricos del sistema de aire comprimido para el área de pintura, los cuales permitirán conocer la distribución de las redes de tuberías del sistema de aire comprimido, para verificar y determinar los diámetros de las misma, así poder construir la geometría o configuración en el software de proceso (Pipephase). Para la realización de los planos isométricos se utilizara el programa Cadwork Plant, el cual tiene un formato de trabajo DWG. La técnica utilizada es la de observación directa, realizando anotaciones y medidas de los sistemas.

2.3.4. Simulación mediante el software Pipephase las líneas de flujo de aire comprimido pertenecientes al área de pintura.

En esta etapa se procederá a efectuar las simulaciones del sistema en estado estacionario, mediante el uso de un software computarizado (Pipephase), donde se evaluará el flujo de aire, tomando en cuenta las condiciones de operación del sistema actual, con el propósito de conocer la capacidad producida por el mismo.

2.3.5. Evaluación del rendimiento del sistema de aire comprimido.

En esta etapa se evaluará los resultados obtenidos mediante la simulación estacionaria, para determinar el rendimiento del sistema en estudio al incrementarse el consumo de aire comprimido en la planta y luego serán comparados con las condiciones de operación exigidas por el proceso y las recomendaciones del manual de Atlas Copco. La técnica a usar para la evaluación del sistema en estudio es el desarrollo computacional. En esta se utilizara el simulador de redes de flujos para determinar las caídas de presión.

2.3.6. Evaluación de de propuestas de mejoras para el sistema de aire comprimido.

En esta etapa se estudiarán propuestas de mejoras en el diseño del sistema de aire comprimido, mediante el uso de simulaciones estacionarias, con el fin de obtener un mejor rendimiento y asegurar que el mismo se encuentre en operación cuando sea requerido al incrementar la demanda de producción. Las técnicas a utilizar son el análisis de datos y resultados mediante el procesamiento de datos.

CAPÍTULO 3
DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 Descripción del funcionamiento del sistema actual.

El sistema de aire comprimido de la empresa Toyota de Venezuela está conformado por una sala de compresores, encargados de generar la energía neumática, una red de distribución; conformada por tuberías de diferentes diámetros con sus respectivas válvulas y accesorios, que conducen el aire comprimido hasta las diferentes secciones de la planta y dos estaciones de acondicionamiento, encargadas de secar y filtrar el aire comprimido para su posterior utilización en los equipos de la planta de producción. En el proceso de ensamblaje de vehículos, existen diferentes requerimientos en la calidad del aire, de acuerdo a las exigencias de los distintos procesos; por tal motivo la sala de compresores está dividida en dos (2) grupos de compresores. Un primer grupo encargado de suplir aire exento de aceite al área de pintura (Compresores ZR), y un segundo grupo que satisface la demanda de aire comprimido de las áreas de soldadura y ensamblaje (Compresores GA), cuyo aire no es completamente exento de aceite, los cuales no están involucrados al estudio hecho para este trabajo, ya que no suplen la energía para el área de pintura. El aire proveniente de los compresores ZR es sometido a un proceso de deshumidificación mediante secadores encargados de disminuir la temperatura de rocío del aire por debajo de la temperatura en cualquier punto del sistema. Ver Fig. N: 3.1

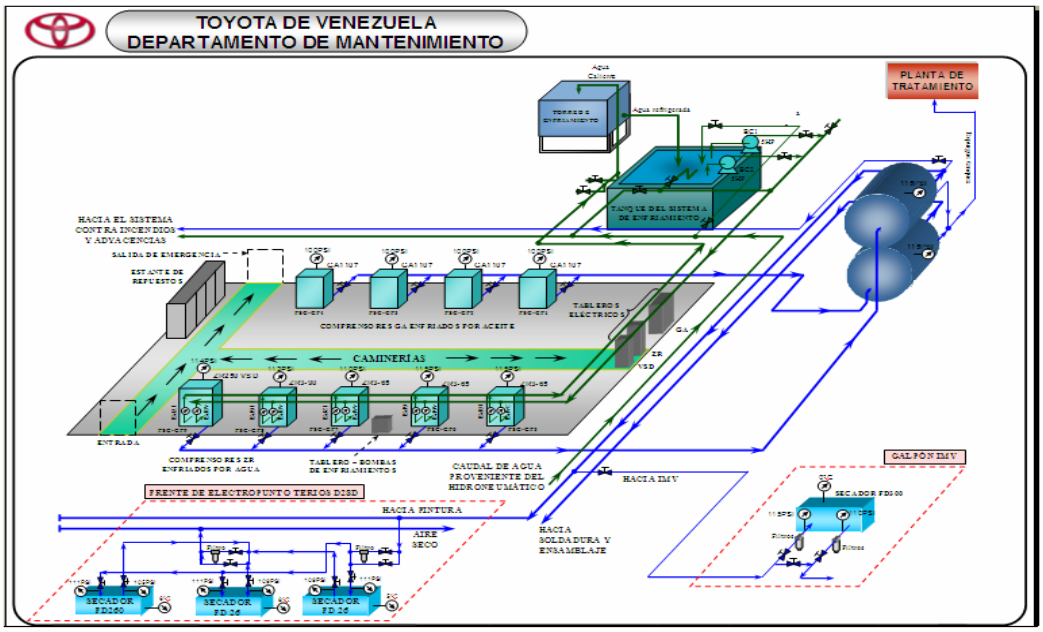


Figura 3.1. Sistema neumático de la empresa. [2]

3.1.1. Descripción de la sala de compresores

Está constituida de nueve (9) compresores, marca Atlas-Copco, modelos ZR y GA en diferentes versiones. El grupo de compresores modelo GA, ubicados en la parte posterior de la sala, se encargan de mantener la presión en la rama del sistema neumático que alimenta la zona de soldadura y ensamblaje y está conformado por cuatro equipos del tipo “compresores de tornillos lubricados” de los cuales sólo 2 se encuentran funcionando actualmente, dado que, el equipo restante se encuentra fuera de servicio por haber presentado fallas.

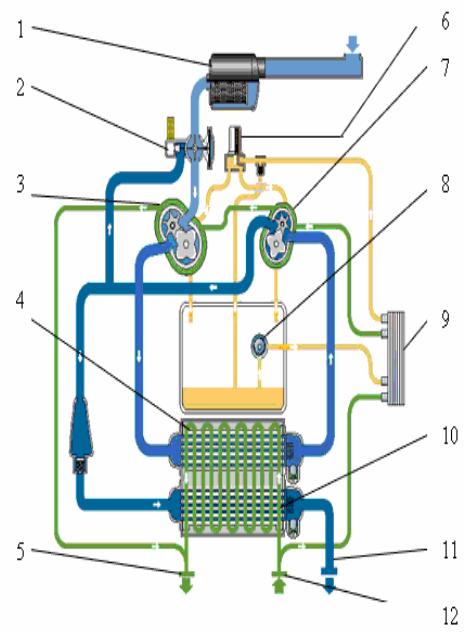
Los compresores GA son un poco antiguos, fueron adquiridos por la empresa en los años 80 cuando ésta se inició, debido a esto; carecen de monitores donde se pueda observar alguno de sus parámetros. En consecuencia, no se puede prevenir una falla por observación de su comportamiento.

El grupo de compresores del modelo ZR, está constituido por cinco (5) equipos en distintas versiones, (tres compresores (3) ZR3, un ZR90 y un ZR250 VSD). A diferencia de los compresores GA, que son enfriados por aceite, éstos son enfriados por agua. Del modelo ZR3, los tres (3) se encuentran funcionando, estos compresores son menos antiguos que los del modelo GA; cuentan con equipos analógicos de monitoreo de parámetros, pero debido al tiempo que éstos tienen funcionando, la mayoría se encuentran dañados o descalibrados, ya que al tomar lecturas de presión a las descargar de los compresores**,** presentaron una diferencia considerable de presión al compararlos con los medidores instalados a las descarga de los mismos.

Los modelos ZR90 y ZR250 VSD, son equipos modernos; este último es de tecnología de punta, él cual se encuentra fuera de servicios, por haber presentado fallas no identificadas, utiliza el principio de velocidad variable y está en capacidad de suministrar más presión cuando el sistema lo necesite aumentando las revoluciones de su unidad compresora, estos compresores cuentan con un módulo de monitoreo de parámetros, conformado por una pantalla LCD de 40 x 4 caracteres, donde se presentan las magnitudes de los parámetros de operación del equipo, son módulos de monitoreo local, al igual que el grupo GA y el grupo ZR. La sala es alimentada con un servicio de 480 voltios y el aire comprimido que de ella sale, se va directamente a los contenedores conocidos como pulmón, de donde luego pasarán a la planta de producción.

3.1.1.1. Compresores de tornillo libres de aceite.

Existen cinco (5) compresores de tornillo marca Atlas Copco de diferentes modelos, tres (3) ZR3, un ZR90 y un ZR250 (ver figura 3.2). Estos compresores realizan la compresión del aire en dos (2) etapas y cada uno con diferentes capacidades. Las características de estos equipos se encuentran resumidas en la tabla 3.1.



1.- Filtro de aire

2.- Válvula de descarga

3.- Elemento de baja presión (BP)

4.- Refrigerador intermedio

5.- Salida de agua

6.- Filtro de aceite

7.- Elemento de alta presión (AP)

8.- Bomba de aceite

9.- Refrigerador de aceite

10.- Refrigerador posterior

11.- Salida de aire

12.- Entrada de agua

Figura 3.2 Diagrama de flujo del Compresor ZR refrigerado por agua. [4]

Tabla 3.1. Características de los compresores Atlas Copco. [4]

Modelo	Pmáx (bar)	Caudal De Suministro			Nivel sonoro (dB)	Potencia (kw)	Dimensiones (mm)			Peso (kg)
		l/s	m^3/h	$pies^3/min$			A	B	C	
ZR3-65	10,5	208	750	440,7	65	104	3230	1636	1777	2480
ZR90	10	235	846	498	65	91	2100	2100	1377	1900
ZR250 VSD	8,6	721	2595.6	1530	63	335	4340	4340	2000	1650

Donde:

A = largo

B = ancho

C = altura

3.1.2. Sistema de acumulación de aire comprimido

La planta TDV C.A. cuenta con dos (2) acumuladores o pulmones (ver figura 3.3) de aire comprimido, un pulmón para el aire proveniente de los compresores GA y otro para el aire de los compresores ZR. Una vez que se ponen en marcha los compresores, el aire suministrado por cada uno de ellos a la descarga, es dirigido hacia el ala derecha de la sala de compresores, donde están ubicados estos pulmones de aire para cada grupo compresor; sus funciones son: almacenar y entregar aire comprimido durante picos de demanda, contribuir al enfriamiento y separación del condensado. Las características que presentan los acumuladores se encuentran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características de los acumuladores de aire. [2]

Presión de diseño (bar)	11,45
Presión del tanque (bar)	6,89
Longitud (m)	5,15
Diámetro (m)	1,55
Disposición	Horizontal
Volumen (m^3)	10

Figura 3.3. Acumuladores de aire comprimido (pulmones)

3.1.3. Estaciones de acondicionamiento de aire comprimido

Para las líneas de producción que requieren un aire supremamente seco, la empresa cuenta con cuatro (4) secadoras frigoríficas de aire comprimido de marca Atlas Copco, de diferentes modelos, dos (2) FD20, una FD260 y una FD300 (ver figura 3.4). En los sistemas de secado el aire se somete a un proceso de deshumidificación posterior al tanque acumulador. En la planta TDV las líneas que necesitan aire seco son Pintura y la nueva línea de electropunto IMV. Las demás líneas trabajan en forma directa con el aire obtenido por el trabajo de los compresores, lo cual constituye una condición muy crítica de operación debido al alto porcentaje de humedad que arrastra consigo el aire.

Los secadores existentes utilizan las bajas temperaturas para este fin, dado que; la capacidad del aire para retener vapor de agua, disminuye con la temperatura. Estos cuentan con un pos-enfriador, encargado de bajar la temperatura del aire, condensando la mayor parte del agua que posteriormente se extrae, en una trampa de condensado. En la tabla 3.3 se observan las características de las secadoras Atlas Copco presentes en Toyota.

Tabla 3.3. Características de las secadoras Atlas Copco. [4]

Presión de trabajo (bar)	7
Temperatura de trabajo (^{0}C)	2
Temperatura de entrada del aire (^{0}C)	38
Temperatura de entrada del refrigerante (^{0}C)	-3 a - 1
Tipo de refrigerante	R12

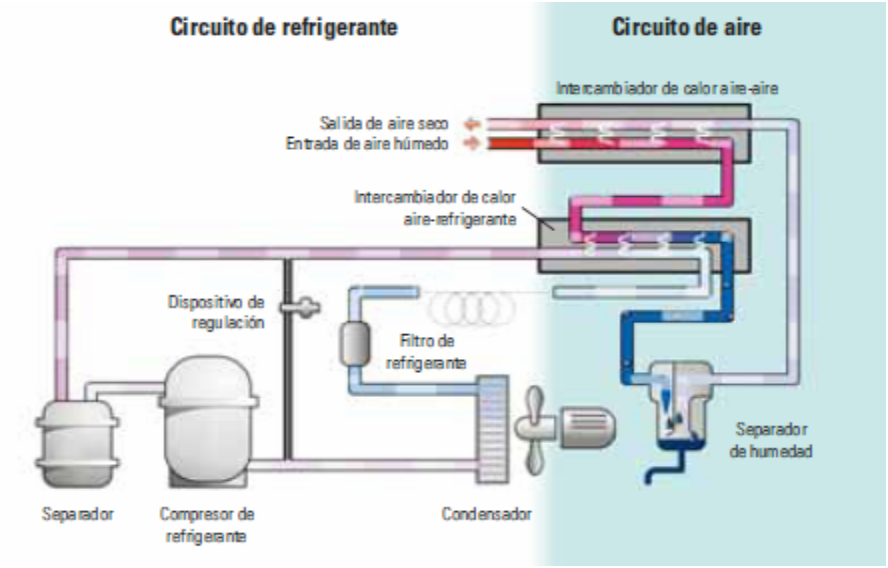


Figura 3.4 Diagrama de secado por enfriamiento. [4]

Por su parte; los filtros (ver figura 3.5) realizan la tarea de eliminar cualquier partícula e impureza que se mueva con las masas de aire comprimido, reteniéndola dentro de una cámara, la cual necesita limpiarse frecuentemente para mantener un buen rendimiento en el funcionamiento del mismo.

Figura 3.5 Filtro de aire. [4]

3.1.4. Sistema de expulsión de impurezas

Los sistemas de expulsión de impurezas, mejor conocidos como purgas, se encuentran presente en todos los elementos del sistema neumático donde se produzca condensación o filtrado, se localizan en las trampas de condensado de los secadores de aire comprimidos, en las cámaras de retención de los filtros de impurezas y en el pulmón principal del sistema.

Estos sistemas necesitan ser activados cada cierto tiempo o dependiendo del nivel de impurezas que se encuentre atrapado en las trampas de condensado y cámaras de retención para limpiar los equipos de acondicionamiento del aire y evitar con esto, que las grandes acumulaciones de impurezas reduzcan el rendimiento del equipo.

Actualmente los sistemas de expulsión de impurezas son activados manualmente y con frecuencia se producen excesos de acumulación en las cámaras de retención de impurezas por la falta de activación de los mismos.

3.1.5. Descripción del Puente Principal.

La tubería del puente principal (Ver Fig. 3.1) es la encargada de distribuir el aire comprimido mediante una tubería a todas las líneas de producción del área de pintura que trabajan con aire seco como son: Fondo, Lijado seco y húmedo, Esmalte, Sello-Pvc, Retoques y Piezas Plásticas. Es por ello la importancia de determinar si esta, presenta caídas de presiones considerables, ya que pueden ser perjudiciales para los equipos presentes. Para las dimensiones de este sistema ver anexo B.1.

3.1.6. Descripción del área de Pintura.

Esta zona es la encargada del acabado superficial de los vehículos. Entre las múltiples energías necesarias para la lograr esta condición se encuentra el aire comprimido. Este llega al área desde la sala de máquinas a través del puente principal (Ver Fig. 3.1), distribuyéndose mediante tuberías a las líneas de producción existente denominadas: Línea de Fondo, línea Lijado seco-húmedo, línea de Esmalte, línea de Sello-Pvc, línea de Retoque, líneas de Piezas Plásticas.

3.1.6.1. Línea de Sello.

Es la encargada colocar una pasta selladora para sellar las aberturas existentes en las uniones de la carrocería y amortiguar la penetración de ruido al interior de la cabina, luego pasa a un horno de secado para solidificar el sello. Los equipos presente en esta línea de producción así como su consumo y presión se observan en las tablas 3.4 y 3.5.

Tabla 3.4. Consumos de los equipos de la línea de sello.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Lijadoras	80	551,5806	4,8924

1	Pistolas Neumáticas	80	551,5806	0,29988
Total				5,19228

Tabla 3.5. Consumos de los equipos de Pvc.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Bombas de Asfalto	101	700	1,67184
2	Bombas de Sello	60	413,6854	1,67184
Total				3,34368

3.1.6.2. Línea de Fondo.

En esta línea se le aplica a la unidad un fondo anticorrosivo que cubre los defectos de la carrocería, para luego aplicar el esmalte, igualmente esta debe pasar por un horno para el secado del fondo. Los valores de consumo y presión para esta línea se muestran en la tabla 3.6 y 3.7.

Tabla 3.6. Consumos de los equipos de la cabina de fondo.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
8	Tanque de presión	30-40	275,7903	1,67184
8	Agitadores	30-40	275,7903	78,912
4	Pistolas de pintura electrostáticas	55-60	413,6854	230,4
3	Pistolas de pintura	60-70	482,633	34,56
1	Remachadora	100	689,4757	25,92
1	Bomba de diafragma	20	137,895	2,8584
Total				374,32224

Tabla 3.7. Consumos de los equipos de la sala de mezcla de fondo.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Bombas de recirculación de pintura	20	137,895	11,736
2	Agitadores	20	137,895	57,6
Total				69,336

3.1.6.3. Línea de Lijado.

En esta línea se encargan de eliminar de la parte externa de la carrocería imperfecciones o impurezas dejadas durante el proceso de fondo, nuevamente es pasada a través de un horno para el secado de la unidad y es dirigida a la línea de esmalte. En la tabla 3.8 se muestran las presiones y consumos de los equipos pertenecientes a esta línea de producción.

Tabla 3.8. Consumos de los equipos de la línea de lijado.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Lijadoras	80	551,5806	4,8924
Total				4,8924

3.1.6.4. Línea de Esmalte.

En esta se le aplica la pintura final junto con el clear (brillo transparente para el resalte del color de la unidad) pasando por el horno de esmalte para su secado. Los valores de consumo y presión para esta línea se muestran en la tabla 3.9 y 3.10.

Tabla 3.9. Consumos de los equipos de la cabina de esmalte.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Tanques de presión	30-40	275,7903	19,728
2	Toma libre para secado (manguera 3/8 de pulg)	85	586,0544	72
8	Pistolas de pintura electrostáticas	80	551,5806	69,12
1	Bomba de diafragma	20	137,8951	1,7712
Total				162,6192

Tabla 3.10. Consumos de los equipos de la sala de esmalte.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	Kpa	m^3/hr
9	Bombas de recirculación	30	206,8427	52,812
9	Agitadores	20	137,8951	259,2
Total				312,012

3.1.6.5. Línea de Retoque.

Consiste en darle los toques finales de pintura a las unidades. Los defectos de pintura de gran envergadura se corrigen en retoques mayores. En la tabla 3.12 y 3.13 se muestran las presiones y consumos de los equipos pertenecientes a esta línea de producción.

Tabla 3.11. Consumos de los equipos de retoque.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
1	Toma libre para secado (manguera 3/8 de pulg)	85	586,0544	36
12	Pulidoras	80	551,5806	190,512
12	Pistolas de pintura	40-45	310,2641	103,68
Total				330,192

Tabla 3.12. Consumos de los equipos de retoque mayor.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
1	Toma libre para secado (manguera 3/8 de pulg)	85	586,0544	72
2	Pulidoras	80	551,5806	31,752
2	Pistolas de pintura	40-45	310,2641	17,28
Total				121,032

3.1.6.6. Línea de Piezas Plásticas.

En la cabina de piezas plásticas, los parachoques, buches y estribos se someten a una limpieza para luego ser pintada con una pintura de esmalte, la cual se seca en un horno de secado. La cantidad de equipos así como sus consumos y presiones se muestran en las tablas 3.14 y 3.15.

Tabla 3.13. Consumos de los equipos de piezas plásticas.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Toma libre para secado (manguera 3/8 de pulg)	85	586,0544	108
2	Pulidoras	80	551,5806	31,752
6	Pistolas de pintura	60-70	482,633	51,84
11	Tanques de presión	80	551,5806	108,504
Total				300,096

Tabla 3.14. Consumos de los equipos de piezas plásticas pequeñas.

Cantidad	Equipos	Presión		Caudal
		Psi	kpa	m^3/hr
2	Toma libre para secado (manguera 3/8 de pulg)	85	586,0544	72
2	Pulidoras	80	551,5806	31,752
1	Pistolas de pintura electrostáticas	80	551,5806	8,64
2	Pistolas de pintura	60-70	482,633	17,28
1	Tanques de presión	80	551,5806	14,184
8	Bombas de diafragma	80	551,5806	9,864
Total				153,72

Para determinar las necesidades totales de aire se deben considerar una serie de correcciones, las cuales son:

Fugas: 5-10 %

Una red de aire comprimido debe ser absolutamente sellada. No obstante, en la práctica se debe tomar en cuenta de 5 a 10 % sobre la norma, para compensar eventuales fugas.

Desgaste de las herramientas: 5 %

Las indicaciones sobre el consumo de aire de las herramientas, se refieren generalmente a cuando éstas son nuevas, por lo que el desgaste de las mismas aumenta en un 5 % la necesidad de aire calculado, haciendo necesario que se incremente este porcentaje como margen de desgaste de las herramientas.

Expansión: 30 %

La necesidad de aire comprimido tiende a aumentar con el tiempo, debido a que las herramientas sufren un desgaste lógico, se introducen nuevas herramientas en otros puntos del sistema y/o se sustituyen las pequeñas por otras más grandes. Si no se conociesen los planes de expansión de la empresa, se adopta como regla general el dimensionar el sistema de tuberías con una posibilidad de expansión mínimo del 30 % [5].

Tomando en cuenta las consideraciones antes mencionadas, se tiene la siguiente necesidad de aire para fines de generación de las líneas de producción mencionadas anteriormente:

Tabla 3.15. Consumo total por línea con las correcciones.

Líneas	Caudal m^3/hr	Fugas (%5)	Desgaste de herramienta (%5)	Expansión (%30)	Total Caudal
Sello	5,19228	0,259614	0,259614	1,557684	7,269192
Pvc	3,34368	0,167184	0,167184	1,003104	4,681152
Cabina de fondo	374,32224	18,716112	18,716112	112,296672	524,051136
Sala de mezcla fondo	69,336	3,4668	3,4668	20,8008	97,0704
Lijado	4,8924	0,24462	0,24462	1,46772	6,84936
Cabina de esmalte	162,6192	8,13096	8,13096	48,78576	227,66688
Sala de mezcla esmalte	312,012	15,6006	15,6006	93,6036	436,8168
Retoque	330,192	16,5096	16,5096	99,0576	462,2688
Retoque mayor	121,032	6,0516	6,0516	36,3096	169,4448
Piezas Plásticas	300,096	15,0048	15,0048	90,0288	420,1344
Piezas plástica pequeña	153,72	7,686	7,686	46,116	215,208
Total					2571,46092

3.2. Levantamiento isométrico de la red de aire comprimido del área de pintura

Para el levantamiento de campo de las líneas de alimentación de aire comprimido se procedió a efectuar las mediciones requeridas y toma de especificaciones de cada equipo y accesorios presente en dicha instalación de manera ordenada, sistemática y objetiva, para poder establecer con suficiente precisión la distribución actual del área de pintura, ya que ésta carecía de dichos planos. Por lo tanto, una vez recopilada la información tomada en el sitio, se elaboró los isométricos correspondientes a la red utilizando el software Cadwork Plant, los cuales son mostrados en el anexo B.1.

3.3. Realización de la simulación con el software Pipephase 8.1

Una vez recopilada la información necesaria referente a los tramos de tuberías pertenecientes al sistema de aire comprimido del área de pintura se procedió a realizar los siguientes pasos:

3.3.1. Construcción del modelo

En ésta se realizó la construcción de la red de trabajo en dos (2) etapas, los cuales se muestran en las Figuras 3.7 y 3.8. La primera etapa (Fig.3.7) representa la distribución de tubería que va desde la descarga de los compresores hasta las secadoras y la segunda etapa (Fig.3.8) desde las secadoras hacías las diferentes líneas de producción del área de pintura. Cabe destacar que para la construcción de los sistemas se realizarán los mismos pasos para ambos.

Seleccionando de la barra de menú File/New la caja de dialogo Simulation Septup Wizard se abrirá para la selección del tipo de simulación, tipo de fluido, fase del fluido y sistema de unidades a utilizar, siguiendo la secuencia mostrada en la Fig.3.6

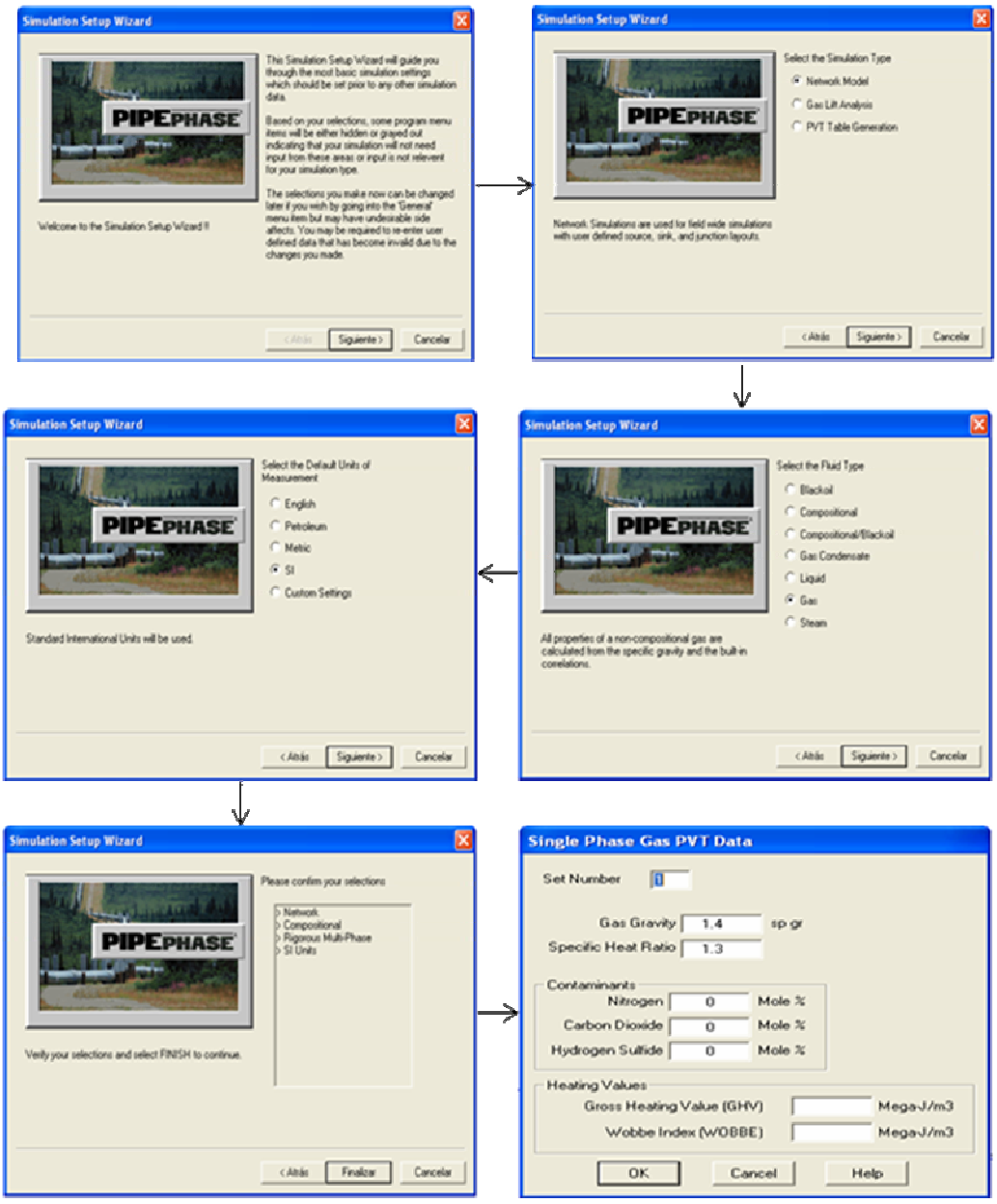


Figura 3.6. Secuencia a seguir para iniciar la simulación.

Luego se escogen los artículos de la caja de herramienta como son: fuente, destino, nodos y se colocan en la hoja activa conectándose a través de una línea (link) de acuerdo a los isométricos del sistema mostrados en los planos del anexo B.2 quedando la red de la siguiente forma:

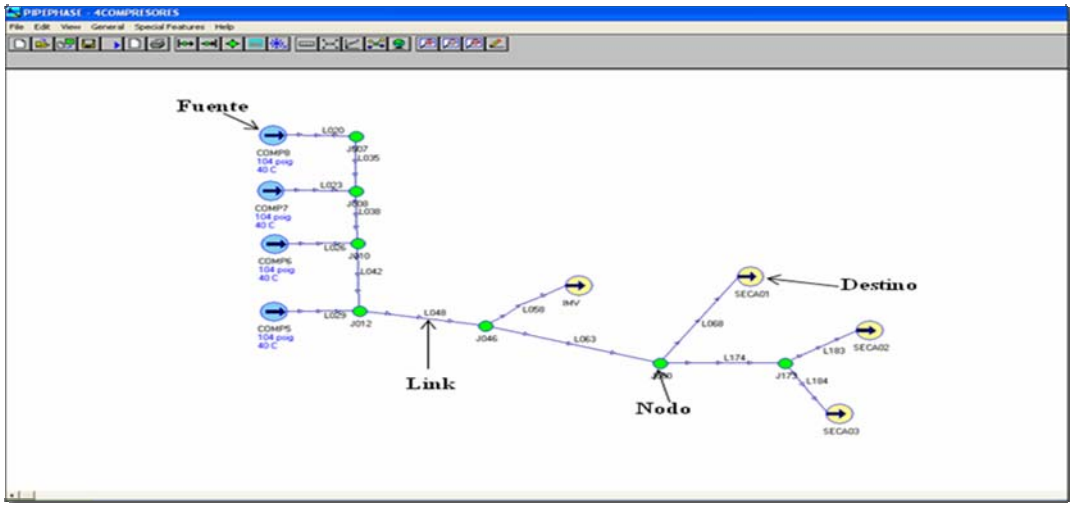


Figura 3.7. Primera etapa.

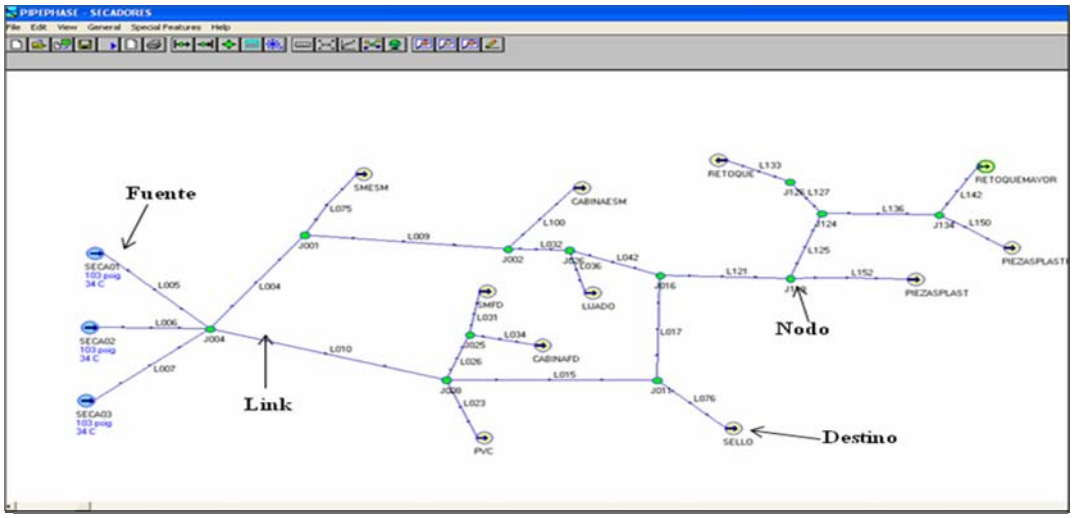


Figura 3.8. Segunda etapa

.

Para el caso de la validación en la simulación los datos introducidos se encuentran en la tabla 3.17 y tabla 3.18.

Tabla 3.16. Datos de la simulación primera etapa.

		Caudal (m^3/hr)	Presión (kPa)	Presión (Psi)	Temperatura (^{0}C)
SOURCE (FUENTES)	COMP08 (compresor)	846	717.055	104	40
	COMP07 (compresor)	750	717.055	104	40
	COMP06 (compresor)	750	717.055	104	40
	COMP05 (compresor)	750	717.055	104	40
SINK (DESTINO)	IMV	1310	517.107	75	-
	SECA01 (secadora)	100	517.107	75	-
	SECA02 (secadora)	100	517.107	75	-
	SECA03 (secadora)	100	517.107	75	-

Tabla 3.17. Datos de la simulación segunda etapa.

		Caudal (m^3/hr)	Presión (kPa)	Presión (Psi)	Temperatura (^{o}C)
SOURCE (FUENTES)	SECA01	669	712,1	103	2
	SECA02	404	711,7	103	2
	SECA03	712	711,7	103	2
SINK (DESTINO)	PVC	4,681152	551.5806	80	-
	Sala de mezcla fondo (SMFD)	97,0704	551.5806	80	-
	Cabina de fondo	524,051136	551.5806	80	-
	Sello	7,269192	551.5806	80	-
	Sala de mezcla esmalte (SMESM)	436,8168	551.5806	80	-
	Cabina de esmalte	227,66688	551.5806	80	-
	Lijado	6,84936	551.5806	80	-
	Piezas plásticas	420,1344	551.5806	80	-
	Piezas plásticas peq	215,208	551.5806	80	-
	Retoque	462,2688	551.5806	80	-
	Retoque mayor	169,4448	551.5806	80	-

Para la fuente aparecerá una ventana como la mostrada en la Fig. 3.9, en la que se introduce la temperatura, la presión y el caudal, los cuales se colocan fijos.

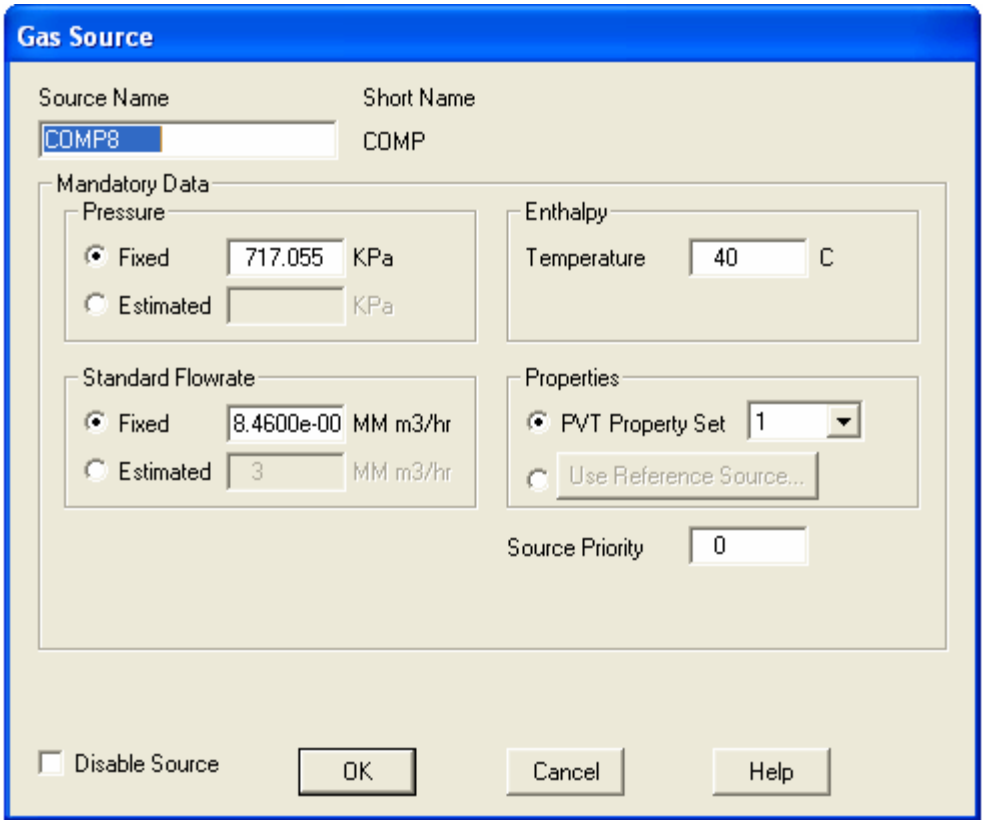


Figura 3.9. Datos de entrada en la fuente.

En el nodo llamado destino requiere de datos como presión y caudal. Para nuestro caso se estimó el caudal y presión, de tal forma que se calcule la presión y caudal. Ver Fig. 3.10.

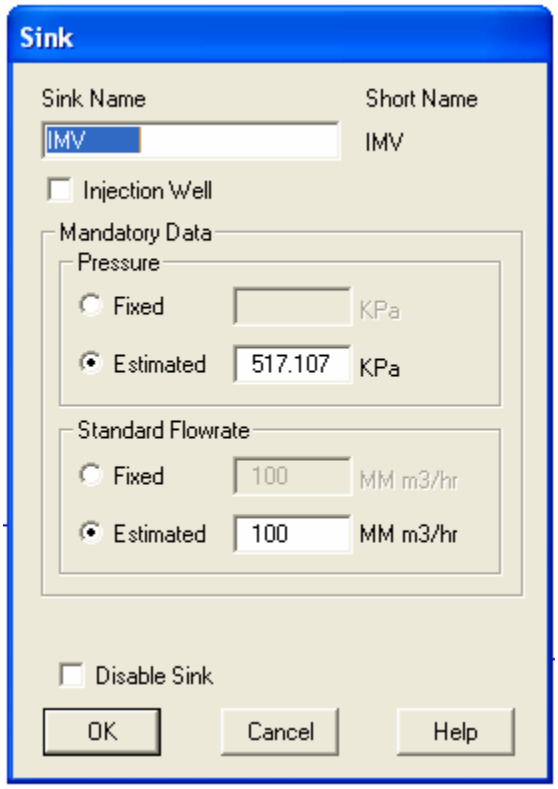


Figura 3.10. Datos de entrada en el destino.

Al hacer doble click en cada una de las líneas de flujo de entrada a la ventana device data. Ver Fig. 3.11

En esta ventana se seleccionan, todas las tuberías y todos los accesorios como: válvulas, codos, entre otros. Se realiza la configuración de los componentes que pueden integrar las líneas de flujo. Para el caso de la tubería, aparecen los detalles de las mismas, en donde se introduce la información referente al diámetro nominal, la correlación, se selecciona el coeficiente global de transferencia de calor (o se tiene la opción de que el programa lo calcule dada las condiciones externas de la tubería, en caso de que la misma se encuentre enterrada o no, expuesta al aire o sumergido en otro fluido; tal como sea el caso). Las especificaciones del sistema de tuberías de las

mismas como sus diámetros, longitudes y accesorios son mostrados en la tabla A.1 y A.2 en la sección de anexos.

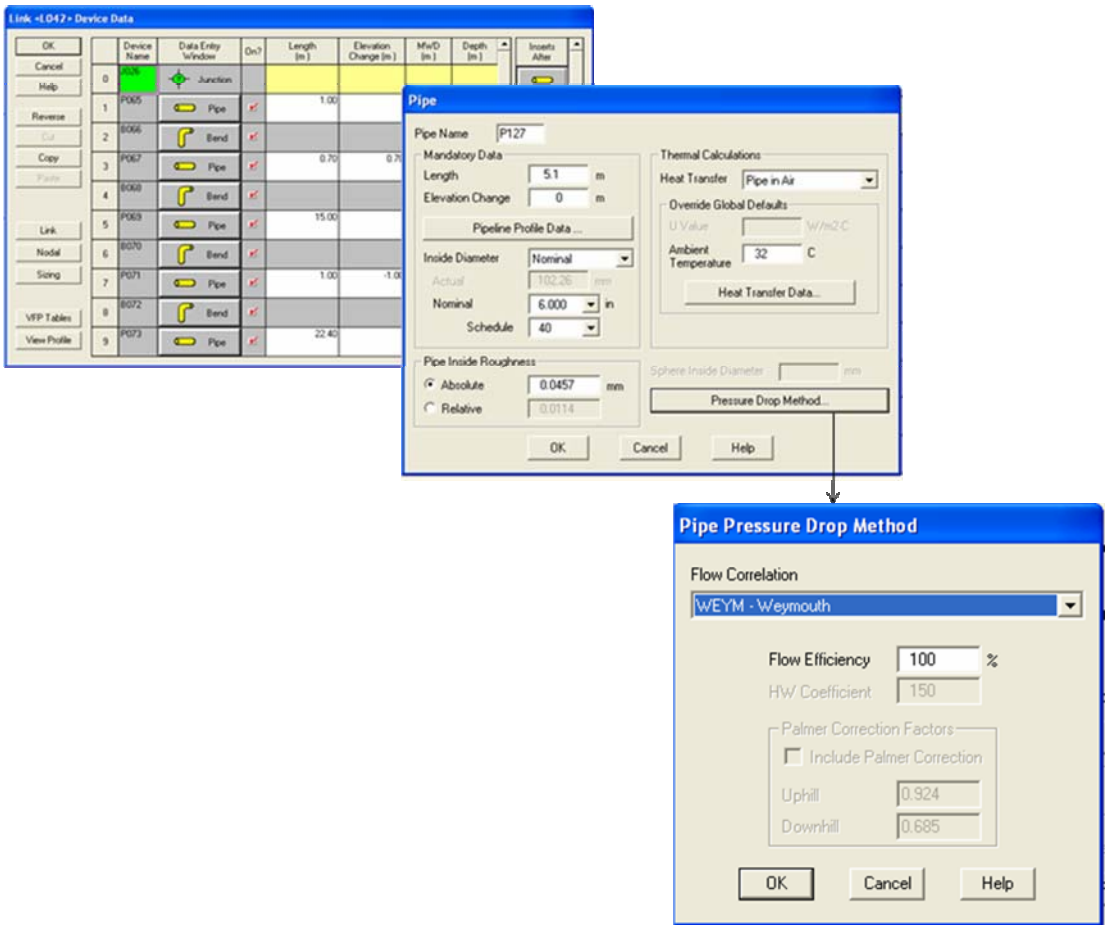


Figura 3.11. Datos del levantamiento isométrico del sistema de aire comprimido perteneciente al área de pintura.

Debido a la falta de valores de campo, la correlación escogida es la de Weymouth por ser la recomendada para estudio de gases en tuberías con diámetros 2 pulg < Ø < 12 pulg [7].

Finalmente se corre la simulación y se seleccionan las gráficas o el reporte final para ver los resultados. Ver Fig. 3.12.

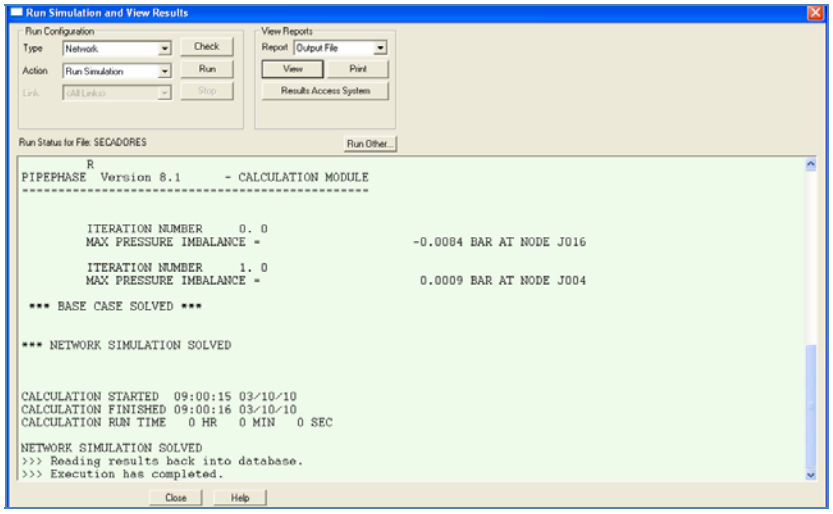


Figura. 3.12. Corrida de la simulación.

CAPÍTULO 4
RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. Evaluación del sistema actual

En la evaluación del sistema actual, se busca conocer los flujos volumétricos y las presiones que actualmente se encuentra suministrando el sistema a través de las tuberías para operar los distintos equipos y componentes de aire comprimido en las distintas líneas de producción. Esto con la finalidad de evaluarlo en cuanto a sus caídas de presiones y caudales mediante un simulador de flujos en tuberías.

4.1.1. Evaluación de la primera etapa

Dicha etapa está representada desde la descarga de los compresores hasta las secadoras de aire comprimido. El caudal promedio actual de la planta obtenido del seguimiento realizado en la sala de compresores es de 3100 m^3/h aproximadamente, el cual se suple con la operación de cuatro (4) compresores de tornillo Atlas Copco. La especificaciones del sistema de tuberías (ver figura 4.1) de las mismas como sus diámetros, longitudes y accesorios se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo B.1

En la tabla 4.1, se muestra los valores obtenidos de la simulación desde la descarga de los compresores hasta los secadores (ver Fig. 4.1), evaluada en la etapa actual, cuyo flujo total de aire de los compresores es de 3096 m^3/h. No existen en el sistema de tuberías caídas de presión mayores a las recomendadas por el manual Atlas Copco para tuberías principales y secundarias, con la excepción de la tubería secundaria L058 (ver Fig. 4.2), la cual supera el valor recomendado, lo que podría

estar asociada a un mal dimensionamiento de la tubería. El reporte completo de esta simulación se encuentra en el anexo C.1.

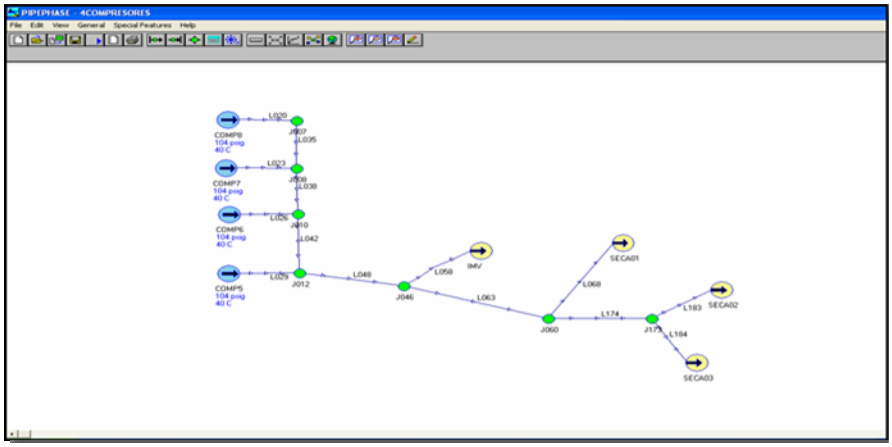


Figura 4.1. Diagrama de simulación de la primera etapa.

Tabla 4.1. Caída de presión de la primera etapa.

Link (línea)	Caudal (m^3/h)	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
L035	850	0	7
L038	1600	0,1	
L042	2350	0.1	
L048	3100	2	
L063	1780	3	
L020	850	0.218	3
L023	750	0.171	
L026	750	0.171	
L029	750	0.171	
L058	**1310**	**9**	
L068	670	0	
L174	1120	0.0655	
L183	404	0.0196	
L184	710	0.0196	

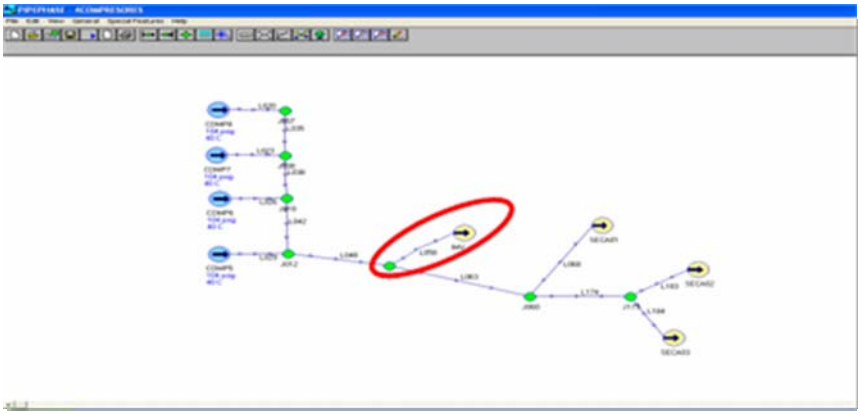


Figura 4.2. Diagrama de simulación.

En la Fig. 4.3 se observa el comportamiento de la presión en función de la distancia para el caso de la tubería secundaria L058, en el cual, la tendencia de la pendiente en la gráfica cambia de forma decreciente a partir de una distancia aproximada de 6 m, esto debido a la gran demanda de aire comprimido para esta línea, lo que ocasiona mayor fricción en la tubería, generando una caída de presión considerable en el tramo de tubería y accesorios presentes.

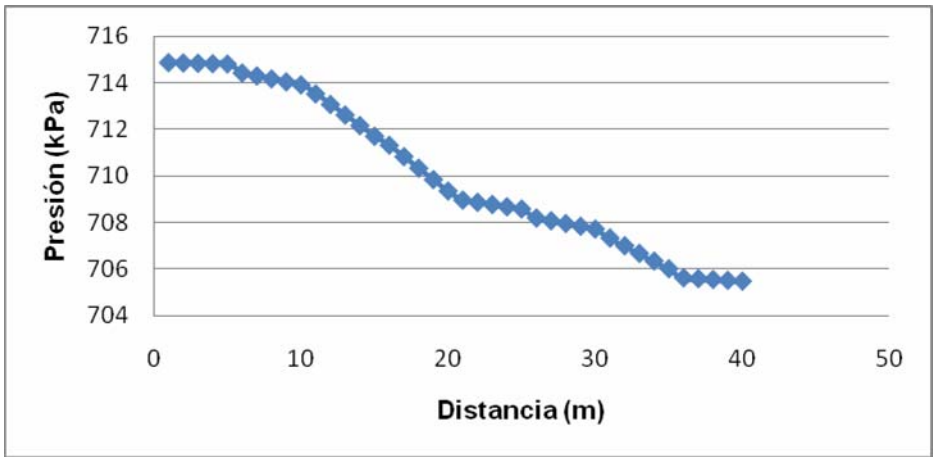


Figura 4.3. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L058.

4.1.2. Evaluación de la segunda etapa

Está etapa comprende el suministro de aire comprimido desde las secadoras hacías las diferentes líneas de producción del área de pintura (ver Fig. 4.4), en la cual, el caudal promedio generado por los cuatros (4) compresores para alimentar esta zona no es suficiente, ya que al comparar los resultados de la simulación, está representa un diferencial de 776 m^3/h, lo cual indica que la demanda es mucho mayor a lo suministrado por los compresores. Los detalles del sistema de tubería de la segunda etapa, como sus diámetros, longitudes y accesorios se encuentran ilustrados en el plano isométrico en el anexo C.1.

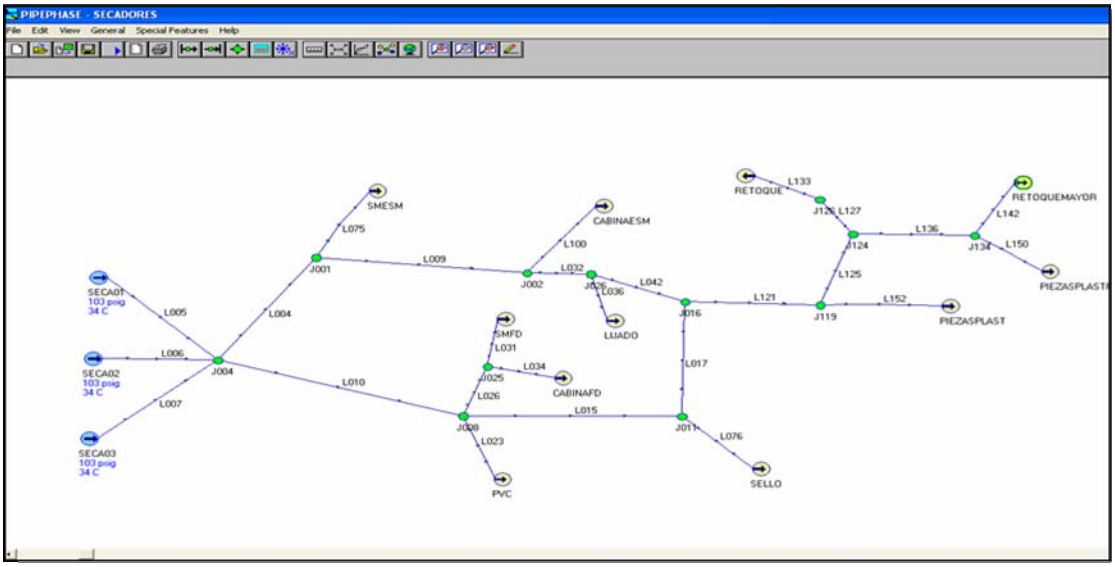


Figura 4.4. Diagrama de simulación de la segunda etapa.

Al observar los resultados mostrados en la tabla 4.2, Fig. 4.6 y 4.7, existe una caída de presión en la tubería secundaria L034 y L075 (ver Fig. 4.5), mayor a la recomendada por el Manual de Atlas Copco, debido al alto consumo de flujo en estas líneas, que genera pérdidas considerables en los tramos de tuberías y accesorios

presentes en la línea. El reporte completo de esta simulación se encuentra en el anexo C.2.

Tabla 4.2. Caída de presión de la segunda etapa.

Link (línea)	Caudal (m^3/h)	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
L004	1350	0,463	7
L005	1113	0,701	
L006	710	0,301	
L007	750	0,301	
L009	910	0,932	
L010	1230	0,954	
L015	600	0,674	
L017	590	0,323	
L032	680	0,0268	
L042	680	0,529	
L121	1270	7	
L023	4,68	0	3
L026	620	1	
L031	100	0,00783	
L034	**520**	**7**	
L036	6.68	0	
L075	**440**	**5**	
L076	7.27	0	
L100	230	0	
L125	550	0,541	
L127	460	0,343	
L133	460	0,772	
L136	380	0,272	
L142	170	0	
L150	220	1	
L152	420	0,454	

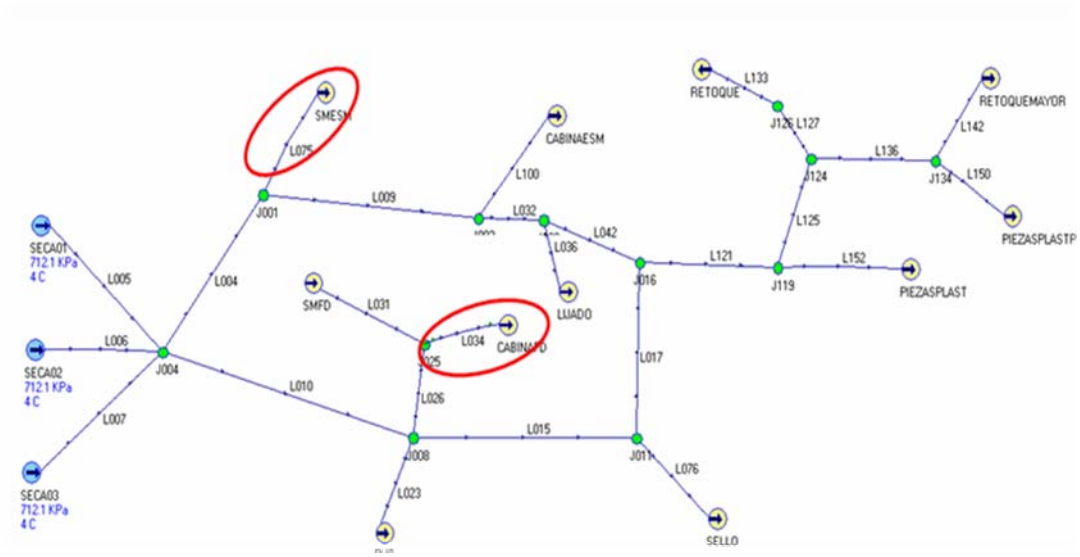


Figura 4.5. Diagrama de simulación.

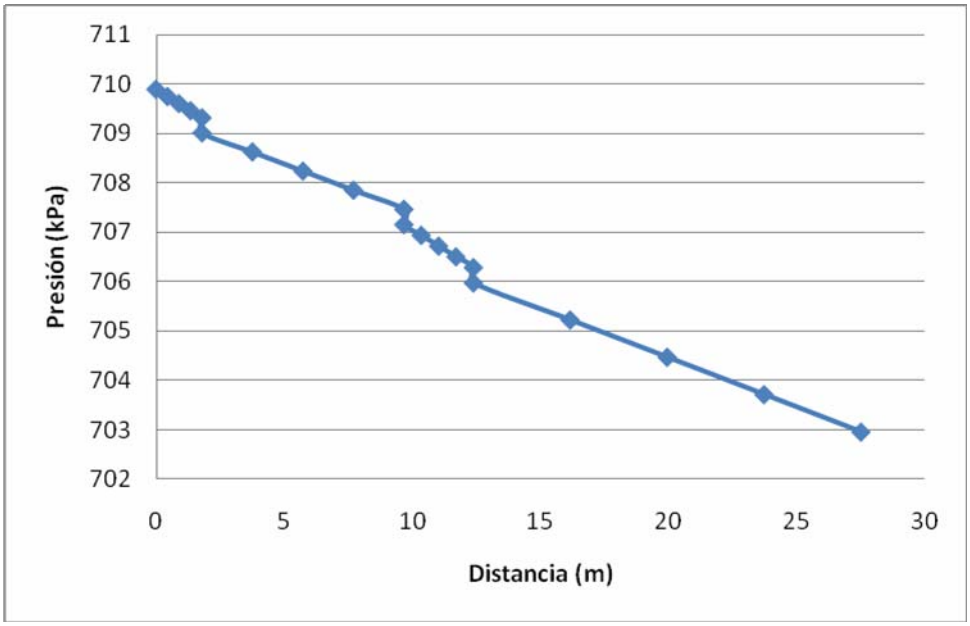


Figura 4.6. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L034.

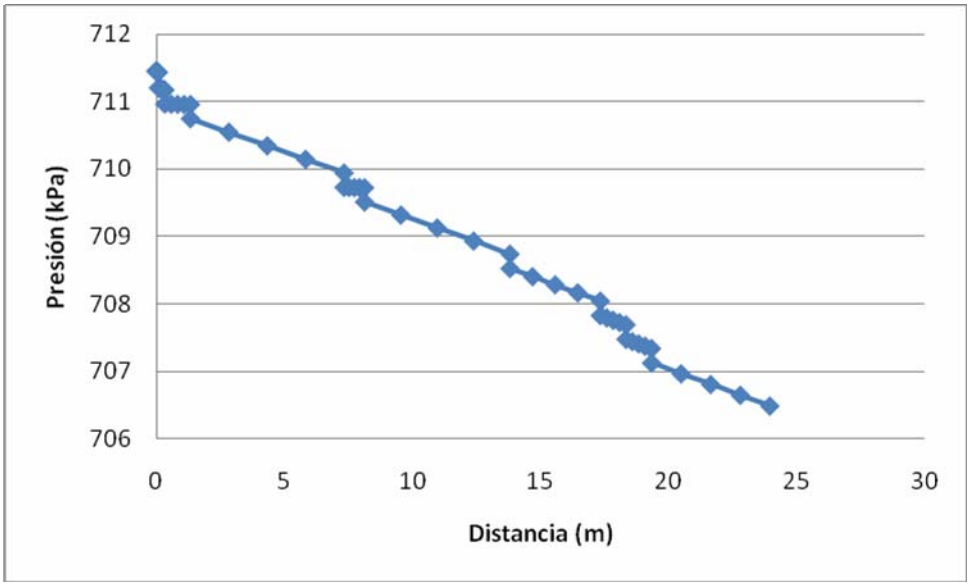


Figura 4.7. Variación de la presión en función de la distancia de la tubería secundaria L075.

4.2. Evaluación de propuestas de mejoras.

Una vez evaluado el sistema de aire comprimido mediante el simulador de flujos en tuberías para la primera y segunda etapa, se plantearon las diferentes propuestas para solucionar los problemas detectados en dicho sistema como son: los nuevos diámetros de tuberías, mejoras en el nivel de presión, y generación de aire comprimido. Dichas propuestas se realizaron en busca de aumentar el nivel de generación y distribución de sistema de aire comprimido para la planta.

4.2.1. Propuesta para el aumento de la capacidad de generación de aire comprimido.

Debido a que el sistema de generación de los compresores ZR es insuficiente para suplir las necesidades de aire que requieren en el área de pintura y analizando las necesidades de generación de aire comprimido de la planta, se estableció como alternativa la activación del compresor ZR250 VSD, accionado por un motor de velocidad variable, trabajando en conjunto con los compresores ZR90 y ZR3-65, quedando como respaldo los otros dos (2) compresores ZR3-65. Para esta propuesta

fue desincorporado dos compresores ZR3-65, quedando la sala de máquinas con los compresores que se muestran en la tabla 4.3 y figura 4.7. Esto, de igual manera, redundará en un ahorro de energía de hasta un 35 %.

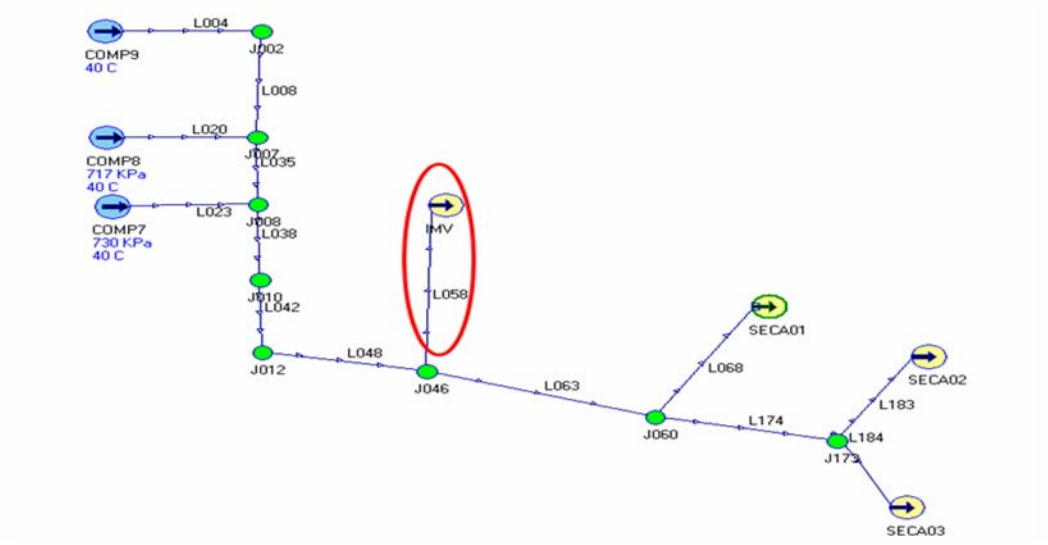


Figura 4.8. Diagrama de simulación de la nueva propuesta para la primera etapa.

Tabla 4.3. Especificaciones técnicas para el trabajo actual de los compresores.

Compresor	Marca	Presión (kPa)	Caudal (m^3/h)
1 Comp09 ZR250 VSD	Atlas Copco	750	2274
2 Comp08 ZR90	Atlas Copco	717	846
3 Comp07 ZR3-65	Atlas Copco	717	750

4.2.2. Propuesta de aumento del diámetro de la tubería secundaria L058.

Al simular la tubería secundaria (L058) con un diámetro actual nominal de tres (3) pulg la caída de presión fue de 9 kPa, la cual está por encima de lo recomendado por

el Manual Atlas Copco (ver tabla 4.1). Para poder disminuir esta caída de presión se debe cambiar el diámetro de 3 a 4 pulg, lográndose una disminución de la caída de presión de 2 kPa (ver tabla 4.4), lo que indica que el diámetro de la tubería escogido es aceptable, cumpliendo así las recomendaciones por el manual Atlas Copco para tuberías secundarias. Esta propuesta requiere de 29,48 m de tubería de acero de 4 pulg. El reporte completo de esta simulación se encuentra en el anexo C.3

Tabla 4.4. Caída de presión de la nueva propuesta de la primera etapa.

Link (línea)	Caudal (m^3/h)	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
L008	2275	0.0214	7
L035	2490	0	
L038	3870	0,165	
L048	3870	0,154	
L063	2560	6	
L004	2275	0.81	3
L020	850	0	
L023	750	0,562	
L058	**1310**	**2**	
L068	840	0	
L174	1720	0,154	
L183	870	0,0903	
L184	850	0,028	

4.2.3. Propuesta de aumento de diámetro del tramo de tubería (L034) de suministro de aire comprimido hacia la cabina de fondo.

Para un diámetro actual nominal de 2 pulg la caída de presión es de 7 kPa (ver tabla 4.2), superando lo recomendando por el Manual Atlas Copco, partiendo de esto se

demostró que aumentando el diámetro a 3 pulg, en lugar del de 2 pulgadas existente, se tendrá una disminución en las pérdidas de presión 1 kPa (ver tabla 4.5 y fig 4.8), cumpliendo así el valor admisible. Esta propuesta requiere de 64,33 m de tubería de acero de 3 pulg. El reporte completo de esta simulación se encuentra en el anexo C.4.

4.2.4. Propuesta de aumento de diámetro del tramo de tubería (L075) de suministro de aire comprimido hacia la sala de mezcla de esmalte.

Para el caso de la tubería (L075) con un diámetro actual de 2 pulg, esta presentó una caída de presión 5 kPa mayor a lo recomendando por el Manual Atlas copco (ver tabla 4.2), esta caída es debido al alto consumo de aire comprimido en la línea. En la tabla 3.10 se muestra la cantidad de equipos conectados y su respectivo consumo. En busca de la mejor manera de solventar esta situación, se estableció como mejor propuesta el aumento del diámetro de 2 a 3 pulg de la tubería, lográndose una disminución de la caída de presión de 0,569 kPa (ver tabla 4.5 y fig 4.8), lo cual está por debajo del valor admisible. En el anexo C.4 se muestra el reporte de esta simulación.

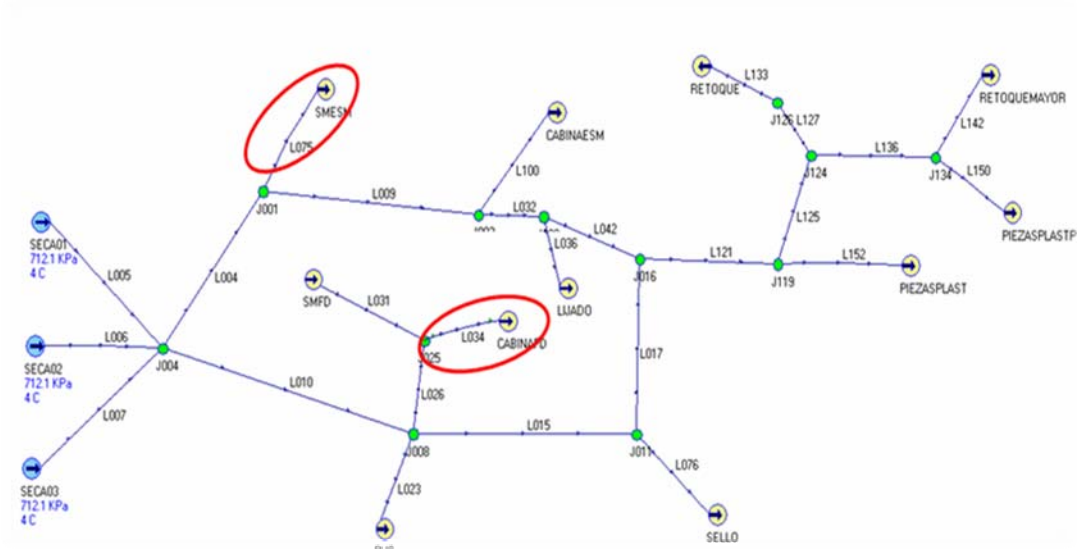


Figura 4.9. Diagrama de simulación de la nueva propuesta para la segunda etapa.

Tabla 4.5. Caída de presión de la nueva propuesta de la de la segunda etapa.

Link (línea)	Caudal (m^3/h)	Caída de presión (kPa)	Recomendación Atlas Copco (kPa)
L004	1350	0,457	7
L005	840	0,798	
L006	870	0,398	
L007	850	0,946	
L009	910	0,920	
L010	1230	0,945	
L015	600	0,668	
L017	590	0,321	
L032	680	0,0264	
L042	680	0,531	
L121	1270	7	
L023	4,68	0	3
L026	620	0	
L031	100	0,00774	
L034	**520**	**1**	
L036	6.68	0	
L075	**440**	**0,569**	
L076	7.27	0	
L100	230	0	
L125	550	0,530	
L127	460	0,360	
L133	460	0,769	
L136	380	0,270	
L142	170	0	
L150	220	1	
L152	420	0,448	

CAPÍTULO 5
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

1. En el levantamiento de campo del sistema de aire comprimido se encontraron deficiencias en cuanto a la ubicación, señalización de los equipos y direcciones de flujos. De igual manera existe una carencia de medidores de flujo y presión para el área de pintura.

2. Es necesario proceder a la activación del compresor de tornillo ZR-250 VSD, a fin de abastecer la totalidad de la demanda de aire de las áreas de pintura e IMV, además de cubrir el consumo que demandarán dichas áreas con los futuros proyectos de expansión. Con la adición de este compresor también se estará evitando que el sistema carezca de garantía operativa, ya que se contará con dos (2) compresores en stand by.

3. Las caídas de presión más crítica se encontraron en las tuberías L034, L058 y L075 del área de pintura, debido a la gran cantidad de equipos presentes en la misma, lo cual requiere un alto consumo de aire comprimido para poder ser accionados.

4. La correlación de flujo de Weymouth fue la seleccionada para la simulación del sistema de aire comprimido de la planta Toyota de Venezuela C.A, por ser la recomendada para flujos de gases de tuberías entre 2” y 12” de diámetros.

5. Modificar el diámetro nominal de la tubería secundaria L058 de la línea que alimenta el área de IMV por 4 pulg; debido a que el diámetro actual no cumple

con el valor admisible de caída de presión (tuberías principales 7 kPa y tuberías secundarias 3 kPa).

6. Modificar los diámetros nominales de las tuberías secundarias L034 y L075, de la cabina de pintura y la sala de mezcla de esmalte respectivamente, ambas por un diámetro de 3 pulg; debido a que el diámetro actual no cumple con lo recomendado por el Manual de Atlas Copco (tuberías principales 7 kPa y tuberías secundarias 3 kPa).

7. Se deben eliminar las fugas de aire comprimido existentes en las diferentes áreas de la planta, ya que éstas, además de generar un excesivo consumo de energía eléctrica, inciden en las deficiencias de caudal y presión de aire.

8. Se determinó la existencia de la mala práctica operativa por parte de los operadores del área de pintura, ya que estos utilizan el aire comprimido para fin personal en la limpieza de su vestimenta, lo que trae como desperdicio de 8 m^3/h por cada manguera de ¾ pulg abierta según el Manual de Aplicaciones del Aire Comprimido Atlas Copco.

5.2. Recomendaciones

1. Realizar los cambios de diámetro de las tuberías especificadas, para que el sistema de aire comprimido satisfaga en cuanto a la caída de presión

2. Colocar manómetros en cada uno de los ramales que conforman las redes de distribución de aire comprimido, para conocer y llevar el control de las presiones existentes en cada uno de ellos. Igualmente se deben disponer de medidores de flujo, que se instalen en la tubería de alimentación de cada línea, en las tuberías

principales de alimentación de cada sección y en la tubería principal de aire comprimido, a efecto de establecer los consumos reales de las diferentes líneas y secciones de la planta.

3. Se recomienda la activación del compresor ZR250 VSD para aumentar el rendimiento del sistema de aire comprimido del área de pintura.

4. Realizar un estudio económico para estimar los costos por los cambios de diámetro de las tuberías propuestas.

5. Dar cursos de concientización al personal de operadores de la planta, sobre el costo de la energía utilizada en la compresión del aire.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Alonso M, Jhonatan, **"Evaluación del sistema de aire comprimido de una cervecería con base a sus futuros aumentos de producción"** Trabajo de grado de Ingeniería, Universidad de Oriente. (2009).

[2] Rodríguez D, Stanling, **"Diseño un sistema de supervisión y control a distancia de los parámetros de operación del sistema de generación y distribución de energía neumática de la planta de producción de Toyota de Venezuela"** Trabajo de grado de Ingeniería, Universidad de Oriente. (2008).

[3] Ramos, J. **"Evaluación el sistema de distribución de aire comprimido en el galpón general de una planta ensambladora de vehículos"** Tesis de Grado, Universidad de Oriente, Barcelona (2000).

[4] Rodríguez J., **"Introducción a la termodinámica con algunas aplicaciones de ingeniería",** Impreso en Mexico (1998).

[5] Atlas Copco. "**Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria"**. (1991).

[6] "Manual keyword PIPEPHASE", Invensys Systems Inc. (2002). Disponible en el software de PIPEPHASE.

[7] Martínez M., **"Calculo de tuberías y redes de gas"**, Editorial Ediluz. Impreso en Maracaibo. (1993).

ANEXOS

ANEXOS A. TABLAS

Anexo A.1. Tabla A.1 de especificaciones para las tuberías de acero al carbono para la primera etapa.

Tuberías (Link)	Diámetro		Longitud (mm)	Schedule	Cantidad de Accesorios		
	(pulg)	(mm)			Codos 90°	Codos 45°	Reducción
L020	3	76.2	640	40	1	-	-
L023	3	76.2	640	40	1	-	-
L026	3	76.2	640	40	1	-	-
L029	3	76.2	640	40	1	-	-
L035	6	152.4	2540	40	-	-	-
L038	6	152.4	3570	40	-	-	-
L042	6	152.4	3350	40	-	-	-
L048	6	152.4	30850	40	10	-	-
L058	3	76.2	29480	40	7	-	-
L063	6	152.4	101335	40	14	2	6x4 pulg
	4	101.6	7639	40	2	-	
L068	4	101.6	8250	40	4	-	4x3 pulg
	3	76.2	680	40	-	-	
L174	4	101.6	1905	40	-	-	-
L183	4	101.6	4360	40	-	-	-
L184	4	101.6	1400	40	-	-	-

Anexo A.2. Tabla A.2 de especificaciones para las tuberías de acero al carbono para la segunda etapa.

Tuberías (Link)	Diámetro		Longitud (mm)	Schedule	Cantidad de Accesorios		
	(pulg)	(mm)			Codos 90°	reducción	Válvulas de bola
L004	4	101.6	8900	40	1	-	-
L005	3	76.2	6490	40	-	-	-
L006	3	76.2	6490	40	-	-	-
L007	3	76.2	6490	40	-	-	-
L009	4	101.6	50590	40	-	-	-
L010	4	101.6	26425	40	1	-	-
L015	4	101.6	66600	40	6	-	-
L017	4	101.6	35838	40	1	-	-
L023	2.5	63.5	16730	40	6	2.5x2 pulg	1
	2	50.8	300	40	-		-
L026	2	50.8	3490	40	1	-	1
L031	1.5	38.1	300	40	-	-	-
L032	4	101.6	2500	40	-	-	-
L034	2	50.8	27540	40	3	-	-
L036	2	50.8	54500	40	4	-	1
L042	4	101.6	40100	40	4	-	-
L075	2	50.8	24880	40	9	-	1
L076	1	25.4	29920	40	2	-	-
L100	3	76.2	35830	40	7	-	1
L121	3	76.2	47828	40	-	-	-
L125	3	76.2	7625	40	-	-	1
L127	2	50.8	1600	40	1	-	1
L133	2	50.8	32470	40	1	-	-
L136	3	76.2	11750	40	1	-	-
L142	3	76.2	23600	40	2	-	-
L150	3	76.2	8114	40	-	3x2 pulg	-
	2	50.8	44614	40	-		1
L152	3	76.2	25685	40	-	-	1

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

TÍTULO	**EVALUACIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO EN EL ÁREA DE PINTURA DE LA PLANTA TOYOTA DE VENEZUELA C.A**
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Díaz L., Argenis A.	**CVLAC: 16.817.501** **E MAIL: argnis_1919@hotmail.com**
	CVLAC: **E MAIL:**
	CVLAC: **E MAIL:**
	CVLAC: **E MAIL:**

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Aire comprimido
Simulación Pipephase
Correlación de Weymouth
Caída de Presión
Manual Atlas Copco

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ÁREA	SUBÁREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	INGENIERIA MECÁNICA

RESUMEN (ABSTRACT):

En el siguiente trabajo se presenta la evaluación del sistema de suministro de aire comprimido en el área de pintura de la Planta Toyota de Venezuela. En este estudio se chequearon las condiciones de los elementos que lo conforman, se determinó la eficiencia del sistema de aire comprimido en la generación y distribución. En la primera fase, se elaboraron los planos isométricos del sistema. Luego se realizó la evaluación del sistema de aire comprimido paras las líneas de producción pertenecientes al área de pintura. En estas se simularon las redes de tuberías que suministran aire comprimido para las diferentes secciones, mediante un simulador de flujos en tuberías (Pipephase), donde se obtuvieron las caídas de presiones de las mismas, siendo las secciones más criticas Cabina de fondo, Sala de mezcla de esmalte y la tubería que alimenta el área de IMV (electropunto). Una vez evaluada las diferentes secciones de producción se realizaron las propuestas de mejoras para cada línea, como fueron la activación del compresor ZR-250 VSD, trabajando en conjunto con el ZR90, ZR3-65, quedando los otros dos (2) compresores en stan by y el rediseño de los diámetros de las tuberías

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
Bittar., Simón.	**ROL**	**CA**	**AS X**	**TU**	**JU**
	CVLAC:	**3.957.961**			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Rincones., Franklin	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU X**
	CVLAC:	**13.358.036**			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Rodríguez., Edgar	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU X**
	CVLAC:	**4.012.952**			
	E_MAIL	**rmedgar5@gmail.com**			
	E_MAIL				
González R., Yordy A.	**ROL**	**CA**	**AS**	**TU**	**JU**
	CVLAC:	**14.126.676**			
	E_MAIL	**yordygonzalez@cantv.net**			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2010	Junio	22
AÑO	**MES**	**DÍA**

LENGUAJE.SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.Evaluación.doc.	**Application/msword**

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (**OPCIONAL**)

TEMPORAL: _____ (**OPCIONAL**)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero. Mecánico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pregrado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Mecánica

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente / Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

DERECHOS

De acuerdo al artículo 41 del reglamento de trabajos de grado

"Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo quien lo participará al Consejo Universitario."

Díaz L., Argenis A.

AUTOR

Prof. Simón., Bittar.	**Prof. Edgar., Rodríguez**	**Prof. González R., Yordy A.**
TUTOR	**JURADO**	**JURADO**

Prof. Diógenes Suarez

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS