

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA



REDISEÑO DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN AIRE COMPRIMIDO PARA
LA EMPRESA UTITEC MEDICAL, S.A.

Informe de Práctica de Especialidad para optar por el Título de Ingeniero en
Mantenimiento Industrial, Grado Licenciatura

REALIZADO POR:

Keily Castro Gómez

Cartago, Junio 2021



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Hoja de Información

Información del estudiante:

Nombre completo: Keily María Castro Gómez

Número de cédula: 1 1678 0750

Número de carné: 2016085142

Edad: 23 años.

Números de teléfono: 8712 6825

Correos electrónicos: keilycastrogomez97@gmail.com

Dirección exacta de domicilio: San José, Alajuelita, San Felipe, Corina Rodríguez, Marginal Norte, Casa #125.

Información del proyecto:

Nombre del proyecto: “Rediseño de la red de distribución aire comprimido para la empresa Utitec Medical, S.A.”

Profesor asesor: Ing. Alberto Garro Zavaleta

Horario de trabajo del estudiante: martes, jueves y viernes de 7 a.m. a 5 p.m.

Información de la empresa:

Nombre: UTITEC MEDICAL S.A.

Actividad Principal: Manufactura de elementos metálicos para la industria médica, comercial y electrónica.

Dirección: El Coyol de Alajuela, Zona Franca, Edificio B15.

Contacto: Adrián Casares Fallas, Manager.

Teléfono: Adrian.Casares@utitec.com

Dedicatoria

A mis padres, Luis y María, por todo su sacrificio y todo el apoyo que me brindaron durante este recorrido, por sus consejos y su amor, que me motivaron a seguir adelante cada día.

A mis abuelas, abuelo, tíos y tías, y mi hermano por ayudarme y apoyarme en cada momento que lo necesité.

A todos aquellos amigos, amigas y familiares que me brindaron su apoyo y aportaron su granito de arena a lo largo de este proceso.

Agradecimiento

A los profesores del TEC por su brindarme todo el conocimiento que adquirí a lo largo de la carrera, por su dedicación y compromiso en la formación de profesionales en este país.

Especialmente al profesor, Ing. Alberto Garro Zavaleta, quien fue mi guía a lo largo de este proyecto por el conocimiento y apoyo que me brindó.

A los compañeros de la empresa Utitec Medical S.A., en especial a aquellos del departamento de mantenimiento por su amabilidad y apoyo durante el tiempo que estuve realizando este proyecto.

A mis compañeros de carrera, por apoyarme y hacer más simple mi paso por el TEC.

Índice.

Resumen	11
Abstract.....	12
1. Introducción.....	13
1.1. Aspectos generales de la empresa.....	14
1.2. Misión y visión	15
1.3. Políticas de calidad	15
1.4. Valores	15
1.5. Descripción del proceso productivo.....	15
1.6. Organigrama	17
2. Definición del proyecto	18
2.1. Justificación del Proyecto	19
2.2. Planteamiento del problema.....	20
2.3. Objetivos.....	20
2.4. Metodología	20
2.5. Cronograma.....	23
3. Marco Teórico	24
3.1. Generalidades.....	25
3.2. Conceptos básicos.....	26
3.3. Sistemas de aire comprimido.....	27
3.3.1. Caudal	28
3.3.2. Presión de trabajo	31
3.3.3. Compresores de tornillo.....	32
3.4. Consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos.....	34
3.5. Fugas en el sistema de aire comprimido	34
3.5.1. Estimación del porcentaje de fugas	35

3.5.2.	Detección de fugas.....	37
3.6.	Calidad de aire comprimido: Norma ISO 8573-1:2010.....	37
3.7.	Tratamiento del aire comprimido.....	39
3.7.1.	Secadores	41
3.7.2.	Filtros.....	42
4.	Sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A.	43
4.1.	Estado Actual de instalación de aire comprimido.....	44
4.1.1.	Equipos que conforman de red de aire comprimido.....	44
4.1.2.	Usuarios que alimenta la red de aire comprimido	45
4.2.	Estimación de la demanda de diseño actual del sistema de aire comprimido.	49
4.3.	Estimación de la demanda artificial	55
4.4.	Estimación de pérdidas por fugas	55
4.5.	Estimación del consumo de diseño actual del sistema.....	57
4.6.	Costos del sistema de aire comprimido.	57
4.6.1.	Costos de operación del compresor	57
4.6.2.	Costos por demanda artificial	58
4.6.3.	Costos por fugas	59
4.7.	Diagnóstico de la red de aire comprimido actual.....	60
4.7.1.	Consumo actual del sistema de aire comprimido.	61
4.7.2.	Calidad de aire en la red.	61
4.7.3.	Reguladores de presión.....	62
4.7.4.	Análisis de fugas en el sistema.	63
5.	Rediseño de la red de aire comprimido de la empresa Utitec Medical S.A.	64
5.1.	Disminución de la cantidad de fugas.	65
5.1.1.	Reparación, selección y costos de componentes.	66

5.1.2.	Porcentaje de fugas.....	67
5.2.	Disminución de la demanda artificial del sistema por medio de conjuntos filtro-regulador de presión.	68
5.3.	Reajuste de calidad de aire según norma ISO 8573-1.	69
5.4.	Estimación del caudal de diseño del sistema de aire comprimido.....	70
5.4.1.	Selección de sistema de control.....	72
5.5.	Estimación de la presión mínima de trabajo.....	73
6.	Análisis de viabilidad económica del rediseño de la red de aire comprimido.	74
6.1.	Análisis de viabilidad económica sobre la disminución de fugas.....	75
6.2.	Análisis de viabilidad económica sobre la disminución de la demanda artificial.	76
6.3.	Análisis de viabilidad económica sobre la aplicación del controlador de compresores Ingersoll Rand modelo X4I.	78
6.4.	Calidad del aire comprimido.....	79
7.	Conclusiones.....	80
8.	Recomendaciones	83
9.	Bibliografía.....	85
10.	Anexos.....	88
	Anexo 1. Demanda artificial: diferencia de presión.....	89
	Anexo 2. Conjuntos filtro-regulador de presión del sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A.....	90
	Anexo 3. Resumen de costos de los repuestos para la reparación de fugas.	91
	Anexo 4. Resumen de costos de conjuntos regulador	91
	Anexo 5. Resumen de costos por implementación de calidad de aire.....	91
	Anexo 6. Caída de presión de filtros y secador.....	92
11.	Apéndice.....	93
	Apéndice 1. Consumo de aire para cilindros neumáticos.....	94

Apéndice 2. Cotización de detección de fugas	95
Apéndice 3. Informe por parte de PYASA S.A. respecto a las fugas detectadas en el sistema de aire comprimido.....	97
Apéndice 4. Reparación de fugas	119
Apéndice 5. Reguladores de presión.	123
Apéndice 6. Cotización de secador y filtros.	124
Apéndice 7. Controlador de compresores de aire.....	125

Índice de Figuras

Figura 1.1. Ubicación geográfica de la empresa Utitec Medical S.A.	14
Figura 1.3. Proceso Productivo de la empresa Utitec Medical S.A.....	16
Figura 1.4. Organigrama Utitec Medical S.A.....	17
Figura 3.1. Configuración general de una red de aire comprimido.....	28
Figura 3.2. Compresor de tornillo.	33
Figura 3.3. Clases de calidad para aire comprimido según ISO 8573-1:2010.	38
Figura 4.1. Diagrama de equipos que componen el sistema de aire comprimido.	45
Figura 4.2. Diagrama de usuarios a los alimenta el sistema de aire comprimido.	49
Figura 5.1. Ubicación de filtros y secador en el rediseño del sistema de aire comprimido.	70

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Cronograma.	23
Tabla 3.1. Factor de Fugas.....	30
Tabla 4.1. Máquinas usuarias del sistema de aire comprimido.....	47
Tabla 4.2. Actividad de los usuarios de aire comprimido durante el año más productivo del 2019.	51
Tabla 4.3. Caudal de aire comprimido consumido por los usuarios STGRT-A #1, #2 y #3.	52
Tabla 4.4. Demanda máxima correcta del sistema de aire comprimido.....	53
Tabla 4.5. Demanda máxima actual del sistema de aire comprimido.	54

Tabla 4.6. Tiempos de carga y descarga del compresor sin ningún usuario trabajando.	56
Tabla 4.7. Costos actuales de operación del compresor de aire.	58
Tabla 4.8. Costos por demanda artificial.	59
Tabla 4.9. Costo anual por perdidas en fugas totales.	60
Tabla 4.10. Costo anual por perdidas en fugas excedentes.	60
Tabla 5.1. Resumen de la información recopilada por la empresa PYASA S.A. acerca de los componentes con fugas.	66
Tabla 5.2. Costos asociados a un 18,4% de fugas en el sistema de aire comprimido.	68
Tabla 5.3. Demanda máxima del sistema de aire comprimido.	71
Tabla 5.4. Costo anual de operación del compresor de aire al trabajar 17,5 horas diarias durante 6 días a la semana.	72
Tabla 6.1. Análisis financiero de la disminución de fugas en el sistema de aire comprimido.	76
Tabla 6.2. Análisis financiero respecto a la eliminación de la demanda artificial en el sistema de aire comprimido.	77
Tabla 6.3. Análisis de viabilidad financiero sobre la inversión en un controlador de compresores Ingersoll Rand modelo X4I.	78

Resumen

Utitec Medical S.A. es una empresa dedicada a la manufactura de componentes médicos y semiconductores, para lo cual emplean diversas máquinas que emplean aire comprimido. Pero el sistema actual de la empresa es muy antiguo y fue diseñado para operaciones que difieren de las realizadas actualmente por Utitec Medical S.A.

Debido a esto, a lo largo de este proyecto se vieron tres puntos claros: análisis, rediseño y viabilidad económica del sistema de aire comprimido.

Primeramente, se realizó un análisis y diagnóstico del sistema actual de la empresa, respecto al porcentaje de fugas presente, la demanda artificial que posee, la demanda máxima presente en los picos de producción en la empresa, y los costos asociados actuales a cada uno de estos puntos. Además, se efectuó un análisis de la calidad de aire presente en el sistema y se comprobó que este no cumplía con el tipo de industria de la empresa Utitec Medical, según la norma ISO 8573-1:2010.

Posteriormente, se realizó el rediseño del sistema de aire comprimido, planteando los cambios y reparaciones que se deben hacer en la red de aire comprimido para disminuir el porcentaje de fugas hasta un 10%, eliminar la demanda artificial presente en la línea, implementar un sistema de control de los compresores que permita que estos suplan la demanda máxima de la planta en picos de producción y disminuya sus tiempos de operación.

Por último, se evaluó todo el rediseño planteado para el sistema de aire comprimido por medio de un análisis de viabilidad económica, basada en indicadores financieros como el VAN, TIR y el tiempo de retorno de la inversión.

Palabras claves: Aire comprimido, industria médica, industria de semiconductores, calidad de aire, demanda máxima, fugas de aire comprimido, demanda artificial.

Abstract

Utitec Medical S.A. is an enterprise dedicated to medical and semiconducting components manufacturing, for which they use several air compressed requiring machines. However, this air compressed system was installed several year ago when requirements were completely different, than the company need now.

The three main points during the investigation were directed to analysis, redesign and economical viability of the air compressed system are paramount in this project.

Primarily an analysis and diagnostics of the company's actual system was made regarding actual leaks percentage, high pressure on the system, maximum demand during production peaks and associated costs to each one of this abovementioned.

Plus, an analysis of the quality of the air present on the system, and it showed that the air was not up to ISO 8573-1:2010, which is required by Utitec Medical S.A enterprise.

The air compressed system was completely redesign, scheduling the changes and repairs that need to be done to at least reduce to a value of at least 10% of the leaks, the elimination of the high-pressure present on the system, and to setup a compressors control system that a load the compressors to supply the maximum demand during production peaks and there for reducing operation times.

The complete redesign system was evaluated using an economical viability analysis, based on financial indicates like NPV, IRR and time-to-revenue.

Key words: compressed air system, medical industry, semiconductors industry, air quality, maximum demand, compressed air system leaks, high pressure.

1. Introducción

1.1. Aspectos generales de la empresa

La empresa Utitec Medical SA, nació en el año 2005 pero con el nombre de Point Technologies S.A., y durante sus inicios se encargaba de la manufactura de subensambles mecánicos. Tiempo después, su producción y actividades se fueron extendiendo, por lo cual se terminó vendiendo a Veridam Inc; esta última en 2015 terminó vendiéndole el dominio de la industria a Utitec Inc, una empresa de origen estadounidense, ubicada en Waterdown Connecticut. Desde este entonces la llamó de la manera que se le conoce actualmente, Utitec Medical S.A. Actualmente, la empresa se encuentra ubicada en la Coyoil Free Zone (Zona Franca del Coyoil) en la provincia de Alajuela, y cuenta con un área de 2193 m².

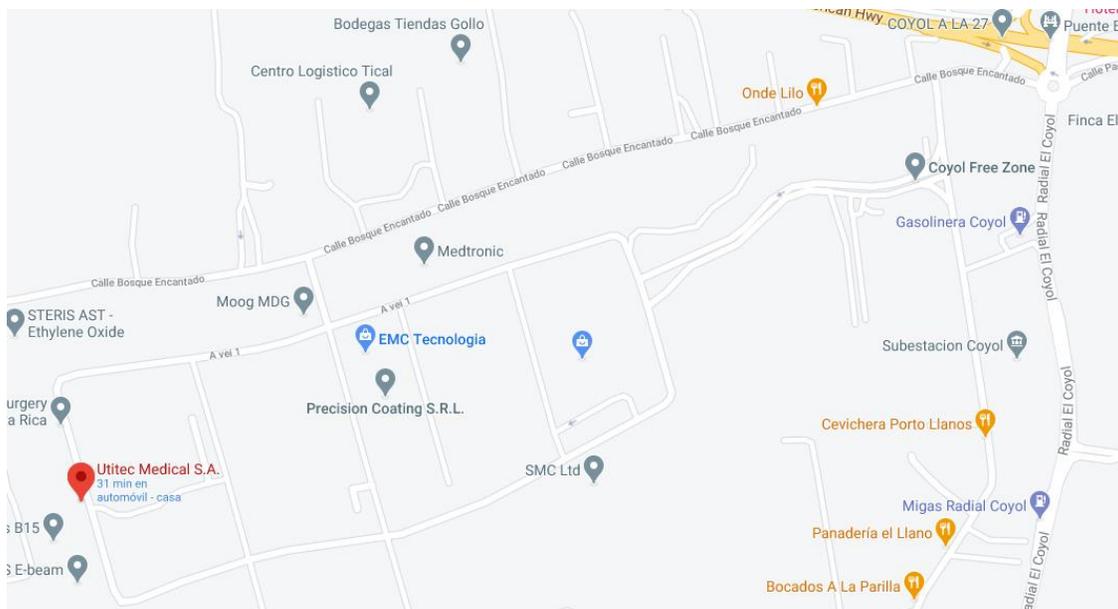


Figura 1.1. Ubicación geográfica de la empresa Utitec Medical S.A.

Fuente: Google Maps 2020.

En la actualidad la empresa se encarga de fabricar piezas mecánicas para la industria médica, comercial y electrónica. Cuenta con diversas líneas de producción, para asegurar los mejores procesos y calidad en sus productos. En el área de mecanizado Utitec Medical S.A. cuenta con tornos de tipo convencional y CNC, fresadoras convencionales y CNC, cortadoras láser, entre otras. Esta empresa, además, cuenta con un cuarto limpio especialmente para las áreas de medicina y electrónica, por lo que es de clase ISO 8. Los productos manufacturados son empleados en diversas aplicaciones como placas de circuitos, implantes dentales, rehabilitación médica, relleno de implantes mamarios,

aplicaciones quirúrgicas, entre otros; por ello el sistema de gestión de calidad se rige bajo las normas ISO-9001 e ISO-13485.

1.2. Misión y visión

La misión de la empresa es ser líder nacional de manufactura de productos metálicos de precisión y socio preferido de nuestros clientes. Asimismo, alcanzar niveles de excelencia operacional (Utitec Medical S.A., s.f.).

Mientras su visión es, ser conocido como una de las mejores empresas suplidoras de componentes micromaquinados, semiconductores y subcontratistas de ensambles médicos de Costa Rica (Utitec Medical S.A., s.f.).

1.3. Políticas de calidad

Utitec Medical S.A. es una organización innovadora y con capacidad de respuesta enfocada en suministrar componentes críticos de alta calidad para las industrias médicas y de semiconductores. Además, esta empresa monitorea y mejora continuamente la efectividad de sus procesos y de su Sistema de Calidad, con el fin de asegurar la satisfacción de sus clientes y el cumplimiento de sus metas (Utitec Medical S.A., s.f.).

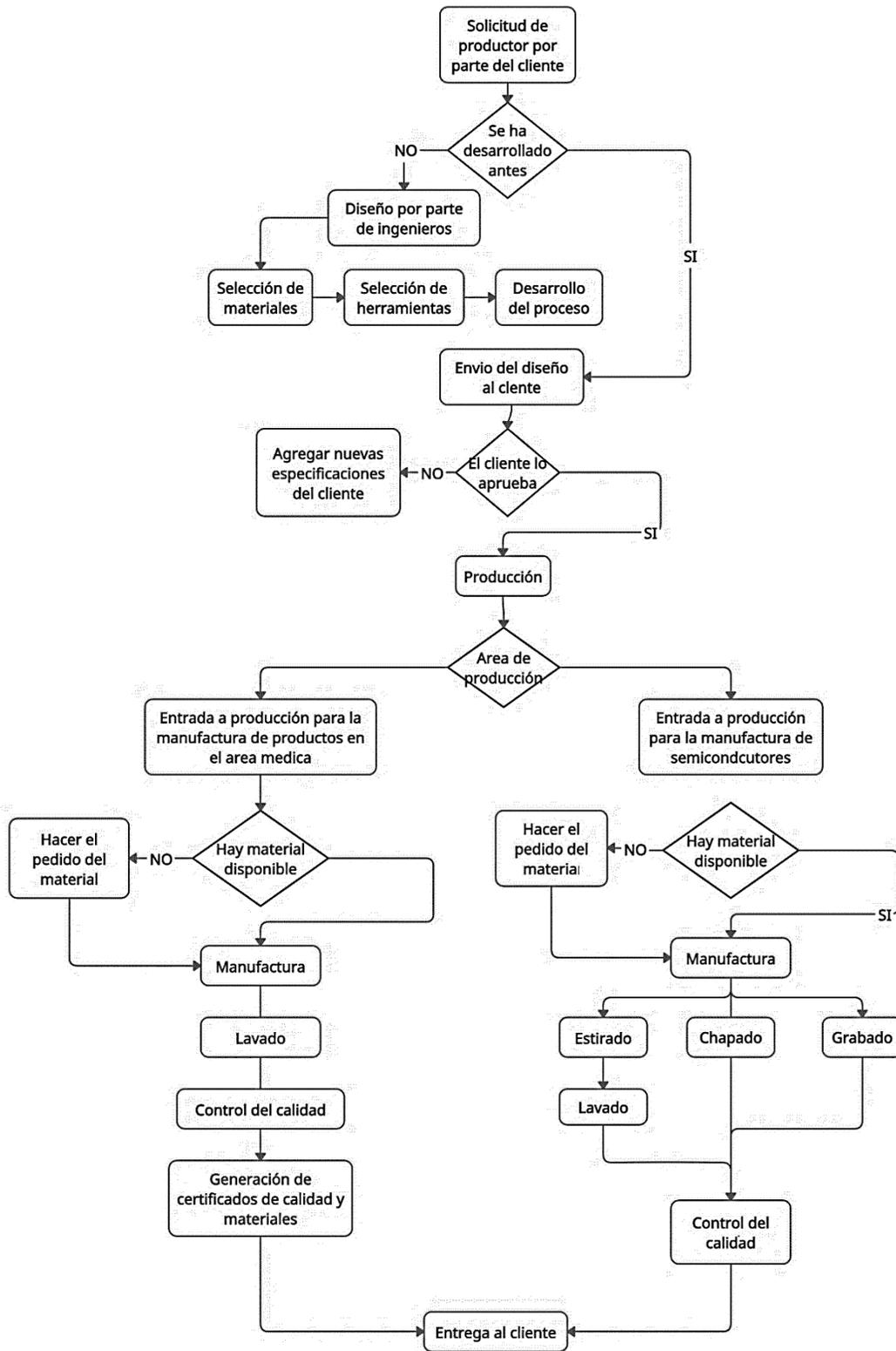
1.4. Valores

Los valores que distinguen a Utitec Medical S.A. son la responsabilidad, integridad, honestidad, transparencia y cultura, respeto, excelencia y pasión.

1.5. Descripción del proceso productivo

La empresa Utitec Medical S.A. al manufacturar principalmente piezas para las industrias médica y electrónica; tiene dos áreas definidas, las cuales son el área médica donde se producen piezas geométricas mecanizadas y el área de semiconductores donde se desarrollan productos de alambre, para la manufactura de agujas de sonda, de prueba de semiconductores, entre otros.

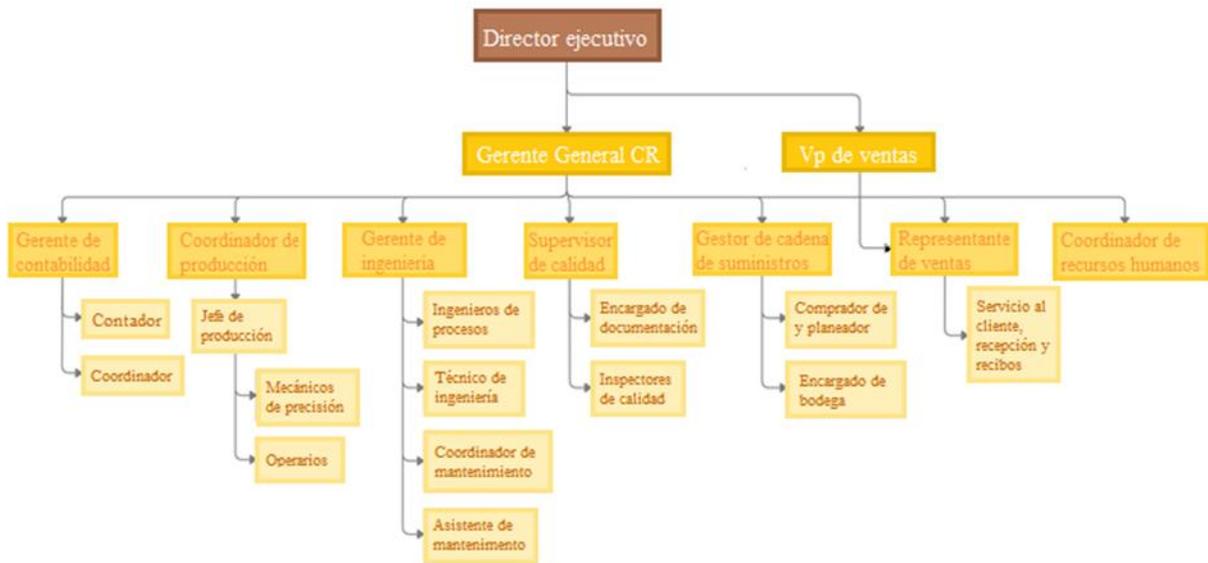
El proceso de producción en ambas áreas es básicamente el mismo, como se muestra en la figura 2.2, pero la manufactura en el área médica depende de la pieza a desarrollar, mientras que en el área de semiconductores, sigue los pasos de estirado, corte, plateado y desgaste.



PhotoScape

Figura 1.2. Proceso Productivo de la empresa Utitec Medical S.A.
Fuente: Elaboración propia.

1.6. Organigrama



PhotoScape

Figura 1.3. Organigrama Utitec Medical S.A.
Fuente: Elaboración propia.

2. Definición del proyecto

2.1. Justificación del proyecto

Los sistemas de aire comprimido han pasado a ser un tipo servicio en las industrias, a como son el agua y la electricidad, gracias a su flexibilidad, fiabilidad y su capacidad de almacenamiento. A pesar de esto, estos sistemas representan de las peores maneras de movilización de energía, puesto que solo el 8% de la energía aplicada por el compresor es transformada en trabajo sobre el aire comprimido que saldrá, el resto de la energía es transformada en calor, al ser la compresión un proceso termodinámico. Asimismo, es importante recalcar que las redes de aire comprimido representan hasta un 10% de la facturación eléctrica de la empresa (Torrent, 2014). Debido a lo anterior, el control sobre estos sistemas y la seguridad con que este trabaja de manera eficiente son un pilar fundamental para las empresas que los utilizan.

La empresa Utitec Medical cuenta con una red de aire comprimido empleada en tornos, fresadoras, erosionadoras, limpieza de piezas manufacturadas, entre otros usuarios; pero, este sistema fue heredado del edificio y propietario anterior de la empresa, por lo cual no está diseñado para la planta actual de Utitec Medical S.A. El estado actual del sistema es desconocido, no hay datos sobre la antigüedad, la demanda de sistema, la curva de demanda horaria del compresor y al no haber planos se desconoce la distribución de tuberías. Es probable que actualmente el sistema cuente con que los compresores se encuentren trabajando una carga mayor a la que estos pueden suplir, ello provocaría un gasto de energía innecesario.

Además, la calidad del aire no está en buenas condiciones, el sistema presenta condensados, estos dejan humedad en las máquinas en las cuales se emplea el aire y en las piezas se limpian. Asimismo, la red de tuberías al ser antigua, podría presentar corrosión y otros contaminantes, ello afecta la calidad del aire, así como desgastes, que provocarían fugas a lo largo de la red. Tras todo lo anterior mencionado, la planta amerita una evaluación del sistema actual y posteriormente un rediseño para suplir las necesidades de la planta.

Un nuevo diseño de la red de aire comprimido abre las puertas para optimizar la energía utilizada por el compresor de aire, por medio de una optimización del sistema. Además, con este rediseño se podrá tener un conocimiento completo del sistema, lo cual ayudará a que

en un futuro se le pueda dar el mantenimiento adecuado al sistema, y no solo sea uno de tipo correctivo como lo es actualmente.

Por último, por medio del rediseño del sistema se podrá contar con una estandarización de la calidad de aire que se obtendrá del sistema, pues como se indicó antes, cuenta con problemas de humedad. Este nuevo diseño estará basado en la norma ISO 8573-1, este establece la calidad de aire que se debe poseer, según el uso dado al sistema.

2.2. Planteamiento del problema

¿Cumple el diseño actual de la red de aire comprimido de la empresa Utitec Medical, S.A. con los debidos factores técnicos, energéticos y de calidad que la empresa amerita?

2.3. Objetivos

Objetivo general

Rediseñar la red de distribución aire comprimido en la empresa Utitec Medical, S.A. para que cumpla las expectativas de uso de factores técnicos, energéticos y de calidad.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual del sistema de aire comprimido en área de producción, con base en la calidad del aire basado en la norma ISO 8573-1, red de distribución y consumo de energía.
2. Rediseñar la red de distribución de aire comprimido que cumpla con los requerimientos de calidad de la norma ISO 8573-1, y que además disminuya los costos energéticos.
3. Evaluar la propuesta de rediseño planteada por medio de un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto.

2.4. Metodología

Para realizar el rediseño de la red de distribución de aire comprimido, primero se debe conocer el sistema actual de la empresa, tomar información y evaluarla para desarrollar un nuevo sistema que se acople a las necesidades de los procesos y trabajo de manera óptima.

1. Recolección de información de la empresa

Para iniciar el rediseño del sistema de aire comprimido primero se debe conocer la empresa en la cual se va a implementar, así como los productos que esta fabrica, el proceso por el que pasan y qué maquinas son empleadas durante dicho proceso. Todo lo anterior para comprender cuál es el fin del sistema de aire comprimido y todo lo que depende de este.

2. Recolección de información sobre el sistema de aire comprimido

Una vez conocidos los procesos y productos que utilizan el sistema de aire comprimido, se debe iniciar con el reconocimiento del sistema. Se debe realizar un levantamiento del sistema actual, recolectar datos sobre los equipos y componentes de la red de aire comprimido, y realizar un levantamiento del sistema actual por medio de un boceto que lo represente. Además, se debe recolectar información, como el consumo y factor de uso de cada uno los usuarios, para así conocer la demanda actual de la planta y proceder a encontrar la demanda artificial a la que está sometido el sistema. Por último, se deben tomar datos de carga y descarga del compresor para, posteriormente, hacer el análisis de fugas. Igualmente, debe tomarse medición de los parámetros actuales de trabajo del sistema.

3. Evaluación del sistema actual

Con la información adquirida sobre el sistema actual y sus elementos, se debe pasar a realizarle una evaluación, basada en un análisis técnico y de consumo de energía respecto al estado de las tuberías demanda artificial y porcentaje de fugas. Además, realizar un análisis con base en los estándares de calidad de aire establecidos por la norma ISO 8573-1:2010 y los equipos, el consumo de energía del sistema y la calidad de aire entregada.

4. Rediseño de la red de aire comprimido

Con base en la información obtenida de la evaluación, se hará un nuevo diseño del sistema, para que cumpla con los requerimientos necesarios en cada uno de los procesos o máquinas que utilizan aire comprimido, para que la red trabaje de la manera más eficiente y cumpla con la norma ISO 8573-1.

5. Estudio de viabilidad

Terminado el nuevo diseño de la red, se debe realizar una comparación con el sistema anterior y las mejoras obtenidas con respecto al consumo de energía y eficiencia. Y

posteriormente un análisis económico para determinar la viabilidad del proyecto, tomando en cuenta la cotización del nuevo diseño.

2.5. Cronograma

Tabla 2.1. Cronograma.

Fuente: Elaboración propia.

Actividad	MES	Febrero		Marzo				Abril				Mayo				Junio		
	FECHA	15-19	22-26	1-5	8-12	15-19	22-26	5-9	12-16	19-23	26-30	3-7	10-14	17-21	24-28	31-4	7-11	14-18
	SEMANA ITCR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Coordinador informa a estudiantes el profesor guía asignado y entrega cronograma de la práctica.																	
2	Coordinador informa a profesores estudiante asignado.																	
3	Inicio de práctica.																	
4	Planteamiento de la estructura del trabajo escrito y recolección de información de la empresa y desarrollo del proyecto																	
5	Desarrollo del proyecto: justificación, objetivos, planteamiento del problema, metodología...																	
6	Entrega de primer avance al profesor guía: Estudiante debe entregar al profesor guía el anteproyecto, los datos de la empresa y el cronograma de ejecución. El anteproyecto debe contener revisados los objetivos y la metodología.																	
7	Primer reunión con profesor guía																	
8	Recolección de informació sobre los equipos y componentes que posee el sistema de aire comprimido																	
9	Realizar un croquis del sistema actual de aire comprimido																	
10	Recolección de datos de consumo y factor de uso de cada uno de los usuarios de la red de aire comprimido																	
11	Cálculo de la demanda máxima actual y demanda artificial del sistema																	
12	Coordinador da a conocer la asignación de profesores lectores. El reglamento vigente establece que la participación de los profesores lectores es a partir de la semana 13.																	
13	Entrega de segundo avance a profesor guía																	
14	Evaluación de los equipos y y componentes del sistema de aire comprimido																	
15	Selección y cotización del secador y filtros del sistema de aire comprimido																	
16	Recolección de datos sobre carga y descarga del compresor de aire para el porcentaje de fugas.																	
17	Segunda reunion profesor guía.																	
18	comprimido																	
19	comprimido																	
20	Evaluación de la cantidad de fugas																	
21	Entrega de tercer avance a profesor guía																	
22	Detección de fugas a lo largo del sistema																	
23	Rediseño del sistema: estimación del caudal de diseño y presión mínima de trabajo.																	
24	Selección de conjuntos filtro-reguladores de presión																	
25	Estudiante entrega el documento en digital como borrador del informe final al profesor guía y los lectores																	
26	Profesor guía y profesores lectores devuelven al estudiante el borrador del informe final revisado.																	
27	Análisis de viabilidad económica.																	
28	Profesor guía solicita por correo a estudiante resumen ejecutivo, lo revisa y aprueba.																	
29	Estudiante envía por correo electrónico a profesores lectores resumen ejecutivo aprobado.																	
30	Revisión de filólogo																	
31	El estudiante coordina con el profesor guía y los profesores lectores la fecha y hora de la exposición. La presencia del profesor guía en la exposición es opcional. La exposición debe realizarse los días martes o miércoles de la semana 17.																	
32	Estudiante entrega a coordinador de trabajo final de graduación 2 discos con el proyecto final, carta de entendimiento de la biblioteca, carta de recibido de la empresa y la carta del																	
33	Estudiante entrega a coordinador de trabajo final de graduación 2 discos con el proyecto final, carta de entendimiento de la																	
34	Profesor guía entrega al coordinador de trabajo final de graduación su evaluación del estudiante asignado.																	
35	coordinará durante martes y miércoles de esa semana, usando herramientas que permitan una exposicion no presencial). Los profesores del jurado entregan al coordinador la evaluación respectiva																	
36	El coordinador publica la nota final de la práctica profesional. (se podría extender hasta la semana 20)																	

Microsoft Excel

3. Marco Teórico

3.1. Generalidades

Los sistemas de aire comprimido son muy comunes en la vida cotidiana, por ejemplo, el ser humano posee dos compresores de aire que le ayudan a respirar, pues se estima que los pulmones llegan a tratar hasta 100 litros de aire por minuto. En la industria Las redes de aire comprimido son utilizadas en diversos procesos de manufactura o bien sirven como fuente en diversas actividades en empresas de manufactura y, en muchos casos, son fuente de energía para muchas máquinas y procesos. Por su versatilidad, los sistemas de aire comprimido han llegado a superar a otras fuentes de energía como lo son el gas natural y la electricidad (Yuyan, 2006).

La materia prima que alimenta los sistemas neumáticos es el aire atmosférico o aire, pues el aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión. Según Carnicer (1994) el aire es un gas incoloro, inodoro y que está compuesto por una mezcla de gases, los cuales son 78% Nitrógeno, 21% Oxígeno y 1% de otros gases y la presión atmosférica dependerá de la altura, temperatura y humedad relativa, la cual a condiciones estándar establecida por ISO R554 es de 1,013 bar a una temperatura de 20°C y humedad relativa de 65%.

Dentro de las principales ventajas de los sistemas de aire comprimido se encuentran, según Carnicer (1994):

- Posee una alta disponibilidad al ser su fuente de energía aire impulsado por medio de un compresor.
- El aire, ya generado en el compresor, se puede almacenar en un depósito, los cuales pueden alimentar a las líneas de la red de distribución, por lo que no es necesario que el compresor esté continuamente funcionando.
- En caso de una fuga no habrá contaminación o explosiones, ya que no es toxico ni inflamable
- El tratamiento del aire comprimido es simple, solo es necesario del uso de filtros para contener impurezas y humedad.
- Posee un bajo costo de mantenimiento y alta capacidad de regulación y control.

Pero para equilibrar un poco la balanza, se debe conocer una desventaja que lo delimita y convierte en sistemas de alto costo. Los compresores de aire consumen mucha energía, una red de aire comprimido puede llegar a abarcar hasta un 10% de la facturación eléctrica

mensual de la empresa (Grupo ICE, 2018); esto sumado a fugas fuera de lo normalizado corresponde a un poco más del 5%, lo cual hace que esta fuente de energía sea muy cara.

3.2. Conceptos básicos

El aire es un fluido, por lo que para analizarlo primero se deben comprender ciertos conceptos básicos que lo definen y según Carnicer (1994) cuando se habla de sistemas de aire comprimido, se debe iniciar con las magnitudes fundamentales que este comprende, como lo son:

- Caudal: es el volumen de fluido que pasa por una determinada sección transversal de conducto por unidad de tiempo. Es medida en metro cúbico por segundo (m^3/s), pero en términos de sistemas de aire comprimido se expresa en Nm^3 /min , NI/min , CFM , $ACFM$ o $SCFM$.). Los Nm^3 /min , NI/min y $SCFM$ son valores de caudal normalizados, es decir que es el flujo volumétrico se encuentra a 1 Bar, 36% HR y $75^\circ F$. Mientras que el caudal en $ACFM$ es el flujo volumétrico en CFM actual, y con actual hace referencia a que se tomaron en cuenta todos los factores a los cuales está expuesto el fluido según el lugar en el que está ubicado.
- Presión: es el cociente obtenido al dividir una fuerza, entre el área de la superficie sobre la que es aplicada dicha fuerza, es medida en Pascales (Pa) (Carnicer, 1994). Existen tres tipos de presión:
 - Presión atmosférica: como se mencionó antes esta depender de la altura, puesto que está dada por el peso del aire sobre la superficie de la tierra. Al nivel del mar es de 101 325 Pa, equivalente a una atmósfera (1 atm) o un bar (1 bar).
 - Presión relativa: también es conocida como presión manométrica, al ser medida con un manómetro. Es la presión ejercida sobre una superficie, pero al momento de medirla no se toma en cuenta la presión atmosférica.
 - Presión absoluta: es la suma de la presión atmosférica y la presión relativa. En los sistemas de aire comprimido se emplea la presión de trabajo, la cual es la presión manométrica del compresor y los usuarios del sistema.
- Punto de rocío: determina la temperatura a la cual el aire llega al punto de saturación, es decir el punto exacto de temperatura en el que el aire se convierte de aire saturado. No se producen condensaciones si la temperatura del aire se mantiene por encima del punto de rocío.

- Pérdidas de presión: es la pérdida de energía que sufre el aire a lo largo de la red de distribución, producto de diferentes obstáculos o fugas a lo largo de esta.
- Ley de gases ideales: el aire es un gas ideal, en conjunto con el oxígeno, nitrógeno, helio, hidrógeno, entre otros. Todo gas se acerca al estado ideal conforme su temperatura crece y su presión disminuye, mientras se va alejando de aquel estado en el cual puede condensarse y convertirse en líquido. En los sistemas de aire comprimido la ley de gases ideales se demuestra por medio de la relación entre el caudal y la presión, donde si la presión aumenta el caudal disminuye, y si la presión disminuye, aumenta el caudal.
- Demanda artificial: consumo de aire adicional causado por una presión excesiva del sistema. Por cada 2 psi de presión extra en el sistema, los costos de operación aumentan un 1%. (Office of Industrial Technologies, 1998).

3.3. Sistemas de aire comprimido

El principal objetivo de todo sistema de aire comprimido es entregar el aire limpio y seco a presión constante, supliendo las necesidades de cada uno de los usuarios del sistema, al menor costo posible. Pero para poder cumplir con esto se debe tener un diseño adecuado que permita obtenerse la mayor eficiencia del sistema. (CAGI, 2021)

Las redes están compuestas por un sistema de aire comprimido y se dividen en dos partes, el suministro y la demanda. En el suministro se encuentra la compresión, comprendida compuesta por el compresor, controladores, depósitos y equipo de tratamiento del aire (filtros, secadores, tanques de almacenamiento, entre otros). En la demanda, se encuentra el cabezal principal, con las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricantes, equipo neumático, entre otros. Esto se puede entender de mejor manera en la figura 3.1.

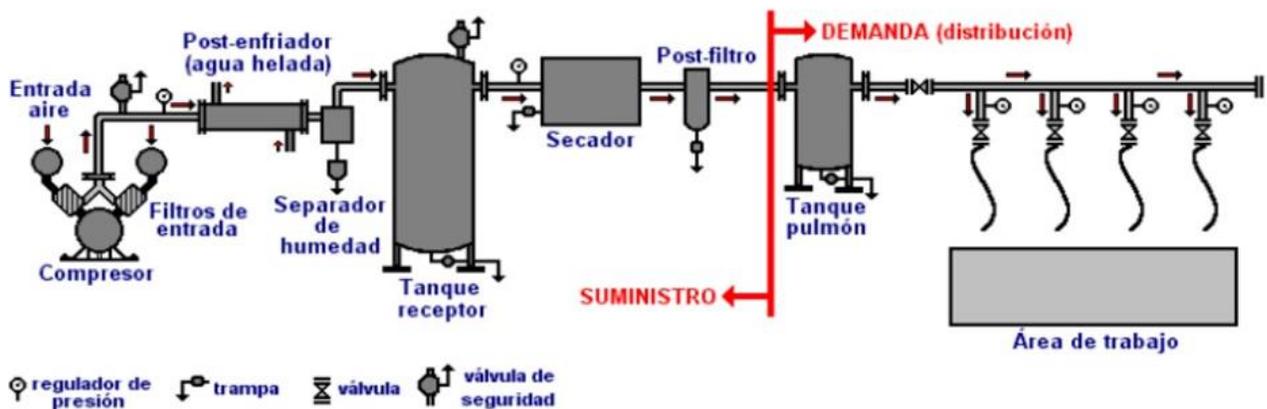


Figura 3.1. Configuración general de una red de aire comprimido.

Fuente: Diseño de redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero. 2016.

Una red de aire comprimido eficiente debe tomar en cuenta como mínimo el caudal, la presión de trabajo, la calidad de aire, el tipo y cantidad de compresor, la distribución del sistema y sus accesorios y por último la eficiencia.

3.3.1. Caudal.

Para lograr dimensionar el compresor y los accesorios que requiere el sistema primero se debe conocer cuál es el flujo volumétrico que debe suplir la red de aire comprimido, es decir conocer la demanda o consumo. Al realizar el diseño final del sistema, se debe primero calcular el caudal de diseño, el cual va a depender del consumo de los usuarios y diversos factores como de utilización, ampliación, entre otros.

Según Carnicer (1994) cada uno de los usuarios de la red posee su propio consumo que está establecido por el fabricante, a esto se le llama consumo específico, el cual también establece la presión de trabajo de dicho usuario.

Pero el consumo específico al está dado por el fabricante no presenta las condiciones actuales en las que trabaja el aire comprimido empleado por el usuario, ya que el aire al ser un fluido se puede ver influencia por aspectos como la temperatura, presión atmosférica y la humedad relativa. Es por esto que se debe manejar el consumo de cada usuario de manera actual, es decir bajo las condiciones actuales de trabajo.

Los fabricantes de las diversas máquinas que emplean energía neumática presentan el caudal en metros cúbicos por minuto estándar (Nm³/min), litro por minuto estándar (Nl/min), pies cúbicos por minuto estándar (SCFM), donde la palabra estándar hace

referencia a que la presión e trabajo es igual 14,7 bar, o bien puede ser presentada en pies cúbicos por minuto (CFM) y establecer una presión de presión de trabajo específica para el sistema. Los fabricantes de compresores de aire emplean usualmente el sistema inglés para medir el caudal, es decir en pies cúbicos por minuto (CFM), por lo que lo usual es que para el cálculo del consumo de cada usuario se emplee el sistema inglés (Garro, 2020).

Pero, el caudal máximo del sistema es la suma del consumo de cada uno de los usuarios, lo cual debe suponer que todos los usuarios se encuentran bajo las mismas condiciones, es decir el caudal de cada usuario está a la misma presión de trabajo, por lo que consumo de los usuarios se debe expresar en SCFM. Pero para el dimensionamiento del compresor de aire, también es necesario tomar en cuenta otros factores que afectan el aire, como lo son usuario la temperatura y la humedad relativa, por lo cual el caudal máximo se debe expresar finalmente en ACFM, lo que es equivalente a pies cúbicos por minuto actuales.

Para poder obtener los SCFM y los ACFM de cada usuario se deben seguir los siguientes pasos dependiendo en que unidad se presente el caudal:

- Si el fabricante presenta el consumo específico en Nm^3/min o NI/min al encontrarse en condiciones estándar se puede realizar la conversión física común a SCFM, es decir pasar ya sea de metros cúbicos por minuto a pies cúbicos por minuto, o bien de litros por minuto a pies cúbicos por minuto, pero los a pies cúbicos por minuto que se obtendrán son en condiciones estándar, es decir SCFM.
- Si el fabricante presenta el consumo específico en CFM y a una presión de trabajo específica, este valor debe convertirse a SCFM, es decir a pies cúbicos por minuto estándar. El aire es considerado como un gas ideal por lo que para convertir el consumo de CFM a SCFM se puede aplicar la ley de gases ideales, presente en la ecuación 3.1.

Ecuación 3.1. Ley de gases ideales.

$$P \times Q = P_s \times Q_s$$

Donde,

P: es la presión absoluta, es decir la presión de trabajo dada por el fabricante (en bar), sumado a presión estándar (1 bar).

Q: Es el consumo específico del usuario, en CFM.

P_s : Es la presión en condiciones estándar, es decir 1bar.

Q_s : Es el consumo del usuario en SCFM

Si se posee el valor de consumo el usuario en SCFM este puede pasarse a su valor en ACFM, por medio de un factor multiplicativo (FM) que toma en cuenta la temperatura, humedad relativa y presión atmosférica del lugar específico en el que opera el usuario.

Además de tomar en cuenta las unidades en las que se debe calcular el caudal máximo, también se debe considerar el factor de uso de los usuarios del sistema de aire comprimido. Es muy poco usual, por no decir que imposible, que en una red de aire comprimido todos los usuarios se mantengan trabajando el 100% del tiempo en el cual el compresor está encendido, o bien que todos estén siendo empleados al mismo tiempo, es decir existe un margen de operación intermitente de los usuarios, a esto se le llama coeficiente de utilización. Este factor va a depender del tiempo de uso del usuario respecto al tiempo de trabajo del compresor de aire, y afectará el consumo específico de cada usuario, ya que el de cada uno de estos es distinto (Carnicer, 1994).

Una vez tomado en cuenta el factor de utilización en el consumo de cada usuario, se puede calcular el caudal máximo del sistema, el cual será la suma del consumo calculado para cada uno, como se muestra en la ecuación 3.2, donde Q es el consumo de cada usuario y se tienen hasta n cantidad de usuarios, y $Q_{m\acute{a}x}$ es el consumo máximo del sistema en ACFM.

Ecuación 3.2. Caudal máximo de aire comprimido requerido por el sistema

$$Q_{m\acute{a}x} = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

Pero para poder hacer el dimensionamiento del sistema, se debe obtener el caudal de diseño, por ello se debe comprender la pérdida de caudal provocado por las fugas. Las fugas son inevitables, por esto, según Garro (2020) hay factores permitidos de fugas según el tipo de tubería que emplee la red, como se muestra en la tabla 5.1.

Tabla 3.1. Factor de Fugas.
Fuente: Elaboración propia.

Tipo de tubería	Factor por fugas
Hierro galvanizado	15%
Cobre	5%
Aluminio	0%

Acero inoxidable	0%
PVC	0%

Además de este factor, se debe considerar el factor por ampliaciones, el cual, según Garro (2020) no supera el 20% del caudal de diseño. Pero sobredimensionar el sistema a un 20% es un gasto energético y de mantenimiento considerable para la empresa que pondrá en marcha la red de aire comprimido. Por esto, aplicar el factor por aplicaciones dependerá de la empresa.

Finalmente, el caudal de diseño del sistema se muestra en la ecuación 3.3.

Ecuación 3.3. Caudal de diseño del sistema de aire comprimido.

$$Q_{diseño} = Q_{máx}(f_f + f_a + 1)$$

Donde,

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño.

$Q_{máx}$: Caudal máximo.

f_f : Factor por fugas.

f_a : Factor por ampliaciones.

3.3.2. Presión de trabajo.

Esta corresponde a la presión mínima en la que se programa el compresor de aire, por lo cual esta logrará satisfacer cada uno de los usuarios que se encuentran el sistema de aire comprimido.

La presión de trabajo dependerá de múltiples factores, el principal de ellos es el equipo de trabajo en la condición más crítica, ya sea porque posee la mayor presión o por que presenta su mayor caída; es decir se encuentra en la ruta crítica del sistema de aire comprimido. A esta presión se le deben agregar las pérdidas o caídas de presión producidas por los filtros, el secador y el factor de caída de presión máximo permitido del sistema, según Carnicer (1994) en la ecuación 3.4 se muestra cómo se debe realizar el cálculo.

Ecuación 3.4. Presión mínima requerida por el sistema.

$$P_{mín} = (P_{mín\ usuario} + \sum h_{filtros} + h_{secador}) \times (1 + CD)$$

Donde,

$P_{mín\ usuario}$: presión mínima del usuario más alta

$\sum h_{filtros}$: la suma de las caídas de presión causadas por filtros.

h_{secador} : la caída de presión causada por el secador.

CD: Caída de presión máxima del sistema de aire comprimido, se encuentra entre y 2% y 5%.

3.3.3. Compresores de tornillo.

El principal componente en todo el sistema es el compresor, este es su corazón. Un compresor es una máquina que aspira aire a presión atmosférica y lo impulsa a una presión más elevada. Esto lo logra por medio de un motor que debe vencer la resistencia impuesta por el aire a ser comprimido (Torres, 2015). Por lo general, el compresor, en conjunto con el secador y el tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en un lugar llamado cuarto de compresores.

Existen diversos tipos de compresores de aire, los hay de tipo pistón y rotativos, y cada uno de ellos cuenta con sus propias clasificaciones. Pero los principales aspectos en ambos son las presiones a las que se va a trabajar el compresor, y el caudal que se requiere entregar a la presión indicada. La empresa Utitec Medical cuenta con dos compresores de tornillo.

Un compresor de tornillo está compuesto por dos rotores o tornillos, uno de tipo macho y otro de tipo hembra. El macho está conectado al motor del compresor y este arrastra al tornillo hembra para que también gire. El giro se da en sentido contrario un tornillo del otro, al realizar esto generan que se aumente el volumen del sistema en un extremo y se disminuya en el otro.

El aire entra por los lóbulos o dientes de los tonillos, y cuando estos están completamente cargados, se cierra la admisión e inicia el proceso de compresión. El aire se comprime al pasar por medio de los dientes durante el giro de los tornillos. En la admisión o succión es donde hay un mayor volumen, se tiene baja presión, y es donde se da la admisión o succión del aire. Y en la salida o descarga disminuye el volumen y aumenta la presión (Carnicer, 1994).

En la figura 3.2 se muestra la ubicación de la descarga y la succión de este tipo de compresores, así como cada uno del tornillo.

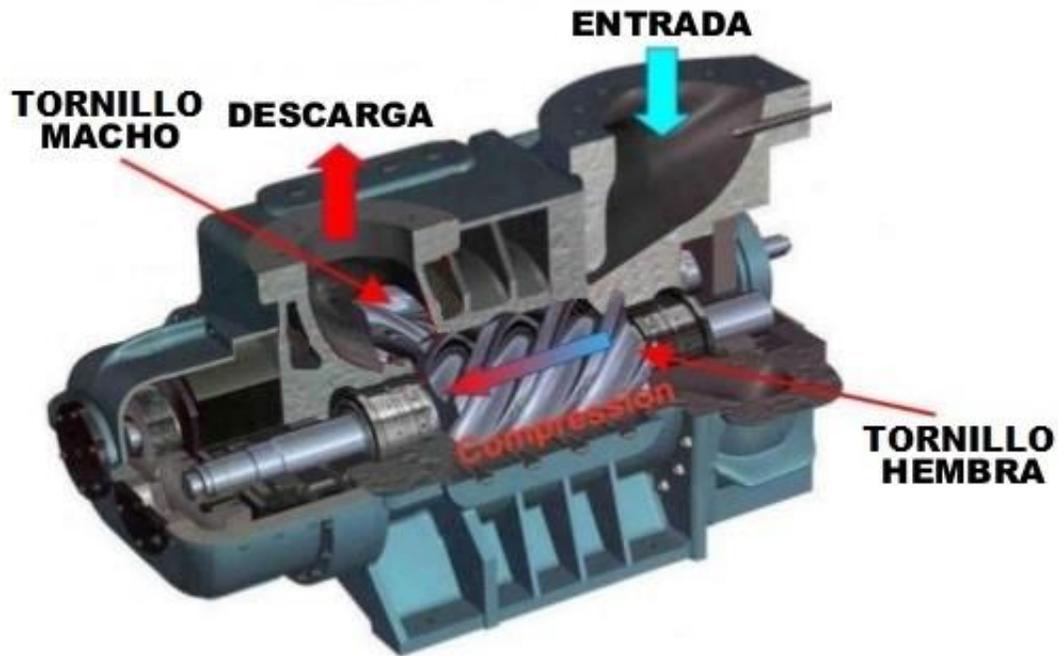


Figura 3.2. Compresor de tornillo.

Fuente: <https://www.slideshare.net/angelui/compresores-de-proceso-a-tornillos>

Es importante conocer el costo anual que producen las redes de aire comprimido, y este costo radica en la cantidad de potencia consumida por el compresor de aire. Por medio de lo establecido por Office of Industrial Technologies, 1998, en el Fact Sheet #9, se puede realizar el cálculo de este costo anual de un compresor de tornillo, como se muestra en la ecuación 3.5.

Ecuación 3.5. Costo por consumo de energía anual del compresor de aire.

$$\text{Costo anual} = \frac{(\text{HP}) \left(\frac{0,746 \text{ HP}}{1 \text{ kW}} \right) (\text{Costo}) (t_{\text{operación}}) (\% \text{plena carga} + \% \text{carga parical} \times \% \text{carga parcial compresor})}{e}$$

Donde:

HP: potencia del motor del compresor, en caballos de fuerza (HP).

Costo: costo de potencia por kWh, en ¢/kWh.

$t_{\text{operación}}$: Tiempo de operación del compresor durante todo el año, en horas (h).

% plena carga: porcentaje de tiempo en el que el compresor trabajó a plena carga.

% carga parcial: porcentaje de tiempo en el que el compresor trabajó a carga parcial.

% carga parcial compresor: coeficiente que depende del tipo de compresor, es tomado en cuenta solo cuando el compresor trabaja también cargas parciales. Para compresores de tornillos este coeficiente varía entre 0,2 y 0,3.

e: eficiencia del motor del compresor.

3.4. Consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos.

Los cilindros neumáticos, mejor conocidos como pistones son elementos que transforman la energía del aire comprimido en movimiento rectilíneo. Existen dos tipos de cilindros, los de simple efecto y los de doble efecto. Un pistón de doble efecto es aquel que realiza un movimiento de traslación en dos sentidos, producto de la fuerza ejercida por el aire comprimido sobre el émbolo (Zamora, 2013).

Cuando una red de aire comprimido posee usuarios de tipo pistón el cálculo de su consumo va a depender de la carrera, el número de carreras y la presión de servicio (Carnicer, 1994). Para los pistones de doble efecto se aplica la siguiente ecuación:

Ecuación 3.6. Consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos.

$$Q = 2(s \times n \times q)[\text{Nl}/\text{min}]$$

Donde:

- Q: consumo de aire total en Nl/min
- q: consumo de aire por centímetro de carrera en Nl/min.
- s: carrera en centímetros.
- n: número de carreras por minuto

3.5. Fugas en el sistema de aire comprimido

Las fugas son una de las fuentes más significativas de gasto energético en los sistemas de aire comprimido, y si bien dependiendo del tipo de tubería que comprenda el sistema, habrá un porcentaje asociado, como lo es en el caso de las tuberías de hierro galvanizado, estas pueden representar hasta un 15% de porcentaje de fugas; no todas las fugas se presentan en las tuberías, estas pueden estar en cualquier parte a lo largo el sistema de aire comprimido. Es común que los sistemas comprendan porcentajes relacionados de entre un 20% y 30% de la salida del compresor, lo cual comprende un gasto energético significativo de no ser normalizado; estas fugas pueden estar relacionadas con diferentes factores como lo son la antigüedad del sistema o un mantenimiento inadecuado del mismo (Office of Industrial Technologies, 1998).

Además del gasto energético que representan las fugas, estas también contribuyen a la caída de presión de sistema, lo cual representa una baja en la eficiencia y vida útil del compresor de aire, ya que lo fuerza a realizar requiere de una mayor cantidad de ciclos de

carga y descarga, ello disminuye la eficiencia y la de los usuarios que alimenta el sistema al trabajar a presiones menores de la requeridas. Todo lo anterior también puede llegar a ocasionar que exista un aumento en el mantenimiento realizado tanto al compresor como a los usuarios para tratar de mitigar los efectos secundarios producidos por las fugas.

Según Office of Industrial Technologies (1998) las áreas más comunes donde se pueden encontrar fugas son:

- Acoples, mangueras, tuberías y accesorios.
- Reguladores de presión.
- Trampas de condensados y válvulas.
- Uniones de tuberías.

3.5.1. Estimación del porcentaje de fugas.

Para la estimación del porcentaje de fugas presente en un sistema de aire comprimido existe un método de muy simple, según lo establece Office of Industrial Technologies (1998) este método se basa en la medición de la cantidad de tiempo que dura el compresor en realizar la carga e igualmente la cantidad de tiempo que este tarda en realizar la descarga. La condición para aplicar este método es que el sistema no tenga ningún usuario trabajando, mientras se toman los tiempos de carga y descarga, por lo cual el porcentaje de consumo de aire comprimido que se obtendrá, será el porcentaje de fugas del sistema.

Es recomendable tomar los tiempos de carga y descarga por al menos una hora, y posteriormente sacar el promedio del tiempo de descarga y del tiempo de carga, para obtener un resultado más general. Esto se observa en la ecuación 3.7.

Ecuación 3.7. Porcentaje de fugas

$$\%Fugas = \frac{T}{T + t} \times 100$$

Donde,

Fugas (%): Porcentaje de fugas del sistema de aire comprimido.

T: Tiempo de carga en minutos.

t: Tiempo de descarga en minutos.

Como se observó anteriormente, el porcentaje de fugas es un valor tomado en cuenta para el cálculo de la demanda máxima del sistema de aire comprimido, por lo que para el

cálculo de la demanda de caudal causado por fugas, basta con multiplicar el consumo de diseño calculado por el porcentaje de fugas obtenido, como se muestra en la ecuación 3.8.

Ecuación 3.8. Demanda de caudal por fugas.

$$Q_{fugas} = Q_{diseño} \times \%Fugas$$

Donde,

Q_{fugas} : Demanda de caudal generado por las pérdidas por fugas.

$Q_{diseño}$: Caudal de diseño.

Fugas (%): Porcentaje de fugas del sistema de aire comprimido.

Por último, una cantidad considerable de fugas, mayor a la admitida, puede representar un aumento innecesario en la facturación eléctrica, y por lo tanto pérdidas monetarias. Para el cálculo del costo causado por pérdidas debido a fugas, se emplea la ecuación 3.5 con una variación. Existe una relación entre los ACFM y los HP de los compresores de aire, esta relación se muestra en la ecuación 3.9.

Ecuación 3.9. Relación existente entre la potencia de un compresor de tornillo en HP y el caudal en ACFM.

$$Potencia_{Compresor\ de\ tornillo} = \frac{Q}{f_{relación}}$$

Donde,

$Potencia_{Compresor\ de\ tornillo}$: es la potencia demanda al compresor de tornillo en HP.

Q: Demanda de caudal del sistema de aire al que está conectado el compresor, en ACFM.

$f_{relación}$: Factor de relación entre los ACFM y la potencia del compresor de tornillo, su valor se encuentra en el intervalo de 4 y 5.

Por medio de esta relación y empleando la demanda de caudal generado por las pérdidas por fugas, se pueden calcular la cantidad de HP del compresor de aire consumidos en fugas. Por lo que la variación empleada en la ecuación 3.5 para el cálculo del costo, se coloca en potencia únicamente los HP consumido por el compresor en razón de las fugas.

3.5.2. Detección de fugas.

La detección de fugas se puede realizar por medio de la inspección visual y de sonido; en este caso, el ingeniero de mantenimiento pasa a lo largo de la planta en busca de las fugas. Mas, este es un método basado en el criterio humano y si la fuga se encuentra en un sitio que no es accesible para el oído humano, no puede ser detectada.

Existen detectores de fugas por ultrasonido, estos funcionan cuando el aire comprimido viaja por las tuberías y sus componentes se mueven como un flujo laminar, es decir que todas las partículas se mueven en la misma dirección en forma paralela. Al haber una fuga en la red de distribución, la corriente de aire alrededor de la fuga cambia a ser un flujo turbulento, es decir que el aire se puede en todas direcciones (MR PERÚ, 2018).

EL aire turbulento emite un sonido o ruido que es interpretado por los detectores ultrasónicos, este sonido no es audible, pero el detector por medio de unos audífonos lo transforma a frecuencias audibles. La onda producida varía según la amplificación del sonido. Los detectores ultrasónicos filtran los sonidos de fondo para realizar una detección de fugas eficiente (MR PERÚ, 2018).

3.6. Calidad de aire comprimido: Norma ISO 8573-1:2010

Los sistemas de aire comprimido utilizan como combustible aire atmosférico, pero este contiene diversos contaminantes como lo son el polvo, suciedad, microorganismos, diferentes gases, humedad, aceites, hidrocarburos, refrigerantes. Todos estos contaminantes provocan que disminuya la vida útil de los usuarios del sistema de aire comprimido, lo cual provoca que tengan un desgaste prematuro, se dé la oxidación y corrosión no solo de los equipos usuarios, sino también de los componentes y tuberías de la red de aire comprimido. Además, todos estos contaminantes provocan una baja pureza o calidad en el aire, el cual para ciertas áreas de trabajo de la industria es primordial.

La calidad de aire se define por medio de parámetros específicos que deben cumplir el aire respecto al equipo o proceso que va a suministrar. Cada industria, según su área de trabajo, sea alimenticia, médica, eléctrica, metalmeccánica, entre otros, tiene sus propios estándares de calidad. La International Standards Organisation (ISO) estableció la calidad de aire por medio de la norma ISO 8573-1: 2010 Compressed Air establece, en esta define por medio de clases, cuáles son los parámetros por tomar en cuenta para determinar de

calidad de aire comprimido. En la figura 3.3 se muestra la distribución de clases de calidad de aire comprimido establecidas por dicha norma.

ISO 8573-1:2010 COMPRESSED AIR CONTAMINANTS AND PURITY CLASSES								
CLASS	PARTICLES				WATER			OIL
	By Particle Size (maximum number of particles per m ³) See Note 2			By Mass	Vapor Pressure Dewpoint		Liquid	Liquid, Aerosol, & Vapor See Note 1
	0.1 μm < d ≤ 0.5 μm	0.5 μm < d ≤ 1.0 μm	1.0 μm < d ≤ 5.0 μm	mg/m ³	°C	°F	g/m ³	mg/m ³
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1							
1	≤ 20,000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70	≤ -94	-	≤ 0.01
2	≤ 400,000	≤ 6,000	≤ 100	-	≤ -40	≤ -40	-	≤ 0.1
3	-	≤ 90,000	≤ 1,000	-	≤ -20	≤ -4	-	≤ 1
4	-	-	≤ 10,000	-	≤ +3	≤ +37	-	≤ 5
5	-	-	≤ 100,000	-	≤ +7	≤ +45	-	-
6	-	-	-	0 - ≤ 5	≤ +10	≤ +50	-	-
7	-	-	-	5 - ≤ 10	-	-	≤ 0.5	-
8	-	-	-	-	-	-	≤ 5	-
9	-	-	-	-	-	-	≤ 10	-
X	-	-	-	> 10	-	-	> 10	> 5
	MICROBIOLOGICAL CONTAMINANTS				OTHER GASEOUS CONTAMINANTS			

Figura 3.3. Clases de calidad para aire comprimido según ISO 8573-1:2010.

Fuente: <https://www.airchecklab.com/es/referencias/normas-especificaciones/iso-8573-12010-compressed-air-specifications/>

En la norma ISO 8573-1 establece siete clases de aire comprimido, las cuales van desde 0 hasta 6, donde 0 es la mejor calidad y 6 la más baja, y estas clases escalan la calidad de cada uno de los parámetros definidos por ISO, los cuales son:

- 1) Partículas: se refiere al tamaño y cantidad de partículas, sean estas partículas de polvo y aceite, por metro cúbico de aire. La eliminación de estas partículas es fundamental para alargar la vida útil de los usuarios y a los componentes del sistema de aire comprimido, puesto que a altas presiones, estas partículas les provocan a los usuarios daños destructivos.
- 2) Humedad: se refiere a la cantidad de vapor de agua (humedad) que contiene el aire, es representado por medio del punto de rocío. Entre menor sea la temperatura de rocío mayor va a ser la calidad de aire, siempre se busca que el sistema mantenga la humedad relativa constante para que trabaje de manera eficiente. El exceso de humedad en el sistema de aire comprimido puede producir óxido y corrosión de los usuarios, componentes y tuberías, una lubricación inadecuada de los usuarios, baja en la calidad de los productos.

- 3) Aceite: se refiere a la cantidad de aceite o vapor de aceite presente en el aire. El aceite, los hidrocarburos no quemados y el refrigerante del compresor se concentran en el aire y son arrastrados por todo el sistema, que producen la contaminación de lotes de productos al reducir su calidad.

Cuando se va a definir la calidad de aire, no todos los parámetros deben poseer la misma calidad, por ejemplo, según Ingersoll Rand (2004) para la industria médica y electrónica, se emplea una calidad ISO 8573-1 de 2.2.1; esto quiere decir que para el parámetro de sólidos, la calidad es de clase 2; para el parámetro de agua, la calidad es de clase 2 y para el parámetro de aceite, la calidad es de clase 1. Cada industria posee su propia calidad establecida según el tipo de producto que fabrica.

La calidad de aire comprimido se consigue por medio de secadores y filtros, cada fabricante posee su propia recomendación de clase de calidad de aire según ISO 8573-1 según el are de trabajo que sule la red de aire comprimido, así como también establece los elementos precisos para cumplir con dicha calidad.

3.7. Tratamiento del aire comprimido

El aire atmosférico contiene humedad en forma de vapor de agua, el cual según las condiciones en las que se encuentre, puede pasar a condensarse. Durante el proceso de compresión, se dan altas temperaturas y presiones, por lo cual el aire atmosférico absorbido en su condición higrométrica, no se condensará. El aire sale del compresor a unos 70-80°C, pero en el recorrido pierde calor, durante ello produce una disminución de la temperatura hasta que esta se iguala a la temperatura ambiente, lo que produce una condensación del vapor contenido en el aire (Carnicer, 1994). Para evitar la condensación, primero se debe disminuir la humedad presente en el aire, por lo cual se deben comprender ciertos conceptos que implican el vapor de agua en la red de aire comprimido, según Carnicer (1994):

- Humedad absoluta: es la masa de amaga contenida en un kilogramo de aire seco, se calcula por medio de la ecuación 3.10.

Ecuación 3.10. Humedad relativa.

$$h_{ab} = \frac{kg \text{ vapor de agua}}{kg \text{ aire seco}} = 0,625 \times \frac{P_a}{P_b} = 0,625 \times \frac{P_a}{P - P_a}$$

Donde,

h_{ab} : humedad absoluta en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

P_a : presión parcial de vapor de agua en mmHg.

P_b : presión parcial de aire seco en mmHg.

P : presión total del sistema en mmHg.

- Humedad de saturación: es la máxima cantidad de vapor de agua que puede haber en cierta cantidad de aire seco a una presión y temperatura determinada.
- Humedad relativa: es la relación existente entre la humedad absoluta y la humedad de saturación, permite tener una visión inmediata del estado de humedad de aire a condiciones de presión y temperatura específicas. Cuando se presenta una humedad relativa del 100%, es porque el aire está completamente saturado; en cambio, si es de un 0%, es porque el aire está completamente seco. Es un porcentaje y se calcula por medio de la ecuación 3.11

Ecuación 3.11. Humedad relativa.

$$h_r = \frac{h_{ab}}{h_s} \times 100$$

Donde,

h_r : Porcentaje de humedad relativa.

h_s : Humedad de saturación en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

h_{ab} : Humedad absoluta en kg de vapor de agua por kg de aire seco.

- Punto de rocío: indica el nivel de humedad existente el al aire comprimido, es expresado por medio de la temperatura de saturación, por lo que si el aire se encuentra a una temperatura menor al punto de rocío ocurre la condensación del vapor de aire que contiene dicho aire. Cuanto más seco esté el aire, la temperatura ambiente y la temperatura de saturación estarán más alejadas.

Las gotas de agua formadas tras la condensación son arrastradas por el flujo de aire hasta llegar al usuario. Por esto, en toda red de aire comprimido, antes de que el aire sea distribuido a los usuarios, este debe ser secado hasta un punto de rocío inferior a la temperatura ambiente (Carnicer, 1994).

3.7.1. Secadores.

Los vapores de agua y el aceite en el flujo de aire comprimido pueden traer complicaciones en la red de aire comprimido como corrosión de las tuberías, mal funcionamiento de los sistemas neumáticos, obstrucción de las boquillas en chorros de arena, degradación del poder lubricante de los sistemas de engrase y hasta una baja en el rendimiento de la instalación. Los secadores se encargan de disminuir el punto de rocío del aire y mantenerlo constante y así disminuir la humedad, además filtra gran parte del aceite que este arrastra.

El secado del aire comprimido se puede realizar por medio de varios tipos de tratamientos, como los establece Carnicer (1994): el tipo de tratamiento seleccionado debe ir de la mano con los objetivos y las necesidades de la industria a la que abastece la red de aire comprimido. Además, según el tipo de aplicación que se le dará al aire comprimido, la calidad que este debe poseer puede ser de aún más peso y puede ser regulada.

Los secadores suelen ubicar sea la salida del compresor de aire, puede ser a la salida de directa o bien puede haber un filtro en medio de ellos dos, dependiendo de la calidad de aire que se requiera. Según CAGI, 2017, hay tres tipos de secadores, los cuales son:

- Desecante regenerativo.
- Por adsorción.
- Por absorción.
- Refrigerativos.

Los compresores de aire de tipo refrigerativos son los más comunes en la industria en general, incluida la industria médica, ya que estos llegan hasta una calidad de aire clase 4 según la norma ISO 8573-1:2010. El sistema que emplean estos secadores se asemeja al empleado a los refrigeradores o sistemas de aire acondicionado domésticos.

Hay dos tipos de secadores refrigerativos:

- No cíclicos: emplean refrigerante que circula continuamente a lo largo del sistema. Conforme las condiciones de temperatura del flujo de aire comprimido varíen, así variarían las condiciones térmicas del refrigerante, su punto de rocío es constante. Este tipo de secador es el más indicado para compresores que trabajan de manera continua, puesto que no responde de manera adecuada ante cambios bruscos de temperatura y presión y, compresores con variadores de frecuencia. Los secadores

refrigerativos actuales poseen refrigerantes como R134A y R407C en respuesta al tratado Montreal.

- Cíclicos: emplean el refrigerante para enfriar una masa térmica que rodea el paso del aire comprimido, este al pasar se enfría, mediante un disipador de calor controlado por un termostato. La masa térmica puede ser de algún tipo de glicol o de aluminio. Este tipo de secadores son adecuados para compresores que presentan cargas no continuas, ya que poseen una buena respuesta ante las variaciones de demanda del compresor, además poseen un punto de rocío variable. El costo de los secadores cíclicos es mayor al de los no cíclicos, pero esto se compensa por medio del ahorro en costos de operación.

3.7.2. Filtros

Los filtros son una parte fundamental en los sistemas de aire comprimido, las partículas de polvo, suciedad, aceite y agua no solo afectan la calidad de aire comprimido, si no también pueden afectar el funcionamiento y la vida útil de los demás elementos del sistema.

Por partículas de polvo se comprende como partículas sólidas de todo tipo de contaminantes que contiene el aire, el aire ambiental comprende en un 80% partículas de 2 micrones.

Los compresores de aire poseen un filtro de aire integrado, este protege al compresor de partículas de hasta 10 micrones que contiene el aire del ambiente. Pero, durante el proceso de compresión, el compresor adhiere contaminantes al aire comprimido, como partículas de aire y polvo. Por lo cual el sistema debe contar con un filtrado posterior al compresor, que dependerá de la calidad de aire empleada, según el tipo de industria.

Para aplicaciones en la industria médica y de semiconductores, se debe emplear un filtrado de aire de clase 1 según la norma la norma ISO 8573-1:2010 tanto para partículas de polvo como para partículas de aceite, la configuración referente a la ubicación y cantidad de filtros dependerá de cada fabricante.

4. Sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A.

4.1. Estado Actual de instalación de aire comprimido

El sistema de aire comprimido con el que cuenta Utitec Medical S.A. es heredado de su empresa predecesora Point Technologies S.A. Sobre el diseño preliminar de la red en la empresa Point Technologies, no se posee conocimiento de quien hizo el estudio para implementarlo, y tras ser reutilizado en la empresa Utitec Medical, tampoco se realizó ningún tipo de estudio sobre si el sistema cumplía con las necesidades productivas de la nueva empresa.

De igual manera, el sistema recontinuó empleando el compresor que se encontraba trabajando a lo largo de los años sin realizarle ningún tipo de modificación, a pesar de haberse detenido en varias ocasiones. Las razones de los paros son desconocidas y la última vez que se registró ocurrió en el año 2019.

Tras la pandemia que azota al país y al mundo entero desde marzo del 2020, Utitec Medical se ha visto afectada en la producción, por ello actualmente no se trabajan los turnos completos. Por lo anterior, durante el periodo actual, el sistema de aire comprimido ya no debe suplir la demanda a plena carga de la planta. Igualmente, la empresa tiene dentro de sus planes a corto plazo retomar la productividad que solían tener en el periodo posterior a la pandemia.

4.1.1. Equipos que conforman de red de aire comprimido.

El sistema de aire comprimido está ubicado en la casa de compresores. Inicia con dos compresores de tornillo Ingersoll Rand, modelo UP6 30, con una potencia de 30 HP cada uno. Estos son designados por medio los códigos M-042 y M-044. La planta solo emplea uno de los compresores por semana, por ejemplo, si la primera semana del año inicia trabajando el compresor M-042, la segunda trabajará el compresor M-044, y así se turnarán cada semana, por lo cual solo trabaja uno de los dos por semana.

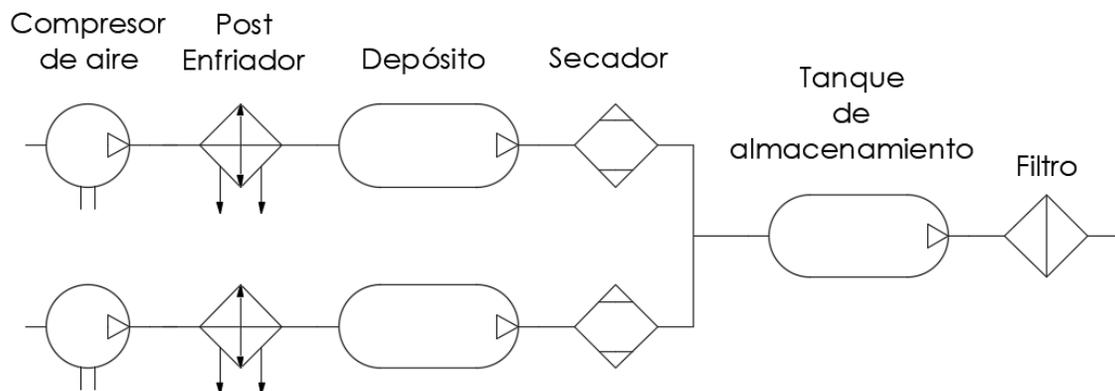
El tipo de modelo de los compresores posee un refrigerador integrado. Este refrigerador funciona por medio de una mezcla de aire y aceite refrigerante, y se encuentra ubicado en la descarga inmediata del compresor.

Para cada uno de los compresores, justo a la salida del refrigerador, se encuentra un secador de tipo refrigerativo cíclico, es decir que la red de aire comprimido cuenta con dos secadores, uno por cada compresor. Los secadores, al igual que los compresores, son de la

marca Ingersoll Rand, ambos del mismo modelo, D180IN y, según lo indica el fabricante, brinda una calidad de aire clase 6 según la norma ISO 8573-1.

A las salidas de los secadores se conectan en paralelo y entran en el único tanque de almacenamiento de todo el sistema de aire comprimido. Este tanque es de 500L, y en la salida posee el único filtro de todo el sistema. Es un filtro maca Ingersoll Rand, modelo FA190IH, para partículas de polvo y aceite con una calidad de aire de clase 1 según la norma ISO 8573-1.

En la figura 4.1 se muestra un diagrama de la ubicación de cada uno de los equipos que componen el sistema de aire comprimido en el cuarto de compresores.



AutoDesk AutoCAD 2020

Figura 4.1. Diagrama de equipos que componen el sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración propia basada en la simbología para neumática ISO 1219 1 e ISO 1219 2.

Asimismo, ambos compresores se encuentran programados a una presión de carga de 100 psi y de descarga de 125 psi. Según lo indicado por el departamento de mantenimiento industrial, el breaker del compresor de aire se disparaba cada vez que existen picos de producción, mas no se realizó ningún reporte escrito que lo confirme.

Por último, el sistema se encuentra trabajando durante 6 días de la semana, las 24 horas del día, a pesar de que solo existen dos turnos de trabajo. El turno A de 6:00 AM a 3:30 PM y el turno B de 3:30 PM a 11:30 PM.

4.1.2. Usuarios que alimenta la red de aire comprimido.

La empresa Utitec Medica S.A. se encarga de producir dispositivos médicos y semiconductores, por lo cual cuenta con un total de 44 equipos que emplean el sistema de aire comprimido, dentro de ellos hay gran variedad de máquinas de mecánica de precisión o

máquinas precisamente para desarrollar los respectivos procesos. En la tabla 4.1 se muestra una lista de las máquinas que son usuarios del sistema de aire comprimido con datos básicos sobre las mismas como el código que poseen en la empresa, marca y modelo.

Respecto a los códigos que poseen los usuarios de aire comprimido presentados en la tabla 4.1 es importante realizar una aclaración, ya que aquellos usuarios que inician con la letra *P* son pistolas de aire comprimido empleadas para limpiar las piezas una vez pasan por el proceso de manufactura, o bien para la limpieza general de la máquina a la que están sujetas. Pero no todas las pistolas de aire que son alimentadas por el sistema de aire comprimido están sujetas a otro usuario en específico. Se puede saber cuáles son aquellas pistolas de aire comprimido que trabajan sujetas a una máquina en específico por medio de su código, porque al existir una relación entre estas y el usuario, se les designó en el código la letra *P* seguido del código de la máquina en la cual son empleadas.

Además, otro elemento por aclarar es la manera en que emplea cada uno de los demás usuarios el aire comprimido. Las erosionadoras utilizan aire comprimido para la sujeción de la pieza a trabajar, además de esto el refrigerante empleado para el enfriamiento de la pieza en manufactura, está combinado con aire a presión. Cada una de las erosionadoras posee su propia pistola de aire; estas son diferenciadas por medio del código que poseen, ya que tienen la configuración que se explicó anteriormente.

Las fresadoras emplean aire comprimido para realizar el cambio de herramienta, además al igual que las erosionadoras el refrigerante que emplean las fresadoras se encuentra combinado con aire comprimido. Cada una de las fresadoras cuenta con una pistola de aire sujeta a la máquina, con quien comparte el mismo número al final del código, como se mencionó anteriormente.

Tabla 4.1. Máquinas usuarias del sistema de aire comprimido.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo	Código	Marca	Máquina
EROSIONADORAS	M-003	CHMER	CW 420 HS
	PM-003	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-005	CHMER	CW-322S
	PM-005	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-050	Sodick	VL400Q
	PM-050	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	EDM	CHMER	CW-3226
FRESADORAS	M-007	Haas	TM-1
	PM-007	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-010	Haas	VF-2SS
	PM-010	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-011	Haas	VF-2SS
	PM-011	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-012	Haas	Minimill
	PM-012	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-013	Robodrill	A04B-0079-B103#WM
	PM-013	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-037	Haas	Minimill
	PM-037	McMaster	Plastic-Body Blowgun
TORNOS	M-015	Citizen	B12 VIN
	PM-015	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-016	Citizen	B12 VIN
	PM-016	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-017	Citizen	L20
	PM-017	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-039	Star	SR-20R
	PM-039	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-040	Star	SR-20R11
	PM-040	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	M-049	Citizen	L20X
	PM-049	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	-	Edge Technologies	Bar feeder D97906
CORTADORA	M-009	Everite	Ultracut TC-SR7 ECG
	PM-009	McMaster	Plastic-Body Blowgun
LAVADO	M-020	Crest	2045118016
	PM-020	McMaster	Plastic-Body Blowgun
	N/A	-	-
PULIDO	M-051	Trinco Dry Blast	36/BP
	PM-051	McMaster	Plastic-Body Blowgun
SEMI CONDUCTORES	STRG-A #1	-	-
	STRG-A #2	-	-
	STRG-A #3	-	-
	PSEMI	McMaster	Plastic-Body Blowgun
CALIDAD	PCAL	McMaster	Plastic-Body Blowgun

Microsoft Excel.

Los tornos, al igual que las fresadoras, emplean el sistema de aire comprimido para el cambio de pieza, para la refrigeración durante el proceso de manufactura utilizan una combinación de refrigerante con aire comprimido. Al igual que las máquinas anteriormente mencionadas, cada torno posee su propia pistola de aire comprimido con la cual comparte el mismo número al final del código, como se explicó anteriormente. Adicionalmente, el torno M-049 cuenta con un cargador de material. Este cargador para realizar cada carga, empuja el material por medio de una combinación de aceite y aire comprimido, es decir emplea energía hidráulica y neumática para realizar el trabajo.

La cortadora, de manera similar a las erosionadoras, utiliza energía neumática en el sistema de sujeción de la pieza a trabajar, además usan refrigerante en conjunto con aire comprimido para el enfriamiento de la pieza durante el proceso de manufactura, y tiene sujeta una pistola de aire comprimido, que se diferencia al tener el mismo número al final del código.

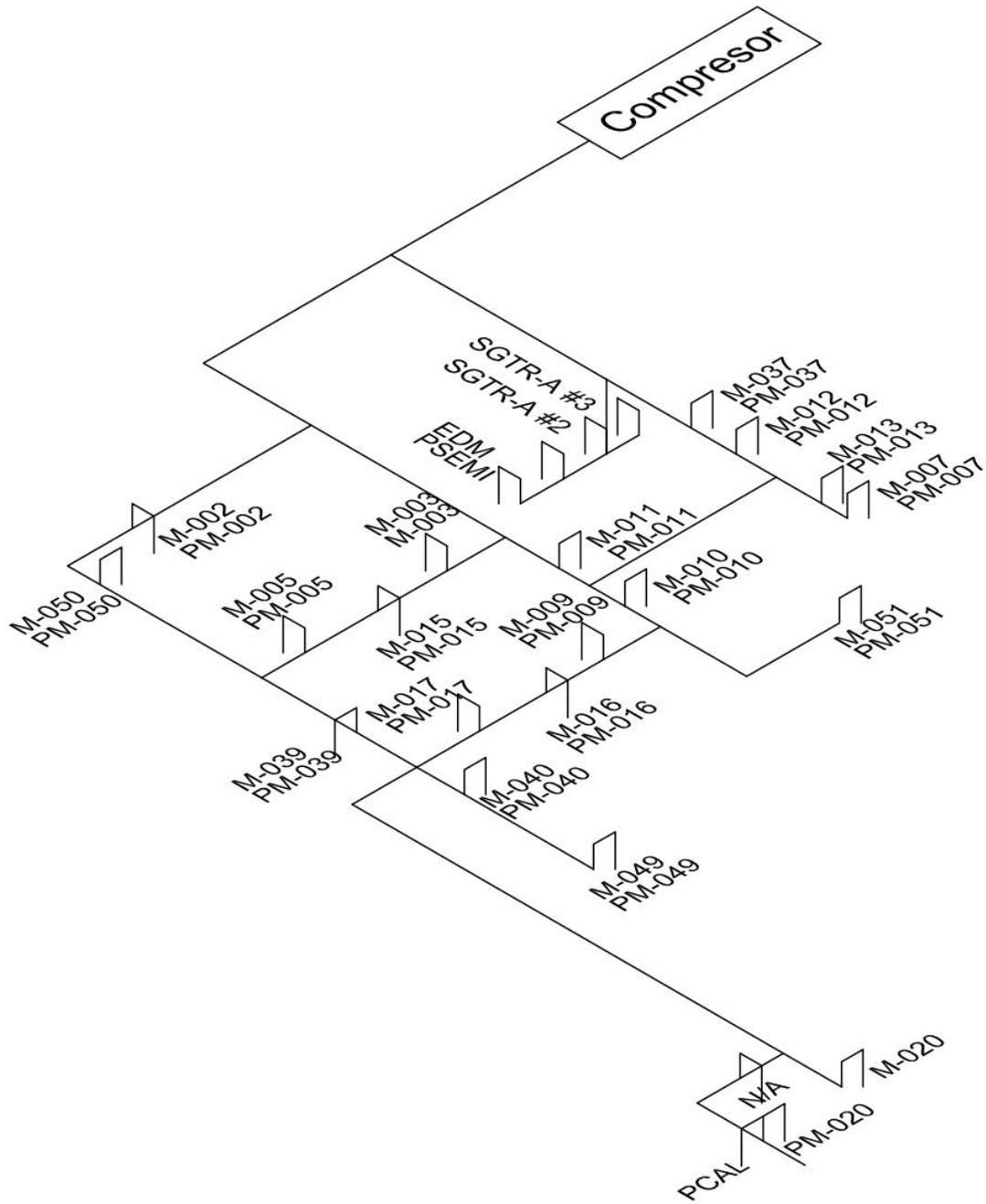
Como se aclaró antes, Utitec medical es una empresa especializada en las áreas médica y electrónica, es por esto por lo cual la limpieza de las piezas que manufactura es fundamental. Para el lavado de las piezas se emplean baños ultrasónicos y los productos tras salir de estos baños pasan ser secados por medio de chorros de aire provenientes de pistolas de aire.

Para el pulido de piezas se emplea la máquina M-051 que posee un chorro de área, para este chorro está compuesto por aire comprimido y arena. Adicionalmente, esta máquina cuenta con una pistola de aire asociada, la cual cuenta con el mismo número al final del código y es empleada para retirar la mayor cantidad posible de arena del producto pulido.

En el área de semiconductores se emplean máquinas fabricadas especialmente para el estirado de hilos de acero, estos hilos cortados por medio de un pistón neumático, estos usuarios son STRG-A #1, STRG-A #2 y STRG-A #3. Además, esta área posee una pistola de aire comprimido empleada para la limpieza de productos o máquinas.

Por último, en el área de control de calidad se cuenta con una pistola de aire comprimido, PCAL, la cual se usa para limpiar productos y mesas de trabajo.

La distribución de los usuarios se muestra en la figura 6.2.



AutoDesk AutoCAD 2020

Figura 4.2. Diagrama de usuarios a los alimenta el sistema de aire comprimido.

4.2. Estimación de la demanda de diseño actual del sistema de aire comprimido

Como se mencionó anteriormente, tras la pandemia la producción en la empresa Utitec Medica se vio afectada, pues tuvo que cortar los turnos de trabajo, ello ocasionó que el sistema de aire comprimido actualmente no se encuentre bajo la demanda máxima.

Tras lo anterior se solicitó que se hiciera el análisis de demanda de aire comprimido de la empresa con los datos del año 2019, pues la empresa tiene dentro de sus objetivos a corto plazo recuperar la productiva que poseía en este año. Por ello, se tomó la semana 11, la cual fue la más productiva reportada en el año 2019. Durante este día se trabajó durante las dos jornadas, es decir:

- Jornada A: de 6 a.m. a 3:30 p.m.
- Jornada B: de 3:30 p.m. a 11:30 p.m.

Pero fue durante la jornada A en la que se tuvo la mayor cantidad de usuarios trabajando al mismo tiempo, por ello se tomó el pico dado en esta jornada para hacer el análisis. Además, como ha explicado anteriormente, los usuarios no utilizan el aire comprimido durante todo el tiempo en que están encendidos trabajando, es decir poseen un factor de utilización, el cual relaciona el tiempo de uso de aire comprimido de cada usuario respecto al tiempo en que se encuentra encendido el compresor de aire. Toda la información referente a lo anterior fue brindada por el departamento de producción y se encuentra resumida en la tabla 4.2.

En esta tabla 6.2, se muestra cada uno de los usuarios por código y se marca qué usuarios trabajaron durante esta jornada y cuáles no; por ejemplo, los usuarios M-007, M-010 y sus respectivas pistolas de aire comprimido no trabajaron durante esta jornada, además se da el factor de uso respectivo para cada uno de los usuarios que trabajó y empleo aire comprimido.

Tabla 4.2. Actividad de los usuarios de aire comprimido durante el año más productivo del 2019.

Fuente: Utitec Medical: Producción semana 11, 2019.

Tipo	Código	Turno A	Factor de uso
EROSIONADORAS	M-003	✓	52,78%
	PM-003	✓	0,88%
	M-005	✓	100,00%
	PM-005	✓	0,74%
	M-050	✓	100,00%
	PM-050	✓	0,56%
	EDM	✓	52,78%
FRESADORAS	M-007	X	-
	PM-007	X	-
	M-010	X	-
	PM-010	X	-
	M-011	✓	52,78%
	PM-011	✓	0,23%
	M-012	X	-
	PM-012	X	-
	M-013	✓	52,78%
	PM-013	X	0,46%
	M-037	✓	100,00%
	PM-037	✓	1,39%
	TORNOS	M-015	✓
PM-015		✓	6,25%
M-016		✓	100,00%
PM-016		✓	5,79%
M-017		✓	100,00%
PM-017		✓	1,16%
M-039		✓	94,44%
PM-039		✓	5,32%
M-040		X	-
PM-040		X	-
M-049		✓	100,00%
PM-049		✓	0,51%
BAR		✓	0,51%
MORTADOR	M-009	✓	52,78%
	PM-009	✓	16,20%
LAVADO	M-020	✓	52,78%
	PM-020	✓	18,52%
	N/A	✓	52,78%
PULIDO	M-051	✓	32,68%
	PM-051	✓	16,67%
SEMI CONDUCTORES	STRG-A #1	✓	100,00%
	STRG-A #2	✓	100,00%
	STRG-A #3	✓	100,00%
	PSEMI	✓	12,15%
CALIDAD	PCAL	X	-

Microsoft Excel.

Una vez obtenida esta información sobre los usuarios que representan la demanda máxima para el sistema de aire comprimido, se procedió a obtener los valores de presión y caudal con las que trabaja cada uno de los usuarios, estos datos son tomados directamente de la placa de las máquinas o bien de sus respectivos manuales. Pero durante del proceso, se deben tomar en cuenta dos aspectos, las máquinas SGTR-A y la presión de trabajo actual de los usuarios.

Como se mencionó anteriormente, las máquinas SGTR-A #1, SGTR-A #2, y SGTR-A #3 son fabricadas especialmente para la empresa Utitec Medical S.A. por lo cual no cuentan con un manual o datos de placa que indiquen cuál es el caudal que consumen los pistones en cada corte de los hilos. Por lo anterior, se procedió a realizar el cálculo del consumo de aire comprimido en cilindros neumáticos, mediante el uso de la ecuación 3.6. Se tomaron los datos respectivos para poder aplicar la ecuación y se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Caudal de aire comprimido consumido por los usuarios STGRT-A #1, #2 y #3.
Fuente: Elaboración propia.

Codigo	P (bar)	D (mm)	q (NI/min)	s (cm)	n	Q (NI/min)
STRG-A	3,0336931	32	0,038	0,275	3	0,0627

Microsoft Excel.

El caudal obtenido de la ecuación está expresado en litros por minuto estándar, por lo que se debe realizar la conversión a pies cúbicos por minuto estándar, es decir SCFM.

$$\frac{0,0627 \text{ NI}}{\text{min}} \times \frac{0,03531 \text{ pie}^3}{1 \text{ NI}} = 0,002214 \text{ SCFM}$$

Respecto del segundo aspecto, se notó que ninguno de los usuarios se encontraba trabajando con la presión de trabajo recomendado por los fabricantes de cada máquina, por lo que el caudal consumido por cada usuario difiere. Por ello, para obtener el caudal actual que consumen cada uno de los usuarios, se procedió a calcular el caudal de diseño de cada usuario y posteriormente, por medio de la ley de gases ideales se consiguió la demanda actual consumida por el sistema.

En la tabla 4.4 se muestran los datos empleados para el cálculo de la demanda de diseño. Los datos de caudal dados en la placa o manual respectivo de cada usuario estaban expresados de manera distinta; por ejemplo, para el usuarios M-003 el caudal venía en términos de CFM, este fue convertido a ACFM de la manera explicada anteriormente, al

igual con aquellos usuarios que presentaban el caudal en SCFM como M-017 o las mismas SGTR-A. Otros usuarios como los M-011 y M-037 indicaban el caudal en términos del caballaje que le demandaban al compresor, por esto se utilizó la conversión existente que relaciona los ACFM y con los HP, conversión válida solo para compresores de aire de tipo tornillo. La relación indica que por cada 4 o 5 ACFM corresponde a 1 HP de compresor de aire de tipo tornillo (Garro, 2020).

Tabla 4.4. Demanda máxima correcta del sistema de aire comprimido.
Fuente: Elaboración propia.

Codigo	Presión trabajo (bar)	Datos de placa	CFM	SCFM	ACFM	Factor de uso	ACFM Totales
M-003	5,033	1 CFM	1	1,34	1,55	52,8%	0,82
PM-003	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	0,88%	0,33
M-005	5,033	1 CFM	1	1,34	1,55	100%	1,55
PM-005	6,895	22 CFM	22	32,32	37,2	0,74%	0,28
M-050	5,033	1 CFM	1	1,34	1,55	100%	1,55
PM-050	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	0,56%	0,21
EDM	5,033	1 CFM	1	1,34	1,55	52,8%	0,82
M-011	6,895	2 HP	-	-	10,0	52,8%	5,28
PM-011	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	0,23%	0,09
M-013	6,895	5,3 CFM	5,3	7,79	8,97	52,8%	4,73
PM-013	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	0,46%	0,17
M-037	6,895	2 HP	-	-	10,0	100%	10
PM-037	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	1,39%	0,52
M-015	5,033	3 SCFM	-	3,00	3,47	100%	3,47
PM-015	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	6,25%	2,33
M-016	5,033	3 SCFM	-	3,00	3,47	100%	3,47
PM-016	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	5,79%	2,16
M-017	5,033	7,5 SCFM	-	7,50	8,67	100%	8,67
PM-017	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	1,16%	0,43
M-039	5,033	1 CFM	1	1,34	1,55	94,4%	1,46
PM-039	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	5,32%	1,99
M-049	5,033	7,5 SCFM	-	7,50	8,67	100%	8,67
PM-049	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	0,51%	0,19
BAR	5,033	1 CFM	1	1,34	1,63	0,51%	0,008
M-009	6,895	1 CFM	1	1,47	1,7	52,8%	0,90
PM-009	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	16,2%	6,05
M-020	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	52,8%	19,7
PM-020	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	18,5%	6,92
N/A	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	52,8%	19,7
M-051	6,895	36 CFM	36	52,89	61,1	32,7%	20,0
PM-051	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	16,7%	6,23
STRG-A #1	3,034	0,002214 SCFM	-	0,0022	0,0028	100%	0,0028
STRG-A #2	3,034	0,002214 SCFM	-	0,0022	0,0028	100%	0,0028
STRG-A #3	3,034	0,002214 SCFM	-	0,0022	0,0028	100%	0,0028
PSEMI	6,895	22 CFM	22	32,32	37,4	12,2%	4,54
Demanda máxima							143,2

Microsoft Excel.

Una vez obtenidos los datos de consumo de diseño de cada uno de los usuarios de la red de aire comprimido, se procede a realizar el cálculo del consumo actual de cada usuario, para finalmente obtener la demanda máxima actual del sistema. La conversión se muestra en la tabla 4.5 y se realizó por medio de la ley de gases ideales.

Tabla 4.5. Demanda máxima actual del sistema de aire comprimido.
Fuente: Elaboración propia.

Codigo	Demanda máximo de diseño correcto		Demanda máxima de diseño actual	
	Presión trabajo (psi)	Caudal (ACFM)	Presión trabajo (psi)	Caudal (ACFM)
M-003	73	0,818	79,8	0,749
PM-003	100	0,329	110	0,299
M-005	73	1,550	105	1,078
PM-005	100	0,276	110	0,251
M-050	73	1,550	72,5	1,560
PM-050	100	0,208	110	0,189
EDM	73	0,818	95,3	0,627
M-011	100	5,278	95,0	5,556
PM-011	100	0,086	95,0	0,091
M-013	100	4,734	100	4,734
PM-013	100	0,173	100	0,173
M-037	100	10,00	88,0	11,36
PM-037	100	0,519	88,0	0,589
M-015	73	3,470	72,5	3,493
PM-015	100	2,334	110	2,122
M-016	73	3,470	65,3	3,881
PM-016	100	2,161	110	1,965
M-017	73	8,670	65,3	9,697
PM-017	100	0,432	110	0,393
M-039	73	1,464	109	0,982
PM-039	100	1,989	109	1,828
M-049	73	8,670	65,3	9,697
PM-049	100	0,190	110	0,173
BAR	87	0,008	100	0,007
M-009	100	0,897	110	0,816
PM-009	100	6,052	110	5,502
M-020	100	19,71	47,0	41,94
PM-020	100	6,917	110	6,29
N/A	100	19,71	72,5	27,18
M-051	100	19,98	110	18,16
PM-051	100	6,225	110	5,659
STRG-A #1	44	0,003	44,0	0,003
STRG-A #2	44	0,003	44,0	0,003
STRG-A #3	44	0,003	44,0	0,003
PSEMI	100	4,539	110	4,126
			Demanda máxima de diseño actual (ACFM)	171,2

Microsoft Excel.

El consumo de diseño actual es de 171,2 ACFM, pero a este valor se le deben agregar el factor por fugas y por expansión que se verá más adelante.

4.3. Estimación de la demanda artificial

La demanda artificial es un factor que disminuye la eficiencia y aumenta los costos de operación del sistema de aire comprimido. En la empresa Utitec Medical S.A. se presenta una gran demanda, producida por el exceso de presión presente en los usuarios a los que alimenta la red, ya que en su mayoría estos no se encuentran trabajando a la presión sugerida por el fabricante. Un ejemplo de esto es el usuario M-005, que como se muestra en la tabla 4.5, se encuentra trabajando a una presión de 105 psi, pero la correcta debe ser de 73 psi. Lo anterior ocurre con la mayor parte de los usuarios del sistema de aire comprimido, esto provoca la existencia de una demanda artificial considerable, pues la demanda máxima de diseño correcto es de 143,2 ACFM, mientras que la demanda máxima actual es de 171,2 ACFM, y si se realiza la diferencia de estos dos consumos se obtiene:

$$171,2 - 143,2 = 27,9 \text{ ACFM}$$

Por lo que obtienen 27,9 ACFM de demanda artificial; esto implica que al aplicar la relación existente entre potencia en HP de un compresor de tornillo y los ACFM, es equivalente a 5,6 HP de potencia del compresor del sistema. Además, el promedio de la diferencia de presión es de 13,9 psi, es decir que en promedio el sistema posee 13,9 psi de exceso de presión en el sistema de aire comprimido, como se muestra en el anexo 1.

La corrección de presión para cada uno de los usuarios, se realiza por medio de conjuntos filtro regulador de presión, estos conjuntos además de garantizar un tipo de calidad de aire específica para cada usuario debido al filtro que poseen, regulan la presión que entrara al usuario.

4.4. Estimación de pérdidas por fugas

Como se mencionó antes, Utitec Medical posee un sistema de aire comprimido antiguo no diseñado para los usuarios de la planta. Además, la distribución de tuberías es de hierro galvanizado, por lo cual teóricamente puede llegar a poseer hasta un 15% de fugas, todo lo anterior sumado mal mantenimiento inadecuado del sistema, daba hincapié a la posibilidad de que existiera un porcentaje de fugas más alto del admisible y generara grandes pérdidas a la empresa.

Tras lo anterior se hizo un análisis de pérdidas por fugas del sistema de aire comprimido. El estudio fue realizado por medio del método establecido por Office of Industrial Technologies, 1998 para la estimación del porcentaje de fugas presente en la red de distribución de aire comprimidos.

Siguiendo el método, se tomaron las mediciones durante un momento del día en que ninguno de los usuarios de la planta estuviera trabajando, más específicamente se tomaron los datos respecto a tiempos de carga y descarga del compresor de 5:00 am a 6:00 pm, ya que la planta inicia operaciones a partir de las 6:10 a.m. Durante esta hora se obtuvieron 21 mediciones de tiempo de carga y 21 mediciones de tiempo de descarga, que dio como resultado un promedio de tiempo descarga de 1 minuto y 58,14 segundos, mientras que el tiempo de carga promedio es de 46,81 segundos, como se muestra en la tabla 4.6.

Tabla 4.6. Tiempos de carga y descarga del compresor sin ningún usuario trabajando.
Fuente: Elaboración Propia

Tiempo descarga		Tiempo de carga
Minutos	Segundos	Segundos
2	1	45
2	3	45
2	7	47
1	58	45
1	55	49
2	5	45
1	3	48
1	59	50
2	0	45
1	55	45
2	2	47
2	8	45
2	5	50
1	58	49
2	3	45
1	58	47
1	55	46
2	5	49
2	7	51
1	55	45
1	59	45
Promedio	1	58,14
		46,81

Microsoft Excel.

Con los promedios de cada tiempo, se pasó a la unidad de minutos, ya que así lo solicita la ecuación 3.7, se obtuvo que el tiempo de descarga corresponde a de 1,969 minutos y el tiempo de carga es de 0,7802 minutos. Finalmente, se aplicó la ecuación 3.7 y se obtuvo el porcentaje de fugas presente en la red de aire comprimido como se muestra en el siguiente cálculo.

$$\%Fugas = \frac{T}{T + t} \times 100 = \frac{0,7802 \times 100}{0,7802 + 1,969} = 28,4\%$$

Finalmente, el porcentaje de fugas encontrado en el sistema de aire comprimido para la empresa Utitec Medical es de 28,4%, es decir un 13,4% más de lo admitido para tuberías de hierros galvanizado, lo cual corresponde prácticamente al doble de lo admitido.

Para estimar la cantidad de ACFM que actualmente gasta el sistema de aire comprimido, se tomaron los ACFM totales actuales y se le extrajo el porcentaje de fugas que se obtuvo anteriormente, como se muestra en el siguiente cálculo

$$ACFM_{fugas} = ACFM_{Totales\ Actuales} \times \%Fugas = 171,2 \times 28,4\% = 48,6\ ACFM$$

4.5. Estimación del consumo de diseño actual del sistema

Anteriormente se obtuvo el consumo de diseño actual del sistema de aire comprimido, este correspondía a 171,2 ACFM, y se realizó la estimación del porcentaje de fugas de la red, lo cual dio como resultado un 28,4% de fugas. Con estos datos y tomando en cuenta que los altos mandos de la empresa Utitec Medical S.A. indicaron que no planean expandir la red de aire comprimido, se puede realizar el cálculo del consumo máximo actual del sistema.

$$Consumo\ de\ diseño\ acual\ (ACFM) = 171,2 \times 1,284 = 219,8\ ACFM$$

Como lo indica el cálculo anterior y consumo máximo actual de sistema de aire comprimido es de 219,8 ACFM, lo cual si se convierte a potencia de compresor, por medio de la relación de compresores de tornillo; se obtiene que el sistema de aire comprimido en su pico de demanda máxima, emplea 43,9 HP.

4.6. Costos del sistema de aire comprimido.

4.6.1. Costos de operación del compresor.

Como se mencionó anteriormente, el compresor de aire no supe la cantidad de carga demanda por el sistema, pues cuando existen grandes picos de producción, la planta amerita una potencia de 43,9 HP; es decir, en estos picos el compresor que encuentra por encima de

la sobrecarga. Igualmente, durante la demanda máxima al sistema el compresor entrega 30 HP de potencia.

En este sentido, los costos del compresor están relacionados con los costos de energía de 30 HP. Además, el compresor de aire trabaja durante las 24 horas del día, 6 días a la semana, durante todo el año. Tomando estos aspectos en cuenta, se realizó el cálculo del costo anual de consumo del sistema aire comprimido por medio de la ecuación 3.5, y se obtuvo un valor de ₡7 547 582, como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Costos actuales de operación del compresor de aire.
Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de costos de operación	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	30
Tiempo de operación por año (h)	7128
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (₡/kWh)	63,46
Costos de operación	₡ 7 547 582

Microsoft Excel.

4.6.2. Costos por demanda artificial.

Según Office of Industrial Technologies (1998) y como se mencionó anteriormente, por cada 2 psi de presión en exceso que consume el compresor de aire, se produce un aumento de un 1% de aumento en los costos de operación de este. Por lo cual, tras el cálculo anterior de exceso de presión, donde se encontró que en promedio el sistema de aire comprimido posee 13,9 psi de exceso de presión, esta cantidad de psi comprende un 6,97% de aumento en los costos de operación para el compresor de aire.

El costo anual de operación del compresor de aire tiene un valor de ₡7 547 582, y el 6,97% da un total de ₡525 828 de costos asociados por exceso de presión, como se muestra en la tabla 4.8.

Tabla 4.8. Costos por demanda artificial.

Fuente: Elaboración Propia

Calculo de costos de operación	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	30
Tiempo de operación por año (h)	7128
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (¢/kWh)	63,46
Costos de operación	¢ 7 547 582,20
Aumento de 6,97%	¢ 8 073 410,21
Ahorro al ajustar la presión	¢ 525 828,01

Microsoft Excel.

4.6.3. Costos por fugas.

Como se mostró anteriormente, el sistema de aire comprimido de la empresa Utitec Medical posee un porcentaje de fugas de un 28,4% lo que representa casi el doble de lo admitido para tubería de hierro galvanizado. El consumo producido por estas fugas representa un gasto energético considerable la para empresa, que se ve reflejado en la factura eléctrica.

Para realizar el cálculo del costo anual del compresor por pérdidas en fugas, primero se debe saber la potencia gastada por el compresor, por ello, si se conoce que las pérdidas totales por fugas son de 48,6 ACFM, al emplear la relación existente entre los ACFM y la potencia en HP para compresores de tornillo, tomando como que por cada 5 ACFM se tiene 1 HP del compresor, entonces la potencia consumida por el compresor significa en cuanto a pérdidas por fugas es de 9,7 HP.

Con el dato anterior de potencia, se puede hacer el cálculo del costo anual por pérdidas en fugas totales del compresor de aire en la empresa Utitec Medical, tomando en cuenta que el compresor se encuentra trabajando durante las 24 horas del día, 6 días a la semana, durante todo el año, durante el cual está fugando. El resultado de los costos por fugas se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Costo anual por perdidas en fugas totales.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de costos de de fugas	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	9,7
Tiempo de operación por año (h)	7128
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (€/kWh)	63,46
Costo por fugas anual	€ 2 444 260

Microsoft Excel.

El costo anual por el 28,4% de las fugas producidas es de €2 444 260, pero si al 28,4% se le resta el 15% permitido para tuberías de hierro galvanizado, se tendría un exceso de 13,4% de fugas de aire comprimido; ello comprende un consumo por pérdidas en fugas de 22,9 ACFM, lo que a su vez representa una potencia de 4,6 HP del compresor de aire. Y tras aplicar nuevamente la ecuación 5.5 se obtiene el costo anual por pérdidas en fugas excedentes, el cual es de €1 152 258, como se presenta en la tabla 6.10.

Tabla 4.10. Costo anual por pérdidas en fugas excedentes.

Fuente: Elaboración propia.

Cálculo de costos por exceso de fugas	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	4,6
Tiempo de operación por año (h)	7128
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (€/kWh)	63,46
Costos pro exceso de fugas anual	€ 1 152 258

Microsoft Excel.

4.7. Diagnóstico de la red de aire comprimido actual.

Con toda la información recopilada sobre las condiciones y parámetros a los que trabaja el sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical, se procederá a realizar un diagnóstico sobre la red.

4.7.1. Consumo actual del sistema de aire comprimido.

En la actualidad, el sistema de aire comprimido posee una demanda de 219,7 ACFM, tomando en cuenta el porcentaje de fugas que posee la red. Este valor de consumo es equivalente a 43,9 HP de potencia del compresor de tornillo.

El modelo de compresor que alimenta la red de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A. es de 30 HP, lo cual queda por debajo 13,9 HP de la demanda actual de la planta, cuando se encuentra trabajando en picos de alta producción. Lo anterior explica que el breaker del compresor se disparara cada vez que la planta se encontraba trabajando en su máxima producción, pues el compresor no era capaz de compensar la demanda.

Además, al compresor trabajar en exceso de carga durante la demanda máxima de la planta, es decir consumir su potencia máxima de 30 HP, y trabajar durante las 24 horas del día, 6 días a la semana, durante todo el año, genera ¢7 547 582 por costos de operación anuales.

4.7.2. Calidad de aire en la red.

Primeramente, debe recalcar que el sistema de aire comprimido de la empresa Utitec Medical emplea equipos y componentes de la marca Ingersoll Rand, por lo cual para asegurar la eficiencia que promete dicha marca, se tomaran los aspectos técnicos, referentes a dichos equipos y componentes, establecidos por Ingersoll Rand para la toma de decisiones.

Para el tipo de aplicación de aire comprimido que le da la empresa Utitec Medical S.A., es decir desarrollar componentes médicos y semiconductores, la calidad recomendada por la Ingersoll Rand es de 1.4.1 según la norma ISO 8573-1. Esto quiere decir que la calidad de aire según la cantidad de:

- partículas de polvo es de clase 1
- humedad es de clase 4
- partículas de aire es de clase 1

El secador es el encargado de disminuir la humedad existente en el aire que pasará por la red y como se vio anteriormente en el estado de la red actual de aire comprimido, la empresa cuenta como un secador Ingersoll Rand, modelo D180IN y, según lo indicado por el fabricante, brinda una calidad de aire clase 6 basado en la norma ISO 8573-1, por lo cual

el secador no cumple con la calidad de aire requerida para la aplicación que se le da el aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A.

Además, Los filtros son los encargados de eliminar partículas de polvo, ya que el sistema toma aire del ambiente, y las partículas de aceite que son arrastradas debido al sistema de refrigeración del compresor. Actualmente, el sistema de aire comprimido cuenta con un único filtro general para todo el sistema, modelo FA190IH, el cual es de clase 1 según la norma ISO 8573-1. A pesar de que el filtro que posee actualmente el sistema es de la clase de calidad que amerita la empresa, es un único filtro para todo el sistema y es de clase 1; ello ocasiona que este se obstruya de manera constante, al no contar con filtros posteriores de clases más bajas para eliminar las partículas más grandes. Asimismo, por lo anterior, el filtro actual del sistema no realiza su trabajo de manera adecuada, además de que deba ser cambiado constantemente.

La ubicación actual en la red de aire comprimido del secador y el filtro de la red se puede visualizar en la figura 4.1.

4.7.3. Reguladores de presión.

Para evitar la demanda artificial, se debe realizar la corrección de presión para cada uno de los usuarios por medio de conjuntos filtro-regulador de presión o bien solo regulador de presión, estos conjuntos además de garantizar un tipo de calidad de aire específica para cada usuario debido a su filtro, regulan la presión que entrará al usuario.

Se realizó una inspección a cada uno de los reguladores de presión, y la información recopilada sobre cada uno de ellos. Dentro de los datos encontrados, se destaca que solo los usuarios que son máquinas poseen reguladores de presión; es decir, las pistolas de aire que se encuentran sujetas a estos no poseen regulador de presión y reciben la presión directa del compresor de aire.

De aquellos usuarios que sí poseen reguladores en su presión y se encontraban en buenas condiciones, pues contaban con un rango de presión que admitía la presión de diseño del usuario y calidad de aire de tipo según la norma ISO 8573-1:2010, es lo admisible para la aplicación en la industria. Mas, otros conjuntos se encontraban en malas condiciones, no era visible la marca y el modelo por lo que no se encontró información sobre estos. En el anexo 2 se muestra una tabla resumen sobre lo encontrado respecto a los conjuntos filtro-regulador de presión.

En este sentido, se deben reemplazar reguladores de presión de los siguientes usuarios:

- M-005
- EDM
- M-015
- M-016

4.7.4. Análisis de fugas en el sistema.

El sistema de aire comprimido actual presente en la empresa Utitec Medical puede comprender un máximo de 15% de fugas, al estar compuesto por tubería de hierro galvanizado.

La cantidad de fugas presentes en el sistema de aire comprimido representan un 28,4%, lo cual supera por un 13,4% lo permitido. El porcentaje total actual de fugas es equivalente 43,9 ACFM del consumo actual del compresor de aire, lo que comprende un costo anual de ¢2 444 260.

Al implicar un gasto anual significativo para la empresa Utitec Medical S.A., es fundamental realizar la detección y reparación de las fugas para que el sistema funcione de manera eficiente y se minimicen los costos asociados.

5. Rediseño de la red de aire comprimido de la empresa Utitec Medical S.A.

Tras el diagnóstico realizado anteriormente, a continuación, se hará un rediseño basado en el análisis ingenieril y técnico para que el sistema de aire comprimido presente en la empresa Utitec Medical cumpla con los requerimientos de consumo de los usuarios, calidad de aire y, además, se disminuya el consumo de energía y costos del compresor.

5.1. Disminución de la cantidad de fugas.

Tras haberse detectado que el sistema de aire comprimido actual gasta 28,4% de su consumo en fugas, cuyo porcentaje supera por casi el doble el 15% permitido para tuberías de hierro galvanizado; se tomó la decisión de detectar cada una de las fugas presentes en el sistema de aire comprimido de la empresa.

Para lo anterior, se contrató a una empresa tercer, la cual fue PYSA, Proyectos y Automatización S.A. Esta realizó la detección de fugas a lo largo de la red de aire comprimido por medio de pistola ultrasónica, marca CS INSTRUMENTS, modelo LD 400, serie # 0400-3514.0177, pasando detenidamente por cada uno de los tramos y usuarios.

Se detectaron 21 fugas a lo largo de toda la red de aire comprimido, de estas, ninguna está ubicada en zonas principales, distribuidores, ni tuberías secundarias. Dichas fugas encontradas se ubican en puntos de conexión a los usuarios y elementos que componen las máquinas, principalmente en los acoples de las pistolas de aire y mangueras, en los distribuidores a las entradas y salidas de los conjuntos filtro-regulador de presión. En la tabla 5.1 se encuentra un resumen sobre la información recopilada por la empresa PYASA S.A., respecto a la ubicación de cada fuga, el componente dañado, el porcentaje de consumo de aire comprimido que supone la fuga y la solución propuesta, y como se puede apreciar, la fuga más crítica presente en el sistema de aire comprimido se encuentra en una manguera rota en la máquina M-017; solo esta fuga representa un 6,39% del 28,4% de fugas en el sistema.

Tabla 5.1. Resumen de la información recopilada por la empresa PYASA S.A. acerca de los componentes con fugas.

Fuente: Elaboración propia basado en el informe hecho por PYASA S.A. sobre la detección de fugas.

# de Fuga	Máquina	Ubicación de la fuga o componente con fuga	% respecto 28,4% de las fugas	Solución
1	Purga principal	Purga mal posicionada con grieta	1,75%	Repuesto
2	STGR-A #1	Conexión #1 de pistón neumático	5,61%	Repuesto
3	STGR-A #2	Entrada regulador de presión	1,75%	Repuesto
4	STGR-A #3	Salida d regulador de presión	5,61%	Repuesto
5	STGR-A #3	Block de válvulas	1,75%	Repuesto
6	EDM	Salida de tubería en alimentación	1,75%	Repuesto
7	M-002	Bajante de manuguera flexible	1,75%	Mano de obra
8	M-005	Pistola de aire: acople y espiga	5,61%	Repuesto
9	M-005	Distribuidor de 2 salidas en regulador	5,61%	Repuesto
10	M-003	Pistola de aire: espiga	1,75%	Repuesto
11	M-037	Pistola de aire: rosca de alimentación de la manguera	5,61%	Mano de obra
12	M-013	Purga de filtro regulador	1,75%	Repuesto
13	M-039	Distribuidor de dos salidas en la alimentación.	5,61%	Repuesto
14	M-017	Pistola de aire: conexión roscada	5,61%	Repuesto
15	M-015	Pistola de aire: espiga.	5,61%	Repuesto
16	M-015	Salida del conjunto filtro.regulador de presión	1,75%	Repuesto
17	M-017	Salida del conjunto filtro.regulador de presión: manguera rota	22,49%	Mano de obra
18	M-049	Conexión de pistola de aire: acople.	5,61%	Mano de obra
19	M-049	Manguera de alimentación a la máquina: acople.	5,61%	Repuesto
20	Pila de lavado	Salida de regulador de presión distribuidor de 2 salidas	5,61%	Repuesto
21	M-020	Unidad de mantemiento	1,75%	Repuesto

Microsoft Excel.

5.1.1. Reparación, selección y costos de componentes.

Para la reparación de las fugas existentes en el sistema, se dieron dos casos, como se presenta en la tabla 5.1. El primer caso es la reparación inmediata del componente dañado, lo cual está en manos del departamento de mantenimiento, de este tipo de reparación se dieron 4 casos sobre las 21 fugas presentes.

La mayor fuga que poseía el sistema de aire comprimido, la #17, fue uno de estos, por lo cual realizó el cambio de la manguera rota en la salida del regulador de presión que poseía el usuario M-017. Además, pudieron repararse de manera inmediata por medio de mano de obra, las fugas #7, #11 y #18.

El segundo caso es de la reparación de las fugas por medio del cambio de componente, puesto que estas se daban por el deterioro, desgastes excesivos en acoples rápidos o acoples por rosca en mangueras, grietas irreparables en componentes, etc., a causa de un mal mantenimiento y el pasar del tiempo. De las fugas presentes en la red de distribución de aire comprimido, 17 solo poden ser reparadas por este medio.

En conjunto con el análisis de detección de fuga, la empresa PYASA S.A. realizó la selección y cotización de cada uno de los elementos que ameritan ser reemplazados para su reparación, tomando en cuenta que varios de los repuestos necesarios, como lo fueron las pistolas de aire dañadas, ya se encontraban en la bodega de repuestos de la empresa Utitec Medical. Tras lo anterior, se encontró que el costo de los repuestos por comprarse, representa un valor total de ₡660 844, como lo muestra el anexo 3, donde se recopila el valor total de las cotizaciones realizadas.

5.1.2. Porcentaje de fugas.

Teóricamente hablando, el 15% de porcentaje aceptable en el sistema de aire comprimido está asociado a que las tuberías son de hierro galvanizado, y como se mencionó anteriormente, no se encontraron fugas en tuberías secundarias, principal y de distribución. Por ello, teóricamente, este valor de 15% aceptable no existe y sería posible disminuir el porcentaje de fugas a un 0%.

La reparación de las fugas #7, #11, #17 y #18 realizada por medio de la mano de obra de parte del departamento de mantenimiento representaba un total 9,6% de la cantidad total de fugas; por lo tanto, tras realizar estas reparaciones, se logró disminuir la cantidad de fugas a un 18,8% del consumo del compresor de aire, este valor sigue superando por un 8,8% al valor aceptado para el tipo de instalaciones de aire comprimido de la empresa Utitec Medical S.A.

Por esto, para disminuir a un valor aceptable el porcentaje de fugas presente en la red de aire comprimido, se debe invertir en la compra de los repuestos necesarios para realizar las reparaciones de las fugas restantes. Con la reparación de las fugas restantes, teóricamente, no habría un porcentaje de estas, asociado al sistema de aire comprimido, pero como es bien sabido, la red de aire comprimido presente en la empresa Utitec Medical S.A. es muy antigua y al estar compuesta por tubería de hierro galvanizado, igualmente a pesar de realizar todas las reparaciones para eliminar las fugas, se tiene un porcentaje de consumo de

aire comprimido de un 10% por estas, dicho valor será tomado en cuenta tanto en los costos como en los todos los cálculos siguientes del rediseño de la instalación.

Tras lo anterior explicado, con el 10% de las fugas aceptable, se habrían reducido esa cantidad en un 18,4%. Por lo cual, los costos asociados al consumo de aire comprimido por fugas habrían disminuido en un valor de ₡1 582 925, cuyo valor se refleja en la tabla 5.2.

Tabla 5.2. Costos asociados a un 18,4% de fugas en el sistema de aire comprimido.

Fuente: elaboración propia.

Cálculo de costos por exceso de fugas	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	6,3
Tiempo de operación por año (h)	7128
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (₡/kWh)	63,46
Costos pro exceso de fugas anual	₡ 1 582 925

Microsoft Excel

5.2. Disminución de la demanda artificial del sistema por medio de conjuntos filtro-regulador de presión

La disminución de la demanda artificial se puede dar tras configurar la presión de trabajo en los usuarios, por medio de en los reguladores de presión que posee cada uno. En el sistema actual de aire comprimido en la empresa Utitec medical se detectó que varios usuarios no poseen sus reguladores de presión asociados en óptimas condiciones. Como se mencionó anteriormente, los conjuntos filtro-regulador de presión de usuarios M-005, EDM, M-015 y M-016 deben remplazarse.

Para cada uno de los usuarios M-005, EDM y M-015 se seleccionó un conjunto filtro-regulador de presión marca FESTO modelo 1587456PCR, este filtro cuenta con una calidad de aire de clase 1 según la norma ISO 8573-1:2010. Mientras que para el usuario M-016 se seleccionó un conjunto FESTO modelo 1587404PCR, en este el filtro, al igual que el anterior, posee una calidad de aire de clase 1 según la norma ISO 8573-1:2010.

El costo total por el cambio de los conjuntos filtro-regulador de presión en los usuarios mencionados anteriormente es de ₡525 828.

Al realizar el cambio de los reguladores de presión, se pueden configurar a las presiones indicadas por el fabricante cada uno de los usuarios del sistema de aire comprimido, para

eliminar la demanda artificial existente en la red de aire comprimido. La presión de trabajo a la cual se deben ajustar los reguladores de presión, se muestra en la tabla de cada uno de los usuarios que posee regulador de presión debe ser, como la indicada en la tabla 5.3.

5.3. Reajuste de calidad de aire según norma ISO 8573-1

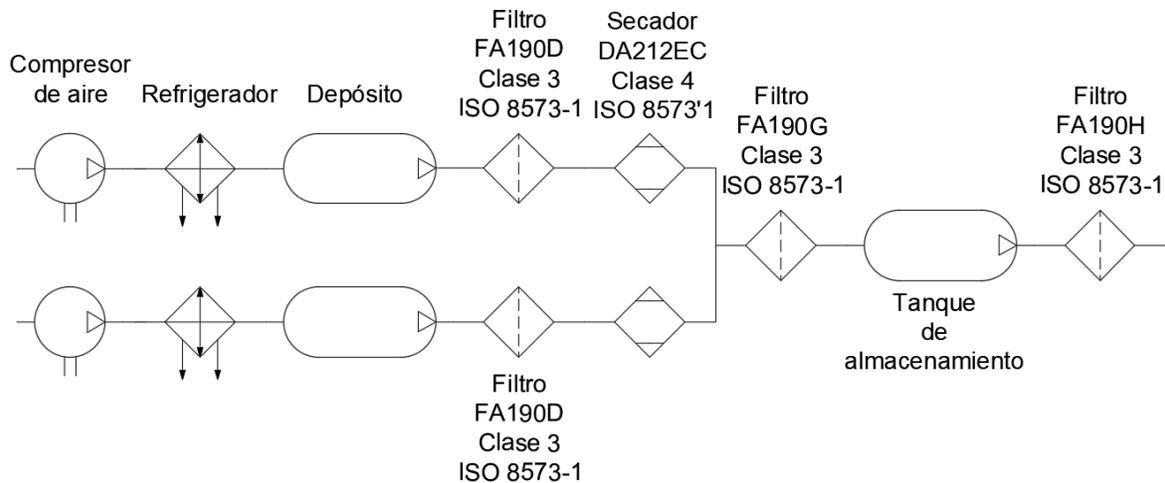
Como se ha mencionado anteriormente, Utitec Medical S.A. es una empresa encargada de la producción de componentes empleados en la industria médica y de semiconductores; este tipo de industrias deben emplear una calidad de aire de 1.4.1 según la norma ISO 8573-1, según el fabricante Ingersoll Rand. Por lo que la red debe poseer:

- Un secador de aire de clase 4, según la norma ISO 8573-1.
- Un conjunto de filtros que entreguen calidad de aire clase 1 según la norma ISO 8573-1.

Por esto, se seleccionó un secador Ingersoll Rand, modelo DA212EC, el cual cumple con ser clase 4 en calidad de aire comprimido respecto a la norma mencionada anteriormente. Además, se seleccionó un conjunto de tres filtros Ingersoll Rand para el sistema, el primero es modelo FA190D, este posee una calidad de aire clase 3; el segundo es modelo FA190G el cual posee una calidad de aire clase 2 y el tercero es el modelo FA190H posee una calidad de aire clase 1. Este último filtro es el que posee actualmente la red de aire comprimido. La ubicación de cada uno de estos elementos en la instalación del sistema de aire comprimido en casa de compresores se muestra en la figura 5.1.

La configuración que se presenta, está compuesta por los tres filtros, como se comentó anteriormente, debido a que esta es la forma recomendada por el fabricante Ingersoll Rand, pues en esta marca específica para obtener una calidad de clase 1, se debe realizar el filtrado del sistema de aire comprimido de manera degradada para evitar la obstrucción de los filtros de clases más altas de calidad de aire.

Además de los filtros presentes cazacompresores, cada uno de los usuarios cuenta con un conjunto filtro-regulador, estos conjuntos son de diversas marcas como lo muestra el anexo 2, pero todos cuentan con una calidad de aire tipo 1 según la norma ISO 8573-1.



AutoDesk AutoCAD 2020

Figura 5.1. Ubicación de filtros y secador en el rediseño del sistema de aire comprimido.
 Fuente: Elaboración propia basada en la simbología para neumática ISO 1219 1 e ISO 1219 2.

5.4. Estimación del caudal de diseño del sistema de aire comprimido.

Para el rediseño del sistema de aire comprimido en términos de la demanda máxima de la red, se tomaron en cuenta las presiones de trabajo y el caudal indicado por cada uno de los fabricantes de los usuarios, para garantizar que los usuarios trabajen de manera eficiente y no disminuya su vida útil. Además, se volvió a tomar el pico más productivo de la empresa Utitec Medical en el año 2019, pero con los datos de placa de cada uno de los usuarios.

Para el cálculo de la demanda máxima del sistema se debió emplear la ecuación 3.2, la tabla 4.4 que presenta la demanda máxima correcta del sistema de aire comprimido en la empresa, coincide con lo planteado para el rediseño. Por lo cual, la demanda máxima red de aire comprimido de la empresa Utitec Medical es de 143, 2 ACFM.

El caudal de diseño es el que determina cuál será la potencia de compresor de aire para suplir la demanda la planta y su cálculo se realiza por medio de la ecuación 3.3, donde se toman en cuenta sobre la demanda máxima los factores por fugas y ampliaciones. Tomando en cuenta que la gerencia de Utitec Medical S.A. específico no toma en cuenta el factor de ampliaciones, solo se aplicará el factor de fugas de 10% anteriormente mencionado; en este sentido, se obtuvo un consumo de diseño de 157,6 ACFM, y tras aplicar la relación para

potencia de compresores de tornillo se tiene una potencia de 31,5 HP, lo cual sobrepasa la potencia del compresor actual.

Tabla 5.3. Demanda máxima del sistema de aire comprimido.
Fuente Elaboración propia.

Código	Presión trabajo (psi)	Caudal (ACFM)
M-003	73	0,818
PM-003	100	0,329
M-005	73	1,550
PM-005	100	0,276
M-050	73	1,550
PM-050	100	0,208
EDM	73	0,818
M-011	100	5,278
PM-011	100	0,086
M-013	100	4,734
PM-013	100	0,173
M-037	100	10,00
PM-037	100	0,519
M-015	73	3,470
PM-015	100	2,334
M-016	73	3,470
PM-016	100	2,161
M-017	73	8,670
PM-017	100	0,432
M-039	73	1,464
PM-039	100	1,989
M-049	73	8,670
PM-049	100	0,190
BAR	87	0,008
M-009	100	0,897
PM-009	100	6,052
M-020	100	19,71
PM-020	100	6,917
N/A	100	19,71
M-051	100	19,98
PM-051	100	6,225
STRG-A #1	44	0,003
STRG-A #2	44	0,003
STRG-A #3	44	0,003
PSEMI	100	4,539
Demand máxima (ACFM)		143,2

Microsoft Excel.

5.4.1. Selección de sistema de control.

Como se mencionó antes, el sistema de aire comprimido presente en la empresa Utitec Medical, está compuesto por dos compresores de aire conectados en paralelo, sin embargo, estos trabajan de forma rotativa cada semana; es decir el compresor M-040 trabaja una semana y el M-042 trabaja la semana siguiente. Tras lo mencionado anteriormente, cuando existen picos de producción, la planta demanda 157,6 ACFM, cantidad de caudal de aire comprimido que un solo compresor de 30 HP no puede suplir.

Al estar los compresores conectados en paralelo, se puede colocar un sistema de control, que detecte cuando el principal esté en plena carga y ponga a funcionar el segundo y así juntos solventen la demanda cuando la empresa se está con alta producción. Este mismo sistema haría que el compresor extra no trabaje cuando la demanda baje y dejaría únicamente realizando las tareas al compresor que se encontraba supliendo al sistema inicialmente.

La marca Ingersoll Rand posee un controlador, modelo X4I, que puede cumplir con dicha tarea. Este controlador además de solventar el problema anteriormente expuesto, es capaz de controlar los horarios de encendido y apagado de cada de los compresores de aire presentes en la empresa. Por lo cual se pueden programar los compresores para únicamente trabajar de 6:00 a.m. a 11:30 a.m., horario que suple las jornadas A y B de la planta. Con lo anterior, el compresor que se encuentre trabajando pasará de funcionar 24 horas al día, durante 6 días seguidos, a 17,5 horas por día. Con esto el costo anual de operación del compresor sería de ₡5 503 445, como lo muestra la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Costo anual de operación del compresor de aire al trabajar 17,5 horas diarias durante 6 días a la semana.

Fuente Elaboración propia

Cálculo de costos de operación	
Eficiencia del motor	90%
Potencia (hp)	30
Tiempo de operación por año (h)	5197,5
Tiempo a plena carga	53%
Tiempo a carga parcial	47%
Compresor de tornillo	30%
Costo de electricidad (₡/kWh)	63,46
Costos de operación	₡ 5 503 445,36

Microsoft Excel.

5.5. Estimación de la presión mínima de trabajo

La presión mínima de trabajo se calcula por medio de la ecuación 3.4 y primeramente va a depender del usuario que consuma la mayor cantidad de presión en el sistema de aire comprimido. En el caso de la planta de producción de Utitec Medical, la presión máxima exigida al sistema es de 100 psi, esta presión es empleada por la mayor parte de los usuarios, como se muestra en la tabla 5.3.

Además, para el cálculo de la presión mínima de trabajo se deben tomar en cuenta las caídas de presión en la red de aire comprimido producido por cada uno de los filtros y el secador que componen el sistema. Cabe recalcar que se toman en cuenta las caídas de presión de los nuevos componentes seleccionados para el presente rediseño, es decir tres filtros y dos secadores, seleccionados anteriormente. Los datos de cada uno de los filtros y secadores se muestran en el anexo 7.

$$P_{min} = (100 [psi] + 1,241 [psi] \times 3 + 1,8 [psi] \times 2) \times (1 + 1,03) = 110,3 psi$$

Se obtuvo una presión mínima o presión de carga de 110,3 psi, y por lo que la se tomará la presión mínima a 111 psi. Tomando en cuenta el criterio indicador de que la mínima presión de descarga debe ser 1 bar, es decir 14,5 psi, mayor a la presión de carga, se selecciona para cada uno de los compresores que la presión de descarga de 126 psi.

A 126 psi el caudal entregado por un compresor es de 114 ACFM, valor calculado por medio de la ley de gases ideales usando los valores de presión y caudal dados por el manual del compresor UP6 30, de Ingersoll Rand. Pero 114 ACFM es un valor muy por debajo de los 157,6 ACFM de demanda máxima necesaria para la planta, lo cual demuestra que un solo compresor no es capaz de suplir la demanda máxima y, cuando esta se presente, deben trabajar los dos compresores en paralelo para suplir el caudal ameritado en picos de producción.

6.Análisis de viabilidad económica del rediseño de la red de aire comprimido.

El rediseño de todo sistema de aire comprimido supone una inversión inicial, pero al realizarlo deben implementarse mejoras que demuestren una ganancia para la empresa; el tipo de ganancia que tiene mayor peso en la industria es la económica. A continuación, se realizará el análisis de viabilidad económica del rediseño del sistema de aire comprimido de la empresa Utitec Medical S.A., tomando en cuenta indicadores financieros como lo son el valor acumulado neto (VAN), que indica la ganancia obtenida al final del periodo estudiado; la tasa interna de retorno (TIR) que indica si un proyecto es rentable (cuando el valor es mayor a cero) o no es rentable (cuando el valor es menor a cero); y por último, el tiempo de recuperación de la inversión, el cual establece en qué momento del periodo analizado sobre el proyecto la inversión ha sido pagada y el tiempo por delante del proyecto cuando este empieza a generar ganancias.

6.1. Análisis de viabilidad económica sobre la disminución de fugas.

El porcentaje de fugas presente en la empresa Utitec Medical S.A. actualmente es de 28,4%, el cual tras el rediseño y análisis del sistema de aire comprimido se puede llegar a disminuir a un 10%, es decir que se podría realizar un ahorro que represente una ganancia para la empresa de ₡1 582 925, lo cual equivalente a disminuir en un 18,4% la cantidad de fugas presente en el sistema.

Pero como se mencionó anteriormente, para generar este ahorro debe hacerse una inversión inicial. Primero se debieron detectar las fugas presentes en el sistema, lo cual fue realizado por medio de la tercerización de la empresa PYASA, y representó un costo de \$300, que al cambio del dólar del día 21 de mayo del 2021 según el Banco Central de Costa Rica, es de ₡186 102. Posteriormente, la reparación de 17 de las fugas presentes en el sistema solo se puede realizar por medio de reemplazo de las partes y estos repuestos suponen un costo total de ₡660 844, como lo muestra el anexo 3. Por lo que la inversión total inicial para disminuir al 10% las fugas es de ₡846 946,29.

Con el dato anterior de inversión y el de ganancia, se realizó el análisis de viabilidad económica, tomando en cuenta una TREMA (tasa mínima aceptable de rendimiento) del 10%, valor que es importante cuando se va a traer la utilidad neta a valor presente. Además de un periodo de análisis de 2 años, un dato aceptable para un proyecto de corto plazo. En la tabla 6.1 se muestran los resultados obtenidos.

El primer indicador tomado en cuenta para el análisis de viabilidad financiera de la disminución de fugas es el valor acumulado neto (VAN), del que se obtuvo un valor de ¢2 390 087, por lo cual se obtendrá este valor en ganancia sobre la inversión realizada tras el periodo de 2 años en que se basa el presente análisis.

Como segundo indicador se encuentra la tasa interna de retorno (TIR), de la cual se obtuvo que es de un 86,9%, este es un valor muy por encima del cero, es decir es un porcentaje positivo que indica que el proyecto es rentable.

Por último, se tiene el periodo de recuperación, el cual establece que después de 7,4 meses de haber realizado la inversión para disminuir las fugas, dicha inversión ha sido pagada y se empezarán a generar ganancias para la empresa.

Tabla 6.1. Análisis financiero de la disminución de fugas en el sistema de aire comprimido.
Fuente Elaboración propia

Años	0	1	2
Inversion	-¢846 946,29		
Ganancia		¢1 582 925,45	¢1 582 925,45
Utilidad antes de impuestos		¢1 582 925,45	¢1 582 925,45
Valor del impuesto de 13%		¢205 780,31	¢205 780,31
Utilidad neta	-¢846 946,29	¢1 377 145,14	¢1 377 145,14
VP		¢1 251 950,13	¢1 377 145,14
Valor acumulado		¢1 251 950,13	¢2 629 095,28
Periodo de recuperación descontado		¢405 003,84	¢1 782 148,99
	VAN FLUJO	¢2 390 087	
	VAN PROYECTO	¢1 543 140	
	TIR Anual	86,90%	
	Año de recuperación	0,62	
	Mes de recuperación	7,38	

Microsoft Excel.

6.2. Análisis de viabilidad económica sobre la disminución de la demanda artificial.

La sobrepresión en los usuarios del sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A. actualmente es de 13,9 psi, lo cual comprende un aumento en los costos de operación del compresor de aire del 6,97%, es decir la demanda artificial comprende un costo de ¢525 828.

Tras el rediseño y análisis del sistema de aire comprimido, se puede llegar a eliminar la demanda artificial producida en la red por medio de la configuración de los reguladores de

presión de los usuarios. Pero se descubrió que cuatro de los usuarios que suponen la demanda artificial al sistema no poseen sus reguladores en buen estado; por ello, para disminuir la demanda artificial, se debe hacer una inversión inicial en la compra de nuevos conjuntos filtro-regulador de presión para los usuarios M-005, EDM, M-015 y M-016. Esta inversión inicial es de ¢343 824,00.

Con los datos anteriores de inversión y una ganancia equivalente al costo actual de la demanda artificial, se realizó el análisis de viabilidad económica. Para esto, la tasa mínima aceptable de rendimiento (TREMA) se tomó de un 10% y el periodo del análisis es de 2 años, datos aceptables para un proyecto de corto plazo.

Tabla 6.2. Análisis financiero respecto a la eliminación de la demanda artificial en el sistema de aire comprimido.

Fuente Elaboración propia

Años	0	1	2
Inversion (¢)	-¢343 824,00		
Ganancia (¢)		¢525 828,01	¢525 828,01
Utilidad antes de impuestos (¢)		¢525 828,01	¢525 828,01
Valor del impuesto de 13% (¢)		¢68 357,64	¢68 357,64
Utilidad neta (¢)	-¢343 824,00	¢457 470,37	¢457 470,37
VP (¢)		¢415 882,16	¢457 470,37
Valor acumulado (¢)		¢415 882,16	¢873 352,53
Periodo de recuperación descontado (¢)		¢72 058,16	¢529 528,53
VAN FLUJO		¢793 957	
VAN PROYECTO		¢450 133	
TIR		52,94%	
Año de recuperación		0,75	
Mes de recuperación		9,02	

Microsoft Excel.

Como se puede apreciar en la tabla 6.2, se obtuvo que el valor acumulado neto (VAN), del cual se obtuvo un valor de ¢793 957, indica que este es el valor en ganancia obtenido, tras la inversión realizada en los repuestos de los reguladores de presión en el periodo de los dos años analizados, lo cual demuestra beneficio a favor de la empresa.

Asimismo, de la tasa interna de retorno (TIR) se obtiene un 52,94%, ello corresponde a un valor positivo que, además, se encuentra muy por encima del cero. El porcentaje de TIR encontrado indica la rentabilidad de la inversión.

Por último, el periodo de recuperación de la inversión es de 9,02 meses, es decir que en menos de un año la inversión realizada para eliminar la demanda artificial presente en la empresa esta será recuperada.

6.3. Análisis de viabilidad económica sobre la aplicación del controlador de compresores Ingersoll Rand modelo X4I.

Tras realizar el rediseño del sistema de aire comprimido, se confirmó que un solo compresor de 30HP no es capaz de suplir la demanda de 157,6 ACFM que exige la planta de la empresa Utitec Medical durante los picos de producción. El cambio de ambos compresores, por los de 40 HP no es rentable para la empresa, por lo cual la compra de un controlador de compresores es la salida más factible para Utitec Medical.

Por medio del controlador se pueden poner a trabajar los dos compresores de aire de 30 HP existentes actualmente en la empresa, cuando hay picos de producción. Además, por medio de este se pueden programar dichos compresores para que pasen se trabajar 24 horas diarias, a solo las 17,5 horas que comprenden las dos jornadas en que trabaja la planta, esta disminución de tiempo de operación supone un ahorro en gasto de consumo de energía de ₡2 044 136.

El costo del controlador es de \$ 4 917, que con el cambio del dólar del día 21 de mayo del 2021 según el Banco Central de Costa Rica, el valor en colones es de ₡3 050 441. Esta es la inversión inicial.

Tabla 6.3. Análisis de viabilidad financiero sobre la inversión en un controlador de compresores Ingersoll Rand modelo X4I
Fuente Elaboración propia.

Años	0	1	2
Inversion (₡)	-₡3 050 441,31		
Ganancia (₡)		₡2 044 136,85	₡2 044 136,85
Utilidad antes de impuestos (₡)		₡2 044 136,85	₡2 044 136,85
Valor del impuesto de 13% (₡)		₡265 737,79	₡265 737,79
Utilidad neta (₡)	-₡3 050 441,31	₡1 778 399,06	₡1 778 399,06
VP (₡)		₡1 616 726,41	₡1 778 399,06
Valor acumulado (₡)		₡1 616 726,41	₡3 395 125,47
Periodo de recuperación descontado (₡)		-₡1 433 714,89	₡344 684,17
VAN FLUJO		₡3 086 478	
VAN PROYECTO		₡36 036	
TIR		32,99%	
Año de recuperación		1,72	
Mes de recuperación		20,58	

Microsoft Excel.

Con los datos expuestos, referentes al valor de inversión en el controlador y la ganancia que este producirá anualmente debido a la disminución del costo de operación del compresor, se realizó el análisis de viabilidad económica. Para el cual, la tasa mínima aceptable de rendimiento (TREMA) se tomó de un 10% y el periodo del análisis es de 2 años; estos datos son aceptables para un proyecto de corto plazo.

En la tabla 6.3 se muestran los indicadores obtenidos tras realizar el análisis de viabilidad económica al realizar la inversión en el controlador de compresores. El primer indicador que tomar en cuenta es el valor acumulado neto (VAN) con un valor de ¢3 086478, lo cual demuestra que se obtendrá una ganancia de este valor tras el periodo de los dos años.

Posteriormente, el segundo indicador es la tasa interna de retorno (TIR), de la cual se obtuvo un valor positivo de 32,99%; este, además, se encuentra considerablemente por encima del cero. Este porcentaje de TIR indica que realizar la inversión en el controlador es rentable.

Por último, el tercer indicador, correspondiente al periodo de recuperación de la inversión, muestra que en poco menos de un año y 9 meses la inversión realizada en el controlador ha sido recuperada y posterior e este tiempo, se empezaran a generar ganancias para la empresa por parte de la implementación del controlador.

6.4. Calidad del aire comprimido.

Durante el periodo en el que se realizó el presente proyecto no se implementaron los cambios en los secadores y filtros en el sistema de aire comprimido que permiten cambiar la calidad de aire de la red de a 1.4.1 según la norma ISO 8573.1:2010, la cual es la calidad de aire adecuada para el tipo de industria que es Utitec Medical S.A. Esto debido a los costos totales por implementarlo son de ¢6 854 757 y, tras las bajas en producción que presenta la empresa actualmente, no pueden realizar el cambio en un futuro cercano, por lo cual fue imposible realizar un análisis económico que evidenciara el impacto financiero respecto al cambio en la calidad de aire.

7. Conclusiones

1. Se logró realizar el rediseño del sistema de aire comprimido presente en la empresa Utitec Medical S.A, que el cual cumple con las necesidades presentes en la empresa respecto a la demanda máxima y de calidad de aire respectiva para el tipo de industria, además de disminuir de consumo de energía y los costos de operación.
2. Tras la inspección, análisis y diagnóstico de la red de aire comprimido de la empresa, se encontró que esta presentaba un porcentaje de fugas de un 28,4% respecto al consumo actual de la empresa. Además, de una sobrepresión de 13,9 psi en el sistema, lo cual comprende un aumento en los costos de operación del compresor de un 6,97%. Asimismo, la demanda máxima en picos de producción es de 219,8 ACFM, caudal que es imposible de suplir por un compresor de 30 HP, además de que la presión mínima de trabajo del sistema es de 100 psi y el compresor se encuentra trabajando 24h del día a pesar de que la planta solo trabaja 17,5 horas diarias. Por último, el sistema no cumplía con la calidad de aire establecida para la industria médica y de semiconductores indicados, según la norma ISO 8573-1.
3. Por medio del rediseño se logró disminuir el porcentaje de fugas a un 10%, por medio de la reparación de las presentes en el sistema. Por otro lado, se eliminó la demanda artificial, tras la configuración adecuada de cada uno de los reguladores de presión que poseían los usuarios, y el reemplazo de 4 de los reguladores que representaban demanda artificial. Se estableció que la presión mínima de trabajo del sistema es de 115 psi y la presión de descarga debe de ser de 130 psi. Además, se logró disminuir la demanda máxima del sistema de aire comprimido a 157,6 ACFM, pero esta es una cantidad de caudal que sigue sin poder suplir un compresor del 30 HP, por lo que se optó por la instalación de controlador de compresores que activa los dos presentes en la planta, durante los picos de producción para que estos suplan la carga; además, este controlador programa los compresores para que estos trabajen en el horario en el que la planta se encuentra produciendo; es decir, solo trabajen durante 17,5 horas diarias. Por último, se realizó la selección de un secador para cada compresor que cumple con la calidad de aire clase 4 y un conjunto de filtros que poseen calidad aire clase 1, según la norma ISO 8573-1, para así obtener una

calidad de aire clase 1.4.1 que es la establecida para la industria médica y de semiconductores.

4. Tras realizar el análisis de viabilidad económica de cada uno de los cambios realizados en el rediseño del sistema de aire comprimido, se obtuvo que la disminución de fugas a un 10% cuenta con una tasa de rentabilidad de un 86,9%, y el retorno de la inversión es de 7,4 meses. Respecto a la eliminación de la demanda artificial, se tiene que la inversión se recupera en 9 meses y la tasa de rentabilidad es del 52,9%. Y por último que al implementar el controlador de compresores, la inversión se recuperará en poco menos de un año y 9 meses, con una tasa de rentabilidad del 33%. No se pudo realizar un análisis económico respecto al impacto financiero al implementar el cambio en la calidad de aire comprimido, debido a que los costos son muy altos y la empresa no cuenta con el presupuesto actualmente para implementarlo.

8. Recomendaciones

1. Se recomienda realizar una actualización el plan de mantenimiento preventivo de todo el sistema de aire comprimido, tanto lo referente a la inspección visual de los reguladores de presión para evitar un aumento en la presión de trabajo de los usuarios como llevar un registro de los componentes que componen el sistema, para evitar la aparición de fugas en componentes que ya cumplieron su vida útil.
2. Incluir a la rutina de mantenimiento preventivo las inspecciones y detección de fugas por medio de terceros para evitar aumentar la eficiencia del sistema y disminuir los costos asociados.
3. Evaluar la posibilidad de implementar una calidad de aire 1.4.1 según la norma ISO 8573-1.
4. Valorar la posibilidad de realizar el cambio de la tubería de aire comprimido a a una que sea de aluminio, o bien si conservara la tubería actual, implementar un sistema de protección contra la corrosión. Esto podría realizarse mediante la aplicación alguna pintura especial recomendada por expertos en el tema. Todo lo anterior es para evitar la aparición de partículas en el aire comprimido que comprometan la calidad del aire empleado en la planta.

9. Bibliografía

- CAGI. (noviembre 2018). Compressed Air and Gas Handbook: Chapter 2 - Compressed Air Production (Compressors). Recuperado el 9 de enero de 2015, de: [CAGI_ElectHB_ch2.pdf](#)
- CAGI. (noviembre 2016) Compressed Air and Gas Handbook:Chapter 1- Compressed Air Used. Recuperado el 10 de enero de 2015, https://www.cagi.org/pdfs/CAGI_ElectHB_ch1.pdf
- CAGI. (febrero 2017). The Compressed Air and Gas Handbook: Chapter 3. Compressed Air Treatment (Dryers and filters). Recuperado el 05 abril de 2021, de [CAGI_ElectHB_ch3.pdf](#)
- CAGI. (enero 2021). The Compressed Air and Gas Handbook: Chapter 4. Compressed Air Distribution (Systems). Recuperado 30 de marzo 2021, de : [CAGI_ElectHB_ch4.pdf](#)
- Carnicer, E. (1994). *Aire Comprimido*. Madrid, España: Editorial Paraninfo.
- Garro, J. (2020). *Apuntes 3 sobre Aire Comprimido*. Curso de Turbomáquinas, Escuela de Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica.
- Grupo ICE. (2018). *Buenas Prácticas de Eficiencia Energética Para Aire Comprimido Industrial*, Deutsche Gesellschaft für Zusammenarbeit (GIZ), Costa Rica.
- Ingersoll Rand, (2016). *Installation, Operation and Maintenance: UPS6S 30*. Recuperado de: https://www.ingersollrand.com/content/dam/ir-products/en/100page/OFlidRC/UP6%2011-22kw_80448418.pdf
- Ingersoll Rand (2007). *Guía sobre calidad de aire*. Reino Unido.
- International Organization for Standardization. (2010). ISO 8573-1:2010, *Compressed air - Part 1: Contaminants and purity classes*. Recuperado de <https://www.iso.org/standard/46418.html>
- McMaster-Caar. (2021). Plastic-Body Blowgun with 4" Long Angled Nozzle. Recuperado de: [Plastic-Body Blowgun, with 4" Long Angled Nozzle | McMaster-Carr](#)
- MRPERÚ. (26 noviembre, 2018). ¿Cómo detectar y reparar fugas de aire comprimido?. Recuperado de: <https://www.mrperu.com.pe/blog/detectar-reparar-fugas-aire-comprimido/> Consultado el día 21 de mayo de 2021.
- Office of Industrial Technologies (1998). *Compressed Air Systems Fact Sheet #7*. Department of Energy, United States of America. Recuperado de:

<https://www.compressedairchallenge.org/data/sites/1/media/library/factsheets/factsheet07.pdf>

Office of Industrial Technologies (1998). *Compressed Air Systems Fact Sheet #9*. Department of Energy, United States of America. Recuperado de: <https://www.compressedairchallenge.org/data/sites/1/media/library/factsheets/factsheet09.pdf>

Paredes, J. (2016). *Diseño de las redes de aire comprimido y transporte neumático en un astillero*. Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia

Torres, Y. (2015). *Diagnóstico de la red de aire comprimido de la planta de yogurt de Sigma Alimentos en Cartago*. Grado de licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Torrent, M. (Febrero 2014). Generación de aire comprimido. *Automática e Instrumentación*, (459), 72-79.

Yuyan, C. Zhang, T. (2016). *A Decision-Based Analysis of Compressed Air Usage Patterns in Automotive Manufacturing*, University of California-Berkeley, Estados Unidos de America.

Zamora, J. (2013). Seminario de Neumática Básica. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/33210813/19112859-CURSO-DE-NEUMATICAv20.pdf?1394744845=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DNeumatica_Basica_Neumatica_Basica.pdf&Expires=1615572973&Signature=OJXNhR~lq2sH0H~eGACdbfy3EIoaqFqFzkzaFa4deDvib96HX9szYRRoZc7Am4TJos2Uib8RSoASrHjjocHWsNrgP75zudCy678On0X-AOMSX1zjXB5byg6lwkm-QeWgLd44d8G64IZn95UE5cP4Rg5OWHRDVpUrxM7xWG8eIyts7WFL1EI2OwcS4iVc9uGDz0glV6eLf2l23Tu~BHhNPLNzvpGaUBgBuiNAQ0p8OVmsrcVMR4PbzWEMAfqRze6SZuOqLL4MzTUfo4RnX1njmyOzxOCATktI8-kkQeuubzJJP1wuj-4cmg5M-REenxixDuLcdIBpk7sNcMr8sXp0~Q__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

10. Anexos

Anexo 1. Demanda artificial: diferencia de presión.

Codigo	Diseño	Actual	Diferencia de presión
	trabajo (psi)	Presión trabajo (psi)	
M-003	73	79,8	6,8
PM-003	100	110,0	10,0
M-005	73	105,0	32,0
PM-005	100	110,0	10,0
M-050	73	72,5	
PM-050	100	110,0	10,0
EDM	73	95,3	22,3
M-007	100	110,0	10,0
PM-007	100	110,0	10,0
M-010	100	110,0	10,0
PM-010	100	110,0	10,0
M-011	100	95,0	
PM-011	100	95,0	
M-012	100	98,0	
PM-012	100	98,0	
M-013	100	100,0	
PM-013	100	100,0	
M-037	100	88,0	
PM-037	100	88,0	
M-015	73	72,5	
PM-015	100	110,0	10,0
M-016	73	65,3	
PM-016	100	110,0	10,0
M-017	73	65,3	
PM-017	100	110,0	10,0
M-039	73	108,8	35,8
PM-039	100	108,8	8,8
M-040	73	72,5	
PM-040	73	72,3	
M-049	73	65,3	
PM-049	100	110,0	10,0
BAR	87	100,0	13,0
M-009	100	110,0	10,0
PM-009	100	110,0	10,0
M-020	100	47,0	
PM-020	100	110,0	10,0
N/A	100	72,5	
M-051	100	110,0	10,0
PM-051	100	110,0	10,0
STRG-A #1	44	44,0	
STRG-A #2	44	44,0	
STRG-A #3	44	44,0	
PSEMI	100	110,0	10,0
PCAL	100	110,0	10,0
		Diferencia Presión	13,9

Microsoft Excel.

Anexo 2. Conjuntos filtro-regulador de presión del sistema de aire comprimido en la empresa Utitec Medical S.A.

Codigo	Presión (psi)	Marca	Modelo
M-003	79,8	Festo	159635
M-005	105,0	No especifica	
M-050	72,5	CKD	W3000-8-W-FT8
EDM	95,3	No especifica	
M-007	110,0	Parker	06E1C00017P
M-010	98,0	Parker	06E1C00017P
M-011	95,0	Parker	06E1C00017P
M-012	98,0	Parker	06E1C00017P
M-013	100,0	Festo	HE D- Mini FN43/D-1/4.Mini 554202 H147
M-037	88,0	Parker	06E1C00017P
M-015	72,5	No especifica	
M-016	65,3	No especifica	
M-017	65,3	SMC	AW20K-1B5
M-039	108,8	Koganel	FR300-02-A-36W
M-040	72,5	Koganel	FR300-02-A-36W
M-049	65,3	CKD	W1000-6-W
Bar	100,0	Festo	HE D- Mini FN43/D-1/4.Mini 554202 H143
M-009	110,0	No posee	
M-020	47,0	SMC	AL20-N2-CZ-A
N/A	72,5	No especifica	
M-051	110,0	No posee	
STRG-A #1	44,0	Dixon	R07-200R
STRG-A #2	44,0	Dixon	R07-200R
STRG-A #3	44,0	Dixon	R07-200R

Microsoft Excel.

Anexo 3. Resumen de costos de los repuestos para la reparación de fugas.

Repuestos reparación de Fugas			
Cant.	Descripción	Precio individual (C)	Precio total (C)
2	Racor 1/8 a 6mm	2382	4764
1	Acople rapido codo 1/4 a 6	4111,5	4111,5
3	Racor 1/4 a 10mm	3657	10971
5	Acople rapido hembra (manguera)	9371,01	46855,05
4	Acople rapido macho a macho 1/4	2220,65	8882,6
1	Acople rapido HM a HM 1/4	2564,85	2564,85
1	Racor distribuidor multiple	16840,5	16840,5
1	Racor rapido codo 1/8 a 6mm	3742,5	3742,5
1	Racor distribuidor multiple	16755	16755
1	Unión recta 4mm	3997,5	3997,5
1	Manguera flexible 4mm	1048,5	1048,5
5	Manguera flexible 6mm	1503	7515
5	Manguera flexible 8mm	2154	10770
5	Manguera flexible 10mm	3288	16440
1	Drain	238080	238080
1	Filtro Festo MS4	73510,29	73510,29
1	Regulador de presión Pneumax	33337	33337
1	Unidad mantenimiento Festo	143989,5	143989,5
1	Escuada fijación	16669,5	16669,5
TOTAL			C 660 844,29

Microsoft Excel.

Anexo 4. Resumen de costos de conjuntos regulador

Repuestos reguladores de presión			
Cant	Descripción	Precio individual (C)	Precio total (C)
3	Conjunto filtro-regulador Festo 1/4	81817,5	245452,5
4	Escuada fijación	4138,5	16554
1	Conjunto filtro-regulador Festo 1/8	81817,5	81817,5
TOTAL			C 343 824,00

Microsoft Excel.

Anexo 5. Resumen de costos por implementación de calidad de aire.

Calidad de aire			
Cant	Descripción	Precio individual (\$)	Precio total (\$)
2	Secador Ingesoll Rand DA212CA	4250	8500
2	Filtro Ingesoll Rand FA190ID	510	1020
2	Filtro Ingesoll Rand FA190IG	510	1020
1	Filtro Ingesoll Rand FA190IH	510	510
TOTAL			11050
TOTAL			C 6 854 757,00

NOTA: Valor de venta del dólar en ¢620,34 del día 21 de mayo de 2020.

Anexo 6. Caída de presión de filtros y secador.

Fuente: elaboración propia basada en los datasheet de los elementos marca Ingersoll Rand, modelos DA212CA, FA190D, FA190G y FA190H.

Elemento	Caída de presión (psi)
FA190ID	1,241
FA190IG	1,241
FA190IH	1,241
DA212CA	1,800

Microsoft Excel.

11. Apéndice.

Apéndice 1. Consumo de aire para cilindros neumáticos.

Tabla 11.3. CONSUMO DE AIRE PARA CILINDROS NEUMATICOS

Presión de trabajo en bar															
Diámetro cilindro, mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro															
6	0,0005	0,0008	0,0011	0,0014	0,0016	0,0019	0,0022	0,0025	0,0027	0,0030	0,0033	0,0036	0,0038	0,0041	0,0044
12	0,002	0,003	0,004	0,006	0,007	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,018
16	0,004	0,006	0,008	0,010	0,011	0,014	0,016	0,018	0,020	0,022	0,024	0,026	0,028	0,029	0,032
25	0,010	0,014	0,019	0,024	0,029	0,033	0,038	0,043	0,048	0,052	0,057	0,062	0,067	0,071	0,076
35	0,019	0,028	0,038	0,047	0,056	0,066	0,075	0,084	0,093	0,103	0,112	0,121	0,131	0,140	0,149
40	0,025	0,037	0,049	0,061	0,073	0,085	0,097	0,110	0,122	0,135	0,146	0,157	0,171	0,183	0,195
50	0,039	0,058	0,077	0,096	0,115	0,134	0,153	0,172	0,191	0,210	0,229	0,248	0,267	0,286	0,305
70	0,076	0,113	0,150	0,187	0,225	0,262	0,299	0,335	0,374	0,411	0,448	0,485	0,523	0,560	0,597
100	0,155	0,231	0,307	0,383	0,459	0,535	0,611	0,687	0,763	0,839	0,915	0,991	1,067	1,143	1,219
140	0,303	0,452	0,601	0,750	0,899	1,048	1,197	1,346	1,495	1,644	1,793	1,942	2,091	2,240	2,389
200	0,618	0,923	1,227	1,531	1,835	2,139	2,443	2,747	3,052	3,356	3,660	3,964	4,268	4,572	4,876
250	0,966	1,441	1,916	2,392	2,867	3,342	3,817	4,292	4,768	5,243	5,718	6,193	6,668	7,144	7,619

Fuente: Carnicer, 1994. Aire Comprimido.

Apéndice 2. Cotización de detección de fugas

PROYECTOS Y AUTOMATIZACIÓN S.A.

Cedula Jurídica: 3-101-373211 / Teléfonos: (506) 2435-9089 / 2435-9091
www.pyasa.net



Fecha: 21 de abril de 2021

Cotización N°: EF21-04-2021

Señores:

UTITEC

Atención:	Ing. Olger Campos
	6022-4388
	Olger.campos@utitec.com

Lo sistemas de aire comprimido están expuestos a las fugas. La teoría indica que estas fugas pueden representar hasta un 30% del aire comprimido que se produce en planta; por lo que es de suma importancia el monitoreo, seguimiento y corrección de estas fugas.

Las fugas de aire comprimido representan una considerable pérdida de dinero, que en la mayoría de los casos no se le toma importancia. Una sola fuga en un orificio de 1/16" (1,59 mm) a 125 PSI representa una pérdida en caudal de aire de 7,90 CFM's, (223 l/m), lo que se traduce en un monto cercano a los US\$613,00 anuales dependiendo de las horas de operación del compresor.

A mayor cantidad de fugas menor presión en punto de consumo, lo que provoca también a aumentar la presión de operación del compresor. Por cada 2 PSI de incremento en la presión de operación de los compresores se eleva un 1% el consumo de energía en la generación.

Lo anterior trae como consecuencia un mayor costo en mantenimiento, bajo rendimiento en máquinas y mayor contaminación auditiva en planta.

Proyectos y Automatización S.A., tiene el agrado de presentar nuestra propuesta por un servicio de detección e identificación de fugas en la red de aire comprimido que incluye:



- **Detección e identificación de fugas en aire comprimido por medio de pistola ultrasónica.**



- **Etiquetado de las fugas identificadas para su posterior intervención por parte del cliente.**



- **Reporte escrito y estimación de pérdidas por fugas.**

OFERTA ECONOMICA

Cantidad	Descripción	Precio Total
1	Servicio de detección e identificación de fugas de aire comprimido Alcance: Cuarto de generación y tratamiento de aire comprimido Red principal de aire comprimido Bajantes de aire comprimido hasta el punto de conexión con máquina. <u>No incluye</u> - <u>revisión en el interior de las máquinas.</u> - -	\$300,00
Subtotal:		\$300,00
IVA (0%): EXENTO ZONA FRANCA		\$0,00
Precio Total:		\$300,00

PRECIOS:	Están expresados en Dólares de los Estados Unidos de América.
FORMA DE PAGO:	Crédito 30 días.
VALIDEZ DE LA OFERTA:	30 días hábiles.

Sin otro particular, quedamos a su disposición para cualquier consulta o comentario al respecto.

Atentamente,

Ing. Juan Carlos González P.	
Gerente General	
	2435-9091 / 8834-9774
	jgonzalez@pyasa.net

Sr. Joshua Rojas	
Asesor Comercial	
	2435-9091 / 7271-3315
	ventas08@pyasa.net

Apéndice 3. Informe por parte de PYASA S.A. respecto a las fugas detectadas en el sistema de aire comprimido.



Pág.1

REPORTE DE INSPECCION DE FUGAS

EEF-008

Fecha:	Lunes 10 de mayo de 2021
Cliente:	Utitec Medical
Contacto:	Sr. Olger Campos
Dirección:	Zona Franca Coyol
Teléfono:	(506) 6022 3488
Email:	OLger.Campos@utitec.com

El día Lunes 10 de mayo del año 2021, se realizó una inspección de la tubería de aire comprimido y de los puntos de uso dentro de la planta de producción realizando la inspección de los componentes neumáticos con el fin de verificar la existencia de fugas.

Para la realización del ejercicio se procedió a utilizar la pistola ultrasónica para detección de fugas de aire comprimido: CS INSTRUMENTS, modelo LD 400, serie # 0400-3514.0177; encontrando el siguiente resultado para su corrección:

Proyectos y Automatización S.A.

Teléfono: (506) 2435-9089

www.pyasa.net ● Alajuela, Costa Rica



PROYECTOS Y AUTOMATIZACION S.A

Fuga #1, 48dB registrados, Sala maquinas, purga de condensado mal posicionada.



Fuga # 2, 60dB registrados, STRG-A#1, Conexión numero #1 de pistón neumático.



Fuga # 3, 53dB registrados, STRG-A#2 regulador de presión pneumax.



Fuga #5, 53 dB registrados, STRG-A#3, en el block de válvulas, el racor con salida de manguera transparente .



Fuga #4, 60dB registrados, STRG-A#3, salida del regulador en el Bushing de reducción.



Fuga #6, 47dB registrados, SEMICONDUCTORES EDM, Salida de tubería, en la alimentación hacia la máquina, manguera negra.



Proyectos y Automatización S.A.

Teléfono: (506) 2435-9089

www.pyasa.net ● Alajuela, Costa Rica



PROYECTOS Y AUTOMATIZACION S.A.

Fuga #7, 45dB registrados, M-002, bajante de manguera flexible, entre la manguera y el acople rápido.



Fuga #8, 60dB registrados, M-005 acople rápido y espiga.



Fuga #9, 60dB registrados, M-005, en el distribuido de 2 salidas para manguera de 8mm.



Fuga #10, 53 dB registrados, M-003, en la espiga de la pistola de soplado.



Proyectos y Automatización S.A.

Teléfono: (506) 2435-9089

www.pyasa.net ● Alajuela, Costa Rica


PROYECTOS Y AUTOMATIZACION S.A.

Fuga #11, 60 dB registrados, M-037. en la rosca de alimentación de la manguera flexible.



Fuga #12, 50dB registrados, M-012, en la purga del filtro regulador.



Fuga #13, 60dB registrados, M-016, en la unión de dos manguera flexibles para alimentar pistola de soplado.



Proyectos y Automatización S.A.

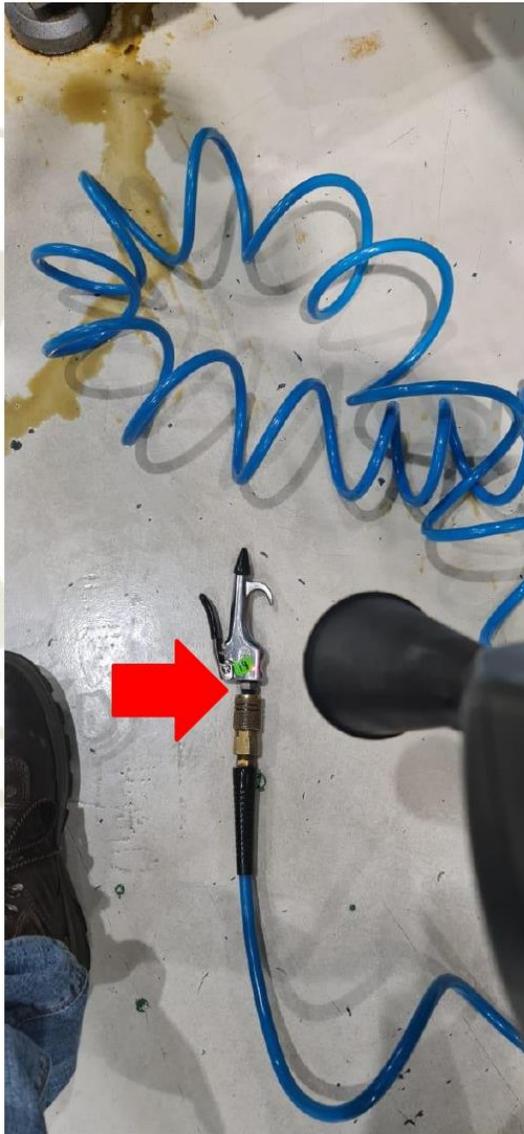
Teléfono: (506) 2435-9089

www.pyasa.net ● Alajuela, Costa Rica

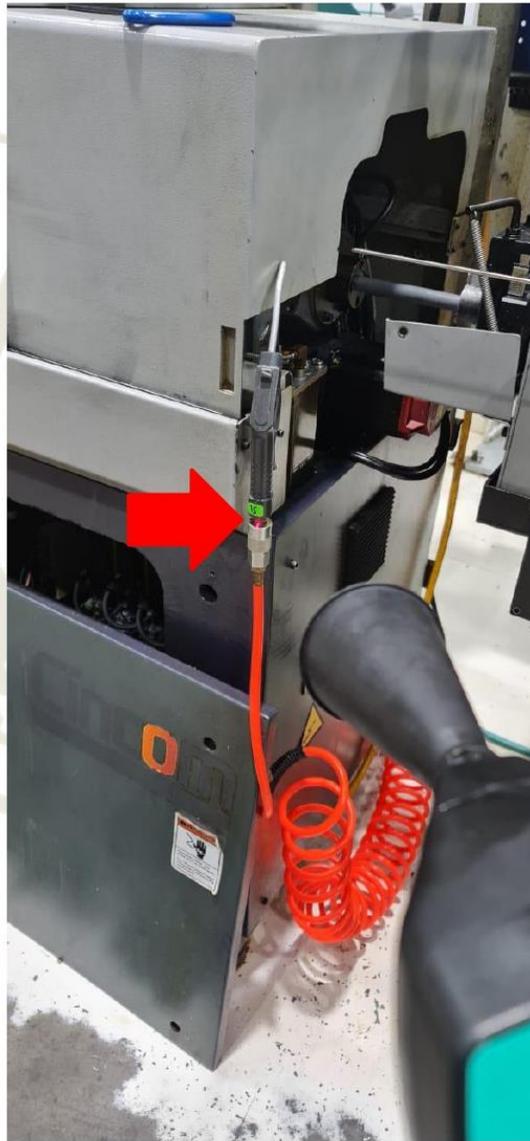


PYASA
PROYECTOS Y AUTOMATIZACION S.A.

Fuga #14, 60dB registrados, M-017, Conexión roscada de la pistola de soplado.



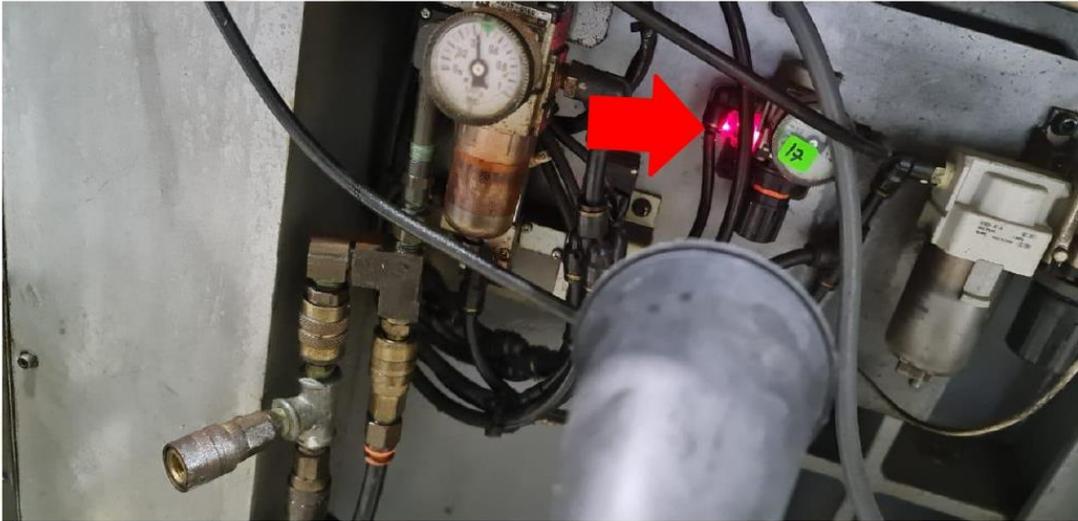
Fuga #15, 60dB registrados, M-015, en la espiga de alimentación de la pistola de soplado.



Fuga #16, 49dB registrados, M-016, en la salida del filtro regulador.



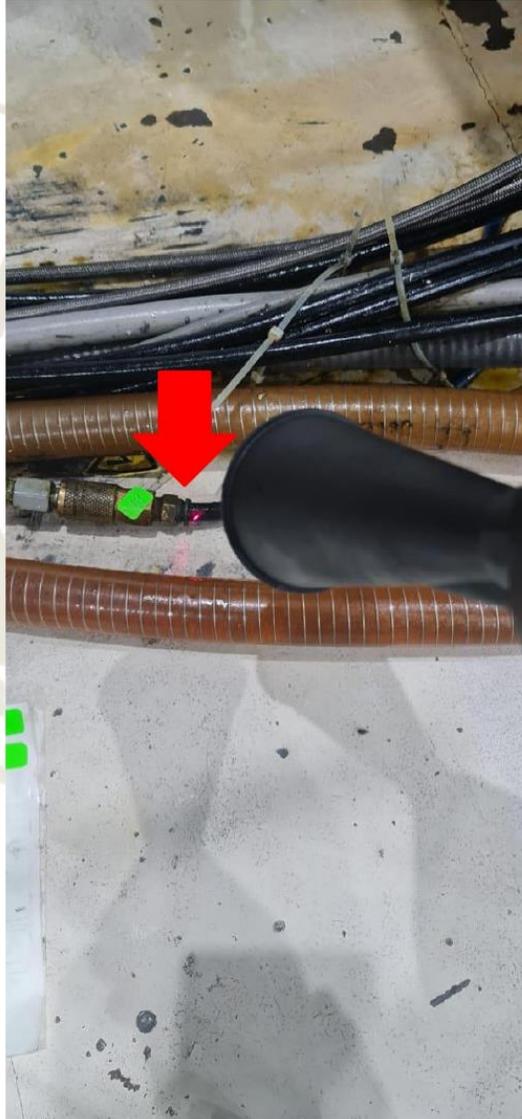
Fuga #17, 61 dB registrados, M-017, en la salida del regulador de presión, manguera flexible rota.



Fuga #18, 57 dB registrados, M-049, en la conexión del acople rápido.



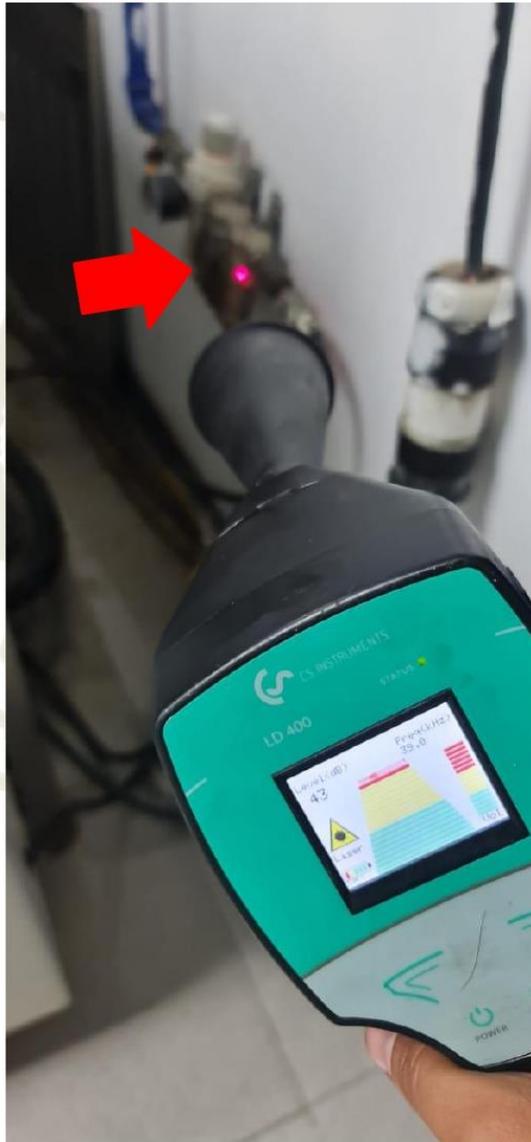
Fuga #19, 60 dB registrados, M-049, Acople roscado recto con conexión a manguera.



Fuga #20 60 dB registrados, Pila de lavado, distribuidor de 2 salidas.



Fuga #21 43 dB registrados, M-020, Unidad de mantenimiento.



Proyectos y Automatización S.A.
Teléfono: (506) 2435-9089
www.pyasa.net ● Alajuela, Costa Rica


PROYECTOS Y AUTOMATIZACION S.A.

Apéndice 4. Reparación de fugas

PROYECTOS Y AUTOMATIZACION P Y A S.A.

Oficentro Plaza Aeropuerto, 1.5 km este del Aeropuerto. Contiguo a Tikal
Alajuela. Teléfono (506) 2435-9091 / 2435-9089
Fax (506) / 2435-9089
info@pyasa.net www.pyasa.net

N° Documento: 9921

Fecha: 20/05/2021

Datos del Cliente Telefono 24292000

Contacto:

Compañía: **Utitec Medical S.A.**

Céd. Jurídica: 3101389497

Dirección: COSTA RICA

Correo:

3-101-373211

OFERTA DE VENTA

Condiciones de Venta

Validez de la Oferta: 20/06/2021

Moneda del Doc.: Colón

Condiciones de pago: Credito 30 Dias¢

Contacto: Joshua Rojas C.

Celular: 7271 3315

#	Cantidad	Nro Articulo	Descripción	Tiempo de Entrega	Precio	Total
1	2	459006PCR	Racor Rapida Roscado Recto QS-1/8-6	Inmediata	COL 2,382.00	COL 4,764.00
2	1	459141PCR	Acople rapido codo 1/4 a 6	Inmediata	COL 4,111.50	COL 4,111.50
3	3	459021PCR	Racor Rapida Roscado Recto 1/4-10mm	Inmediata	COL 3,657.00	COL 10,971.00
4	5	1707240PCR	Acople Rápido Hembra para Manguera	Inmediata	COL 9,371.01	COL 46,855.05
5	4		Acople Rápido Macho a Macho ¼ DCP21E	Inmediata	COL 2,220.65	COL 8,882.60
6	1		Acople Rápido HM a HM ¼ DCP20E	Inmediata	COL 2,564.85	COL 2,564.85
7	1	558681PCR	Racor Distribuidor Multiple	2-3 Semanas	COL 16,840.50	COL 16,840.50
8	1	459138PCR	Racor Rapida Roscado Codo 1/8-6mm	Inmediata	COL 3,742.50	COL 3,742.50
9	1	459651PCR	Racor Distribuidor Multiple	2-3 Semanas	COL 16,755.00	COL 16,755.00
10	1	459093PCR	Union Rapida Recta 4mm	Inmediata	COL 3,997.50	COL 3,997.50
11	1	478986PCR	Manguera Flexible de 4mm (Azul)	Inmediata	COL 1,048.50	COL 1,048.50
12	5	478992PCR	Manguera Flexible de 6mm (Azul)	Inmediata	COL 1,503.00	COL 7,515.00
13	5	478998PCR	Manguera Flexible de 8mm (Azul)	Inmediata	COL 2,154.00	COL 10,770.00

PROYECTOS Y AUTOMATIZACION P Y A S.A.

Oficentro Plaza Aeropuerto, 1.5 km este del Aeropuerto. Contiguo a Tikal Alajuela. Teléfono (506) 2435-9091 / 2435-9089 Fax (506) / 2435-9089 info@pyasa.net www.pyasa.net

Nº Documento: 9921

Fecha: 20/05/2021

Datos del Cliente Telefono 24292000

Contacto:

Compañía: **Utitec Medical S.A.**

Céd. Jurídica: 3101389497

Dirección: COSTA RICA

Correo:

3-101-373211

OFERTA DE VENTA

Condiciones de Venta

Validez de la Oferta: **20/06/2021**

Moneda del Doc.: Colón

Condiciones de pago: Credito 30 Diasφ

Contacto: Joshua Rojas C.

Celular: 7271 3315

#	Cantidad	Nro Artículo	Descripción	Tiempo de Entrega	Precio	Total
14	5	479004PCR	Manguera Flexible de 10mm (Azul)	Inmediata	COL 3,288.00	COL 16,440.00

***** Última Línea *****

Precio otorgado sobre las cantidades especificadas, de variar las mismas se debera volver a cotizar.

Aceptamos su pago con Tarjetas de Crédito:



Observaciones:

Solicita: Keily Castro

E-mail: keilycastrogomez97@gmail.com

Repuesto

s para Reparación de Fugas.

rev jcgp.

Ref: 107244

SubTotal COL 155,258.00

Descuento 0 %

Total tras descuento COL 155,258.00

Impuesto

Total COL 155,258.00

Firma:

La pandemia COVID 19 y las estrictas medidas implementadas por los gobiernos nacionales de todo el mundo y los medios de transporte, afectan inevitablemente a nuestra cadena de suministro y a nuestras actividades operativas, y sin duda, causaran retrasos que están fuera de nuestro control. En estas circunstancias, no podemos asumir responsabilidad por cualquier entrega tardía o incumplimiento de una obligación contractual causada directa o indirectamente en su totalidad o en parte por cualquier circunstancia atribuible a la propagacion del coronavirus (COVID 19)

PROYECTOS Y AUTOMATIZACION P Y A S.A.

Oficentro Plaza Aeropuerto, 1.5 km este del Aeropuerto. Contiguo a Tikal Alajuela. Teléfono (506) 2435-9091 / 2435-9089 Fax (506) / 2435-9089 info@pyasa.net www.pyasa.net

Nº Documento: 9923

Fecha: 20/05/2021

Datos del Cliente Telefono 24292000

Contacto:

Compañía: **Utitec Medical S.A.**

Céd. Jurídica: 3101389497

Dirección: COSTA RICA

Correo:

3-101-373211

OFERTA DE VENTA

Condiciones de Venta

Validez de la Oferta: **20/06/2021**

Moneda del Doc.: Colón

Condiciones de pago: **Credito 30 Dias**

Contacto: Joshua Rojas C.

Celular: 7271 3315

#	Cantidad	Nro Artículo	Descripción	Tiempo de Entrega	Precio	Total
1	1	6030990822PCR	DRAIN,COND,ELE,0 LOSS, (Q MAT 01)	2-3 Semanas	COL 238,080.00	COL 238,080.00

***** Última Línea *****

Precio otorgado sobre las cantidades especificadas, de variar las mismas se debera volver a cotizar.

Aceptamos su pago con Tarjetas de Crédito:



Observaciones:

Solicita: Keily Castro

E-mail: keilycastrogomez97@gmail.com

rev jcgp.

e.

Purga de Condensados Cuarto Compresores.

Ref: 107244

SubTotal COL 238,080.00

Descuento 0 %

Total tras descuento COL 238,080.00

Impuesto

Total COL 238,080.00

Firma:

La pandemia COVID 19 y las estrictas medidas implementadas por los gobiernos nacionales de todo el mundo y los medios de transporte, afectan inevitablemente a nuestra cadena de suministro y a nuestras actividades operativas, y sin duda, causaran retrasos que están fuera de nuestro control. En estas circunstancias, no podemos asumir responsabilidad por cualquier entrega tardía o incumplimiento de una obligación contractual causada directa o indirectamente en su totalidad o en parte por cualquier circunstancia atribuible a la propagación del coronavirus (COVID 19)

5/18/2021

Current Order | McMaster-Carr



Ships today

1	Festo Compressed Air Filter Bowl for Manufacturer Series Msb4 and MS4, Automatic Drain 3052N11	1 Each	\$118.50 Each	\$118.50
---	--	-----------	------------------	----------

Merchandise \$118.50

Applicable shipping and tax will be added.

Your order is subject only to our terms and conditions, available at www.mcmaster.com or from our Sales Department.

Apéndice 5. Reguladores de presión.

PROYECTOS Y AUTOMATIZACION P Y A S.A.

Oficentro Plaza Aeropuerto, 1.5 km este del Aeropuerto. Contiguo a Tikal
Alajuela. Teléfono (506) 2435-9091 / 2435-9089
Fax (506) / 2435-9089
info@pyasa.net www.pyasa.net

Nº Documento: 9922

Fecha: 20/05/2021

3-101-373211

OFERTA DE VENTA

Datos del Cliente Telefono 24292000

Contacto: **Ilse Rodríguez**

Compañía: **Utitec Medical S.A.**

Céd. Jurídica: 3101389497

Dirección: COSTA RICA

Correo: Ilse.Rodriguez@utitec.com

Condiciones de Venta

Validez de la Oferta: 20/06/2021

Moneda del Doc.: Colón

Condiciones de pago: Credito 30 Días

Contacto: Joshua Rojas C.

Celular: 7271 3315

#	Cantidad	Nro Artículo	Descripción	Tiempo de Entrega	Precio	Total
1	1	N171PCR	Regulador de presión, 1/4", rango 0 -8 Bar	Inmediata	COL 33,337.00	COL 33,337.00
2	1	1593363PCR	Unidad de Mantenimiento	2-3 Semanas	COL 143,989.50	COL 143,989.50
3	1		Escuadra de Fijacion	2-3 Semanas	COL 16,669.50	COL 16,669.50
4	2	1587456PCR	Unidad de Filtro Regulador	2-3 Semanas	COL 81,817.50	COL 163,635.00
5	3	1578192PCR	Escuadra de Fijacion.	2-3 Semanas	COL 4,138.50	COL 12,415.50
6	1	1587504PCR	Unidad de Filtro Regulador	2-3 Semanas	COL 81,817.50	COL 81,817.50

***** Última Línea *****

Precio otorgado sobre las cantidades especificadas,
de variar las mismas se deberá volver a cotizar.

Aceptamos su pago con Tarjetas de Crédito:



Observaciones:

Solicita: Keily Castro

E-mail: keilycastrogomez97@gmail.com

rev jcgp.

Filtro Reguladores Maquinas de Proceso.

Ref: 107244

Firma:

SubTotal COL 451,864.00

Descuento 0 %
Total tras descuento COL 451,864.00

Impuesto
Total COL 451,864.00

La pandemia COVID 19 y las estrictas medidas implementadas por los gobiernos nacionales de todo el mundo y los medios de transporte, afectan inevitablemente a nuestra cadena de suministro y a nuestras actividades operativas, y sin duda, causaran retrasos que están fuera de nuestro control. En estas circunstancias, no podemos asumir responsabilidad por cualquier entrega tardía o incumplimiento de una obligación contractual causada directa o indirectamente en su totalidad o en parte por cualquier circunstancia atribuible a la propagación del coronavirus (COVID 19)

Apéndice 6. Cotización de secador y filtros.



COTIZACIÓN # AMA-01-21042021-E

EMPRESA: **UTITEC MEDICAL**
 CONTACTO: **KEILY CASTRO**
 TELEFONO:
 FAX:
 E-mail:

FECHA: **21/04/2021**

MODELO:
 SERIE:

A continuación detallamos la cotización por las partes solicitadas para su compresor de aire marca Ingersoll Rand.

CANTIDAD	NUMERO PARTE		DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
1	47696388001	PED	SECADOR DA212CA- 115VOLTS-1PH-60HZ	\$ 4.250,00	\$ 4.250,00
1	24233603	PED	FILTRO FA190IG	\$ 510,63	\$ 510,63
1	24233629	PED	FILTRO FA190IH	\$ 510,63	\$ 510,63
1	24233587	PED	FILTRO FA190ID	\$ 510,63	\$ 510,63
				SUBTOTAL 1	\$ 5.781,89
				13% IVA	
				TOTAL	\$ 5.781,89

- 1) Todos los precios en Dolares
- 2) Se incluyó el impuesto de ventas por práctica común. Si ustedes están exentos, agradeceríamos nos enviaran copia de la autorización gubernamental de exoneración para ajustar la cotización.
- 3) Solo incluye lo repuestos contemplados en esta cotización, cualquier otro que se necesite será cotizado por separado.
- 4) Solo contemplo las horas normales de trabajo de Distribuidora Cummins, no se contemplan horas extras las cuales en caso de necesitarse se cobrarían por separado a este oferta.
- 5) La Orden de Compra debe de ser generada a nombre de **DISTRIBUIDORA CUMMINS CENTROAMERICA COSTA RICA S.R.L.**

Vigencia de esta cotización: 30 días hábiles
 Tiempo de entrega: PED-4 A 6 SEMANAS-BOD- ENTREGA INMEDIATA
 Condiciones de pago: CREDITO CON LA LINEA DE CREDITO ACTIVA Y AL DIA
 Correo para entrega de P.O: alejandro.madrigal.artavia@cummins.com
 Lugar de entrega: INSTALACIONES DE CLIENTE- GAM
 Marca: INGERSOLL RAND
 Nota:

Alejandro Madrigal Artavia
 Tel.: (506) 4103 1600 ext.1633
 Cel.: (506) 8411-8573
 Asesor Comercial Unidad de Aire
alejandro.madrigal.artavia@cummins.com

Distribuidora Cummins Centroamérica Costa Rica S de R.L
 Avenida 59, calle 54, a 100 metros
 Norte de la agencia KIA
 San José, Costa Rica
 Tel +506 4103 1600
cumminsca.com

Cummins Centroamérica; Unidad de Negocio de Cummins Inc.; Cédula Jurídica 3-102-395241

Apéndice 7. Controlador de compresores de aire.



Cotización
CR-71713

Distribuidora Cummins Centroamerica Costa Rica, S. de R.L.

Cédula Jurídica. 3-102-39524

Tel. 4103-1600

Avenida 59, calle 54, a 100 metros norte de la Agencia KIA, contiguo a Disltali. La Uruca, Costa Rica.

Cliente: CR-UTITEC MEDICAL SOCIEDAD ANONIMA
Atención a: KEILY CASTRO
Asesor: Alejandro Madrigal Artavia

Fecha: 19/5/2021
Vencimiento: 3/6/2021
Moneda: US Dollar
Términos: Crédito 30 días

Artículo	Descripción	Cant.	Unid.	Status	Precio Unit	Importe Total
39265889	KITINTELLISYS AUTOMTN	1	Pza	PED	\$4,917.37	\$4,917.37

Subtotal	\$4,917.37
Total de impuesto (%)	\$0.00
Total	\$4,917.37

Nombre del cliente: _____

Firma de aprobación: _____

Observaciones generales: PED:4 A 6 SEMANAS LUEGO DE COLOCADA LA ORDEN DE COMPRA A FABRICA

Para pago puede utilizar cualquiera de las siguientes cuentas de acuerdo a la moneda de la cotización
Banco Nacional de Costa Rica

Colones:

Cuenta Colones

#100-01-000-216144-6

Dólares:

Cuenta Dólares

#100-02-000-619134-0

NOTAS IMPORTANTES:

1.- LA AUTORIZACION DE CREDITO Y LOS DESCUENTOS SOLO SON APLICABLES PARA LAS CUENTAS QUE NO PRESENTEN MOROSIDAD AL MOMENTO DE LA COMPRA.

2.- ESTIMADO CLIENTE AL FACTURAR SE TOMARA EL FACTOR VIGENTE LOCAL EN EL SISTEMA FINANCIERO.

*PARTES RECON FINALIZADAS CON CÓDIGOS RX, NX, XX, O PX, COTIZADAS O FACTURADAS EN ESTE DOCUMENTO, REQUIEREN DEVOLUCIÓN DE CORE. DE NO SER ENTREGADO AL MOMENTO DE LA FACTURACIÓN, DEBERÁ SER CANCELADO EL MONTO CORRESPONDIENTE AL VALOR DEL MISMO SUJETO A POLÍTICA DE ACEPTACIÓN DE CORE POR CUMMINS INC.

*SI SU EQUIPO Y/O PARTE GENUINA SE ENCUENTRA EN COBERTURA DE GARANTÍA, NO DESINSTALE O REPARE USTED MISMO. COMUNÍQUESE CON SU ASESOR COMERCIAL PARA ATENDER SU NECESIDAD Y NO PERDER LA COBERTURA DE SU GARANTÍA.

*EN PARTES Y COMPONENTES ELÉCTRICOS NO SE ACEPTAN DEVOLUCIONES

¿Requiere asistencia técnica?

Marque al 4103-1600 con opción 6 o escribanos a contacto@cummins.com



[cumminscentroamérica](#)



[cumminscentroamérica](#)



www.cumminsca.com



1 de 1

Apéndice 8. Tabla de presión de trabajo y caudal entregado del compresor de aire Ingersoll Rand modelo UP6 30.

60Hz	UP6 15		UP6 20			UP6 25			UP6 30			
COMPRESOR	125	150		125	150	200	125	150	200	125	150	200
Presión máxima de trabajo PSIG (bar)	125 (8.62)	150 (10.34)		125 (8.62)	150 (10.34)	200 (13.79)	125 (8.62)	150 (10.34)	200 (13.79)	125 (8.62)	150 (10.34)	200 (13.79)
Presión de recarga fijada en fábrica PSIG (bar)	115 (7.93)	140 (9.66)		115 (7.93)	140 (9.66)	190 (13.10)	115 (7.93)	140 (9.66)	190 (13.10)	115 (7.93)	140 (9.66)	190 (13.10)
Medida del gasto CFM (m ³ /MIN)	65 (1.84)	58 (1.64)		83 (2.35)	75 (2.12)	58 (1.64)	102 (2.89)	92 (2.61)	75 (2.12)	125 (3.54)	112 (3.17)	92 (2.61)

Fuente: Ingersoll Rand.