 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

ESTUDIO PARA EL REDISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LOS LABORATORIOS DEL BLOQUE G y H DE LA SEDE ROBLEDO DEL ITM

Diego Alexander Zapata Meneses

Fabio Alejandro Salinas Matías

Ingeniería Electromecánica

Director del trabajo de grado
Luis Fernando Cardona Sepúlveda

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

2019

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio de la red de aire comprimido de los laboratorios del bloque G y H de la sede Robledo del ITM para reducir su consumo energético mediante un rediseño de la red. Se realizó una auditoria energética para identificar las pérdidas actuales de energía en la red existente ya sea por fugas de aire comprimido, recalentamiento de los equipos o errores en el montaje de la acometida. Posteriormente se realizó una propuesta a la institución para la modificación de la red instalada buscando reducir los costos operativos.

Palabras clave: red aire comprimido, compresor, consumo energético, rediseño, auditoría

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos la confianza, el apoyo y la dedicación de tiempo del director del proyecto Luis Fernando Cardona Sepúlveda, por habernos dado la oportunidad de desarrollar esta propuesta, además de haber compartido sus conocimientos, comentarios y críticas constructivas.

Damos gracias a los docentes y encargados de los laboratorios del ITM que son afines al área de electromecánica, además de los compañeros de estudio, pues fueron de vital importancia para la culminación del proyecto; por haber compartido sus conocimientos, y habernos apoyado en la obtención de los recursos y permisos necesarios para entrar a cada uno de los laboratorios y visualizar la red que existe en estos momentos para realizar el diseño.

Por último, agradecemos a nuestras familias por su apoyo incondicional para culminar nuestros estudios, especialmente a nuestros padres que siempre confiaron en nosotros.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

A: amperios

AC: corriente alterna. Antes de Cristo

Bar: unidad de presión atmosférica del Sistema Internacional

cfm: pies cúbicos por minuto

cm²: centímetros cuadrados

DN: diámetro nominal

HP: caballos de fuerza

Hz: hertz, unidad de frecuencia del Sistema Internacional

ISO: norma internacional de estandarización

kg: kilogramo

kW: kilovatio

kWh: kilovatio por hora

lbs: libras

lt: litro

m³: metro cúbico

min: minuto

mm: milímetro

psi: Libra por pulgada cuadrada

RPM: revoluciones por minuto

SI: sistema internacional de medida

US: sistema inglés de medida

V: volumen

VCA: voltaje de corriente alterna

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	OBJETIVOS.....	9
1.1.1	Objetivo general	9
1.1.2	Objetivos específicos	9
2.	MARCO TEÓRICO	10
2.1	GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO	10
2.2	COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO INDUSTRIAL	13
2.3	FUGAS EN UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	22
2.4	CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS	24
3.	METODOLOGÍA.....	30
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
5.	CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	59
	REFERENCIAS	62
	APÉNDICES.....	64

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es utilizado ampliamente en la industria, desde los pequeños talleres de maquinado hasta los grandes complejos industriales y a su vez en laboratorios para prácticas académicas. En muchos casos el aire comprimido es tan vital que la planta no puede operar sin él. Los sistemas de aire comprimido pueden variar ampliamente en tamaño, desde unidades de menos de 5 hp, hasta sistemas de más de 50.000 hp.

En muchas plantas industriales los compresores de aire son los mayores consumidores de electricidad, y por tanto las ineficiencias en el sistema de aire comprimido resultan muy costosas. Sin embargo, el personal que utiliza el aire comprimido tiende a pensar que el mismo tiene poco valor; y así, por pensar que se trata de simple aire, por la prácticamente nula peligrosidad de un escape o fuga, es muy frecuente que no se le presta atención a su ahorro y uso adecuado.

El mejoramiento de la eficiencia energética en estos sistemas puede permitir la reducción del 20 al 50 % del consumo de electricidad de los mismos, lo cual puede significar miles o cientos de miles de pesos de ahorros potenciales anuales. Un sistema de aire comprimido bien operado ahorra energía, reduce el mantenimiento, disminuye las interrupciones productivas, incrementa la productividad y mejora la calidad.

En los sistemas de aire comprimido se puede diferenciar el lado del suministro, que incluye a los compresores y los equipos de tratamiento del aire, y el lado de la demanda, que está compuesto por el sistema de almacenamiento y distribución y los equipos de uso final del aire comprimido. Para lograr que un sistema de aire comprimido garantice el suministro estable de aire seco, limpio, a la presión requerida y de una forma segura y económica, se

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

requieren acciones tanto del lado del suministro, como del lado de la demanda, así como en sus interacciones.

Con este estudio se propone la modificación del sistema de aire comprimido en los laboratorios del bloque G y H de la sede Robledo del ITM para hacerlo más eficiente, económico y seguro, identificando las fugas en la red de aire comprimido en toda la red, calculando las pérdidas energéticas en los equipos por su ineficiencia, conociendo las necesidades académicas para el uso de la red de aire comprimido en los laboratorios, determinando las necesidades de ampliación de la red, midiendo la extensión total de red actual para determinar la longitud que será propuesta y proponiendo además un análisis técnico-económico de rediseño de la red de aire comprimido del bloque G del campus Robledo del ITM con base en la información recolectada.

Para la realización de este estudio se debe tener en cuenta la norma ISO 8573 que habla de un grupo de normas internacionales referentes a la calidad (o pureza) del aire comprimido.



Figura 1. Compresor de pistón (Fuente: <http://mundohidraulicoyneumatico.com>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La norma consta de nueve partes: la parte 1 especifica los requisitos de calidad del aire comprimido y las partes 2 a 9 especifican los métodos de prueba para una amplia gama de contaminantes.

- ISO8573-1 de 2010: especifica la pureza del aire comprimido que se precisa en determinado punto de un sistema de aire comprimido.
- ISO8573 partes de 2 a 9 permite probar un sistema de aire comprimido para detectar uno o varios contaminantes específicos.

También existe la norma de filtros: ISO SERIE 12500 y de secadores ISO7183 que permite comprobar el rendimiento del equipo de purificación de aire comprimido y evaluar el rendimiento del equipo de purificación de aire comprimido. (Parker Hannifin Ltd., 2011)

Gracias a estas normas **se puede** determinar en cada punto específico que elementos neumáticos se **utilizaran** según la necesidad y el tipo de tubería a instalar.

Para lograr entonces una eficiencia óptima en la red de aire comprimido hay que tener en cuenta estos cinco puntos ideales para ser aplicados:

- Reducir las pérdidas internas de forma eficiente: accesorios eficientes.
- Hacer que la generación de aire comprimido resulte más rentable: regulación de velocidad.
- Tomar decisiones en función de una base segura de hechos: auditorías de aire comprimido.
- Hacer que el hombre y la máquina se comuniquen con comodidad: sistemas inteligentes de control.
- Aumentar la eficiencia en vez de malgastar energía: aprovechamiento del calor.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Implementar un estudio para la modificación del sistema de aire comprimido en los laboratorios del bloque G de la sede Robledo del ITM para hacerlo más eficiente, económico y seguro.

1.1.2 Objetivos específicos

- **Identificar las fugas en la red de aire comprimido en toda la red.**
- Calcular las pérdidas energéticas en los equipos por su ineficiencia.
- Conocer las necesidades académicas para el uso de la red de aire comprimido en los laboratorios que así lo requieran y determinar si es necesaria la ampliación de la red.
- Medir la extensión total de red actual para determinar la longitud de la red que será propuesta.
- Solicitar cotizaciones de fabricantes de los elementos necesarios para la instalación de la red propuesta.
- Realizar una propuesta técnico-económica de rediseño de la red de aire comprimido del bloque G del campus Robledo del ITM en base a la información recolectada.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. MARCO TEÓRICO

2.1 GENERALIDADES DEL AIRE COMPRIMIDO

En procesos industriales se pueden realizar varios procedimientos para determinar de qué manera se pueden atacar los sobrecostos operativos, tales como costos por consumos energéticos. Para pensar en la reducción de estos costos energéticos es necesario realizar previamente auditorías energéticas que lleven a un análisis adecuado de la problemática que se esté viviendo (Ruiz Martínez, 2011)

Una auditoría energética es un procedimiento sistemático para obtener un adecuado conocimiento del perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando y valorando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico. El objetivo general de las auditorías es analizar las necesidades energéticas de la empresa auditada, integrando a todos los equipos y sistemas que forman parte de ella, y proponer soluciones de mejora en materia de ahorro de energía y de incorporación de nuevas energías que sean viables técnica y económicamente (Escan S.A., 2005)

El aire comprimido es un alto consumidor de energía y normalmente es olvidado en los programas de ahorro de energía de las industrias. De hecho, el sistema de aire comprimido representa el 15% de la energía que usa el sector industrial. Sin embargo, en muchas industrias puede ser el mayor consumidor de energía (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010).

Es posible ahorrar energía en aire comprimido. Los proyectos de ahorro de energía han demostrado que existe un buen potencial de ahorro, dado que la gran mayoría de las industrias poseen equipos, redes, tuberías, y aditamentos que no han sido concebidos con

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

criterio ahorrador. Normalmente el ahorro de energía factible de lograr es de un 20% pero para empresas que no han realizado programas de ahorro de energía el ahorro puede ser mucho mayor (FIDE, CNEE, 2010).

Para hablar del proceso cronológico del aire comprimido hay que remontarse hasta la prehistoria. Alrededor de 4000 AC se evidencian los primeros signos de utilización del fuelle para la fundición del hierro proveniente del Antiguo Egipto y Sumeria en objetos pequeños, tales como las puntas de lanzas y ornamentos (Sánchez García, 2012).

En la actualidad el aire comprimido representa un importante papel en la industria en general. Esto es así gracias a la gran versatilidad de soluciones que lo emplean, así como la flexibilidad de uso y producción y la facilidad de transporte a lo largo de la planta. Otra de las ventajas del aire comprimido es la cantidad de par que puede desarrollar en poco espacio, evitando el tener que incluir un motor eléctrico a cada herramienta, haciéndola más pesada y menos manejable. (Universidad de Oviedo, 2006).

Sus usos principales van desde el funcionamiento de herramientas de todo tipo (pistolas de pintura, remachadoras, martillos neumáticos, etc.), hasta el accionamiento de elementos neumáticos como válvulas; pasando por el transporte de materiales sobre cintas utilizando aire a baja presión –unos 3 bar (g) (Julio, Betancur, Osorio, & Benítez)

El aire comprimido está presente en la mayoría de los procesos industriales debido a sus múltiples ventajas:

- Abundante: es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa conductos de retorno. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- Almacenaje: almacenado y comprimido en acumuladores o depósitos, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Antideflagrante: es a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas. Puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.
- Temperatura: es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- Limpieza: cuando se producen escapes no es perjudicial y pueden colocarse en las líneas, depuradoras o extractores para mantener el aire limpio.
- Elementos: el diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.
- Velocidad: se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montaje.
- Regulación: las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada combinando con sistemas oleoneumáticos.
- Sobrecargas: se pueden llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo alguno de sobrecargas y tendencia al calentamiento. (Nieto Gámez, 2005)

Pero el aire comprimido también tiene sus inconvenientes, hay que considerar los siguientes:

- Preparación: es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.
- Velocidad: debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en elementos de trabajo.
- Ruidos: el aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastante molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores.
- Esfuerzos: son limitados (2.000 a 3.000 kilogramos con presión de trabajo de 7 kg/cm²).
- Costo: es una fuente de energía cara, pero compensada con el buen rendimiento y facilidad de implantación (Torres García, 2006)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO INDUSTRIAL

Un sistema típico de aire comprimido está compuesto por los siguientes subsistemas:

- COMPRESOR:** dispositivo mecánico que toma el aire ambiente y le incrementa su presión. Muchos compresores de aire modernos se suministran integrados en una sola unidad, que incluye el compresor, motor primario y el resto de los componentes y accesorios, montados en un solo bastidor y recubiertos para atenuar el ruido y mejorar la estética.

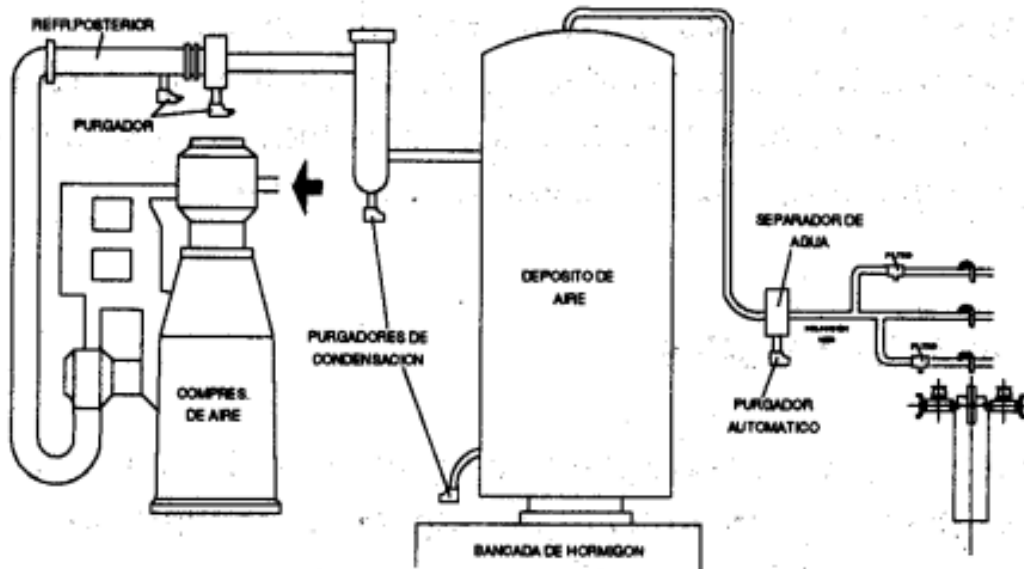


Figura 2. Esquema de sistema de compresión (Fuente: Parker Hannifin Ltd)

Clasificación General de los Compresores: existen dos tipos básicos de compresores: los de desplazamiento positivo y los dinámicos. En los primeros una cantidad dada de aire o gas es atrapada en una cámara de compresión, cuyo volumen es mecánicamente reducido, causando la correspondiente elevación de la presión de la sustancia de trabajo antes de ser descargada. En este tipo de compresor, a velocidad constante, el flujo de aire permanece esencialmente invariable con cambios en la presión de descarga. Los compresores dinámicos le

entregan energía cinética a un flujo continuo de aire mediante impelentes que rotan a altas velocidades. Esta energía cinética es transformada en presión en el propio impelente y en las volutas de descarga o difusores.

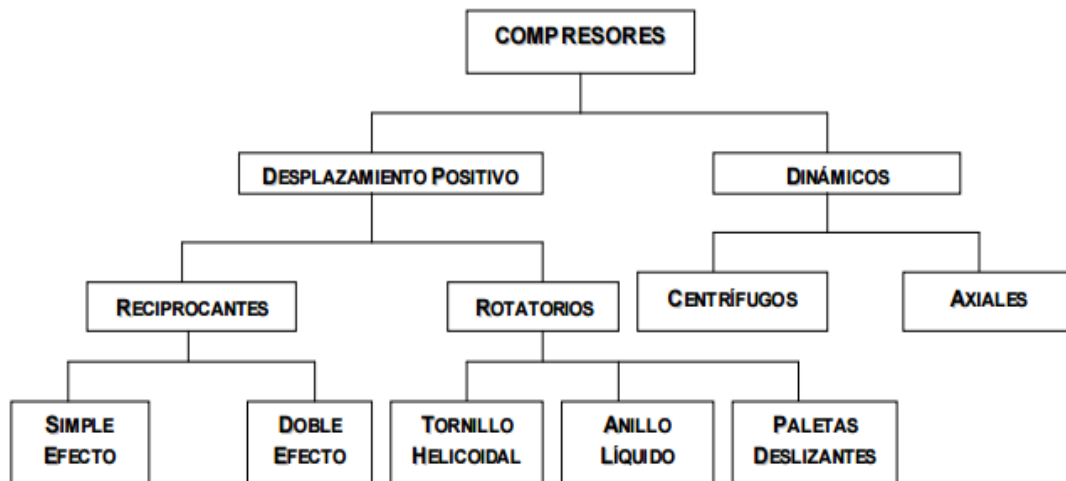


Figura 3. Tipos de compresores (Fuente: Parker Hannifin Ltd)

- **MOTOR PRIMARIO:** encargado de mover al compresor. El motor primario, como fuente de potencia para el accionamiento del compresor, tiene que entregar la potencia suficiente para arrancar el compresor, acelerarlo hasta la velocidad de trabajo, y mantenerlo operando bajo las condiciones de diseño.

Los motores primarios pueden ser motores eléctricos, motores de combustión interna, turbinas de vapor o turbinas de gas, aunque sin dudas los motores eléctricos de inducción son los más utilizados. En muchos casos se especifica que el motor sea de alta eficiencia, ya que el costo incrementa se recupera típicamente en corto tiempo a partir de los resultados del ahorro de energía. Al sustituir un motor estándar por uno de alta eficiencia debe prestarse atención a los parámetros de comportamiento, tales como la velocidad a plena carga y el torque.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los motores de combustión interna son comunes en el accionamiento de compresores en la industria del petróleo y el gas dada la disponibilidad de combustibles para ello, a pesar de que los costos de mantenimiento son superiores.



Figura 4. Compresor de 3HP (Fuente: autores)

- CONTROLES:** regulan la cantidad y presión del aire producido. Los controles de los sistemas de aire comprimido permiten lograr la correspondencia entre suministro del compresor y la demanda del sistema, teniendo una gran influencia en la eficiencia del mismo. Los controles se incluyen normalmente en el conjunto del compresor y muchos fabricantes ofrecen más de un tipo de control en cada modelo.



Figura 5. Compresor Schulz de 10hp (Fuente: autores)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Para sistemas con varios compresores se deben utilizar controles secuenciadores para tener en línea solo los compresores necesarios. El tipo de control a utilizar en un sistema dado está determinado fundamentalmente por el tipo de compresor y el perfil de demanda de aire comprimido.

- ACCESORIOS:** en un sistema de aire comprimido se emplean diferentes tipos de accesorios para eliminar contaminantes, tales como polvo, lubricante, y agua para mantener la operación correcta del sistema y garantizar la presión y calidad adecuada del aire. Los accesorios incluyen: filtros, separadores, secadores, Inter-enfriadores, pos enfriadores, recuperadores de calor, lubricadores, reguladores de presión, recibidores de aire, trampas y drenajes automáticos.



Figura 6. Accesorios neumáticos (Fuente: <http://www.hidraulicaprado.com>)

- FILTROS DE SUCCIÓN:** protegen al compresor de las partículas suspendidas en el aire ambiente. No obstante, se requieren otros filtros para proteger a los accesorios situados del lado de la descarga y a los equipos de uso final.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

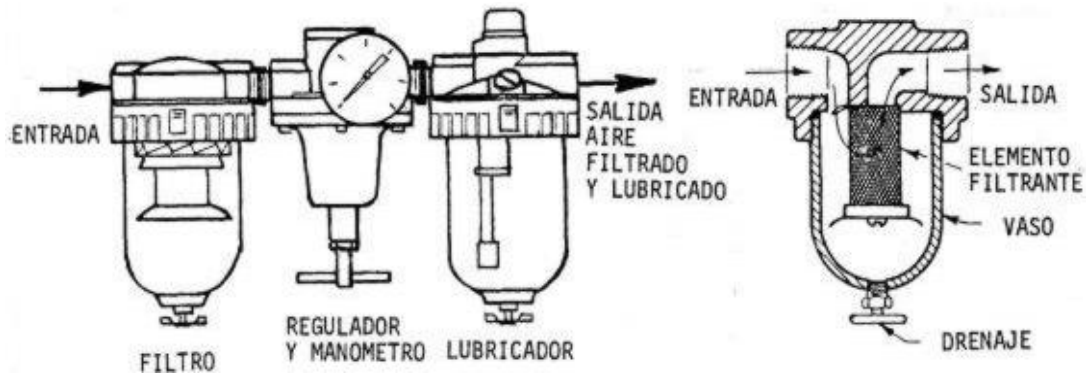


Figura 7. Filtros de succión (<http://www.sapiensman.com>)

- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL COMPRESOR:** el proceso de compresión es un proceso politrópico que eleva la temperatura del aire. Como resultado se requiere de un sistema de enfriamiento del compresor que evite el sobrecalentamiento de sus partes, bien mediante aire, agua o lubricante.

Los compresores recíprocos de menos de 100 hp son normalmente enfriados por aire, soplado por un ventilador integrado en la propia polea de accionamiento del mismo. Los compresores recíprocos de mayor capacidad incluyen sistemas de enfriamiento por agua para las camisas y cabezas de los cilindros. La temperatura de entrada del agua, así como el diseño y estado de limpieza de los enfriadores. Los compresores rotatorios inyectados con aceite emplean el propio aceite para remover la mayor parte del calor de compresión. En el caso de compresores enfriados por aire se utiliza generalmente un radiador de aceite para enfriarlo antes de ser reinyectado.

Inter-enfriador: la mayoría de los compresores multietapas emplean enfriadores intermedios para enfriar el aire entre etapas, separar humedad y reducir el consumo de potencia.

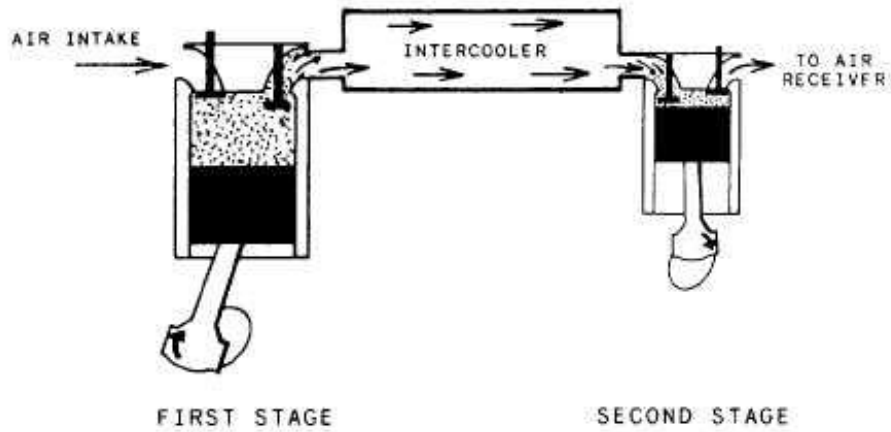


Figura 8. Inter-enfriador (Fuente: <http://www.hidraulicaprado.com>)

Post-enfriadores: se instalan a la salida de la última etapa de compresión para reducir la temperatura del aire para condensar, separar y drenar el vapor de agua que no haya sido eliminado en los enfriadores intermedios. Casi todos los sistemas industriales los poseen, salvo aquellos en que el aire caliente no resulta perjudicial, tales como procesos de forja o fundición.

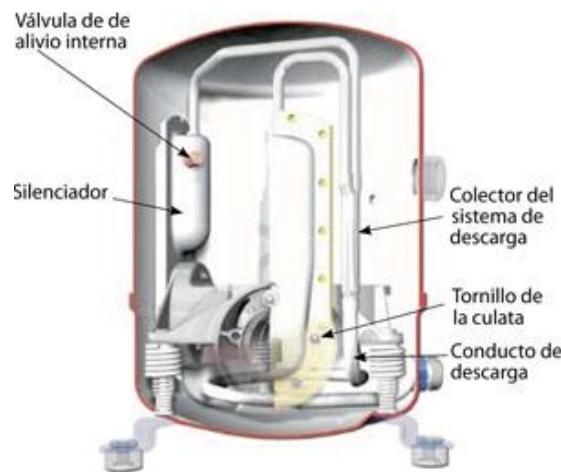


Figura 9. Post-enfriador (Fuente: <https://www.mundohvacr.com.mx>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- SEPARADORES:** los filtros y separadores eliminan los contaminantes (polvo, agua, lubricante) a la entrada y la salida del aire del compresor. Se utilizan diferentes niveles de filtración dependiendo de la calidad del aire que se requiera.

Generalmente se instala un separador después de cada enfriador para eliminar la humedad condensada. Los compresores rotatorios inyectados con aceite emplean un separador de aceite inmediatamente a la descarga del compresor para separar el aceite inyectado antes de enfriar el aire y recircularlo al compresor.



Figura 10. Separadores (Fuente: <https://www.mundohvacr.com.mx>)

- SECADORES:** cuando el aire sale del post-enfriador y el separador de humedad, se encuentra normalmente saturado, de modo que cualquier enfriamiento posterior que ocurra a medida que circula por las tuberías de distribución puede causar condensación de humedad, corrosión y daños en los equipos de uso final. Para evitar este problema se utilizan los secadores de aire. Estos pueden enfriar el aire hasta temperaturas de 3 a 70 °C para condensar la humedad, o utilizar materiales higroscópicos para absorber la humedad que luego son regenerados con calor.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 11. Secadores (<http://www.directindustry.es>)

- FILTROS DE AIRE COMPRIMIDO:** incluyen los filtros de partículas, así los de adsorción para remover lubricante y humedad. La filtración debe realizarse solo hasta el nivel requerido para reducir la caída de presión y el consiguiente consumo de potencia. Los elementos filtrantes deben reponerse en función de la caída de presión o al menos anualmente.
- RECUPERADORES DE CALOR:** como se señaló anteriormente, los sistemas industriales de compresión de aire generan importantes cantidades de calor, el que puede ser parcialmente recuperado para propósitos útiles. Más del 80% del consumo de potencia del compresor se convierte en calor, la mayor parte del cual se puede recuperar para producir agua o aire caliente.
- LUBRICACIÓN:** los lubricantes se emplean en los compresores para enfriar, sellar y lubricar las partes en movimiento. En los lugares cercanos a algunos equipos de uso final, tales como herramientas neumáticas, se requiere también de la instalación de lubricadores.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **CONTROLADORES DE FLUJO:** además de regular la presión, estos dispositivos permiten la regulación del flujo de aire de acuerdo a las variaciones de demanda.
- **RECIBIDORES DE AIRE:** los recibidores de aire se emplean para almacenar aire comprimido y poder cubrir picos de demanda y ayudar a controlar la presión del sistema. Los recibidores son especialmente efectivos en sistemas con amplias variaciones en la demanda de aire comprimido, sobre todo con picos intermitentes, al reducir la capacidad a instalar y al contribuir a la operación del sistema de control y estabilizar la presión del sistema. También los recibidores posibilitan el enfriamiento del aire y la condensación y separación de humedad, y en el caso de compresores recíprocos atenúan las pulsaciones de presión.

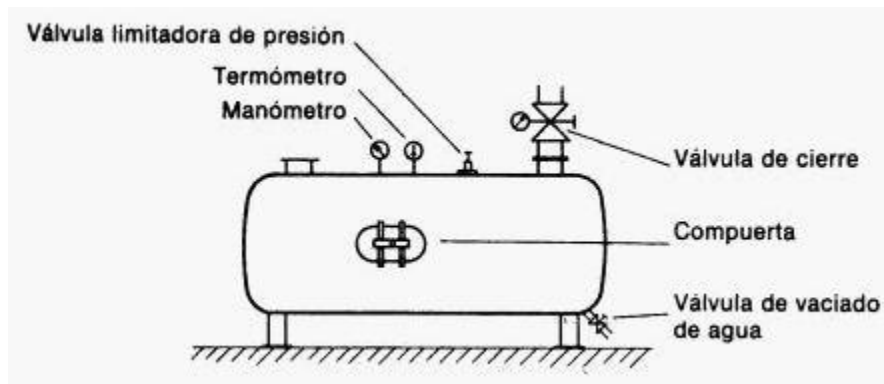


Figura 12. Esquema de recibidor de aire (Fuente: <http://www.hidraulicaprado.com>)

- **TRAMPAS Y DRENAJES:** en los sistemas de aire comprimido se utilizan drenajes automáticos o trampas para prevenir la fuga de aire a través de purgas o válvulas. Estos drenajes automáticos permiten la evacuación de condensado pero impiden la salida del aire. Pueden ser mecánicos, del tipo de flotador, o eléctricos, mediante válvulas solenoides que operan en ciclos predeterminados, mediante sensores de nivel para controlar la apertura del drenaje.
- **SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE:** une los diferentes componentes del sistema para llevar el aire comprimido hasta los puntos de uso con la menor caída de presión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La configuración del sistema de distribución depende de las características y necesidades de la planta, pero generalmente consiste de una red de tuberías principales, ramales, válvulas y mangueras de aire. La longitud del sistema debe ser minimizada y las tuberías deben tener el diámetro adecuado al flujo que circula por ellas para reducir la caída de presión. En muchos casos se emplean sistemas con las líneas principales en forma de anillo cerrado, y todas las líneas con pendiente hacia los puntos de drenaje.

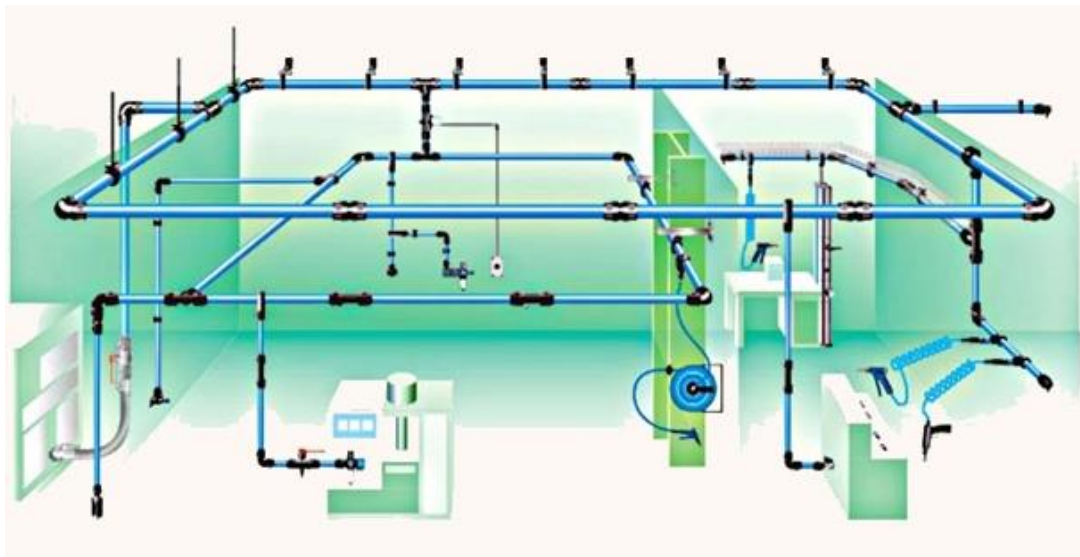


Figura 13. Red de aire comprimido (Fuente: <http://www.parkertransair.com>)

2.3 FUGAS EN UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

Uno de los problemas más comunes en los sistemas de aire comprimido son las fugas, ya que estas pueden representar entre un 20% y un 30% de la capacidad de generación de los compresores instalados, lo cual en empresas con bajo mantenimiento se traduce en un desperdicio energético de mucho dinero.

Las principales fuentes de fugas se logran ubicar en las conexiones directas a máquina o cerca de puntos de consumo, como lo son las siguientes:

- Válvulas en general
- Reguladores
- Conexiones rápidas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Herramientas neumáticas
- Junta de tuberías y mangueras.

Las fugas se pueden considerar como un desperdicio de energía, pues el aire simplemente se escapa hacia la atmosfera sin generar ningún trabajo, aire que se pudiera emplear para otros fines productivos. Cuando la cantidad de fugas incrementa considerablemente, la presión en punto de consumo desciende, a lo cual comúnmente el consumidor incrementa la presión de operación de trabajo de los compresores, agravando la situación, pues a mayor presión, el flujo de aire que se escapa es mayor. Así mismo, existe una regla general que indica que 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.

Las fugas de un sistema de aire comprimido, además:

a) Aumentan costos de mantenimiento:

Los compresores al tratar de mantener la presión establecida por el usuario en un sistema con fugas operan por mayor tiempo, reduciendo los intervalos para mantenimiento del compresor y de los elementos que integran la parte de tratamiento, incrementando los costos de operación, por lo tanto, el tiempo de servicio se acorta.

De igual forma al requerir mantenimiento en intervalos más cortos aumentan los tiempos de paro del equipo para realizar el mantenimiento preventivo y esto se puede convertir en un problema crítico al no contar con un equipo de respaldo.

b) Disminuyen rendimiento en las máquinas:

Al disminuir la presión por la demanda excesiva de las fugas, las máquinas y herramientas neumáticas se vuelven más lentas, dando como resultado baja productividad o en algunos casos daños en el producto por el mal funcionamiento de la máquina, lo que eleva los costos de producción.

c) Aumentan la contaminación Auditiva:

Para muchas empresas, un plan de detección y corrección de fugas se realiza principalmente por cuestiones económicas, sin embargo, existe una estrecha relación con el ambiente laboral, debido a que los tonos elevados y continuos resultan molestos y dentro de las actividades laborales pueden llegar a disminuir el rendimiento de un trabajador, como lo registran algunos estudios de salud auditiva.

Existen algunos métodos sencillos para la detección de fugas como el escuchar, aplicar agua con jabón y ultrasonido. Todos con el fin de detectar y disminuir la cantidad de fugas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Escuchar:** Un método muy simple consiste en escuchar el sonido de una fuga para detectar su ubicación y quizá palpar para revisar. Este método solo funciona para fugas grandes que generen un ruido elevado.
- **Agua con Jabón:** Otro método sencillo el cual requiere de una mezcla de agua con bastante jabón y una brocha para untar la mezcla en las uniones de la tubería donde se sospeche existe una fuga, si existe fuga se van a generar burbujas alrededor de la tubería. El proceso de barrido de la tubería para detectar fugas en cada unión requiere de mucho tiempo.
- **Ultrasonido:** La detección de fugas mediante ultrasonido abarca un amplio rango de fugas, ya que estos equipos cuentan con un ajuste de frecuencia para diferentes niveles de ruido. Otra ventaja es que se puede dar dirección de forma específica sin verse afectados los resultados por el ruido de la planta. Así mismo, la tarea se lleva a cabo de forma sencilla y rápida. El ultrasonido consiste en detectar los flujos turbulentos que se generan al fugarse el aire comprimido por algún orificio y este puede ser escuchado con los audífonos que son parte del equipo. Algunos modelos vienen equipados con una pantalla donde se muestra el nivel de ruido en decibeles.

La mayoría de las fugas se crean en conexiones o uniones de accesorios y gran parte se debe a la falta de material sellante o al uso de piezas de baja calidad. Se debe reemplazar cualquier pieza dañada e instalar adecuadamente una nueva para evitar fugas a futuro.

Si las fugas no se corrigen una vez detectadas al final esta tarea será solo un gasto adicional, es recomendable empezar por las fugas grandes e idear un plan para eliminar la mayor cantidad de fugas, también se debe contemplar que algunas de estas se tendrán que reparar en paros de planta debido a la ubicación de las mismas (KAESER compresores, 2015).

2.4 CÁLCULO DE CAÍDA DE PRESIÓN EN TUBERÍAS

El caudal es equivalente a la cantidad de aire comprimido transportado en una sección dada por unidad de tiempo:

$$Q = A V \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal [m}^3/\text{s]}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

V = Velocidad promedio del fluido [m/s]

A = Sección de la tubería [m²]. Para una sección de tubería $A = (\pi/4)*D^2$, donde D es el diámetro interno de la tubería en metros.

La unidad de caudal del sistema internacional es el metro cúbico/segundo m^3/s , pero normalmente se utiliza el l/s , m^3/h o cfm . Esto varía dependiendo de varios factores y, en concreto, de la presión del aire, de la longitud y el diámetro interno del tubo que transporta el aire comprimido (Parker Transair, 2016).

La caída de presión en un sistema de aire comprimido está provocada por la fricción del aire comprimido que fluye contra el interior del tubo y a través de las válvulas, Ts, codos y otros componentes que constituyen un sistema completo de canalización de aire comprimido. (Parker Transair, 2016)

Para calcular la pérdida de presión asociada a una longitud L de tubería se puede utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = f \frac{L}{D} \frac{\rho V^2}{2} \quad \text{(Ecuación 2)}$$

Donde:

ΔP = Las pérdidas producidas en la tubería [Pa]

L = Longitud total de la tubería (m)

V = Velocidad del flujo [m/s]

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach [adimensional].

ρ = Densidad del aire [kg/m^3]

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El factor de fricción de Darcy-Weisbach (f) es, a su vez, función de la velocidad, del diámetro del tubo, la densidad, la viscosidad del fluido y la rugosidad interna de la tubería. Para calcularlo se debe primero evaluar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{V D}{\nu} \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería (m)

V = Velocidad promedio del flujo (m/s)

ν = Viscosidad cinemática del aire (m^2/s)

El número de Reynolds permite determinar el régimen de flujo del fluido:

- Si $Re < 2100 \rightarrow$ El flujo es laminar
- Si Re está entre 2100 y 10000 \rightarrow Flujo de transición
- Si $Re > 10000 \rightarrow$ Flujo turbulento

Para calcular el factor de fricción f en la región laminar se utiliza la siguiente ecuación:

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{(Ecuación 4)}$$

Y para el cálculo del factor de fricción f en régimen turbulento se utiliza la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{(\varepsilon/D)}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right] \quad \text{(Ecuación 5)}$$

Donde D es el diámetro interno de la tubería en mm y ε es la rugosidad de la tubería, que para el acero galvanizado (**material instalado en la red de la institución**) está entre 0.07 y

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

0.15mm. La ecuación anterior es implícita, lo que implica realizar iteraciones para encontrar f . En su lugar se puede utilizar la siguiente ecuación aproximada (Cengel & Ghajar, 2011):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad \text{(Ecuación 6)}$$

Otra forma de obtener el factor de fricción es utilizar el diagrama de Moody. El uso de este diagrama puede llevar a imprecisiones en el factor de fricción debido a la lectura aproximada del mismo, por tanto, se prefiere calcular el factor utilizando alguna de las ecuaciones presentadas anteriormente.

Si se sustituye la ecuación del caudal en la de la caída de presión se obtiene la siguiente expresión:

$$\Delta P = 8f \frac{L \rho Q^2}{\pi^2 D^5} \quad \text{(Ecuación 7)}$$

Donde:

ΔP = Las pérdidas producidas en la tubería [Pa]

L = Longitud total de la tubería [m]

f = Factor de fricción de Darcy-Weisbach [adimensional]

ρ = Densidad del aire [kg/m³]

D = Diámetro interno de la tubería [m]

Q = Caudal de aire [m³/s]

Atlas Copco desarrolló una ecuación empírica, similar a la anterior, que permite calcular la caída de presión en tuberías de aire comprimido, sin necesidad de calcular el factor de fricción. Esta ecuación obtiene resultados similares a la anterior mostrada (Carello, Ivanov, & Mazza, 1998):

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$\Delta P = 1.6 \times 10^3 \frac{L Q^{1.85}}{P \cdot D^5} \quad \text{(Ecuación 8)}$$

Donde:

ΔP = Las pérdidas producidas en la tubería [Pa]

L = Longitud total de la tubería [m]

D = Diámetro interno de la tubería [m]

Q = Caudal de aire [m³/s]

P = Presión de suministro del compresor [Pa]

La longitud de la tubería que se usa en las anteriores ecuaciones es la nominal, que resulta de sumar la longitud de la tubería de la red y la longitud equivalente de cada unión o acople de la red. Para hallar esta longitud equivalente se utiliza los datos que aparecen en la tabla que se presenta a continuación (Atlas Copco, 2015):

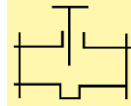
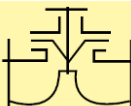
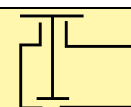
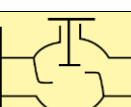
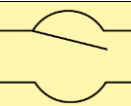

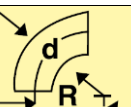
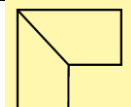
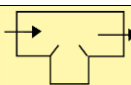
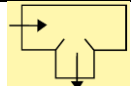
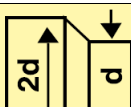
Tabla 1. Longitud equivalente de tubería en metros (Atlas Copco, 2015)												
Componente		Diámetro interno de tubería en mm										
		25	40	50	80	100	125	200	250	300	400	
Válvula bola completamente abierta		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 16	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula diafragma completamente abierta		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula angular completamente abierta		4	6	7	12	15	18	22	30	36	-	-
Válvula de asiento		7.5	12	15	24	30	38	45	60	-	-	-
Válvula de cheque		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo R = 2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.8	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo R = d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo a 90°		1.5	2.4	3.0	4.5	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T flujo pasante		0.3	0.4	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T flujo lateral		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reducción 2:1		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Tabla 1. Longitud equivalente de tubería en metros (Atlas Copco, 2015)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

El diseño de cualquier instalación de aire comprimido sigue una serie de pasos secuenciales básicos, para este estudio se realizaron los siguientes:

1. **Se localiza e identifica** cada proceso, estación de trabajo, y equipamientos que utilizan aire comprimido dentro de los laboratorios. Esta es la carga total que va a soportar la instalación a diseñar.
2. **Se determina** el consumo de aire que se necesita en cada uno de esos elementos.
3. **Se determina** el valor de presión necesaria en cada uno de esos puntos de consumo.
4. **Se determinan** los requisitos de cada elemento con respecto al máximo nivel de humedad, de partículas y de contenido en aceite que pueden admitir.
5. **Se establece** el porcentaje de tiempo que estará operativo cada uno de esos elementos en un periodo de tiempo específico. Esto se conoce como el tiempo de funcionamiento (“duty cycle” ciclo de trabajo).
6. **Se establece** el máximo número de puntos de consumo que pueden ser empleados de forma simultánea en cada línea de suministro, en la principal y en todo el proyecto. Esto se conoce como factor de carga.
7. **Se estima** un valor permisible de fugas.
8. **Se consulta** con cada laboratorista las posibles ampliaciones de la red.
9. **Se realiza** una distribución en planta preliminar y se asignan caídas de presión y pérdidas.
10. **Se selecciona** el tipo de compresor, equipos de acondicionamiento, etc., **asegurando** que se utilizan unidades consistentes.

Para la ejecución de estos pasos, se realizaron las siguientes tareas con el fin de identificar oportunidades de ahorro de energía.

1. Disminución de fugas: si bien son inevitables, debe tomarse en cuenta que en el diseño de una instalación -el valor recomendado es del orden del 10% como máximo sobre la demanda calculada-, en algunos casos a causa del descuido pueden llegar a ser tan grandes como el 50% lo que implica un gran desperdicio de energía. La figura muestra el comportamiento del ahorro como función del porcentaje de disminución de fugas.

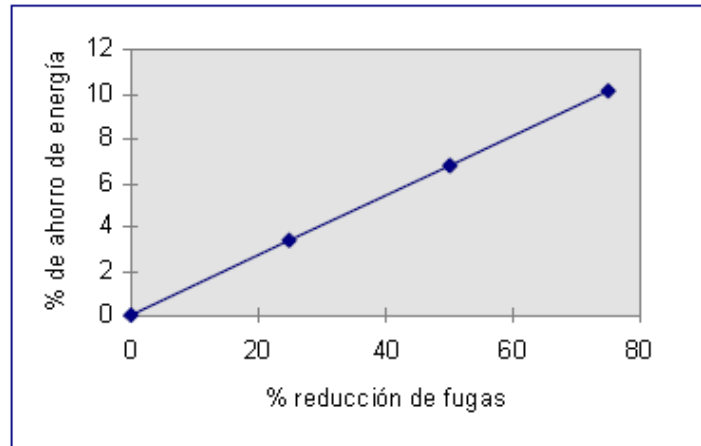


Figura 14. Reducción de fugas vs ahorro energético (Fuente: Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010)

2. Almacenamiento: la capacidad de almacenamiento de aire en un sistema tiene como función principal la de absorber las fluctuaciones causadas por la demanda y controlar los períodos de ciclado de los compresores por lo que su capacidad adecuada es muy importante. Se analizará la posibilidad de aprovechar en forma efectiva los tanques de almacenamiento de aire, y se especificará la cantidad y localización adecuada de los mismos. Una reserva de aire comprimido siempre disponible permite disponer de aire comprimido en lugar de demandar potencia de los compresores.

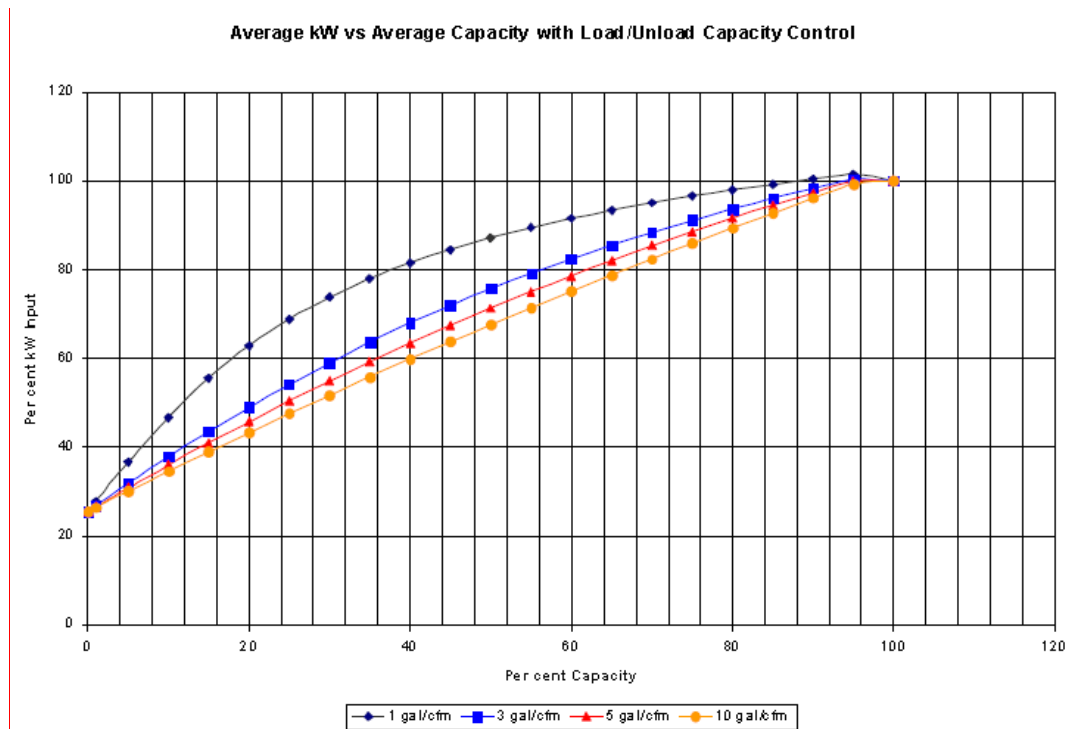


Figura 15. Relación de potencia de entrada y porcentaje de carga contra almacenamiento (Fuente: Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010)

Tal como se muestra en la figura 15, en un sistema ideal se puede disponer de 10 Galones de aire almacenados por cada CFM generado. Más factible pero muy exigente es el valor siguiente de 5 Galones/CFM y una posibilidad que sigue manteniendo un buen nivel de eficiencia es de 3 Galones/CFM. Finalmente se observa una curva que se aleja del valor ideal y de bajo un nivel de almacenamiento de 1 Galón/CFM, que representaría la operación de sistemas de almacenamiento que más bien funciona como solo un espacio más en la trayectoria del aire.

3. Sistema de Distribución: el objetivo de un sistema de distribución es transportar el aire comprimido, desde el compresor, almacenarlo en un tanque y de ahí llevarlo hasta la herramienta o cualquier otro equipo neumático; con una pérdida de carga limitada.

Entre algunas mejoras que pueden desarrollarse se encuentran las siguientes: corrección de fugas, ajustes de la presión de succión y descarga, limpieza de filtros y tuberías, control por estrangulamiento en la succión, reducción de pérdidas en el sistema de distribución de aire comprimido mediante un sistema de lazos cerrados, disminuir las pérdidas de carga utilizando diámetros adecuados de tuberías, utilización de tanques de almacenamiento con criterio de eficiencia energética, utilizar pistolas de sopleteo en lugar de aire en forma directa.

4. Control de Compresor: el objetivo de un sistema de distribución es transportar el aire. En muchísimas ocasiones la operación de alguno de los compresores se debe a incrementos breves en la demanda de aire de la planta, lo cual indica que ese compresor únicamente está operando para suplir picos de carga que genera la planta y son de baja duración en tiempo, lo que crea una demanda artificial tal como se muestra en la Figura 16.

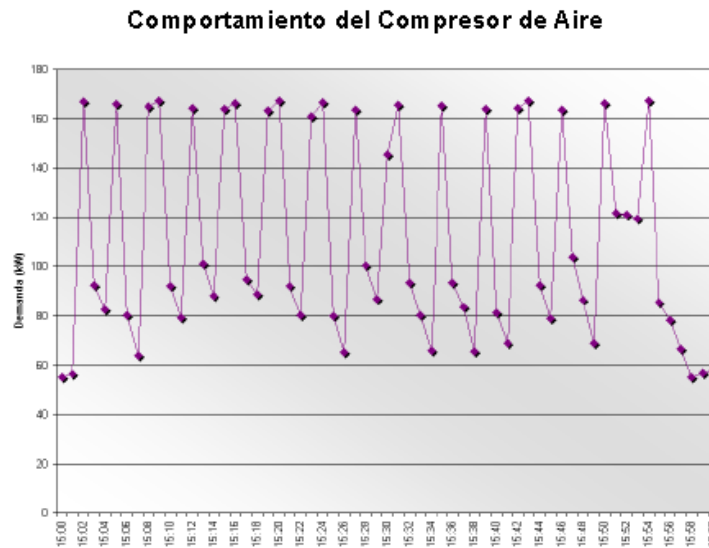


Figura 16. Ciclo de operación de un compresor que suplir picos de carga. (Fuente: Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Otro aspecto importante a tener en cuenta en cuestiones de reducción de costos por consumo energético de aire comprimido es su uso adecuado (Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente, 2010)

El aire comprimido es probablemente el portador energético secundario de más costo en una planta, sin embargo, por ser limpio, por estar siempre disponible y tener muchas facilidades para su empleo, se utiliza en muchos casos para aplicaciones en las que otros portadores energéticos pueden resultar más económicos (Ruiz Martínez, 2011)

Estos son algunos ejemplos de aplicaciones en las que se puede reducir el consumo de aire comprimido:

- Utilizar aire acondicionado o ventiladores para enfriar gabinetes eléctricos en lugar de tubos vortex con aire comprimido.
- Aplicar bombas de vacío en lugar de sistemas Venturi con aire comprimido a alta presión.
- Usar sopladores en lugar de aire comprimido para soplar, enfriar, agitar, mezclar o inflar empaques.
- Utilizar cepillos, aspiradoras, sopladores en vez de aire comprimido para limpiar partes o remover residuos.
- Emplear aire a baja presión para lanzas de aire, agitación, etc. En lugar de aire comprimido a alta presión.
- Utilizar motores eléctricos eficientes para herramientas y actuadores en los casos en que no sean imprescindibles algunas características específicas de los equipos neumáticos (Zaforteza Fuster, 2013)

De acuerdo a esta información, se decide entonces desarrollar el contenido de este trabajo en dos secciones, la primera será levantar el diseño en AutoCAD de la red actual con sus

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

componentes e identificando las oportunidades en construcción y en componentes y materiales utilizados.

Se solicitó entonces a la señora Orlidia Ortiz (Jefe de Planta Física) información acerca de los planos de la red neumática actual de los bloques G y H de la sede Robledo, pero informó que no existe diseño. Se brindó la alternativa de utilizar los planos arquitectónicos en Autocad y desde ellos diseñar la red actual.

Se imprimieron los planos de los 4 pisos de ambos bloques y del parqueadero para hacer el recorrido de toda la extensión de la red neumática y luego diseñarla para tener la referencia de las medidas y accesorios instalados.

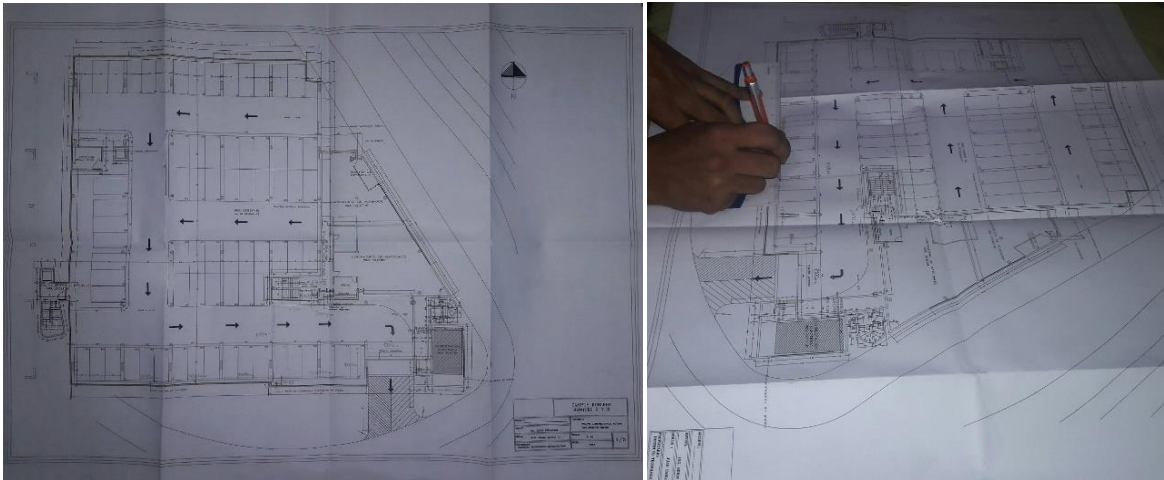


Figura 17. Levantamientos de planos (Fuente: Autores)

Luego toda la información recopilada se incluyó en los planos digitales (ver anexos).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cálculos de las fugas de la red actual deben hacerse por estimación según los accesorios instalados y la longitud de la red. Se llega a esta conclusión de acuerdo a la información que puede ser verificada en el marco teórico en la sección 2.3 “FUGAS EN UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO”. Revisando cada método disponible para evaluar las fugas en este caso:

- Ultrasonido: requiere dispositivos de alto costo y de difícil consecución.
- Agua con jabón: por las condiciones en la cuales se encuentra instalada la red, ya que se encuentra a mucha altura y hay tubería inaccesible por muros o cielos rasos (además por la mala distribución hecha) no fue posible realizar esta verificación en toda la red.

NOTA: no se tiene evidencia de este método por razones de seguridad privada en la institución, ya que no se puede acceder a todos los lugares y no se puede grabar video ni tomar fotografías dentro de las instalaciones.

- Escuchar: durante el recorrido completo que se hizo de la red (en los lugares en donde era posible hacerlo) no se escucharon fugas evidentes que requieran intervención inmediata o que permita sumarlo a los cálculos de caída de presión.

Se localiza e identifica cada proceso, estación de trabajo, y equipamiento que utiliza aire comprimido dentro de los laboratorios. A continuación, describimos cada uno de los elementos que componen la red actual y los cálculos para determinar el consumo total y la caída de presión:

- El grupo generador consta de dos compresores instalados en redes independientes. Esto significa que, aunque los compresores están en los mismos bloques, se encuentran conectados a una red de tuberías independientes. Se debe recordar que la instalación

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de las tuberías en los bloques se realizó de acuerdo a las necesidades académicas y no a un diseño planeado y certificado. El funcionamiento del grupo es automático y a intervalos, regulándose la parada y puesta en marcha mediante presóstatos de máxima y mínima. Los motores de los compresores están conectados a la red eléctrica y disponen de toma de tierra.

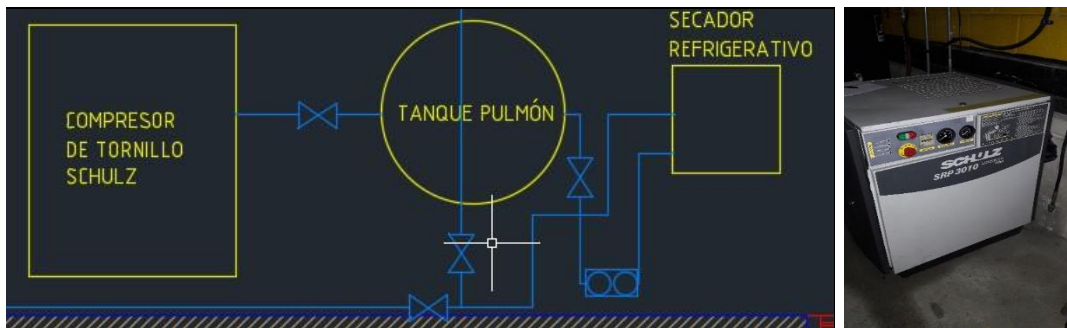


Figura 18. Compresor Schulz de la red actual (Fuente: Autores)



Figura 19. Compresor Gamma de la red actual (Fuente: Autores)

En las imágenes se puede apreciar los dos compresores tal cual como se encuentran en el diseño y que se encuentran ubicados en el parqueadero en el sótano de los bloques G y H de la sede Robledo.

- El conjunto refrigerador es el encargado de enfriar el aire que viene de los compresores, dispone de un separador provisto de purgador y un filtro. Están instalados dos filtros

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de línea, uno en la salida del separador de condensación, próximo al depósito acumulador y otro a la salida de la central.

- El depósito acumulador es un elemento regulador, es decir, es el encargado de absorber las variaciones de consumo y amortiguar las fluctuaciones de presión generadas por el compresor.
- El secador es el encargado de eliminar la humedad residual del aire, dispone de un “bypass” que puenta la entrada y la salida del mismo. Está también conectado a la red eléctrica.

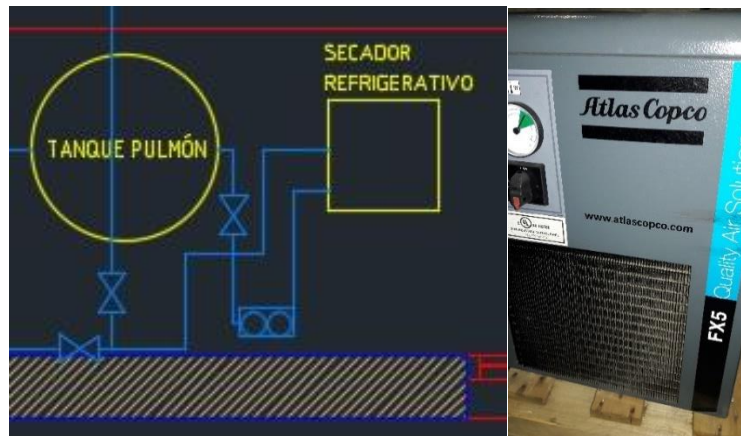


Figura 20. Secador de la red actual (Fuente: Autores)

- La Red de distribución consta de los siguientes elementos:
 1. Llaves de paso: sirven para poder manipular en los distintos ramales y son de igual diámetro al de la tubería, pues conviene que no haya estrangulamientos de paso de aire, ya que ello produciría una pérdida de presión.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 21. Llave de paso (Fuente: <http://www.wurth.es>)

2. Grupo de filtro, regulador y lubricador: los reguladores de presión y lubricadores están para mantener la presión constante, sin fluctuaciones, y para lubricar los elementos neumáticos respectivamente, consiguiendo así un rendimiento óptimo de los receptores y sin provocar un acortamiento de su vida.



Figura 22. Unidad de mantenimiento (Fuente: <http://www.ciedecolombia.com>)

3. Enchufes rápidos con cierre automático, tienen la propiedad de abrir el paso del aire comprimido en el momento en el que se acoplan a ellos la toma y se cierra en el momento en el que se desacoplan.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 23. Acople rápido (Fuente: <http://www.suministroshidraulicos.net>)

4. Mangueras para aire comprimido: la elección de una manguera debe basarse en el consumo de aire libre que requiere la herramienta cuando funciona a plena carga y a máxima potencia. En este caso **se cuenta** con manguera Festo de color azul celeste que son adecuadas para trabajar con aire comprimido.



Figura 24. Manguera neumática (Fuente: Festo)

5. Tubería para aire comprimido: la finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido o red de tuberías es distribuir aire comprimido a los puntos en los que se utiliza. En la red actual se cuenta con tubería de acero al carbón o galvanizado, soldado con autógena o roscado, y muy propensa a la corrosión y muy frágil. También **se encontró** tubería de cobre instalada en el laboratorio de diseño, muy frágil a los golpes, de un alto costo, La corrosión interna puede provocar incrustaciones y picaduras en las superficies internas.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

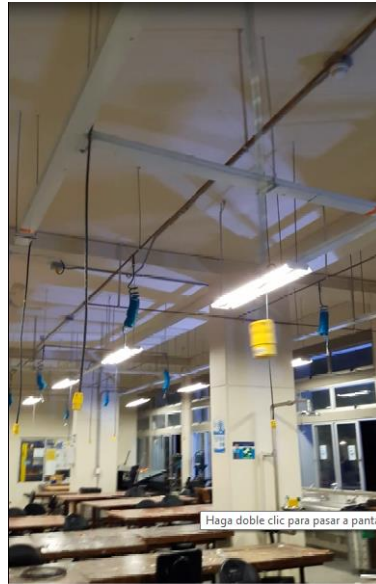


Figura 25. Tubería de cobre (Fuente: Autores)

Puesto que las fugas dependen del número y del tipo de conexiones, de la calidad de la instalación, de los años de la misma y de la presión de trabajo, es difícil determinar un valor esperado de fugas en la instalación. Como regla general, es de esperar que muchos puntos de consumo con necesidades bajas tendrán muchas más fugas que pocos puntos de consumo con necesidades de caudal altas.

Instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%. Si además, las condiciones de mantenimiento son malas, estas pueden llegar a alcanzar valores del 25%.

A la hora de realizar el cálculo de la red de distribución se ha de tener en cuenta la pérdida de presión del aire comprimido por el rozamiento con las tuberías y al pasar por los diferentes accesorios. Por esta razón se empleó el método de las longitudes equivalentes donde, además de la longitud propia de la tubería, se suma la longitud ficticia que produce la misma caída de presión en los distintos accesorios y teniendo en

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cuenta los diferentes diámetros de tubería. El método general de cálculo es el siguiente:

Caudal consumido en la red:

En primer lugar, **se determinó** el consumo de aire libre de cada toma. Para ello **se tiene** que saber el consumo de los diferentes equipos que posee la institución. Para hacer una aproximación fiable del caudal de aire y presión necesaria en la red, **se requiere apoyo de información de** tablas o información suministrada por los proveedores.

Para el aire de instrumentos **se debe** tener en cuenta:

- Consumos válvulas neumáticas; ya sean válvulas de control como válvulas todo/nada.
- Herramientas neumáticas: utilizadas en talleres y en el montaje de diversos equipos de la institución.
- Equipos: En este apartado se englobaría el consumo de aire comprimido.

Se ha de hacer una estimación de consumo de aire de instrumentos (Q) por cada sistema teniendo en cuenta los consumidores y consumos mencionados anteriormente.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

EQUIPO	Nº DE EQUIPOS	CAUDAL Q EN N m3 /min.	
		QUNITARIO	QTOTAL
Pistola para pintar de alta presión 	2	0,150	0,3
Máquina ruteadora CNC 8011 	2	0,150	0,3
Cilindro de simple efecto, actuadores finales de carrera 	16	0,100	1,6
Válvulas de paso 	25	0,100	2,5

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Unidad de mantenimiento 	15	0,100	1,5
Atornillador neumático 	4	0,150	0,6
Σ			6,8

Tabla 2. Caudal de consumo de aire de cada herramienta o equipo en operación (Fuente: autores).

Características técnicas de compresores:

Luego, **se verifica** las tablas técnicas de los compresores utilizados en la red neumática para conocer los valores a tener en cuenta en el momento de hacer los cálculos:

El siguiente compresor está conectado a la red que va al cuarto piso del bloque H y al cuarto de soldadura (*Ver anexos*).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Figura 26. Compresor Gamma de 3HP (Fuente: Autores)

- Transmisión a correa.
- Bicilíndrico baja-baja
- Potencia 3 HP
- Alimentación 220 VCA - 50 Hz
- Motor 2,2 kW Cilindros 2
- Velocidad 1150 RPM
- Tanque 150 L
- Caudal 351 L/mín
- Presión max 116 Lbs/pulg²
- Peso 77 Kg

Figura 27. Ficha técnica compresor Gamma de 3hp (Fuente: <http://www.gama-me.com>)

El compresor utilizado en la red principal es el SRP 3010/200 de 10 hp de tornillo compacto:



Figura 28. Compresor Schulz de 10 hp (Fuente: Autores)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

SRP 30 10/ 200 COMPACT				
Potencia del Motor		10 hp 7.5 kw		
Presión Max	bar	7.5	9	11
	Psig	108	130.5	159.5
Caudal efectivo	cfm	40	35	30
	Pies3/m	962	906	850
Conexión de descarga		1/2"		
Peso Neto		201kg		
Ancho x Altura x Largo		1370 x 1060 x445mm		

Figura 29. Tabla técnica del compresor schulz de 10HP (Fuente: Schulz compresores)

Factor de utilización

De acuerdo a los resultados de la tabla 2, en caso de trabajo en simultánea, el consumo total de los equipos conectados a la red de aire sería 6,8 m³/min (0,1133 m³/s). Sin embargo, los compresores instalados son capaces de suministrar un máximo de 0,024728 m³/s (dato que resulta de sumar los 40 cfm de un compresor con los 351 L/min del otro). Esto indica que el factor de utilización máximo es 22% aprox. (0,024728 m³/s /0,113 m³/s), lo que indica que todos los equipos no se pueden utilizar en simultánea. En la práctica, es muy improbable que todos los laboratorios requieran todos sus equipos consumidores de aire comprimido, funcionando a su máxima capacidad y en simultánea.

Longitud nominal de tubería:

Para calcular la longitud nominal de la tubería, se mide la tubería lisa y se suma la longitud equivalente de cada unión o acople.

La longitud equivalente de tubería se calcula según la cantidad de accesorios en cada red respecto al tamaño de la tubería. Como en ambas redes se tiene tubería de ¾ y de 1", se verificó en campo cada accesorio instalado. El diámetro nominal (DN) se refiere al diámetro

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

interior de un tubo, por esta razón para tubería de $\frac{3}{4}$ " se tiene DN=20 y para tubería de 1" se tiene DN=25.

Para la tubería de la red del compresor del 10hp se tienen los accesorios mostrados en la tabla 3:

ACCESORIOS Y VÁLVULAS	LONGITUD EQUIVALENTE EN METROS		CANTIDAD EN $\frac{3}{4}$ "	CANTIDAD EN 1"	TOTAL EN $\frac{3}{4}$ "	TOTAL EN 1"
	TUBERÍA DE $\frac{3}{4}$ "	TUBERÍA DE 1"				
CODO	0,6	0,6	42	11	25,2	6,6
UNIÓN T	1,2	1,5	8	5	9,6	7,5
VÁLVULA DE MARIPOSA	0,3	0,3	5	3	1,5	0,9
					36,3	15

Tabla 3. Cálculo de longitud equivalente de tubería de $\frac{3}{4}$ " y 1" en red de 10hp (Fuente: autores).

De acuerdo a la tabla anterior, se sabe que la longitud equivalente de $\frac{3}{4}$ " es 36,3m y de 1" es de 15m.

Para la tubería de la red del compresor del 3hp se tienen los accesorios mostrados en la tabla 4:

ACCESORIOS Y VÁLVULAS	LONGITUD EQUIVALENTE EN METROS		CANTIDAD EN $\frac{3}{4}$ "	CANTIDAD EN 1"	TOTAL EN $\frac{3}{4}$ "	TOTAL EN 1"
	TUBERÍA DE $\frac{3}{4}$ "	TUBERÍA DE 1"				
CODO	0,6	0,6	8	4	4,8	2,4
UNIÓN T	1,2	1,5	1	1	1,2	1,2
VÁLVULA DE MARIPOSA	0,3	0,3	2	1	0,6	0,3
					6,6	3,9

Tabla 4. Cálculo de longitud equivalente de tubería de $\frac{3}{4}$ " y 1" en red de 3hp (Fuente: autores).

De acuerdo a la tabla anterior, se sabe que la longitud equivalente de $\frac{3}{4}$ " es 6,6m y de 1" es de 3,9m.

Luego se toman las longitudes de tubería lisa halladas midiendo físicamente la red de cada compresor y se suman las longitudes equivalentes. Se tiene que:

- Red de tuberías del compresor de 10hp:
Tubería de $\frac{3}{4}$ " : 212,56 m + 36,3 m = 248,86 m

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Tubería de 1": 67,12 m + 15m = 82,12 m

- Red de tuberías del compresor de 3hp:

Tubería de 3/4": 79,91 m + 6,6 m = 86,51 m

Tubería de 1": 44,94 m + 3,9 m = 48,84 m

Cálculos de caída de presión:

Una vez calculadas las longitudes equivalentes y sumadas todos los tramos de tubería, se procede a determinar la caída de presión de cada red.

Red de 10hp:

Se tiene un caudal de 40 cfm (0.018878 m³/s) y 159.5 psi (1099713.7 Pa) de presión del compresor. Entonces, se toma cada longitud nominal y cada diámetro de tubería en metros para hallar la caída de presión.

- Tubería de 3/4": diámetro (0.020m), longitud total de 248,86m (816,47 ft). Por lo tanto:

$$\Delta P = 1.6 \times 10^3 \frac{L Q^{1.85}}{P \cdot D^5} = 1.6 \times 10^3 \frac{248,86 \text{ m } (0.018878 \text{ m}^3/\text{s})^{1.85}}{1099713.7 \text{ Pa } (0.020\text{m})^5} = 73141,52 \text{ Pa} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Esta caída de presión corresponde aproximadamente a 10,6 psi.

- Tubería de 1": diámetro (0.020m), longitud total de 82,12m (269,42 ft). Por lo tanto:

$$\Delta P = 1.6 \times 10^3 \frac{L Q^{1.85}}{P \cdot D^5} = 1.6 \times 10^3 \frac{82,12 \text{ m } (0.018878 \text{ m}^3/\text{s})^{1.85}}{1099713.7 \text{ Pa } (0.0254\text{m})^5} = 7305,32 \text{ Pa} \quad (\text{Ecuación 10})$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Esta caída de presión corresponde aproximadamente a 1,06 psi.

Sumando ambas caídas de presión, en la red de 10hp se tiene un total de 11,66psi.

Red de 3 hp:

Tiene un caudal de 351 L/min (0.00585 m³/s, aprox. 12.394 cfm) y 116 psi (799791.8 Pa) de presión del compresor. Entonces, se toma cada longitud nominal y cada diámetro de tubería en metros para hallar la caída de presión.

- Tubería de 3/4": diámetro (0.020m), longitud total de 86,51m (283,82 ft). Por lo tanto:

$$\Delta P = 1.6 \times 10^3 \frac{L Q^{1.85}}{P.D^5} = 1.6 \times 10^3 \frac{86,51 \text{ m } (0.00585 \text{ m}^3/\text{s})^{1.85}}{799791.8 \text{ Pa} \cdot (0.02 \text{ m})^5} = 3983,2 \text{ Pa} \quad \text{(Ecuación 11)}$$

Esta caída de presión corresponde aproximadamente a 5,77 psi.

- Tubería de 1": diámetro (0.0254m), longitud total de 48,84m (160,23 ft). Por lo tanto:

$$\Delta P = 1.6 \times 10^3 \frac{L Q^{1.85}}{P.D^5} = 1.6 \times 10^3 \frac{48,84 \text{ m } (0.00585 \text{ m}^3/\text{s})^{1.85}}{799791.8 \text{ Pa} \cdot (0.0254 \text{ m})^5} = 683,9 \text{ Pa} \quad \text{(Ecuación 12)}$$

Esta caída de presión corresponde aproximadamente a 0,99 psi.

Sumando ambas caídas de presión, en la red de 10hp se tiene un total de 6,76psi.

Luego de hallar las caídas de presión, se procede a realizar los cálculos de las fugas y así determinar cuánto gasto representan las pérdidas en la red actualmente instalada. Vale la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

pena recordar que en el recorrido realizado por toda la parte visible de la red de tuberías no se hallaron fugas, por lo que se realizarán los cálculos con los datos que se tienen.

Cálculos tiempos de descarga del tanque de almacenamiento para la red del compresor de 10hp:

Se procede entonces a realizar la medición de descarga del tanque de almacenamiento o recibidor de aire. **Se necesitan** entonces los siguientes valores:

V_L = Volumen de flujo de fuga

V_a = Volumen del recibidor de aire

P_i = Presión inicial del recibidor de aire

P_f = Presión final del recibidor de aire

t = Tiempo de medición

$$V_L = \frac{V_a * (P_f - P_i)}{t} \quad \text{(Ecuación 13)}$$

$V_a = 500lt$ (Capacidad del tanque de almacenamiento)

$P_f = 14bar = 203psi$

$P_i = 11bar = 159.54psi$

$t = 5min$

$$V_L = \frac{500lt * (14 - 11)}{5min} = 300 \frac{lt}{min} \times \frac{1m^3}{1000lt} = 0.3 \frac{m^3}{min} \quad \text{(Ecuación 14)}$$

Suponiendo entonces que el equipo trabaja toda la jornada estudiantil de 16 horas y a máxima carga todos los días del año académico, **se está** hablando de aproximadamente 210 días. Pero el compresor tiene un ciclo de trabajo de 25 minutos que corresponde a 5 minutos de carga y 20 de descarga, como se evidencia en la siguiente figura.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

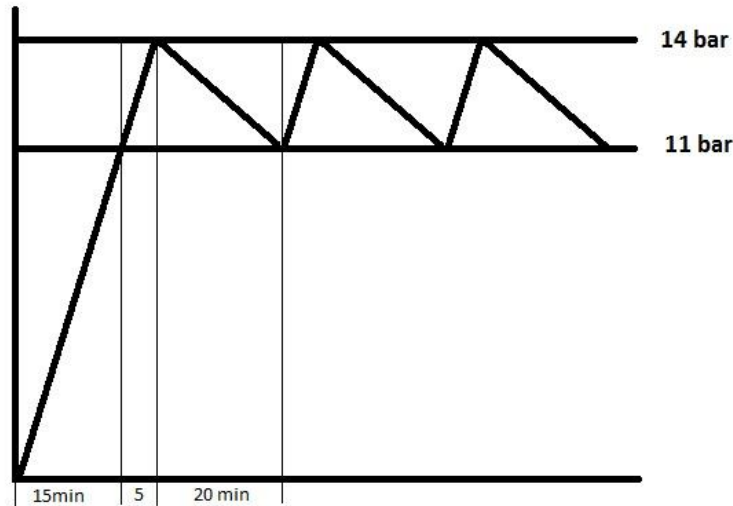


Figura 30. Ciclo de arranque, carga y descarga de compresor de 10hp (Fuente: Autores)

$$16 \text{ horas} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ hora}} = 960 \text{ min.} - 15 \text{ min de arranque} = 945 \text{ minutos} \quad (\text{Ecuación 15})$$

$$\frac{945 \text{ min}}{25 \text{ min}} = 37.8 \text{ ciclos} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Por esta razón, **se tiene** que en 16 horas de trabajo en un día el compresor realizaría 37.8 ciclos de trabajo.

Luego, **se multiplica** la cantidad de ciclos por 5, ya que equivale a 5 minutos de carga máxima por ciclo.

$$37.8 \text{ ciclos} * 5 = 189 \text{ minutos} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Esto significa que en el día hay 189 minutos de máxima carga, si esto lo convertimos a horas y luego **se multiplica** por la cantidad de días de trabajo **se obtiene** el tiempo total en el año que requerimos para el cálculo.

$$189 \text{ minutos} * \frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ minutos}} = 3,15 \text{ horas}$$

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$Horas\ de\ trabajo/año = 210días * 3,15horas = 661,5horas$ (Ecuación 18)

Se toma de la página oficial de las empresas públicas de Medellín el valor actual para el mes de febrero de 2019 de la tarifas de Energía a través del siguiente link: <https://www.epm.com.co/site/Portals/2/documentos/tarifas/energia2019/Publicacion-Febrero-15-2019.pdf>

Se necesita calcular finalmente las fugas y su costo de acuerdo a los valores hallados. Aunque el cálculo es sencillo y directo, se va a utilizar nuevamente la herramienta Toolbox de Kaeser http://www.kaeser.com.co/Online_Services/Toolbox/Leaks/default.asp

Cálculo de las Fugas		
<input checked="" type="radio"/> Unidades SI <input type="radio"/> Unidades US		
Volumen del tanque de almacenamiento	0.5	m ³
Periodo de medición	5	min
Presión inicial del tanque de almacenamiento	14	bar
Presión final del tanque de almacenamiento	11	bar
Potencia del motor a máxima presión	7.5	kW
Eficiencia del motor	86.3	%
Caudal a máx. presión de trabajo	0.3	m ³ /min
Costos de energía	593.02	\$/kWh
Horas de trabajo /año	661.5	h
Consumo energético del motor	8.6906	kW
Costos de fugas/año	3409172.2933	\$
Tasa de fugas	0.3	m ³ /min
Porcentaje de fugas	100	%

Figura 31. Cálculo de la Caída de Las Fugas (Fuente: <http://co.kaeser.com>)

Este cálculo permite demostrar que, con las condiciones actuales de la red, el valor del consumo a máxima carga sería de aproximadamente 3 millones cuatrocientos mil pesos al año en la red del compresor de 10 hp.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Cálculos para la red del compresor de 3hp:

Se procede entonces a realizar la medición de descarga del tanque de almacenamiento o receptor de aire en la red del compresor de 3hp

$$V_L = \frac{V_a * (P_f - P_i)}{t}$$

$$V_a = 150lt \text{ (Capacidad del tanque de almacenamiento)}$$

$$P_f = 8bar = 116psi$$

$$P_i = 6bar = 87psi$$

$$t = 3min$$

$$V_L = \frac{150lt * (8-6)}{3min} = 100 \frac{lt}{min} \times \frac{1m^3}{1000lt} = 0.1 \frac{m^3}{min} \quad \text{(Ecuación 19)}$$

Suponiendo entonces que el equipo trabaja toda la jornada estudiantil de 16 horas y a máxima carga todos los días del año académico, **se está** hablando de aproximadamente 210 días. Pero el compresor tiene un ciclo de trabajo de 25 minutos que corresponde a 5 minutos de carga y 20 de descarga, como se evidencia en la siguiente figura.

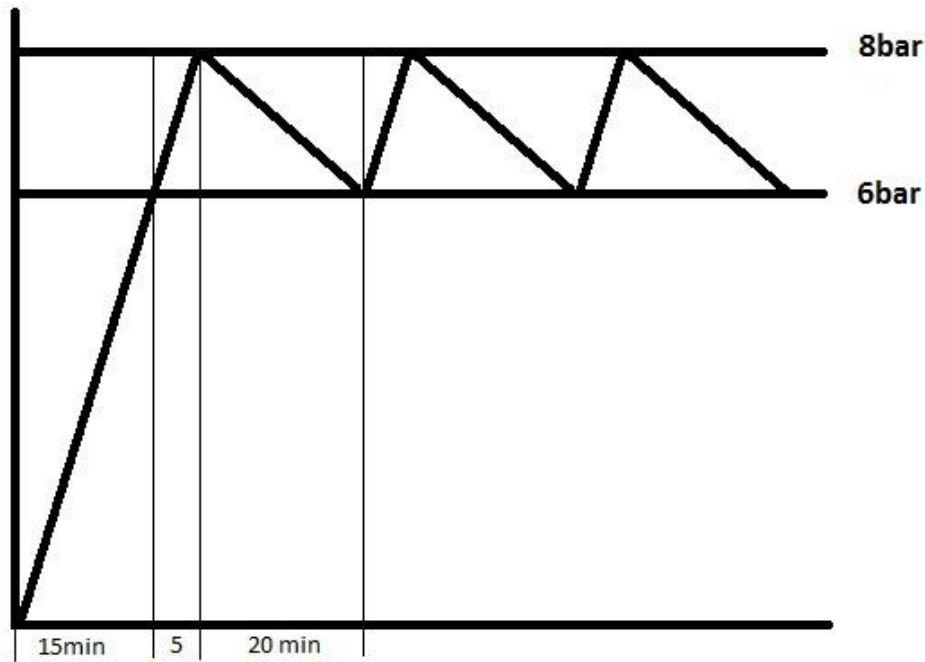


Figura 32. Ciclo de arranque, carga y descarga de compresor de 3hp (Fuente: Autores)

Cálculo de las Fugas

- Unidades SI
- Unidades US

Volumen del tanque de almacenamiento	0.15	m ³
Periodo de medición	3	min
Presión inicial del tanque de almacenamiento	8	bar
Presión final del tanque de almacenamiento	6	bar
Potencia del motor a máxima presión	3	kW
Eficiencia del motor	80	%
Caudal a máx. presión de trabajo	0.1	m ³ /min
Costos de energía	593.02	\$/kWh
Horas de trabajo /año	661.5	h
Consumo energético del motor	3.75	kWh
Costos de fugas/año	1471060.2375	\$
Tasa de fugas	0.1	m ³ /min
Porcentaje de fugas	100	%

Figura 33. Cálculo de la Caída de las Fugas red de 3HP (Fuente: <http://co.kaeser.com>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Este cálculo permite demostrar que, con las condiciones actuales de la red, el valor del consumo a máxima carga sería de aproximadamente 1 millón setecientos mil pesos al año en la red del compresor de 3hp.

Sumando ambas redes, el costo operativo en máxima carga sería de 5.1 millones de pesos al año para la institución.

Verificando todos los cálculos realizados, se determinó que, en la búsqueda de una reducción del consumo energético, se recomienda rediseñar la red bajo los estándares actuales de calidad y normas técnicas, y teniendo en cuenta la longitud de la tubería, se propone una instalación en forma de anillos para una mejor distribución de aire utilizando una cantidad menor de tubería y garantizando una presión adecuada en cada punto. La red actual se encuentra por ramales separados y los dos compresores que se encuentran en operación están en redes de tubería independientes una de otra. Se deben instalar los compresores en la misma red y conectados en paralelo, para que en el momento en que el consumo en la red sea superior al del primer compresor de 3hp, inmediatamente se active el segundo compresor de 10hp. A continuación, **se explica** en que consiste la red en anillo que **se desea** aplicar, también pueden verificar en los anexos donde se detalla el diseño propuesto para la institución.

RED MALLADA O EN ANILLO

En la red mallada o anillo, la tubería que parte de la central compresora se divide también en dos, y esta a su vez en dos, y así sucesivamente, pero cerrándose todas ellas en sus extremos, formando circuitos cerrados. En una red mallada los puntos de consumo pueden ser atendidos por caminos diferentes, consiguiéndose un reporte de caudales óptimo, que produce pérdidas de carga mínimas en las tuberías y por tanto mayores presiones en las acometidas, adecuándose en todo momento la distribución de los consumos,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

constantemente cambiante en estos tipos de instalaciones. Por otra parte, en las redes cerradas, se puede mantener el servicio en caso de avería con sólo aislar el tramo en que está se presenta maniobrando las válvulas estratégicamente distribuidas en la red.

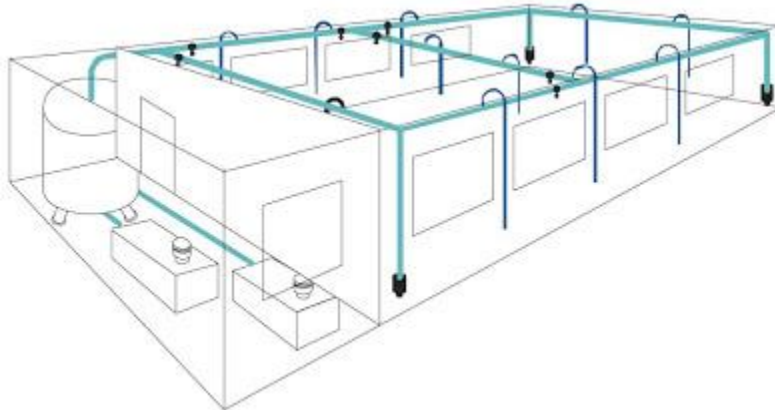


Figura 34. Red mallada o en anillo. (Fuente: <http://industrial-automatiza.blogspot.com>)

Para la institución, lo más importante en la instalación de la red en anillo radica en el consumo actual que hay de energía y la reducción que se va a lograr. La idea consiste en poner ambos compresores en una misma red y conectados en paralelo para que en caso de que el consumo en la red sea superior al primero, entre en operación el segundo compresor, sumado a que al rediseñar la red, la caída de presión sería menor, ya que en ambas redes este valor corresponde en mayor medida a la extensión de la red que no se encuentra cerrada sino por varios ramales y por ende, no hay recirculación de aire. Además, de acuerdo a los equipos que se encuentran actualmente en los laboratorios para las prácticas académicas, el compresor de 3hp es suficiente para soportar todos estos aparatos operando al mismo tiempo, circunstancia que nunca se ha presentado. Cabe recordar que el uso de estos elementos depende del método de enseñanza aplicado por cada docente, por eso un valor exacto y real de consumo habría que hacerlo tomando datos todos los días y consolidar estos valores a fin de año, por esa razón los cálculos realizados se hicieron suponiendo un consumo máximo, con el cual se sabe que el solo hecho de tener una sola red disponible y no dos, con dos equipos de compresión siempre en stand by esperando para ser operados, ya define un consumo innecesario de energía.

Como puede apreciarse en los anexos, la red en malla propuesta se diseñó con dos anillos que se comunican entre sí para que haya distribución de aire equitativa en cada uno y así, en toda la red. La sala de compresores propuesta se ubicó en el mismo sitio en el que se encuentra actualmente el compresor de 3hp.

Verificando finalmente el diseño final, da una extensión total de la tubería de 258.1145 metros. A esto se debe sumarle la longitud equivalente correspondiente a los accesorios a instalar en la red como se muestra a continuación. El cálculo se realizó con la herramienta ToolBox de Kaeser mostrada anteriormente. Se calcula un total de longitud nominal de tubería de $258.1145 + 73 = 331.1145\text{m}$










Cálculo de la Longitud Equivalente de la Tubería			
<input checked="" type="radio"/> Unidades SI <input type="radio"/> Unidades US		Diámetro de la tubería DN 25 ▼	
		longitud equivalente[m]	Número
Codo		1.5	<input type="text" value="0"/>
Codo R=2d		0.3	<input type="text" value="0"/>
Codo R=d		0.4	<input type="text" value="25"/>
Unión T cruzada		0.5	<input type="text" value="0"/>
Unión T ramificada		1.5	<input type="text" value="12"/>
Válvula instalada		5	<input type="text" value="9"/>
Válvula de bola / mariposa		0.3	<input type="text" value="0"/>
Válvula cheque		2	<input type="text" value="0"/>
Unión reductora (DN): 20		0.5	<input type="text" value="0"/>
Longitudes equivalentes de uniones y acoples:		<input type="text" value="73"/>	m

Figura 35. Cálculo de la longitud equivalente de tubería de red nueva (Fuente: <http://co.kaeser.com>)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Con esta información se puede dar un valor aproximado de los materiales necesarios para la instalación de la nueva red, teniendo en cuenta el valor comercial de estos en la actualidad. Estos precios fueron proporcionados por parte de Ingeneumática S.A.S.

ELEMENTO	CANTIDAD	VALOR UNIDAD	TOTAL
CODO a 90° 25mm 	25	\$26000	\$650000
UNIÓN EN TEE 25mm 	12	\$37000	\$440000
VÁLVULA DE ESFERA 25mm 	9	\$38000	\$342000
TUBERÍA EN ALUMINIO 25mm 	331.1145m (56 tubos x 6 mt)	\$18000 x metro	\$6048000
TOTAL			\$7480000

Tabla 5. Accesorios red neumática nueva

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

1. La instalación de la red actual se hizo según las necesidades académicas que iban surgiendo, nunca se planeó de forma adecuada una instalación que soportara posibles cambios a futuro.
2. Los materiales utilizados no fueron los adecuados, se tiene tubería de acero al carbón, cobre y hasta tubería flexible en una misma red.
3. Se tienen dos compresores habilitados al mismo tiempo para su uso, cuando se podría tener ambos instalados en la misma red de tuberías y trabajando en paralelo.
4. Nunca se instaló la red con diseños de soporte en archivo, por eso en este trabajo hubo la necesidad de diseñar la red actual completamente.
5. El compresor de 10hp se encuentra ubicado en un punto donde no se cuenta con buena ventilación, todo el tiempo tiene vehículos parqueados en frente y esto afecta su rendimiento, aumenta la temperatura del equipo y además no cuenta con la adecuada protección a posibles golpes cuando estén parqueando un automotor.
6. No hay estandarización de las tuberías de servicio con los códigos de colores adecuados en toda la institución, deben corregir dicha condición.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECOMENDACIONES

1. Cumplir con el programa de mantenimiento, éste involucra las purgas diarias en el depósito de aire, y las unidades de mantenimiento que se encuentran ubicadas en la instalación de tuberías de aire comprimido.
2. Realizar un estudio completo cuando sea necesario hacer ampliaciones de la red de aire comprimido, así mismo llevar un estricto control de los programas de mantenimiento de los compresores, que permita aprovechar al máximo su caudal de aire generado.
3. Se propone un mantenimiento preventivo semana, mensual, trimestral, semestral y anual que conlleve un mejoramiento en el equipo neumático, para que así no se deteriore los accesorios y haya un mejor funcionamiento de la red y el aire llegue limpio y sin partículas cuando lo vaya a usar.
4. Se debe realizar un estudio ambiental que determine la contaminación generada producto de la condensación.
5. Se recomienda para la instalación de una red de aire comprimido el uso de tubería en aluminio, es resistente a la corrosión, permite un caudal óptimo gracias a la superficie interior lisa, cumple con la norma ISO 8573 sobre calidad del aire, no contamina los fluidos con partículas sólidas, agua, humedad o aceite y ofrece mayor resistencia a los golpes.



Figura 36. Tubería de aluminio

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. En el laboratorio de diseño se recomienda eliminar varias de las tomas de aire que están siendo subutilizadas, por lo general las herramientas que usan en las prácticas son de tipo eléctrico, pero debe consultarse con los docentes y jefe de programa cuantos puntos van a requerir a futuro.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- Atlas Copco. (2015). *Compressed air manual*. Wilrijk, Bélgica: Atlas Copco Aripower NV.
- Carello, M., Ivanov, A., & Mazza, L. (1998). Pressure drop in pipe lines for compressed air- Comparison between experimental and theoretical analysis. *Transactions on engineering sciences*, 18, 35-44.
- Cengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2011). *Transferencia de calor y masa - Fundamentos y aplicaciones*. Mexico: McGraw Hill.
- Escan S.A. (2005). *Procedimiento de auditorías energéticas en el sector industrial de la comunidad de Madrid*. Madrid: Comunidad de Madrid.
- FIDE, CNEE. (2010). *Curso Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica*. Guatemala: FIDE, CNEE.
- Julio, J., Betancur, M., Osorio, M., & Benítez, L. (s.f.). *Generación, almacenamiento, transporte, distribución y tratamiento de aire comprimido*. Medellín.
- KAESER compresores. (2015). *KAESER compresores*. Obtenido de <http://airecomprimidokaeser.com/index.php/2016/09/26/fugas-en-un-sistema-de-aire-comprimido/>
- Nieto Gámez, M. (Abril de 2005). *Biblioteca de Ingeniería Universidad de Sevilla*. Obtenido de <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/3863/fichero/Proyecto%2BFin%2Bde%2BCarrera%25252FANEJOS%2BDE%2BC%25C3%2581LCULO%25252FAire%2Bcomprimido%25252FAIRE%2BCOMPRIMIDO.pdf>
- Parker Hannifin Ltd. (2011). *Introducción a las normas ISO de calidad del aire*. Dukesway, England: Parker Hannifin Ltd.
- Parker Transair. (2016). *Parker Transair*. Obtenido de <http://www.parkertransair.com/jahia/Jahia/filiale/spain/lang/es/home/TechnicalCenter/CompressedAirPipeSystem>
- Ruiz Martínez, Á. (2011). *Análisis y mejora de una instalación de aire comprimido*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid Escuela Politécnica Superior.
- Sánchez García, J. I. (2012). *Estudio energético y optimización del sistema de aire comprimido de una gran instalación*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Torres García, L. (2006). *Propuesta de una red de aire comprimido, para los laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica, en el edificio T-7*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.

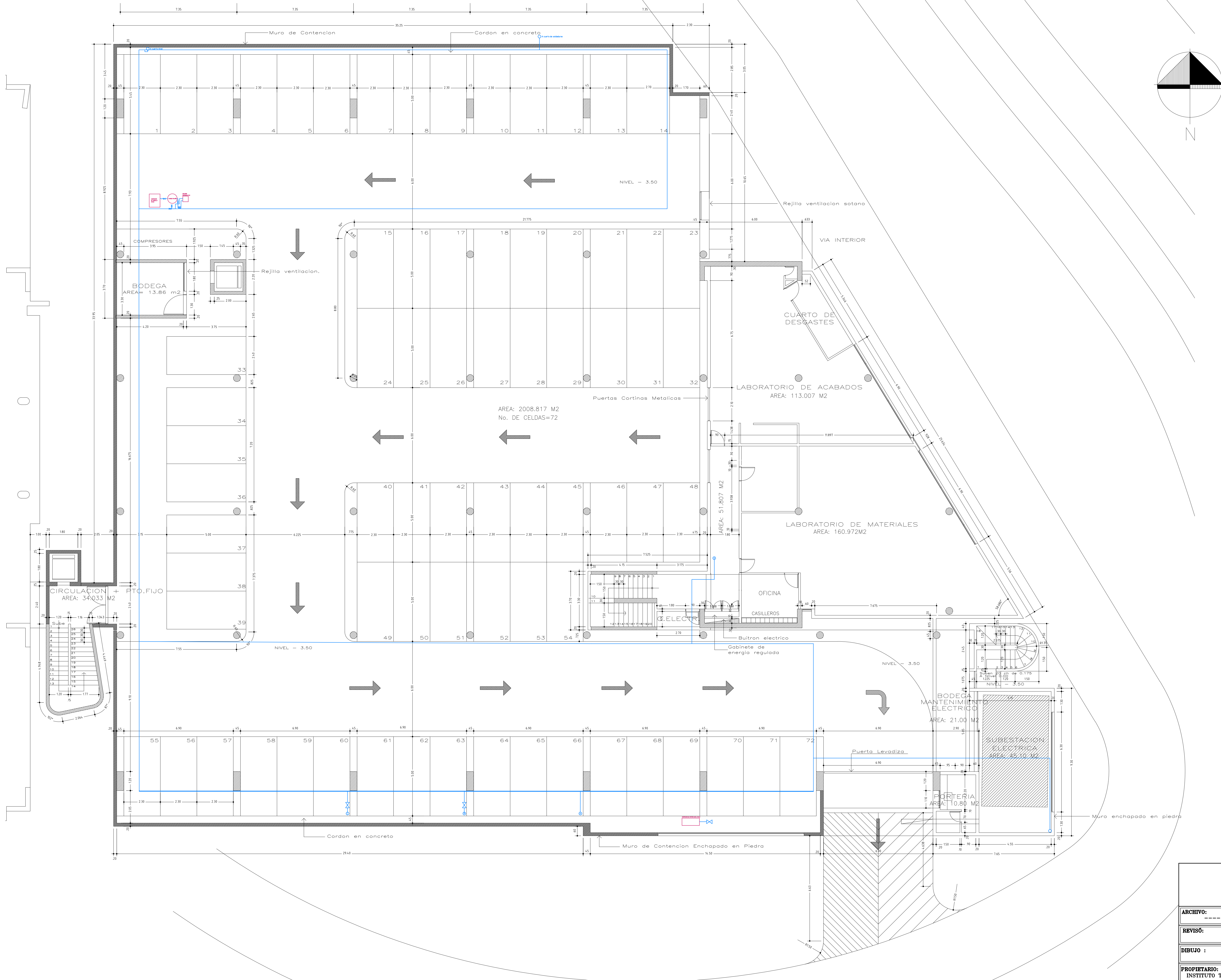
Universidad de Oviedo. (2006). *Instalación de aire comprimido*. Oviedo: Universidad de Oviedo.

Universidad del Atlántico, Universidad Autónoma de Occidente. (2010). *Eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido*. Bogotá: COLCIENCIAS.

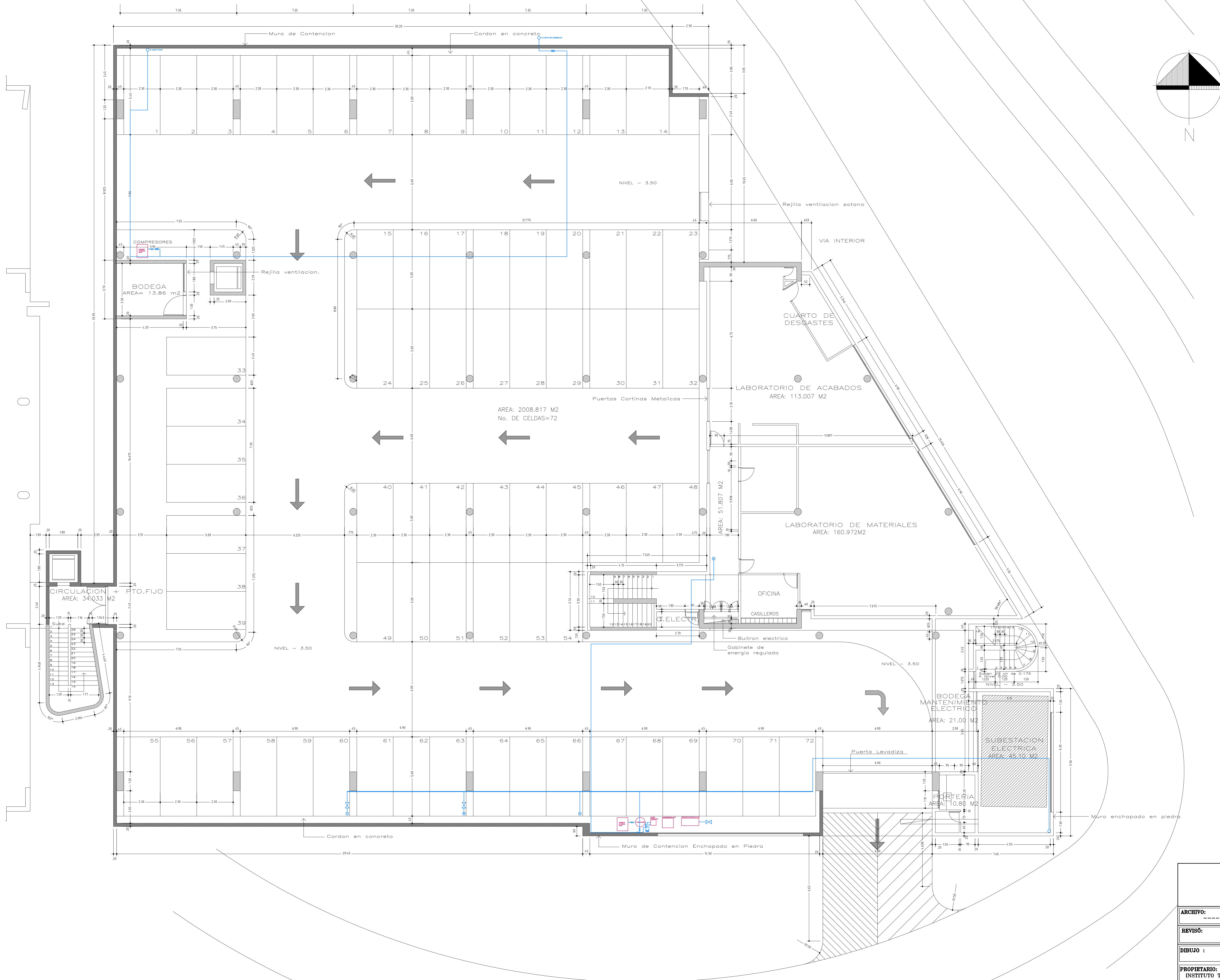
Zaforteza Fuster, J. (2013). *Diseño e instalación de un sistema de aire comprimido para una planta de ciclo combinado*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas Madrid.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICES



CAMPUS ROBLADO BLOQUES G Y H	
ARCHIVO: _____	CONTIENE : RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	ESCALA: SIN
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	FECHA : 2018
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	1/8



**CAMPUS ROBLADO
BLOQUES G Y H**

ARCHIVO: _____	CONTIENE : RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	ESCALA: SIN
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	FECHA : 2018

CUADRO DE AREAS

AREAS GENERALES

Aulas.....	1511.876 M2.
Laboratorios y Talleres.....	1912.853 M2.
Circulaciones y Pto. Fijos.....	1860.707 M2.
Unid. de Servicio (W.C.).....	179.868 M2.
Sala de Profesores.....	160.750 M2.
Parqueaderos.....	2008.817 M2.
Porteria y Subest.....	55.50 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 7690.571 M2.

AREAS ESPECIFICAS

PLANTA SOTANO GARAJES-TALLERES

Laboratorio de Acabados.....	113.007 M2.
Laboratorio de Materiales.....	160.972 M2.
Porteria.....	10.80 M2.
Subest. Elect.....	45.10 M2.
Parqueaderos.....	2008.817 M2.
Circulaciones y Pto.Fijos.....	85.84 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 2424.536 M2.

PLANTA NIVEL PRIMER PISO

Taller de Maquinas y Herramientas.....	291.242 M2.
Laboratorio Taller de Fundicion.....	121.265 M2.
Taller de ajuste y Metalisteria.....	193.538 M2.
Aulas.....	377.919 M2.
W.C. Publicos.....	44.967 M2.
Circulaciones y Pto.fijos.....	467.462 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 1496.39 M2.

PLANTA NIVEL SEGUNDO PISO

Laboratorio de Circuitos.....	74.812 M2.
Laboratorio de Electronica.....	70.475 M2.
Laboratorio de Maquinas Electricas.....	145.320 M2.
Sala de Profesores.....	160.750 M2.
Aulas.....	377.919 M2.
W.C. Publicos.....	44.967 M2.
Circulaciones y Pto.fijos.....	470.115 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 1344.358 M2.

PLANTA NIVEL TERCER PISO

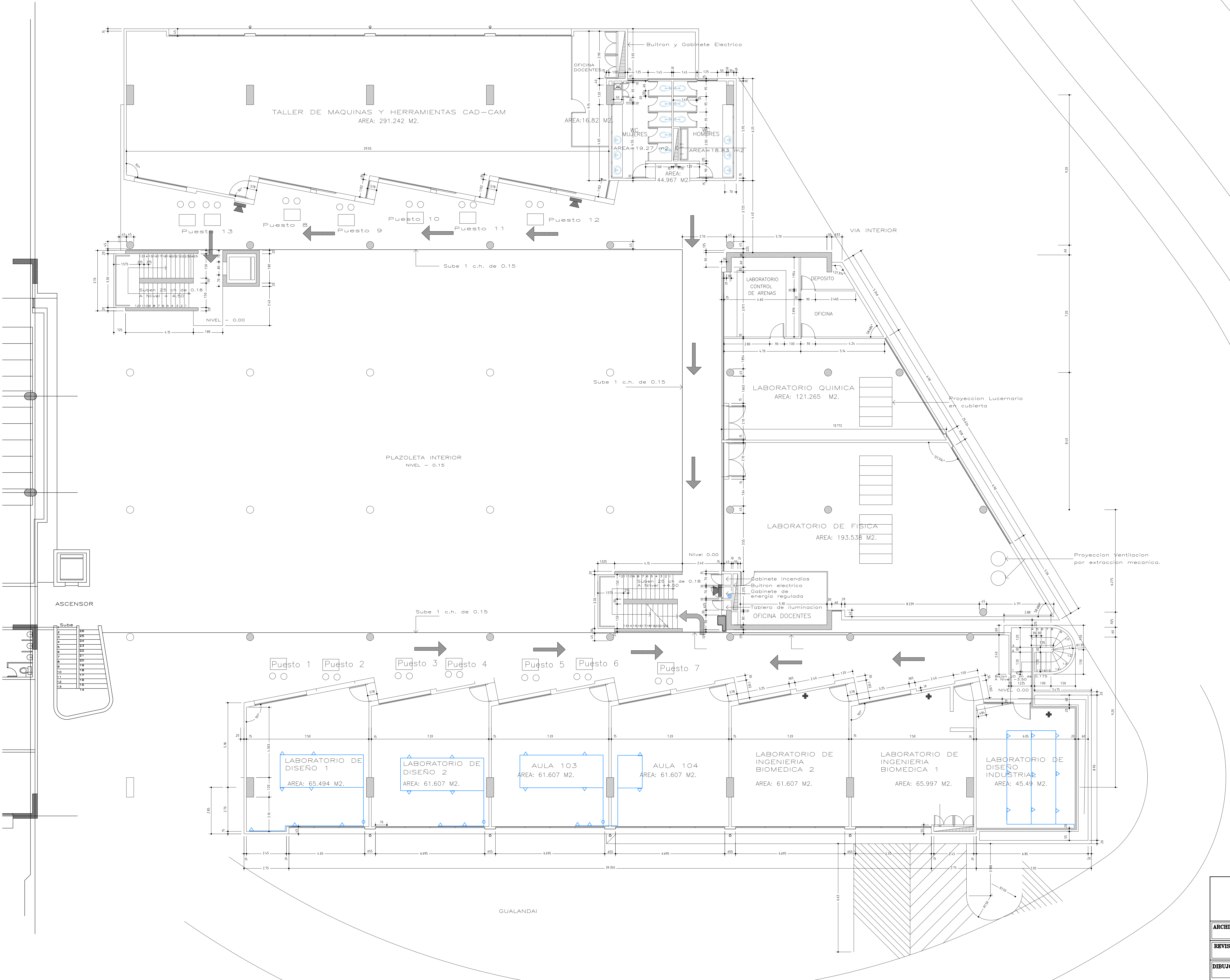
Taller Laboratorios disponibles.....	451.357 M2.
Aulas.....	377.919 M2.
W.C. Publicos.....	44.967 M2.
Circulaciones y Pto.fijos.....	418.645 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 1292.888 M2.

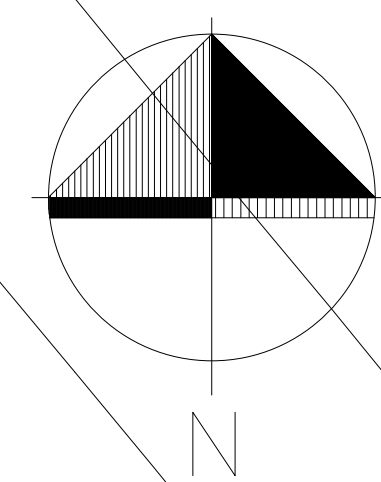
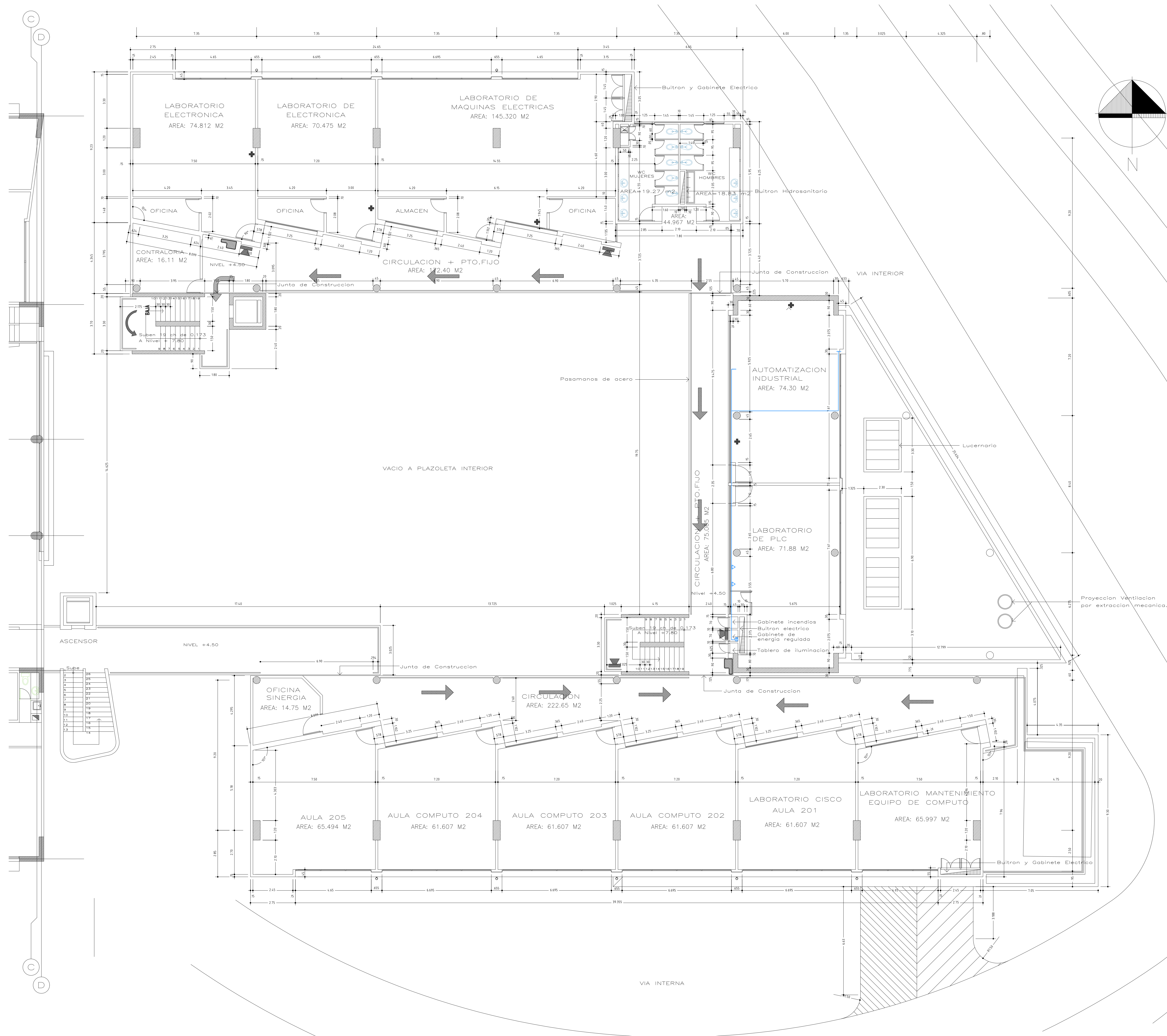
PLANTA NIVEL CUARTO PISO

Laboratorio de Neumatica.....	74.812 M2.
Laboratorio de Hidraulica.....	70.475 M2.
Laboratorio C. Logica Programable.....	70.475 M2.
Laboratorio de Automatismos.....	75.103 M2.
Aulas.....	377.919 M2.
W.C. Publicos.....	44.967 M2.
Circulaciones y Pto.fijos.....	418.645 M2.

TOTAL AREA CONSTRUIDA..... 1292.888 M2.

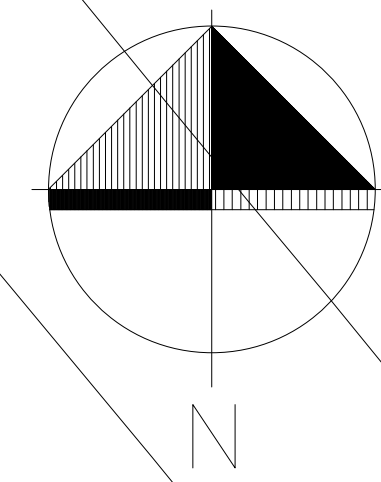
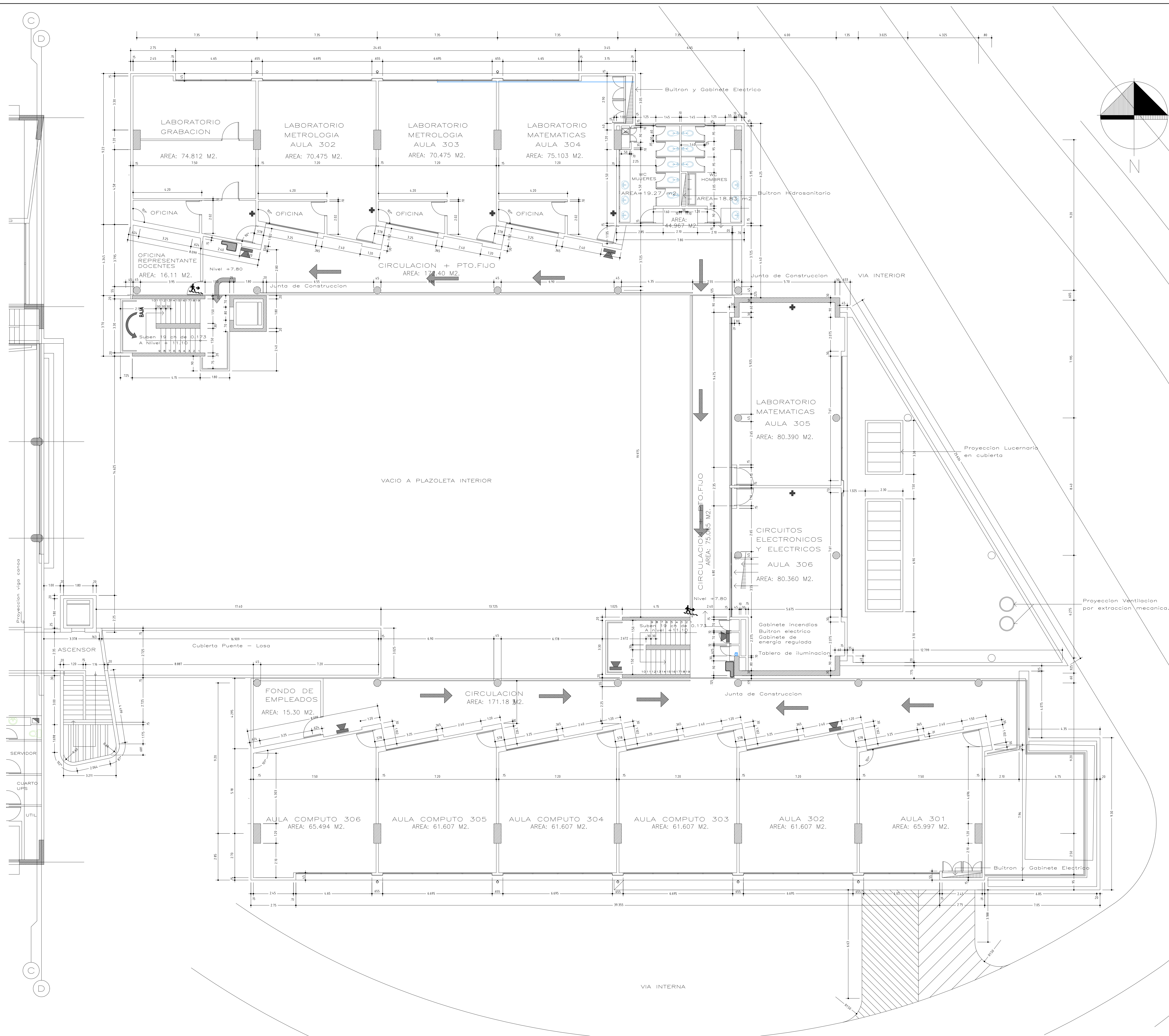


CAMPUS ROBLADO		BLOQUES G Y H	
ARCHIVO:	CONTIENE :		
REVISO:	RED NEUMATICA BLOQUES G Y H		
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	ESCALA: SIN	3/8	
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO	FECHA : 2018		



**CAMPUS ROBLEDO
BLOQUES G Y H**

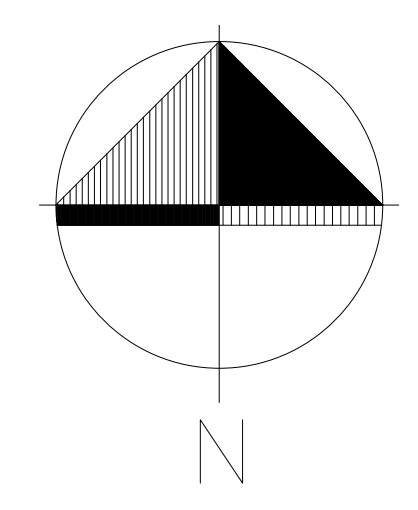
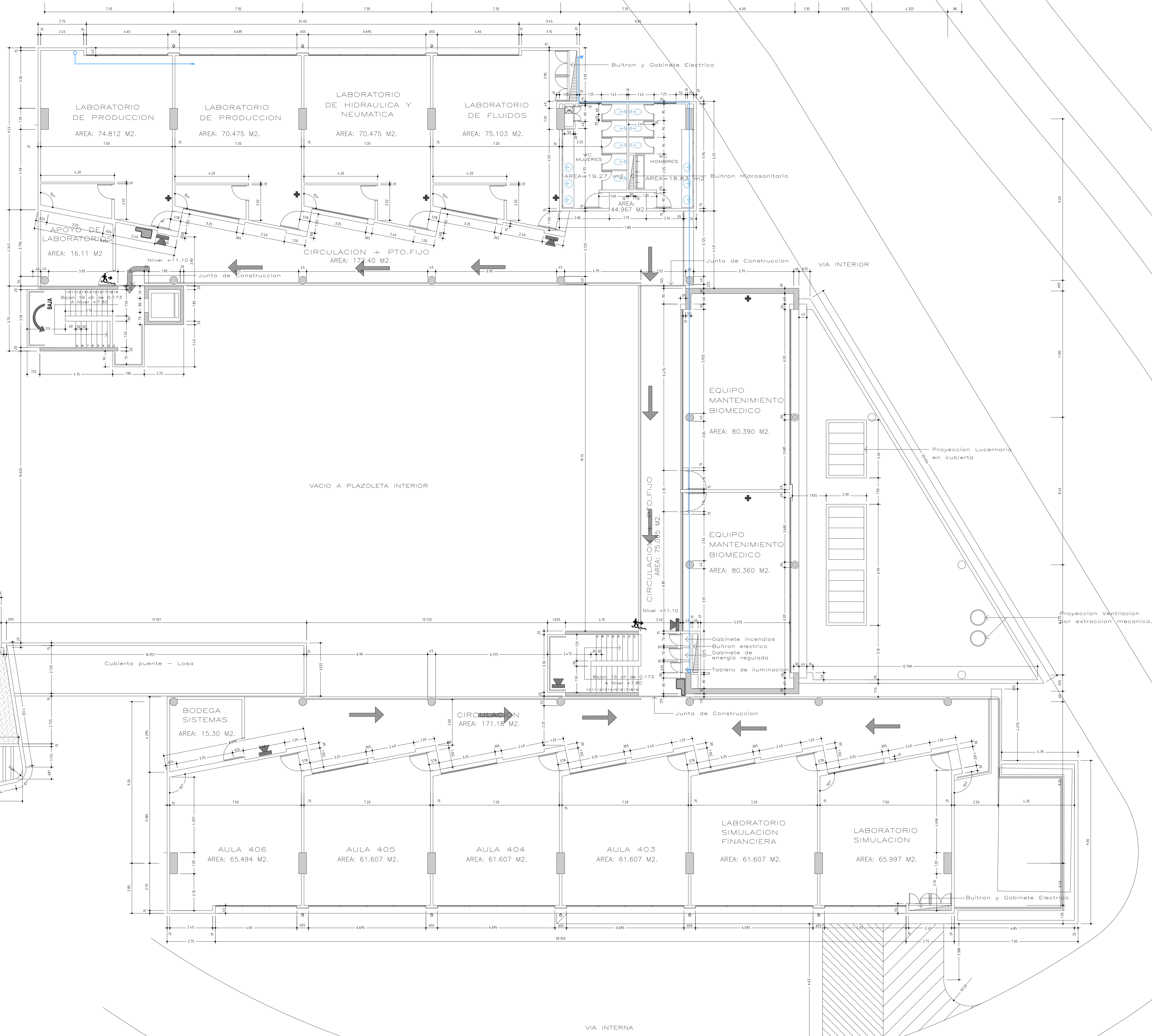
ARCHIVO: _____	CONTIENE : RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	ESCALA: SIN
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	FECHA : 2018
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	



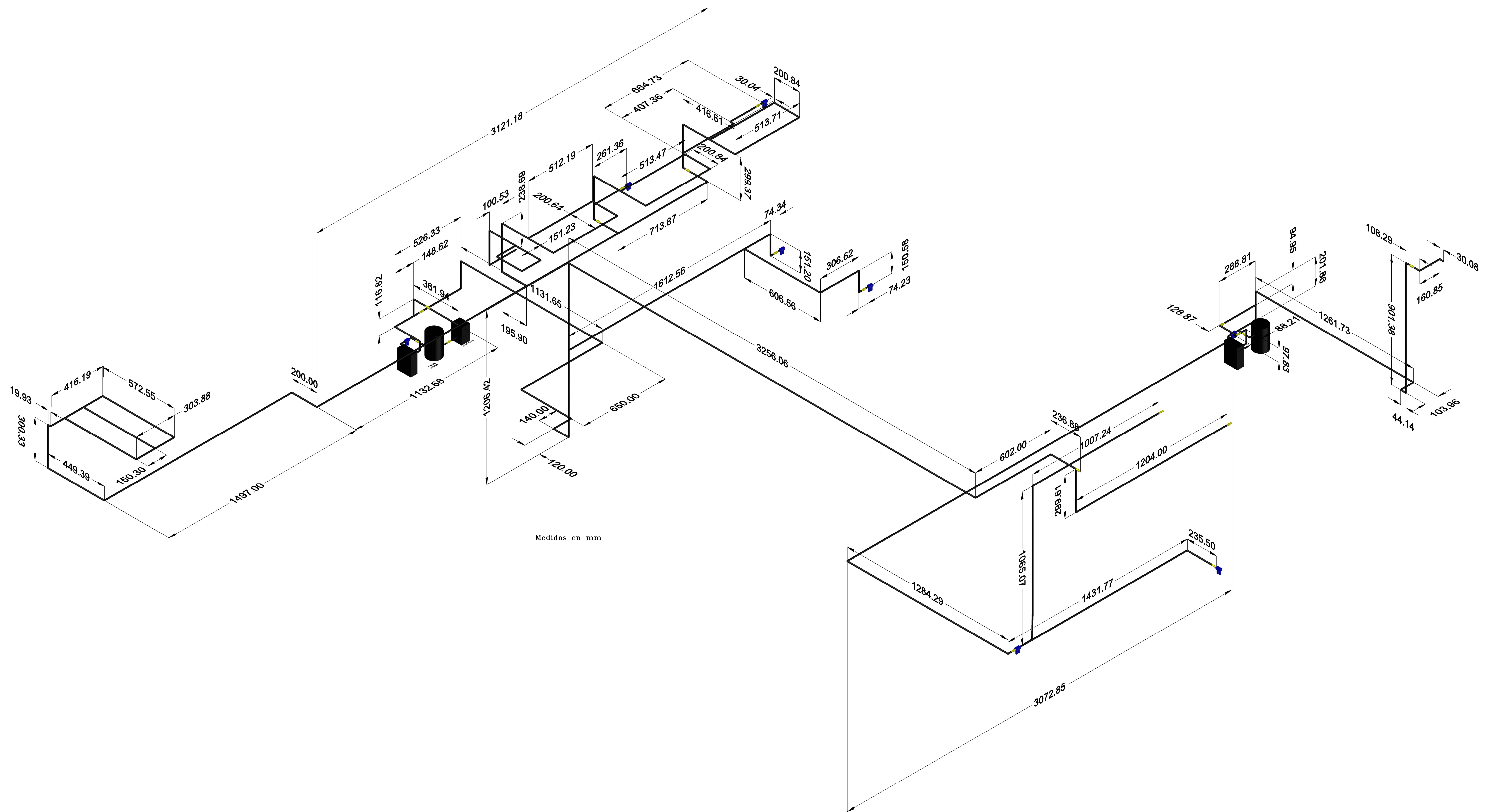
**CAMPUS ROBLEDO
BLOQUES G Y H**

ARCHIVO: _____	CONTIENE : RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	ESCALA: SIN
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	FECHA : 2018

C
D
C
D

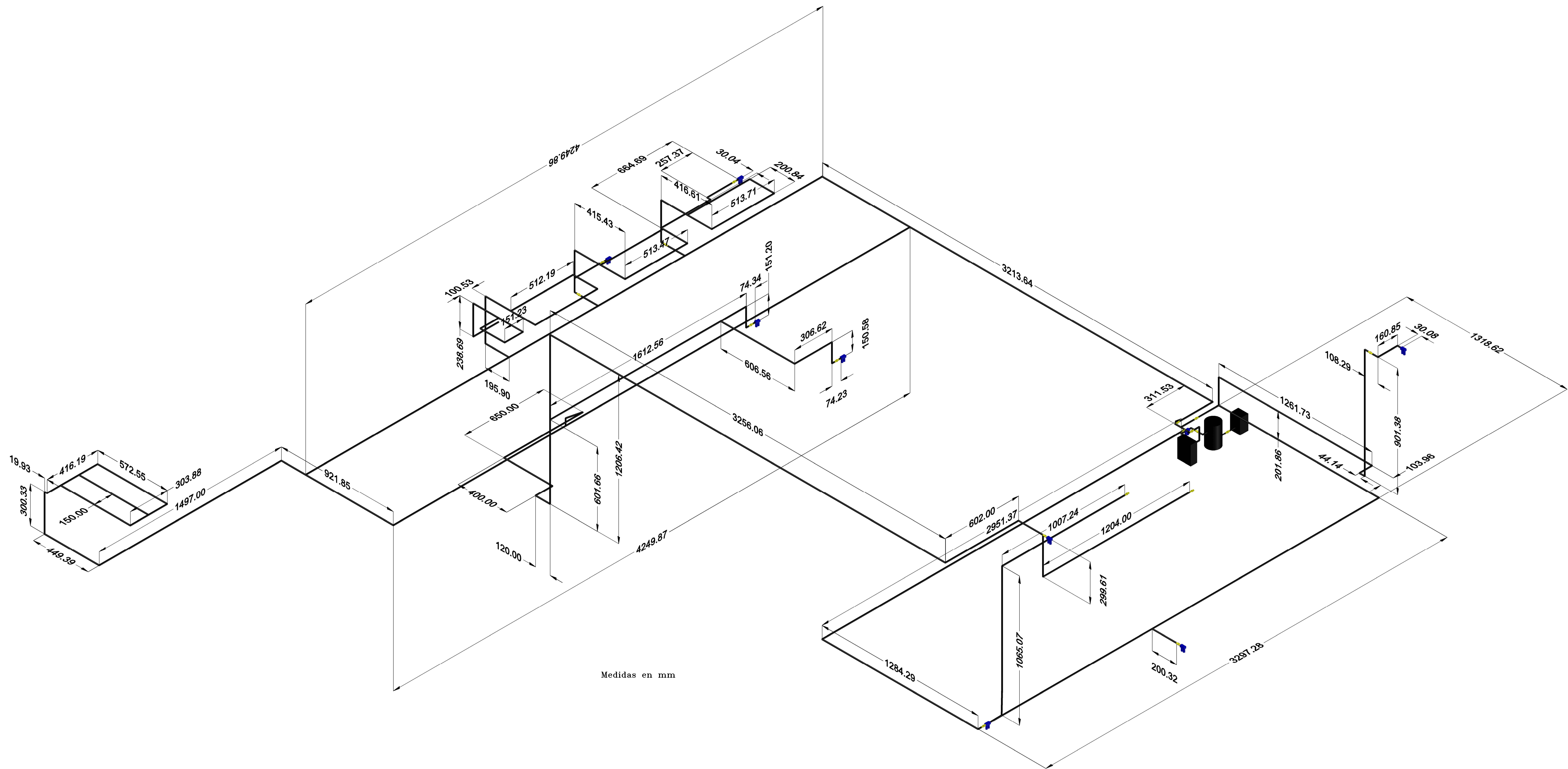


CAMPUS ROBLEDO BLOQUES G Y H	
ARCHIVO: _____	CONTIENE : RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	ESCALA: SIN
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	FECHA : 2018
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	6/8



Medidas en mm

CAMPUS ROBLEDO BLOQUES G Y H	
ARCHIVO: _____	CONTIENE : ISOMETRICO RED NEUMATICA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	ESCALA: SIN
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	FECHA : 2018



Medidas en mm

**CAMPUS ROBLEDO
BLOQUES G Y H**

ARCHIVO: _____	CONTIENE : ISOMETRICO RED NEUMATICA PROPUESTA BLOQUES G Y H
REVISO: _____	
DIBUJO : DIEGO ZAPATA MENESES ALEJANDRO SALINAS MATIAS	ESCALA: SIN
PROPIETARIO: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO	FECHA : 2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Alejandro Salinas
DIEGO A. ZAPATA M.

FIRMA ASESOR [Signature]

TERCERA ENTREGA DE INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO CON CORRECCIONES SOLICITADAS

1:00 PM FECHA ENTREGA: 2-03-2019

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____