

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

# **SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS**

Julián David Cano Tavera

**INGENIERÍA ELECTROMÉCANICA**

Director(es) del trabajo de grado

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO**

**Fecha**

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## RESUMEN

---

En procesos industriales como fundición, refinería, tratamientos térmicos, las emisiones y descargas a la atmósfera de gases y partículas a altas temperaturas son muy frecuentes, estas descargas producen daños ambientales, como el efecto invernadero, contribuyendo al calentamiento global.

Hay sistemas de tratamiento de gases aplicados a diversos sectores de la industria a gran escala como sistemas baghouse (filtros de talegas) y lavadores de gases.

Estos sistemas son poco aplicados en la mediana y pequeña industria, las cuales generan emisiones de gases contaminantes que pueden generar un gran impacto en las condiciones ambientales, además en este sector no se encuentran sistemas de tratamiento de gases similares, solo se encuentran sistemas de filtros de talega cuya configuración le permite al aire sucio entrar a través de la tolva localizada por debajo las mangas. El aire sucio golpea un deflector al final de la entrada, que causa que las partículas más pesadas caigan directamente en la tolva. Esto reduce la cantidad de polvo que está en contacto con las mangas.

El sistema de tratamiento de gases mediante la inyección de aire y la pulverización de agua consiste en atrapar material particulado y bajar la temperatura de los gases para aprovecharla en otros procesos.

Este proyecto busca presentar una propuesta de control de emisiones para la industria minera y de acerías, suministrando un diseño de un sistema de tratamiento de gases mediante la inyección de aire y pulverización de agua, lo que permite reacciones de oxidación en los gases.

Se pretende tener la capacidad de reducir las emisiones, bajar las temperaturas de los gases, mejorar la calidad del aire y cumplir los requerimientos de la normativa ambiental,

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

beneficiando considerablemente la mediana y pequeña empresa y preparándola para las futuras exigencias de los mercados globales.

*Palabras clave:* Lavador de gases, Sistema de Refrigeración de Gas, Torres de rociado o de pulverización, contaminantes, diseño termodinámico, diseño mecánico y selección de equipos.

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

## RECONOCIMIENTOS

---

Mi más sincero agradecimiento al Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, en especial a la facultad de ingenierías que hicieron posible la realización de este trabajo de grado.

Al Director de Proyectos Ing. Gustavo Alarcón por brindarme su asesoría técnica y documental.

Al asesor Adrián Felipe Martínez Pérez y al evaluador Jorge Andrés Sierra Del Rio por guiarme en el desarrollo de este proyecto de grado.

A mis padres, Mario de Jesús Cano y Elvia luz Tavera por su brindarme su apoyo para alcanzar mis metas.

A todas las personas que participaron en la elaboración de este proyecto amigos, colegas y compañeros por brindarme su apoyo incondicional.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# ACRÓNIMOS

---

*SCFM* Pie Cubico por Minuto Standard

*PLC* Controlador lógico programable

*KOP* Kontaktplan que en alemán significa Plan de Contacto o arreglo de contactos

*CCM* centro de control de motores

*MT* media tensión

*SWITCH GEAR* conjunto de celdas de media tensión

*TRF* transformador

*TAS* tablero arrancador suave

*ML* tablero de distribución

*AN* ventilación natural

*AF* ventilación forzada

*CO* Monóxido de Carbono

*CONAIRE* Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la Contaminación del Aire

*Conpes* Consejo Nacional de Política Económica y Social

*EAE* Evaluación Ambiental Estratégica

*IDEAM* Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

*MAVDT* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

*NOx* Óxidos de Nitrógeno

*PM10* Material Particulado Menor a 10 micras

*PM2.5* Material Particulado Menor a 2,5 micras

*PST* Partículas Suspendidas Totales

*SINA* Sistema Nacional Ambiental

*SISAIRE* Subsistema de Información sobre Calidad del Aire

*SOx* Óxidos de Azufre

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

# TABLA DE CONTENIDO

---

1. INTRODUCCIÓN .....

2. MARCO TEÓRICO.....

3. METODOLOGÍA .....

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....

REFERENCIAS .....

APÉNDICE.....

ANEXOS.....

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de las estaciones de calidad del aire en el país. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010) .....	21
Figura 2: Composición del aire seco puro (sin incluir partículas) a nivel del mar. (Castells & Cremades, 2012).....	31
Figura 3: Fenómeno de rocío. (Castells & Cremades, 2012) .....	35
Figura 4: Lavadores de impacto o choque. (Feal Veira, 2003) .....	37
Figura 5: Lavadores ciclónicos. (Feal Veira, 2003) .....	38
Figura 6: Lavadores dinámicos. (Feal Veira, 2003) .....	39
Figura 7: Torres de rociado o de pulverización. (Feal Veira, 2003) .....	40
Figura 8: Lavador Venturi con inyección de líquido en la garganta (de anchura variable).....	41
Figura 9: Otros lavadores Venturi comerciales. (Feal Veira, 2003).....	42
Figura 10: Lavador de chorro. (Feal Veira, 2003) .....	43
Figura 11: Influencia de los mecanismos de separación de partículas en el rendimiento de los lavadores. (Feal Veira, 2003).....	45
Figura 12: Esquema de efectos de una gota en un flujo de gases. (Feal Veira, 2003).....	46
Figura 13: Tabla A-2 .....	50
Figura 14: Tabla A-4 .....	51
Figura 15: Tabla A-6E .....	52
Figura 16: Isométrico red de aire comprimido. (Autoría propia) .....	59
Figura 17: Consumo de aire y resistencia no repetida para accesorios. (Atlas Copco S.A., 1984) ...	61
Figura 18: Diagrama caída de presión. (Atlas Copco S.A., 1984).....	62
Figura 19: Air Atomizing Spray Nozzle .....	63
Figura 20: Suiche de Flujo y bomba agua encendida.....	86
Figura 21: Suiche de Flujo, Bomba agua y compresor encendidos .....	86
Figura 22: Suiche de nivel bajo bajo accionado, piloto rojo y válvula de agua encendidos.....	87
Figura 23: Suiche de Flujo y Suiche de nivel bajo accionados, Bomba agua y compresor encendidos .....	87
Figura 24: Suiche de nivel bajo accionado, piloto amarillo y válvula de agua encendidos.....	88
Figura 25: Suiche de flujo y Suiche de nivel alto accionados, Bomba agua y compresor encendidos .....	88
Figura 26: Suiche de nivel alto accionado, piloto verde encendido y válvula de agua cerrada .....	89
Figura 27: Tabla 430-150 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna. ....	93

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

## INDICE DE TABLAS

---

Tabla 1: Carta Psicométrica.....	53
Tabla 2: Calculo necesidad del aire.....	56
Tabla 3: Correcciones necesidad del aire.....	56
Tabla 4: Tabla de cálculos dimensiones.....	59
Tabla 5: Tabla para resistencia no repetida tramo A-B.....	60
Tabla 6: Tabla para resistencia no repetida tramo B-C-D.....	60
Tabla 7: Corrección para resistencia no repetida.....	60
Tabla 8: Máxima cantidad de aire recomendada en la línea de servicio.....	60
Tabla 9: Código de colores.....	66
Tabla 10: Datos de Entrada.....	67
Tabla 11: Conexiones de la Bomba.....	68
Tabla 12: Accesorios.....	68
Tabla 13: Cambios de diámetro.....	69
Tabla 14: Pérdidas por elementos adicionales.....	69
Tabla 15: Resultados.....	70
Tabla 16: Distribución de presiones en la línea según el punto de operación real.....	70
Tabla 17: Cálculos.....	71
Tabla 18: Material.....	72
Tabla 19: Datos nominales requeridos y datos corregidos con el punto de operación real.....	73
Tabla 20: Curva sistema y bomba.....	74
Tabla 21: Curva sistema y bomba.....	74
Tabla 22: Pérdidas por conexiones de la bomba.....	75
Tabla 23: Curva del sistema.....	76
Tabla 24: Datos para la selección bomba y para construir la curva de la bomba.....	77
Tabla 25: Diámetros interiores para los distintos tipos de tubería disponible.....	78
Tabla 26: Valores de (L/D) para diferentes accesorios en flujo turbulento.....	79
Tabla 27: Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - ASME/ANSI B36.10/19.....	81
Tabla 28: Listado de Señales.....	84

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## GENERALIDADES

### Justificación

Por el incremento de la mediana y pequeña industria y a la falta de controles a nivel ambiental, tanto gubernamental como empresarial, han aumentado los niveles de contaminación ambiental debido a las emisiones de gases que produce la industria. Los gases generados por el proceso de fundición en el sector minero siguen siendo contaminantes, por eso se hace necesario y obligatorio que estos gases nocivos sean sometidos a tratamientos mediante un sistema de lavado de gases.

Durante el proceso de fundición en los hornos de las minas ò acerías se generan cantidad de compuestos Contaminantes en forma de partículas y Contaminantes gaseosos que contribuyen a la contaminación ambiental que derivan a problemas de salud pública internamente en las industrias, en la comunidad cercana y la ciudad, debido a que los contaminantes gaseosos pueden ser transportados por el viento a largas distancias. En los últimos años han aumentado las enfermedades en todo el mundo a causa de la contaminación, Entre las principales enfermedades causadas por la contaminación del aire se encuentran: conjuntivitis, dermatitis, envejecimiento de la piel, resfriado y gripe, neumonía o pulmonía etc.

### Planteamiento del Problema

Las emisiones de gases contaminantes con temperaturas superiores a 500°C y presentes en las industrias mineras representan un problema para la contaminación ambiental por que emiten gran cantidad Contaminantes en forma de partículas y Contaminantes gaseosos, por lo cual se considera la posibilidad de diseñar (simular mediante modelación 3D en el software AutoCAD 2015) un sistema de tratamiento de gases mediante la inyección de aire y la pulverización de agua enfocado en el sector minero y acerías.

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

El sistema planteado aumenta la aceleración de oxidación de los compuestos de los gases debido a que adicional al aire comprimido se está adicionando agua sometida a un proceso de pulverización, con este sistema se beneficia la mediana y pequeña empresa mejorando la calidad de sus procesos

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar un sistema de tratamiento de gases mediante inyección de aire comprimido y pulverización de agua enfocado en la mediana y pequeña industria especialmente en el sector de la minería y acerías.

### **Específicos**

- Realizar consulta teórica sobre el estado actual de la normativa ambiental sobre emisiones para las industrias dedicadas a la minería y acerías en Colombia.
- Evaluar los posibles sistemas de control ambiental utilizados en estos sectores, sus ventajas, desventajas y costos de implementación.
- Recopilar datos de un proceso industrial similar.
- Realizar el diseño termodinámico, mecánico, eléctrico y de control, de un sistema de control ambiental basado en la inyección de aire comprimido y pulverización de agua.
- Analizar comparativamente el sistema propuesto, con los demás sistemas utilizados para promover su uso masivo en la pequeña mediana empresa.
- Verificar que las emisiones de gases y descargas de residuos industriales líquidos a Sistemas de Alcantarillado cumplen con la normativa ambiental vigente en Colombia.

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

## 2. MARCO TEÓRICO

---

### **POLÍTICA DE PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE**

En el país la contaminación atmosférica se ha constituido en uno de los principales Problemas ambientales; el deterioro de la calidad del aire ha propiciado que se incrementen los efectos negativos sobre la salud humana y el medio ambiente.

Las concentraciones de algunos contaminantes en la atmósfera por encima de los estándares fijados en las normas ambientales en largos periodos de exposición, han generado la necesidad de continuar impulsando la gestión de la calidad del aire para proteger la salud de la población y el ambiente.

Si bien en la última década se han desarrollado instrumentos para controlar la contaminación del aire, se ha visto la necesidad de formular una política de prevención y control de la contaminación del aire de manera que se mantenga y fortalezca la gestión coordinada de todos los actores relacionados con la gestión de la calidad del aire y se garantice la coherencia, consistencia y armonía con las políticas y regulaciones ambientales y sectoriales, a través de espacios de coordinación y participación.

De esta forma el país podrá centrar y focalizar los esfuerzos de manera estructurada para combatir la problemática actual, promoviendo un progreso constante hacia el cumplimiento de los niveles aceptables de calidad del aire.

Dentro de la estructura institucional que se ha establecido a nivel nacional, en la que actúan conjuntamente entidades públicas y privadas, se han identificado responsabilidades del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, de las Corporaciones Autónomas Regionales y las Corporaciones para el Desarrollo Sostenible, en adelante corporaciones, de las autoridades a las que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993 y el artículo 13 de la Ley 768 del 2002, en adelante autoridades ambientales

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

urbanas, y de otras instituciones como los ministerios de Minas y Energía, Transporte y Protección Social, el Departamento Nacional de Planeación y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, que permiten que las actividades que se deben desarrollar se ejecuten de manera coordinada y se cuente con la cooperación necesaria para alcanzar una mejor calidad del aire.

De igual manera, se ha identificado el impacto de las fuentes contaminantes, como las actividades industriales y el sector transporte, en la afectación de la calidad del aire, por lo que su responsabilidad debe ir más allá del cumplimiento de las normas ambientales existentes, es decir, incluir lineamientos de responsabilidad social empresarial. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

#### **ANTECEDENTES**

La contaminación atmosférica en Colombia ha sido uno de los factores de mayor preocupación en los últimos años, por los impactos generados tanto en la salud como en el medio ambiente. La problemática atmosférica actual es la que genera los mayores costos sociales y ambientales después de los generados por la contaminación del agua y los desastres naturales. De acuerdo con una encuesta realizada para el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial en 2008, el 67% de los encuestados perciben la contaminación como un problema ambiental y 52% consideran la contaminación del aire como el principal problema.

En este sentido, Colombia ha tenido una larga y amplia tradición en materia de acciones para el control de la contaminación del aire. Inicialmente, en 1967 se instalaron las primeras redes para el monitoreo de la calidad del aire; posteriormente, en 1973 se expidió la Ley 23, cuyo propósito es “Prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y buscar el mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables, para defender la salud y el bienestar de todos los habitantes del territorio nacional”.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Dicha Ley le concedió facultades extraordinarias al gobierno nacional para expedir el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente – Decreto-Ley 2811 de 1974.

En 1979, el Congreso de la República aprobó la Ley 9, mediante la cual se expidió el Código Sanitario Nacional, por medio de la cual se definieron normas, programas y medidas para la protección del medio ambiente. Se facultó al Ministerio de Salud, hoy Ministerio de la Protección Social, para proferir normas para el control de la contaminación atmosférica.

La norma que reguló la emisión y concentración de contaminantes a la atmósfera fue emitida en 1982, año en el cual se adoptaron los estándares de calidad del aire y de emisión por fuentes fijas mediante el Decreto 02, el cual reglamentó parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979 y el Decreto – Ley 2811 de 1974 en cuanto a emisiones atmosféricas y calidad del aire. Este decreto fue derogado parcialmente en 1995 y algunos artículos quedaron transitoriamente vigentes hasta el 2008. Por otra parte, en 2001 se expidió una norma específica para el Distrito Capital mediante la cual se establecieron estándares más estrictos y se incluyeron contaminantes que no habían sido contemplados en la regulación nacional. Estos esfuerzos iniciales han sido primordiales para el avance en la gestión ambiental del aire que se ha desarrollado en el país.

La Constitución Política de 1991 estableció una serie de derechos y obligaciones relacionados con el medio ambiente. En el Capítulo 3, los artículos 79 y 80 dispones que “Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo” y “Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados”.

Con base en la Constitución, en 1993 se expidió la Ley 99 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, hoy Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables y se organiza el Sistema Nacional Ambiental

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

(SINA). Establece como responsabilidad de las autoridades ambientales ejercer la evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos del agua, el suelo, el aire y los demás recursos naturales renovables. Lo anterior comprende el vertimiento, emisión o incorporación de sustancias o residuos líquidos, sólidos o gaseosos a las aguas en cualquiera de sus formas, al aire o a los suelos, así como los vertimientos o emisiones que puedan causar daño o poner en peligro el desarrollo sostenible de las actividades antrópicas y generar impactos sobre los recursos naturales renovables o impedir u obstaculizar su empleo para otros usos. Estas funciones incluyen la expedición de las respectivas licencias ambientales, permisos, concesiones, autorizaciones y salvoconductos, funciones que hasta ese momento en el tema de aire estaban en cabeza del Ministerio de Salud; actualmente Ministerio de la Protección Social.

En marzo de 2005, el Consejo Nacional de Política Económica y Social aprobó el documento Conpes 3344 que contiene los lineamientos para la formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire y recomienda adoptar los lineamientos propuestos en dicho documento para el desarrollo de estrategias de prevención y control de la contaminación del aire; solicita al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en coordinación con los Ministerios de Minas y Energía, Protección Social y Transporte, adelantar los trámites necesarios para la creación de la Comisión Técnica Nacional Intersectorial para la Prevención y el Control de la Contaminación del Aire, CONAIRE; y solicita a las entidades que integran la CONAIRE concurrir coordinadamente en el desarrollo de las acciones indicadas en el Plan de Acción del documento Conpes y, a partir de la fecha de conformación de la CONAIRE, detallar y ajustar el plan de acción que garantice su efectiva implementación. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

## **DIAGNÓSTICO NACIONAL DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN COLOMBIA**

De acuerdo con el análisis realizado en el año 2005 por el documento Conpes 3344 de 2005, la contaminación del aire en el país estaba causada principalmente por el uso de

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

combustibles fósiles. El 41% del total de las emisiones se generaba en ocho ciudades. Las mayores emisiones de material particulado menor a 10 micras (PM10), óxidos de nitrógeno (NOx) y monóxido de carbono (CO) estaban ocasionadas por las fuentes móviles, mientras que las de partículas suspendidas totales (PST) y óxidos de azufre (SOx) eran generadas por las fuentes fijas.

El documento Conpes 3344 mencionó que en el país, el contaminante monitoreado de mayor interés, dados sus demostrados efectos nocivos sobre la salud humana era el material particulado (PST y PM10) y que con frecuencia las concentraciones de este contaminante superaban los estándares ambientales de la regulación vigente. Sin embargo, el material particulado menor a 2,5 micras (PM2.5), contaminante que afecta de manera importante la salud de las personas, no era medido ni exigido por la legislación colombiana.

El Conpes evidenció que el arreglo institucional vigente resultaba adecuado para el desarrollo de una gestión descentralizada de prevención y control de la contaminación del aire, a la luz de las regulaciones y lineamientos de política definidos por el Gobierno Nacional. Sin embargo, dado que existen enormes diferencias entre las autoridades ambientales en cuanto a su capacidad institucional, el fortalecimiento de las más débiles sería condición necesaria para implementar con éxito políticas de calidad del aire.

Se identificó que las autoridades ambientales habían desarrollado instrumentos normativos y de política general. Sin embargo, estos se habían construido de manera aislada sin obedecer a lineamientos de política explícitos y concertados entre las entidades del orden ambiental y sectorial. A su vez, los sectores habían diseñado políticas y regulaciones y acometido acciones que no incluían consideraciones ambientales.

Se mencionó que el Consejo Nacional Ambiental, compuesto por diversos y numerosos actores, no había sido un mecanismo efectivo para asegurar la coordinación intersectorial, a la hora de implementar políticas. En parte, porque la discusión y recomendación de las políticas sectoriales de iniciativa de otros Ministerios con impacto en la gestión de calidad de aire, no son de la competencia de este Consejo.

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

El Conpes 3344 de 2005 evidenció que con frecuencia las acciones emprendidas en materia de control de la contaminación del aire no eran objeto de evaluación, debido a las debilidades técnicas e institucionales de algunas instituciones nacionales y regionales del Sistema Nacional Ambiental, en particular en lo relativo a su capacidad para recolectar, administrar y analizar la información ambiental, económica y de salud requerida para este tipo de evaluaciones.

Se mostró que la regulación ambiental para el control de la contaminación no estaba completa y la existente estaba desactualizada porque no tenía en cuenta las nuevas realidades ambientales, demográficas, económicas y tecnológicas del país y de sus regiones.

El documento Conpes identificó que era necesario trabajar en la optimización del diseño de las redes de calidad del aire, teniendo en cuenta la localización y el número requerido de estaciones, la selección de los parámetros a monitorear y el tipo de equipos, entre otros. De igual manera, era necesario trabajar en la estandarización de los procesos de captura, validación y análisis de la información para garantizar su confiabilidad, comparación y agregación a nivel nacional.

Por otro lado, se identificó que el control ambiental ejercido por las autoridades ambientales no era homogéneo y se realizaba con debilidad, entre otras cosas por baja capacidad técnica y de sus recursos humanos, deficiencias de información, regulaciones inadecuadas y excesiva confianza en los acuerdos voluntarios (convenios de producción limpia).

Finalmente, se identificó la necesidad de establecer un plan de acción con acciones coordinadas con el objetivo de construir la política nacional para la prevención y el control de la contaminación del aire.

A continuación se presentan los principales avances relacionados con el diagnóstico de la situación de calidad del aire, el control y seguimiento por parte de las autoridades ambientales y las herramientas que permiten estandarizar la gestión de calidad del aire en el país. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

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

## **AVANCES EN LA PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE EN COLOMBIA**

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial ha realizado actividades destinadas a contar con información y herramientas para la formulación de la Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, que se presentan a continuación. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

### **Avances en el diagnóstico de la calidad del aire**

El diagnóstico de la calidad del aire del país incluye la determinación del estado actual de las redes de calidad del aire, principales instrumentos para determinar el grado de contaminación; la identificación y origen de los contaminantes críticos en los centros urbanos con mayor contaminación atmosférica; la evaluación del efecto de dichos contaminantes en la salud de la población; y el aporte de cada tipo de fuente contaminante en la contaminación del aire.

En 2007 se realizó un diagnóstico detallado de ocho redes de calidad del aire ubicadas en los centros urbanos de Bogotá, Sabana de Bogotá, Barranquilla, Cali, Medellín y su área metropolitana, Bucaramanga, Pereira y el corredor industrial del Valle del Sogamoso, lo que permitió definir un plan de trabajo para fortalecer la medición de calidad del aire en el país y ajustar y validar el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, que se adoptó mediante Resolución 650 de 2010.

Este diagnóstico permitió determinar las principales fallas en las redes del país, conocer en detalle el estado actual del 40% de las redes de calidad del aire que se encuentran ubicadas en donde se concentra 36% de la población. De acuerdo con la información del IDEAM, las otras 12 redes de calidad del aire que son operadas por autoridades ambientales, cubren 9% de la población del país. Dentro de las principales fallas se destacan la falta de personal capacitado, falta de mantenimiento y calibración de los equipos y deficiencias en el aseguramiento de calidad de la información reportada.

De igual manera, durante 2007 se trabajó en la identificación de las principales fuentes contaminantes en los centros urbanos de Bogotá, Barranquilla, Cali, Medellín y su área

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

metropolitana, Bucaramanga, Pereira y el corredor industrial del Valle del Sogamoso. Se realizó la caracterización de más de 200 muestras de material particulado recolectadas en estas zonas, encontrando por una parte falencias en la información relacionada con los inventarios de fuentes de emisión y por otro lado la incidencia que tiene el tipo y la calidad de los combustibles utilizados en los centros urbanos, así como el estado de las vías en la generación y resuspensión de material particulado. Se evidenció igualmente la necesidad de aumentar el control de las fuentes fijas y móviles por parte de las autoridades ambientales con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa vigente, así como considerar el material particulado de origen natural.

En los años 2007 a 2009 se realizaron estudios pilotos en diferentes zonas de Bogotá, Cali, Medellín, Bucaramanga y Santa Marta con el fin de evaluar el impacto de la calidad del aire sobre la salud de la población, de manera que se pueda determinar la influencia de la calidad del aire en los casos de morbilidad específicamente sobre grupos de niños menores de cinco años y en general sobre la población expuesta en el área de influencia de los proyectos.

El estudio epidemiológico de Bogotá, realizado en conjunto con la Secretaría Distrital de Salud de Bogotá, analizó una muestra de 610 niños y niñas menores de 5 años expuestos a diferentes niveles de concentración de material particulado menor a 10 micras (PM10) en las localidades de Puente Aranda, Kennedy y Fontibón. Se detectó que el 79,6% de los niños presentó chillidos o silbidos en el pecho en los jardines infantiles ubicados en las zonas de mayor exposición frente al 69% de las zonas de menor exposición. Se detectó que los niños menores de 5 años que van a jardines infantiles y están expuestos a mayor contaminación del aire tienen 1,7 veces más riesgo de ausentismo escolar por enfermedad respiratoria.

Los resultados preliminares concuerdan con la literatura y evidencian la relación entre contaminación del aire por material particulado respirable y síntomas respiratorios en las localidades de Bogotá. Se resalta la importancia de tener en cuenta tanto la contaminación intramural como extramural.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Estos resultados preliminares sientan la base para un monitoreo sistemático de la relación entre calidad de aire y salud en el Distrito Capital.

Todos los estudios realizados han logrado cuantificar el incremento en el número de casos por enfermedad respiratoria aguda (ERA) asociados a un incremento en la concentración de contaminantes como ozono, dióxido de nitrógeno, material particulado menor a 10 micras y material particulado menor a 2,5 micras. Se encontró que por incrementos en 10 y 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de la concentración diaria de PM<sub>2.5</sub> se incrementan las consultas por enfermedades respiratorias en un 13 y 24%, respectivamente. Las consultas por Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica EPOC se incrementan 13% por incrementos de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub> y de 28% por incrementos en 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de PM<sub>2.5</sub>.

La contaminación extra e intramural están correlacionadas, lo cual implica que la contaminación a la que está expuesto el niño o niña es la sumatoria de sus microambientes de exposición. También se detectó en algunos jardines mayor contaminación intramural (dentro del jardín) que extramural, lo cual puede deberse a deficientes condiciones de ventilación del aire dentro del jardín. La ubicación de jardines infantiles en sitios próximos a vías de alto flujo vehicular o en mal estado constituye un factor de riesgo para los niños.

Otro aspecto a tener en cuenta es que los factores meteorológicos como temperatura, precipitación y velocidad del viento tienen un comportamiento sinérgico en relación con las concentraciones de PM<sub>10</sub> extramural en los jardines de estudio, pues el efecto de componentes individuales como la velocidad del viento no está asociado con el incremento de material particulado en todos los casos, mientras que el efecto combinado de la temperatura, la velocidad del viento y la precipitación muestra ser un factor contribuyente en el incremento de material particulado para el periodo de estudio.

En este mismo sentido, el MAVDT desarrolló una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) en el tema de salud ambiental con el fin de generar insumos para enriquecer la Política de Salud Ambiental e incluir la variable ambiental en los sectores productivos y en las políticas, planes, programas y proyectos que formule el Ministerio de la Protección Social

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

y las entidades de salud. Esta EAE generó insumos que permiten articular la Política de Salud Ambiental con la de Prevención y Control de la Contaminación del Aire, especialmente en temas relacionados con los sistemas de vigilancia epidemiológica y de calidad del aire.

En este sentido el documento Conpes 3550 de 2008 que contiene los lineamientos para la formulación de la Política de Salud Ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química, identificó que en el país existe una amplia incertidumbre en torno a los beneficios sobre la salud derivados de las intervenciones en materia de prevención y control de la contaminación de aire.

De igual manera, identificó que las mediciones adelantadas por las autoridades de salud y ambiente han sido por lo general desarticuladas e intermitentes. Por tal razón, dicha política establece que se requiere integrar la información de salud y calidad del aire para realizar el seguimiento de los impactos de la salud a causa de las condiciones del ambiente, con base en información epidemiológica, lo que implica sistemas de información integrados, con equipos de investigación y seguimiento y en lo posible con capacidad de análisis prospectivo y pronóstico. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

#### **Avances en el control y seguimiento por parte de las autoridades ambientales**

Siguiendo el plan de acción planteado por el Conpes 3344 de 2005, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial diseñó un programa de fortalecimiento institucional dirigido a dotar a las autoridades ambientales de la capacidad necesaria para acometer sus responsabilidades en materia de prevención, control y monitoreo de la contaminación del aire. Este programa se centró en la adquisición de equipos de medición de la contaminación del aire y en la capacitación de los funcionarios de las autoridades ambientales que los operan, así como en la capacitación sobre los nuevos instrumentos normativos.

En el periodo 2006 a 2008 se invirtieron recursos por más de dos millones de dólares americanos en diagnóstico de redes, implementación de protocolos que garanticen la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

calidad de las mediciones y adquisición de nuevos equipos de monitoreo que complementen la redes actuales. La inversión en nuevos equipos ha sido superior a un millón de dólares y ha cubierto 20 autoridades ambientales y al IDEAM para el fortalecimiento del laboratorio nacional de referencia. En la Figura 1 se presenta la evolución de las estaciones de calidad del aire en el país, así como de los equipos de medición manuales y automáticos en operación. En esta figura se puede observar un crecimiento cercano a 30% en el número de estaciones instaladas y en 50% el número de equipos disponibles en el 2007 con respecto al 2005.

El MAVDT actualizó en los últimos años la normativa relacionada con las variables que afectan la calidad del aire en el país. En este sentido, en abril de 2006 se expidió el Decreto 979 y la Resolución 601, que posteriormente fue modificada por la Resolución 610 de 2010, mediante los cuales se actualizan los estándares de calidad del aire y se establecen medidas para la atención de episodios para los niveles de prevención, alerta y emergencia.

Igualmente, el Decreto 979 de 2006 reglamentó la clasificación de Áreas-Fuente de Contaminación para que las corporaciones y autoridades ambientales implementen, en caso de requerirlo, planes de reducción de la contaminación y planes de contingencia en las áreas contaminadas, con la ayuda de autoridades de tránsito, de salud y de planeación, entre otras.

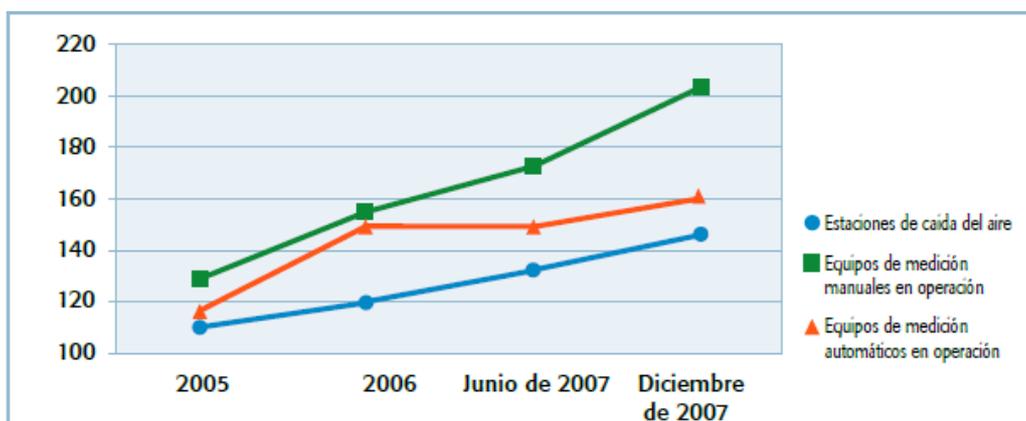


Figura 1: Evolución de las estaciones de calidad del aire en el país. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

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

En cuanto a contaminación por ruido, en el 2006 el MAVDT expidió la Resolución 627 que determina los niveles máximos permisibles de emisión de ruido y ruido ambiental, tiempos de medida, ajustes a las mediciones, equipos de medida, condiciones meteorológicas, informes técnicos, entre otros aspectos, así como la obligación de elaborar mapas de ruido y planes de descontaminación por ruido.

Es importante resaltar especialmente que para municipios mayores a cien mil (100.000) habitantes se establece la obligatoriedad de realizar mapas de ruido, como un instrumento para realizar un diagnóstico de la realidad del ruido ambiental en las zonas consideradas como prioritarias del municipio y poder desarrollar programas y proyectos preventivos, correctivos o de seguimiento. Igualmente, la reglamentación establece la necesidad de realizar planes de descontaminación por ruido, en zonas donde los mapas de ruido muestren unos niveles sonoros que afecten a la salud de la población, de acuerdo con los niveles establecidos en la mencionada resolución.

De acuerdo con lo anterior, ciudades como Bogotá y Medellín y municipios de los departamentos del Valle del Cauca, Antioquia y Risaralda ya han elaborado sus mapas de ruido, para los cuales se tiene previsto su publicación en el Subsistema de Información sobre Calidad del Aire (SISAIRE). Teniendo en cuenta que la temática es relativamente nueva a nivel nacional, se ha observado que existe un desconocimiento en la aplicación, interpretación y diseño de herramientas que permitan la reducción de los niveles de presión sonora en zonas prioritarias, por lo que el MAVDT se encuentra desarrollando un protocolo para el desarrollo de las mediciones de emisión de ruido y ruido ambiental y elaboración de mapas de ruido.

Como resultado de este trabajo se espera estandarizar el procedimiento de medición, reporte y elaboración de mapas de ruido de manera tal que permita una comparación a nivel nacional y la verificación de tendencias en el tiempo.

Con el fin de contribuir al cumplimiento de la norma de calidad del aire, el 5 de junio de 2008, día internacional del medio ambiente, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expidió la nueva reglamentación sobre emisiones de fuentes fijas,

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

Resolución 909, que reglamenta los niveles de emisión de contaminantes que deberá cumplir toda la industria en el país, con la cual se actualiza la reglamentación expedida por el Ministerio de Salud hace más de 25 años. Esta normativa incluye cerca de 40 nuevas actividades industriales no contempladas anteriormente, límites de emisión para fuentes que operan con combustibles diferentes al carbón, 12 capítulos específicos para actividades industriales que por sus características particulares requieren una reglamentación más detallada y el protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas.

El mismo 5 de junio de 2008, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial expidió la nueva reglamentación sobre fuentes móviles, Resolución 910, que modifica los niveles de emisión de contaminantes al aire por vehículos y motocicletas, que estaban vigentes desde hacía más de 10 años. La nueva resolución regula las emisiones provenientes de motocicletas, de vehículos que usen mezclas de combustibles, las tecnologías que pueden ingresar al país y la revisión a vehículos convertidos a gas natural. Con la actualización de la reglamentación sobre fuentes móviles se restringió la importación de motocicletas de dos tiempos que no cuenten con control de emisiones y de vehículos que no cuenten con tecnología Euro II, Tier 1 o equivalentes.

De igual manera, a través de la Resolución 3500 de 2005 y sus modificaciones, se ha avanzado en la regulación sobre la revisión técnico-mecánica y de gases que aplica a vehículos y motocicletas que transiten por el territorio nacional, adoptando Normas Técnicas Colombianas. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

### **SITUACIÓN ACTUAL**

En Colombia existe una conciencia actual y creciente relacionada con la problemática y degradación ambiental que genera la contaminación atmosférica; esta preocupación ha tomado fuerza en los últimos años debido al incremento de los efectos que se han causado a la salud de las personas y al medio ambiente más aún cuando es conocido que las pérdidas causadas anualmente en el país por la contaminación local del aire ascienden a 1,5 billones de pesos, que incluyen afectaciones por cáncer, asma, bronquitis crónica,

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

desórdenes respiratorios y aumento de muertes prematuras, entre otros. Los esfuerzos conjuntos de diferentes entidades, instituciones, organizaciones y actores involucrados han permitido que en la actualidad el país esté construyendo bases claras de gestión para el desarrollo de las actividades de prevención y control de la contaminación del aire.

Las principales fuentes de la contaminación atmosférica han sido clasificadas de acuerdo con el aporte de contaminantes que hacen a la atmósfera; esta clasificación define que las fuentes de emisión pueden ser fijas, móviles o de área. Como elemento común dentro de las actividades que se realizan en cada uno de los tipos de fuente de emisión de contaminantes se encuentra el consumo de combustibles fósiles, el cual ha sido identificado como la principal causa de la contaminación del aire en los principales centros urbanos del país. Por otra parte, se ha identificado que el aporte más importante de emisión de contaminantes a la atmósfera proviene principalmente de las industrias y el rodaje del parque automotor, para lo cual se han establecido medidas importantes desde hace más de dos décadas.

Consciente de la problemática y del impacto que genera la contaminación atmosférica, en los últimos años el país ha establecido medidas a nivel normativo, institucional y operativo que se han mejorado y actualizado al punto de contar con herramientas claras para afrontar la situación de la calidad del aire. Estas herramientas incluyen elementos para el control de las emisiones atmosféricas y de ruido generadas por fuentes fijas y móviles y mejora en la calidad de los combustibles.

Con la información recolectada sobre calidad del aire e inventarios de emisiones en el país, así como con la caracterización de material particulado en los centros urbanos, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial realizó la evaluación y revisión de la reglamentación relacionada con contaminación del aire, con el propósito de aumentar su efectividad y eficiencia. Entre los años 2006 y 2010 se realizó la actualización de las normas de calidad del aire, ruido, fuentes fijas, fuentes móviles y combustibles.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

A través de los incentivos tributarios existentes, el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y las autoridades ambientales han motivado el uso de tecnologías más limpias y sistemas de control de emisiones en la industria.

A través de las agendas ambientales interministeriales se han diseñado propuestas para incluir medidas de prevención y control de la contaminación del aire en las políticas y regulaciones de competencia de otros ministerios.

De igual manera, la regulación sobre calidad de combustibles, le ha permitido al país avanzar rápidamente hacia la distribución de combustibles más limpios que permitan la introducción al país de tecnologías vehiculares más limpias.

Por otro lado, la Ley 1083 de 2006 estableció la necesidad de contar con Planes de Movilidad en concordancia con el nivel de prevalencia de las normas del respectivo Plan de Ordenamiento Territorial. De acuerdo con esta ley, los Planes de Movilidad deberán:

- Identificar los componentes relacionados con la movilidad, incluidos en el Plan de Ordenamiento Territorial, tales como los sistemas de transporte público, la estructura vial, red de ciclo rutas, la circulación peatonal y otros modos alternativos de transporte.
- Articular los sistemas de movilidad con la estructura urbana propuesta en el Plan de Ordenamiento Territorial. En especial, se debe diseñar una red peatonal y de ciclo rutas que complemente el sistema de transporte, y articule las zonas de producción, los equipamientos urbanos, las zonas de recreación y las zonas residenciales de la ciudad, propuestas en el Plan de Ordenamiento Territorial.
- La articulación de la red peatonal con los distintos modos de transporte, deberá diseñarse de acuerdo con las normas vigentes de accesibilidad.
- Reorganizar las rutas de transporte público y tráfico sobre ejes viales que permitan incrementar la movilidad y bajar los niveles de contaminación.
- Crear zonas sin tráfico vehicular, las cuales serán áreas del territorio distrital o municipal, a las cuales únicamente podrán acceder quienes se desplacen a pie, en bicicleta, o en otros medios no contaminantes.

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

- Crear zonas de emisiones bajas, a las cuales únicamente podrán acceder quienes se desplacen a pie, en bicicleta o en otro medio no contaminante, así como en vehículos de transporte público de pasajeros siempre y cuando este se ajuste a todas las disposiciones legales y reglamentarias pertinentes, y funcione con combustibles limpios.
- Incorporar un Plan Maestro de Parquaderos, el cual deberá constituirse en una herramienta adicional para fomentar los desplazamientos en modos alternativos de transporte.

El cumplimiento de las estrategias sobre ordenamiento territorial, desarrollo urbano y movilidad de las ciudades, planteadas anteriormente será necesario para asegurar una mejor calidad del aire en los centros urbanos. En conclusión, el país ha avanzado con medidas coordinadas apoyadas en el plan de acción del Conpes 3344 de 2005 que pretenden mejorar la calidad del aire en el país. En este sentido, es necesario continuar con medidas que no son exclusivamente de competencia del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para impulsar la gestión de la calidad del aire y alcanzar así los niveles de calidad del aire adecuados para proteger la salud y el bienestar humano. Dentro de las acciones pendientes sobresalen:

- Adoptar a través de resoluciones herramientas para apoyar la gestión de la calidad del aire a nivel local, como la guía de modelación y el protocolo de inventarios de emisiones.
- Promover y coordinar espacios de análisis de información intersectorial y comunitaria, que permitan construir evidencia nacional con la cual orientar de una manera más técnica y científica la formulación de políticas sectoriales, al igual que poner al alcance de la comunidad la información mínima requerida.
- Desarrollar mecanismos para que las agendas interministeriales e intersectoriales cuenten con el apoyo continuo y decidido de los ministerios y gremios, garantizando personal permanente a cargo de estos proyectos.

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

- Buscar estrategias para que las consideraciones ambientales sean incorporadas como factor de toma de decisión en la fijación del precio de los combustibles de manera que se constituyan en claras señales que incentiven el uso de combustibles más limpios.
- Definir indicadores de impacto que permitan evaluar constantemente las diferentes acciones que se han adelantado en los últimos años para reducir la contaminación del aire y por ruido.
- Aumentar la capacidad de las autoridades ambientales para garantizar el cumplimiento de las normas ambientales vigentes, de manera que se logre el impacto en la calidad del aire a partir de la reducción esperada de emisiones.
- Fortalecer espacios participativos que puedan aportar la información necesaria para elaborar regulaciones, con el fin de prevenir y controlar la contaminación del aire.
- Incentivar el uso de tecnologías más limpias en los vehículos y desarrollar sistemas de clasificación de los vehículos de acuerdo con su impacto sobre la calidad del aire, de manera que se puedan desarrollar incentivos al uso de vehículos menos contaminantes y desincentivos al uso de vehículos contaminantes.
- Contar con laboratorios especializados en el país para evaluar los vehículos mediante pruebas dinámicas de emisión de gases y ruido reconocidas internacionalmente, de manera que se pueda asegurar que los vehículos que se importen o ensamblen corresponden efectivamente a los requeridos por la reglamentación vigente.
- Actualizar la reglamentación técnica sobre los procedimientos y equipos necesarios para evaluar los vehículos en prueba estática, con base en el trabajo que han adelantado algunas autoridades ambientales. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010)

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

El principio básico de la política de protección del medio ambiente es el de prevención. Este principio de la actuación medioambiental se traduce, en mejorar la calidad del aire y minimizar las emisiones a la atmósfera de sustancias contaminantes.

Miliarium Aureum, S.L. (2001, 2004)

En las instalaciones industriales, las estrategias de control que permiten reducir o eliminar las emisiones de contaminantes atmosféricos pueden clasificarse en 3 categorías:

1. Dispersar los contaminantes emitidos
2. Uso de dispositivos de control
3. Evitar las emisiones de los contaminantes

La primera estrategia tiene como objetivo transportar los contaminantes tan lejos de la planta como sea posible, diluyéndolos así lo máximo posible. Esto se ha conseguido mediante ductos y grandes chimeneas, sin embargo esta solución simplemente exporta el problema de contaminación a otro lugar, donde puede causar daños ambientales. Por ejemplo las grandes chimeneas de las centrales térmicas que emiten SO<sub>2</sub> han sido responsables de la aparición de fenómenos de lluvia acida a veces a miles de kilómetros de la plantas generadoras de dicho contaminante.

El uso de dispositivos de control persigue eliminar (aunque sea parcialmente) los contaminantes, una vez formados los gases de salida de los procesos, antes de ser emitidos a la atmosfera.

Los contaminantes a veces representan una parte del producto, de tal forma que unas ves recogidas pueden ser reciclados en el proceso de producción

Siempre es interesante convertir el contaminante en un producto de valor a fin de poder compensar los costes del sistema de control de la contaminación atmosférica.

La tercera estrategia consiste en encontrar procesos alternativos al empleado a fin de obtener los productos deseados sin que se genere ningún contaminante atmosférico.

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

Desde el punto de vista ambiental esta es la mejor estrategia posible, pero los procesos alternativos deben ser competitivos económicamente.

En resumen la forma ambientalmente más adecuada de proceder es modificar el proceso en origen. Esto puede implicar un replanteamiento del proceso de producción, que puede llevar a la sustitución de las materias primas empleadas y a una mejora de los métodos de control del proceso. Sin embargo cuando ello no sea posible, se han de aplicar las técnicas de depuración adecuadas para el control de las emisiones

Por lo tanto, generalmente la solución final consiste en una combinación de las tres estrategias citadas.

Se tratará únicamente la segunda estrategia, las técnicas de control de contaminantes una vez producida en los procesos industriales y antes de ser emitidos por las chimeneas.

Existe un gran número de factores a considerar antes de elegir el equipo de depuración más adecuado para resolver un problema particular de contaminación atmosférica. He aquí una lista de los más importantes divididos en tres aspectos: ambientales, técnicos y económicos:

**Factores ambientales:**

- Localización del equipo
- Disponibilidad de espacio
- Condiciones ambientales
- Disponibilidad de servicios auxiliares
- Máximo nivel de emisiones permitido
- consideraciones estéticas
- generación de residuos líquidos y sólidos por parte del sistema de control
- nivel de ruido generado

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**Factores técnicos:**

- características del contaminante (propiedades físicas y químicas, contaminante gaseoso o partículas, concentración, distribución de tamaños y formas en el caso de pastillas, corrosividad, reactividad química, abrasividad, etc.).
- características de la corriente gaseosa (caudal, temperatura, presión composición, combustibilidad, corrosividad etc).
- características de diseño (tamaño, peso, rendimiento, caída de presión, necesidad de energía y de servicios auxiliares, limitaciones de temperatura, necesidad de mantenimiento, etc.).

**Factores económicos:**

- coste de la inversión (equipo, instalación, ingeniería etc.).
- coste de funcionamiento (energía, servicios auxiliares, mantenimiento, etc.).
- vida útil del equipo y valor residual.

Una decisión muy importante es si usar una tecnología seca o húmeda. En el caso de presencia de partículas y de contaminantes gaseosos, otro aspecto importante es decidir si se han de tratar simultáneamente o por separado. A menudo es necesario emplear un conjunto de dispositivos de control diferentes, colocados en serie.

Todo problema de contaminación atmosférica debe comenzar por conocer perfectamente la naturaleza y la cantidad de contaminantes presentes en los gases de salida, lo cual se realiza mediante el muestreo de las emisiones y posterior análisis de las muestras.

Los arranques, paradas y las posibles fluctuaciones del caudal de los gases y de la carga contaminante también se tienen que tener en cuenta. Los materiales de construcción de los equipos de control deben seleccionarse a los valores de temperatura, corrosión y abrasión esperados. Los aspectos de seguridad también representan otro punto muy importante a considerar. A veces es aconsejable construir una planta piloto para la

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

depuración de los gases antes de proceder una unidad a escala industrial. (Castells & Cremades, 2012)

### Los contaminantes

La atmosfera que rodea el globo terrestre contiene una gran cantidad de aire (unos  $5.10^8$  Kg) Pero limitada. Este aire que no se compone únicamente, como indica la figura 2, de oxígeno y nitrógeno, nunca ha sido puro, ya que su composición varía de forma natural. Compuestos como el vapor de agua y el dióxido de carbono intervienen en los ciclos bilógicos; partículas tales como los pólenes, las que provienen de las tormentas de arena, de los incendios naturales de los bosques o de las erupciones volcánicas también son transportados por la atmosfera, con concentraciones variables tanto en el espacio como en el tiempo. A lo largo de la evolución hasta la era industrial los vegetales, los animales y el hombre se ha acomodado as estas variaciones.

Compuesto	ppm (vol.) <sup>(1)</sup>	µg/Nm <sup>3</sup>	% (vol.)
Nitrógeno, N <sub>2</sub>	780.840	$8,95 \cdot 10^8$	78,09
Oxígeno, O <sub>2</sub>	209.460	$2,74 \cdot 10^8$	20,95
Agua, H <sub>2</sub> O	—	—	—
Argón, Ar	9.340	$1,52 \cdot 10^7$	0,93
Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>	315	$5,67 \cdot 10^5$	0,03
Neón, Ne	18	$1,49 \cdot 10^4$	0,002
Helio, He	5,2	$8,50 \cdot 10^2$	0,0005
Metano, CH <sub>4</sub>	1,0-1,2	$7,20 \cdot 10^2$	0,0001
Criptón, Kr	1,0	$3,43 \cdot 10^2$	0,0001
Óxido nitroso, N <sub>2</sub> O	0,5	$9,00 \cdot 10^2$	0,00005
Hidrógeno, H <sub>2</sub>	0,5	$4,10 \cdot 10$	0,00005
Xenón, Xe	0,08	$4,29 \cdot 10^2$	0,00001

Figura 2: Composición del aire seco puro (sin incluir partículas) a nivel del mar. (Castells & Cremades, 2012)

La generación de grandes cantidades de energía por combustión y el desarrollo de los procesos industriales ha perturbado ese equilibrio, no solo a escala local sino a escala mundial. Es por ello que se hace necesario mantener los contaminantes emitidos por debajo de unos determinados límites. Para evaluar el impacto que puede tener sobre el entorno una instalación que pueda emitir gases y partículas, tanto a la atmosfera libre como al aire del interior de la instalación, será necesario primero identificar y cuantificar

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

esos contaminantes es indispensable para poder elegir el equipo que permitirá captarlos, como mínimo hasta el límite fijado por la legislación vigente, de una forma fiable y económicamente aceptable.

De forma general. Los contaminantes susceptibles de ser emitidos a la atmosfera se pueden clasificar en:

- Materia particulada.
- Materia gaseosa.

(Castells & Cremades, 2012)

### **Contaminantes en forma de partículas**

Reciben el nombre de materia particulada cualquier sustancia, a excepción del agua pura presente en la atmosfera en estado sólido o liquido en condiciones normales y cuyo tamaño es microscópico o submicroscopico, pero siempre superior a las dimensiones moleculares.

El tamaño es una de las principales características que definen una partícula, ya que generalmente las partículas no son esféricas, para medir su tamaño se emplea un diámetro equivalente, el cual puede ser:

- Diámetro de Stokes: es el diámetro de una esfera de la misma densidad que la de la partícula y que tiene la misma velocidad terminal de sedimentación.
- Diámetro aerodinámico: es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.
- Diámetro de superficie: es el diámetro de una esfera que tiene la misma área superficial externa que la partícula.
- Diámetro de volumen: es el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que la partícula.
- Diámetro de área: es el diámetro de un círculo que tiene la misma área que el proyectado por la partícula.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- **Diámetro de arrastre:** es el diámetro de una esfera que presenta la misma resistencia que la partícula.

(Castells & Cremades, 2012)

### **Contaminantes gaseosos**

Los contaminantes gaseosos pueden ser más perjudiciales para el medio ambiente que las partículas, ya que son completamente miscibles en el aire y pueden ser transportados por el viento a largas distancias, tanto a nivel del suelo como a las capas altas de la atmósfera.

Los contaminantes gaseosos más habituales en los efluentes gaseosos emitidos por las industrias son (excluyendo el dióxido de carbono):

- **Los componentes inorgánicos del azufre** ( $\text{SO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ), que se oxidan a  $\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y  $\text{MSO}_4$  (donde M es un metal). Los óxidos de azufre ( $\text{SO}_x$ ) se emiten en la combustión de los combustibles que contienen azufre (fuelóleo pesado y carbones como los lignitos). Principalmente en forma de  $\text{SO}_2$ . El anhídrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) hace aumentar el punto de rocío de los gases y tiene un importante efecto corrosivo a altas temperaturas (entre 100 y 160 °C según su concentración y la del vapor de agua).
- **Los componentes inorgánicos de nitrógeno** ( $\text{NO}$  y  $\text{NH}_3$ ). Que se oxidan a  $\text{NO}_2$  y  $\text{MNO}_3$  (M no metal). Los óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) aparecen en los gases de combustión por oxidación del nitrógeno del aire comburente o de los compuestos nitrogenados del combustible.
- **El monóxido de carbono** ( $\text{CO}$ ), que es un gas tóxico. Producido por la combustión incompleta de carbono del combustible, a pesar de operar con exceso de aire, en los humos de los sistemas de combustión siempre aparece una pequeña fracción de  $\text{CO}$  originado por la disociación de alta temperatura y que no tiene tiempo de oxidarse en el transcurso de la expansión o escape.
- **Los halógenos y haluros** ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{F}_2$ ,  $\text{HCl}$  y  $\text{HF}$ ). Normalmente emitidos en su forma ácida:  $\text{HCl}$  y  $\text{HF}$ .
- **Los compuestos orgánicos volátiles** (COV). Que incluyen normalmente todos los compuestos orgánicos. (Castells & Cremades, 2012)

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

### **Caudal del gas portador**

Ya que el caudal del gas depende de su presión y temperatura, y que dichas variables pueden variar a lo largo de la instalación, es conveniente expresar el caudal del gas portador de los contaminantes de una forma invariante, como por ejemplo metros cúbicos normales por hora ( $\text{Nm}^3/\text{h}$ ) o en  $\text{Kg}/\text{h}$ .

Es importante indicar el intervalo en que el caudal puede variar, teniendo en cuenta todas las salidas de gases y regímenes de operación de la planta, pues hay que tener en cuenta que por debajo de ciertos caudales, se pueden producir ensuciamientos en tuberías y colectores. (Castells & Cremades, 2012)

### **Temperatura**

Es importante conocer no solo la temperatura media del gas portador, sino también los valores extremos. Estos valores ayudaran a elegir los materiales a utilizar. (Castells & Cremades, 2012)

### **Composición del gas portador**

Se suele expresar la composición del gas portador en función del porcentaje en volumen de sus principales componentes ( $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , etc.). Un dato importante es la concentración del vapor de agua, ya que determina la temperatura de rocío del gas. Esta temperatura de rocío puede aumentar sensiblemente por la presencia en el gas de compuestos como los ácidos sulfúrico o fosfórico o de partículas que contengan cloruros, tal como se muestra en la Figura 3 En efecto estos compuestos cuando se disuelven en agua, hacen bajar significativamente la presión de vapor de agua ( $P_v'$ ) de la solución respecto al que tendría el agua pura ( $P_v$ ) a la misma temperatura, por lo tanto para una determinada humedad del gas portador contaminado, su punto de rocío ( $T_r'$ ) puede ser mucho mayor que el que tendría el gas si no estuviera contaminado ( $T_r$ ). (Castells & Cremades, 2012)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

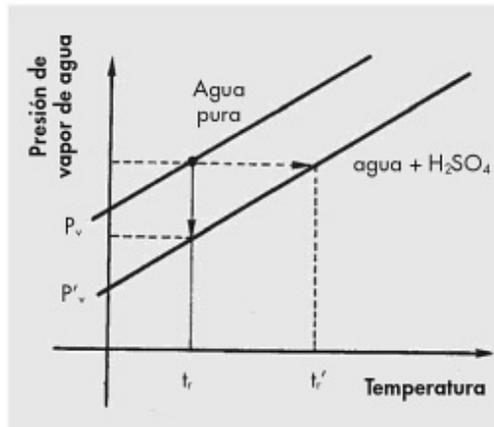


Figura 3: Fenómeno de rocío. (Castells & Cremades, 2012)

## Lavadores de gases

### Tipos y mecanismos de separación de partículas

Se entienden por lavadores aquellos equipos que depuran los gases de su contenido en partículas (PS), aun cuando también en su caso lo puedan hacer de otros contaminantes presentes en forma líquida o gaseosa, mediante lavado con un líquido, habitualmente agua, que se pulveriza o rocía sobre la corriente gaseosa. (Feal Veira, 2003)

**Lavado de partículas:** Se denomina como lavado la separación de partículas (PS) presentes en emisiones de gases mediante su impacto con gotas o láminas de agua. Al mismo tiempo se puede producir la absorción en el agua de ciertos componentes gaseosos. Aun cuando el concepto de lavado a menudo es de adopción general para ambos conceptos, se emplearán los términos: a) lavado y lavador para separación de PS; y b) absorción y absorbedor para el caso de la separación de gases. (Feal Veira, 2003)

**Ventajas e inconvenientes de los lavadores:** Los lavadores para depuración de PS tienen, pues, la virtud de poder absorber los gases contaminantes al mismo tiempo que eliminan las partículas. Ayudan a enfriar y limpiar gases que, a alta temperatura, llevan un alto contenido de humedad; los gases corrosivos y las nieblas o vapores pueden recogerse y neutralizarse. Tienen poco riesgo de explosión y su rendimiento es variado. Como limitaciones o inconvenientes generales se podrían citar: Problemas de erosión y

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

corrosión, Coste añadido por tratamiento de agua residual y su recirculación, Bajos rendimientos para PS submicrónicas, Problemas de congelación con tiempo frío, Reducción en la sobreelevación del penacho de humos al disminuir la temperatura de los gases, Penacho fuertemente visible bajo ciertas condiciones atmosféricas, por el contenido en vapor de agua. (Feal Veira, 2003)

## **Tipos de lavadores**

### **Lavadores de impacto o choque**

Descripción: Se produce el lavado mediante impacto contra pantallas húmedas. Los lavadores de película de líquido ponen en contacto el gas con una película líquida que discurre sobre las superficies colectoras.

Además de la colección que resulta de la humidificación producida, el líquido sirve para mantener la superficie colectoras libre de PS y prevenir que sean retomadas éstas (reentramiento) por el flujo gaseoso.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 5.
- Concentración óptima de PS ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) a la entrada: mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ): 5 a 350.
- Consumo de agua ( $\text{l}/\text{m}^3$  de gases): 0,1-0,7.
- Velocidad de los gases ( $\text{m}/\text{s}$ ): 15-30; en la zona de impacto.
- Pérdida de carga ( $\text{mm c.a.}$ ): mayor de 50; 150, típica.
- Espacio requerido: importante.
- Rendimiento global (% en peso): menor de 80; típico.

(Feal Veira, 2003)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

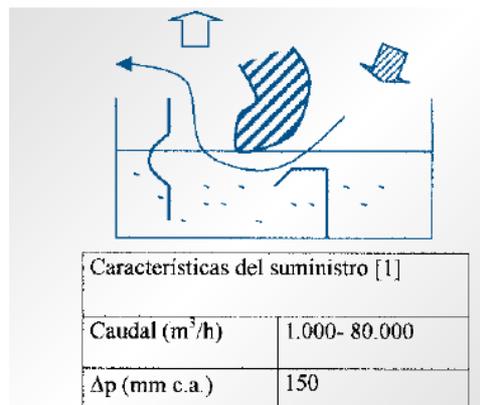


Figura 4: Lavadores de impacto o choque. (Feal Veira, 2003)

### Lavadores ciclónicos

Descripción: Similar al denominado como ciclón, dentro de la categoría de los colectores inerciales o mecánicos secos, complementado ahora con boquillas de pulverización de gotas de lavado.

Tienen características estructurales que comunican a los gases el efecto de la fuerza centrífuga, Inducida mediante una entrada tangencial de los gases, forzándolos a través de paletas o álabes, o Haciéndolos pasar a través de cámaras donde describan una trayectoria espiral.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 10.
- Concentración óptima de PS ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) a la entrada: mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ): 5 a 350.
- Consumo de agua ( $\text{l}/\text{m}^3$  de gases): 0,4-0,7.
- Velocidad de los gases ( $\text{m}/\text{s}$ ): 10-20; a la entrada.
- Pérdida de carga (mm c.a.): mayor de 50.
- Espacio requerido: importante
- Rendimiento global (% en peso): menor de 80.

(Feal Veira, 2003)

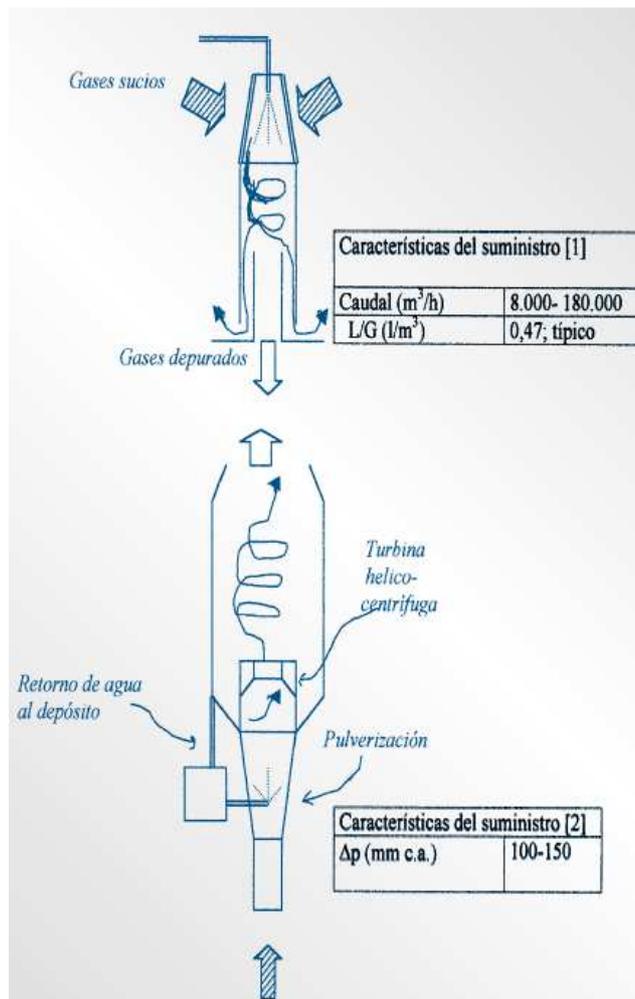


Figura 5: Lavadores ciclónicos. (Feal Veira, 2003)

### Lavadores dinámicos

Descripción: Como también ocurre para el caso de los correspondientes colectores secos, su característica diferencial es la presencia de elementos mecánicos móviles que coadyuvan a la acción centrífuga. Ahora además con lavado mediante pulverización de agua.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 10.
- Concentración óptima de PS ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ): mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ): 5 a 350.
- Consumo de agua ( $\text{l}/\text{m}^3$  de gases): 0,4-0,7.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Consumo de energía (CV/1000 m<sup>3</sup>h-1): 1-3.
- Velocidad de los gases (m/s): 10-20; a la entrada.
- Pérdida de carga (mm c.a.): mayor de 200.
- Espacio requerido: pequeño.
- Rendimiento global (% en peso): menor de 80.

(Feal Veira, 2003)

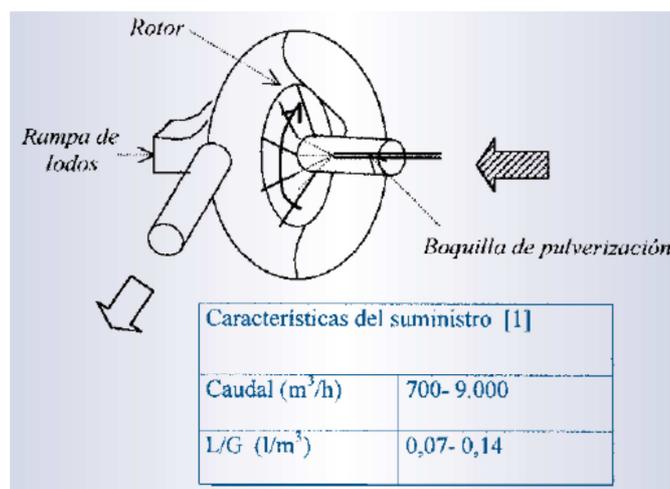


Figura 6: Lavadores dinámicos. (Feal Veira, 2003)

### Torres de rociado o de pulverización

Descripción: Cámara provista de boquillas de rociado de líquido en la que entran los gases y salen tras su lavado. Un ejemplo típico es la torre de relleno humedecido a contracorriente de la circulación de gases, aun cuando hay que señalar que el relleno se suele instalar cuando, además del lavado de PS, se busca la absorción de algún gas contaminante. En la figura 7 se muestra otro ejemplo, en este caso con la pulverización líquida en la misma dirección del flujo de gases.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 5.
- Concentración óptima de PS (mg/m<sup>3</sup>): mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas (°C): 5 a 350.
- Consumo de agua (l/m<sup>3</sup> de gases): 0,4-2,7.

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

- Consumo de energía (CV/1000 m<sup>3</sup>h-1): 2-5.
- Velocidad de los gases (m/s): 10-20; en zona de relleno.
- Pérdida de carga (mm c.a.): mayor de 100; 150, típica.
- Espacio requerido: importante.
- Rendimiento global (% en peso): menor de 90, típico

(Feal Veira, 2003)

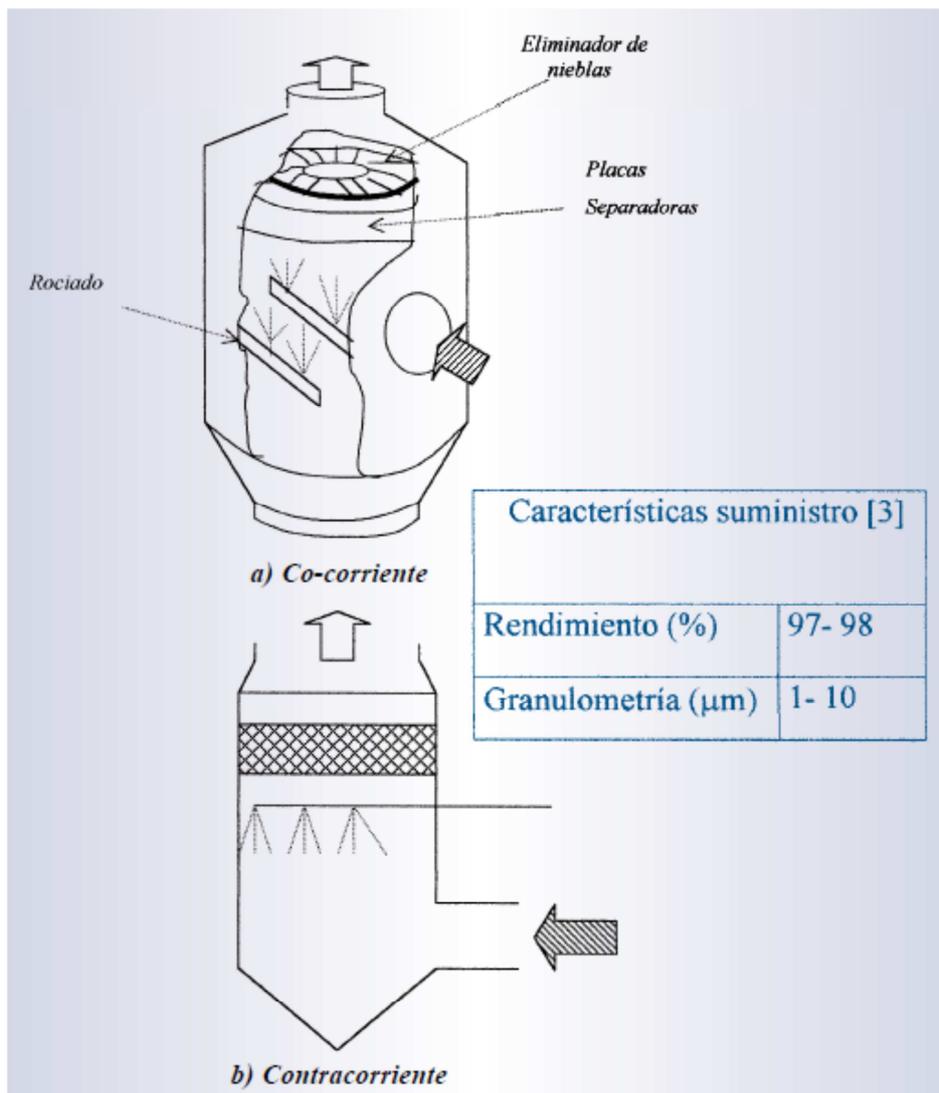


Figura 7: Torres de rociado o de pulverización. (Feal Veira, 2003)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### Lavadores Venturi

Descripción: Venturi con boquillas de pulverización de líquido en la garganta.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 2.
- Concentración óptima de PS ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ): mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ): 5 a 350.
- Consumo de agua ( $\text{l}/\text{m}^3$  de gases): 0,4-0,7.
- Velocidad de los gases ( $\text{m}/\text{s}$ ): 60-120; en la garganta.
- Pérdida de carga ( $\text{mm c.a.}$ ): mayor de 250.
- Espacio requerido: menor.
- Rendimiento global (% en peso): menor de 99. Resulta el equipo de mejor eficacia dentro de los de lavado de PS, pudiéndose considerar el prototipo de lavador de alto rendimiento en la depuración de las mismas, tanto más cuanto que las torres se suelen emplear cuando se desea la adicional absorción de gases.

(Feal Veira, 2003)

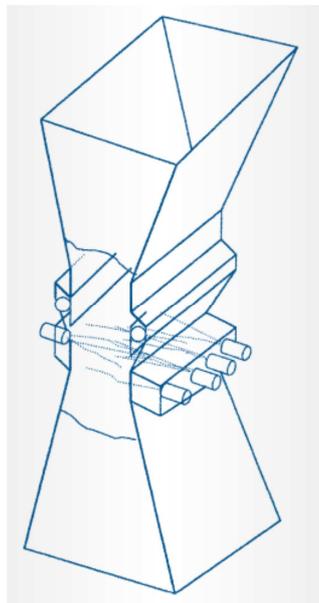


Figura 8: Lavador Venturi con inyección de líquido en la garganta (de anchura variable).

(Feal Veira, 2003)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

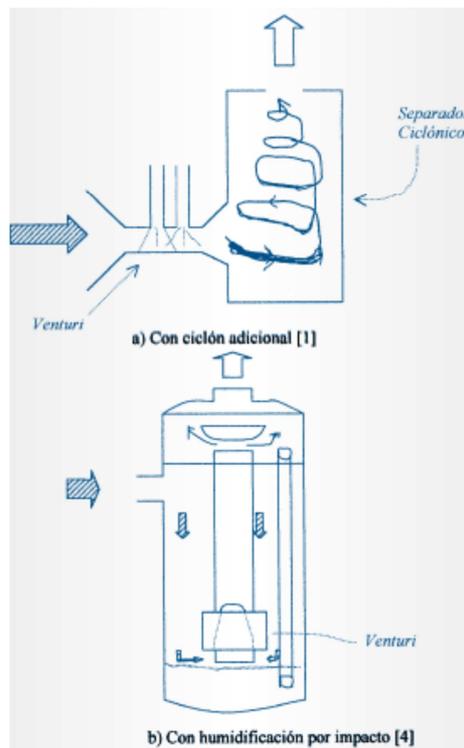


Figura 9: Otros lavadores Venturi comerciales. (Feal Veira, 2003)

### Lavadores de chorro

Descripción: Bomba de chorro activada por agua basada en el mismo principio que el eyector o la trompa de agua.

- Tamaño óptimo de PS ( $\mu\text{m}$ ): mayor de 5.
- Concentración óptima de PS ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ): mayor de 2000.
- Limitaciones de temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ): 5 a 350.
- Consumo de agua ( $\text{l}/\text{m}^3$  de gases): 0,6-12.
- Velocidad de los gases ( $\text{m}/\text{s}$ ): 10-15; a la entrada.
- Pérdida de carga ( $\text{mm}$  c.a.): Hay succión en vez de pérdida de carga. Rango típico de este tiro ( $\text{mm}$  c.a.): 100- 1500; según sea la presión del agua pulverizada (3- 10  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) y diámetro de la garganta (1,5-3 pulgadas; según se traten de caudales entre 10- 100  $\text{m}^3/\text{h}$ ).
- Espacio requerido: menor.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Rendimiento global (% en peso): menor de 90.

(Feal Veira, 2003)

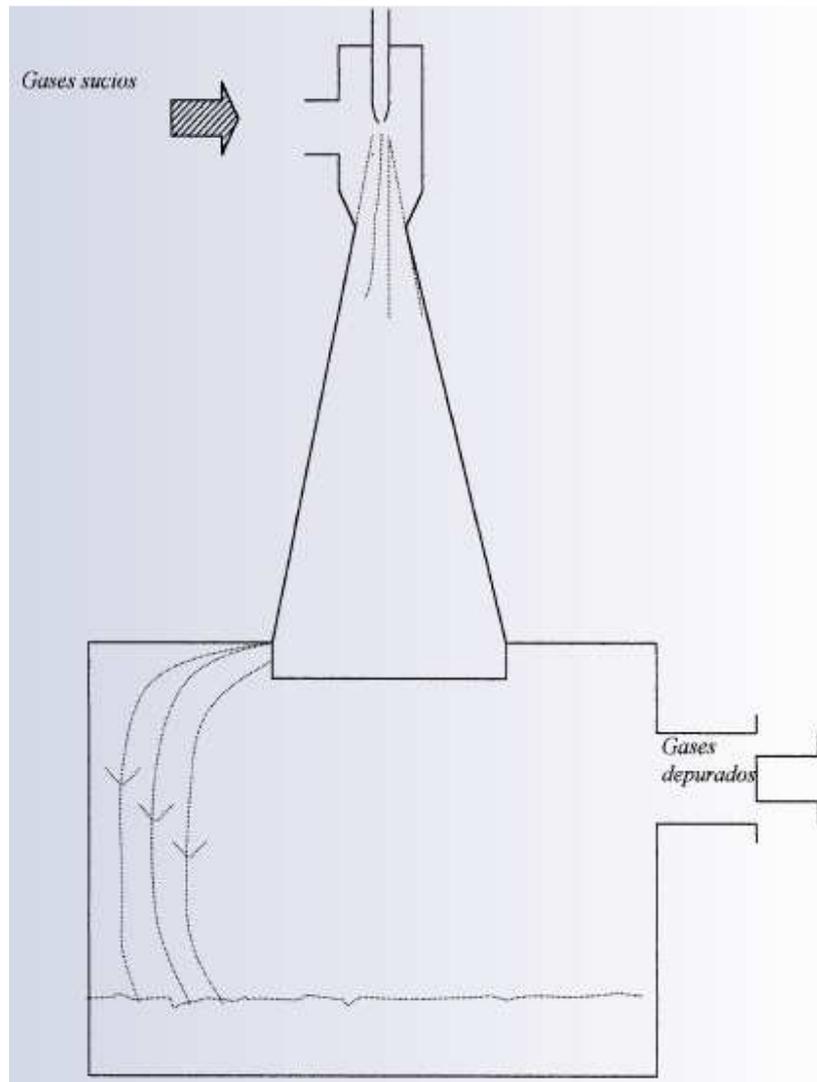


Figura 10: Lavador de chorro. (Feal Veira, 2003)

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

### **Mecanismos de separación por lavado**

La separación de contaminantes presentes en corrientes gaseosas en forma de partículas sólidas o líquidas se puede efectuar, según se ha indicado, mediante la mezcla de un líquido de lavado con el gas contaminado.

La mezcla o contacto íntimo de las partículas con el líquido de lavado se realiza a través de diversos mecanismos, como son:

- Impacto (directo y de inercia) de las partículas contra el líquido.
- Difusión browniana.
- Fenómeno de condensación.
- Carga electrostática de partículas.

El fenómeno más importante para la mayor parte de los polvos producidos en los procesos industriales es el de impacto (Figura 11).

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

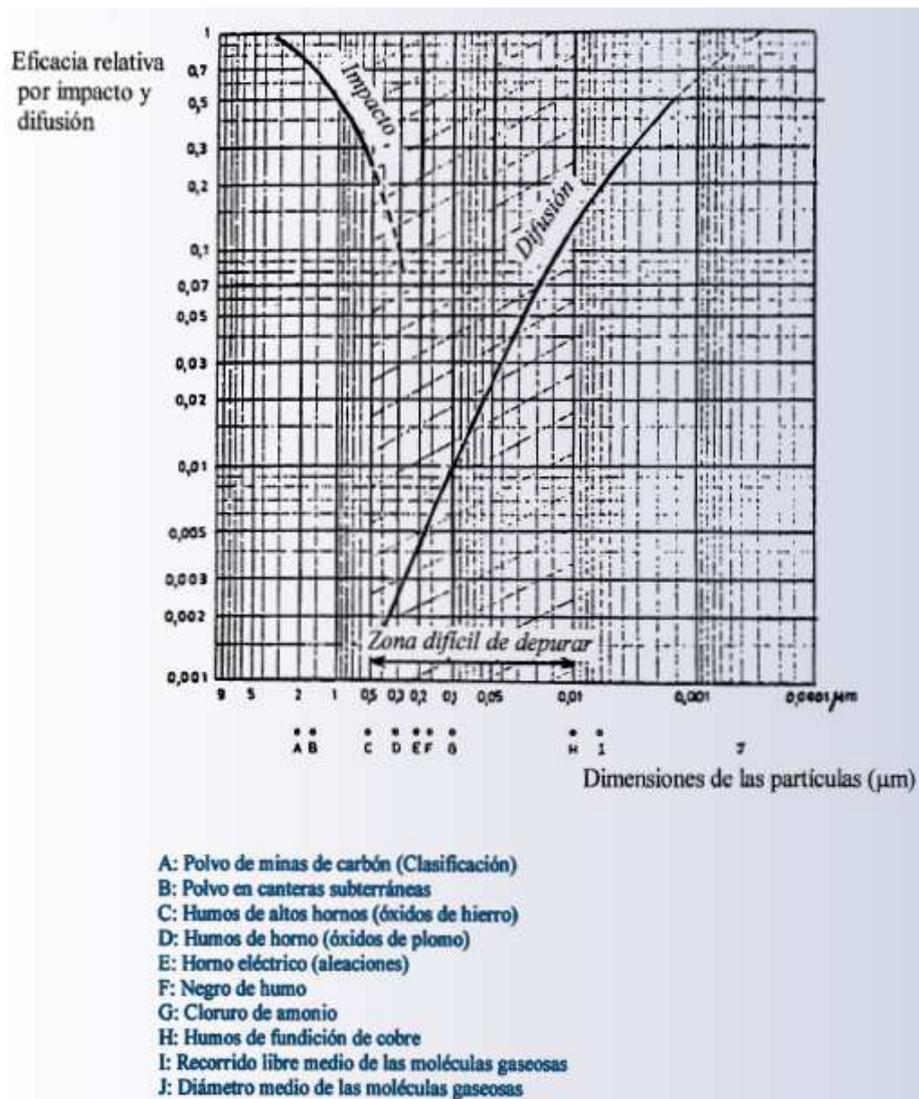


Figura 11: Influencia de los mecanismos de separación de partículas en el rendimiento de los lavadores. (Feal Veira, 2003)

En la figura 12 se representa una gota, supuesta esférica, de diámetro  $D_c$ , que ha sido lanzada dentro de una corriente gaseosa. La introducción de la gota provoca una desviación hacia fuera de las líneas de flujo del gas. Las partículas contaminantes arrastradas por el gas no siguen exactamente (efecto de inercia) la desviación de las líneas de corriente.

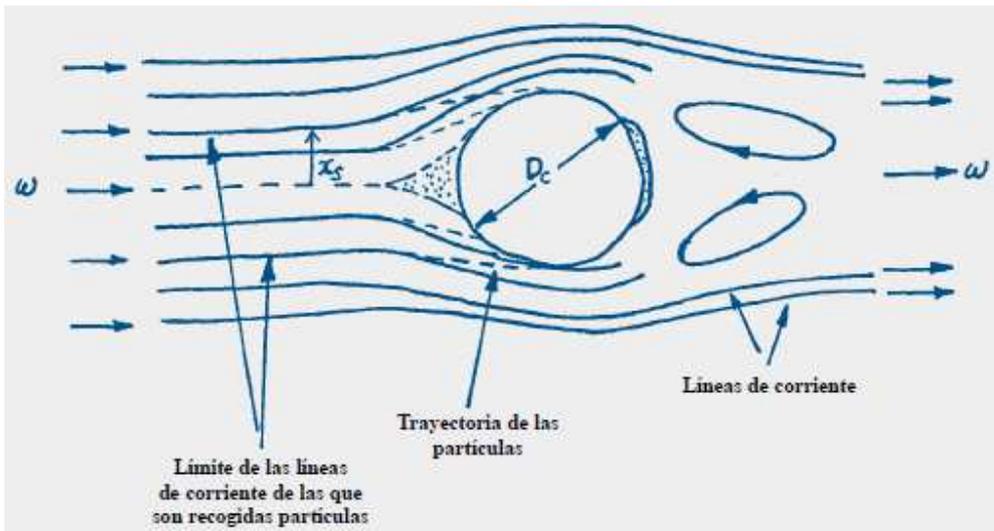


Figura 12: Esquema de efectos de una gota en un flujo de gases. (Feal Veira, 2003)

Cuanto más pesada es la partícula, siempre que no se dé el efecto de sedimentación, y cuanto más cerca se halle del eje de flujo de la gota, mayor es la probabilidad de que choque con ella. Para tamaños más pequeños de gota, la deflexión de las líneas de flujo es más fuerte y la probabilidad del impacto de inercia, al no seguir la partícula las líneas de flujo, se incrementa.

La segunda posibilidad apuntada para el encuentro entre las partículas de contaminante y las gotas de agua es el fenómeno de difusión por el movimiento browniano de las moléculas gaseosas, que chocan entre sí y transmiten su energía también a los cuerpos o partículas presentes en el gas. Cuando las partículas presentes en el gas son muy pequeñas, se verán más fácilmente afectadas por este fenómeno.

Cuando el diámetro de partícula es menor de  $0,1 \mu\text{m}$ , el grado de depuración por difusión empieza a exceder al rendimiento debido al impacto, aun cuando la velocidad del gas respecto al objeto depurador (gota) sea muy grande.

Se sabe que el tamaño de gota disminuye con el aumento de la velocidad de inyección y, por el contrario, aumenta cuando se incrementa la relación líquido/gas, la viscosidad del gas o la tensión superficial. (Feal Veira, 2003)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### 3. METODOLOGÍA

---

#### DISEÑO TERMODINÁMICO

En el diseño termodinámico se tuvo en cuenta la ecuación de balance de energía, en ella se incluyeron los datos de ingreso y salida del gas los cuales fueron extraídos de un proceso de fundición de mineral, el Cp del agua y el Cp del gas son datos que fueron extraídos de tablas termodinámicas. Con el desarrollo de la ecuación podemos obtener el caudal necesario para el ingreso de agua al sistema, este dato nos permite calcular la capacidad de la bomba (ver tabla 24).

#### DATOS PROCESO

PATM= 12.5 PSia

PATM= 860 mbar

Aire completamente seco

Q=50000 m<sup>3</sup>/h

T1= 500°C

P1=12.5 PSia

P1= 860 mbar

Presión estándar mbar= 1013 mbar

Normal= estándar

Caudal agua= 1392  $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$

$\rho_{\text{aire}} = \rho_{\text{normal}} \frac{(T_{\text{normal}})}{(T_{\text{real}})} \times \frac{(P_{\text{real}})}{(P_{\text{normal}})}$  unidades absolutas

$$1.2 \times \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times \frac{(20+273)}{(500+273)} \times \frac{860 \text{ mbar}}{1013 \text{ mbar}}$$

$$=0.386 \text{ kg/m}^3$$

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

$$\dot{m} = Q \times \rho = 50000 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 0.386 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 19380 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Ecuación balance de energía

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 + \dot{m}_2 \cdot h_2 = \dot{m}_1 \cdot h_3 + \dot{m}_2 \cdot h_{g3}$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_1 = \text{aire a } 500^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_2 \cdot h_2 = \text{agua líquida a } 25^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_1 \cdot h_3 = \text{aire a } 300^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_2 \cdot h_{g3} = \text{entalpía del vapor a } 300^\circ\text{C, } P_v = ?$$

$$\dot{m}_1(h_1 - h_3) = \dot{m}_2(h_{g3} - h_2)$$

$$(h_1 - h_3) = C_p \text{ aire } (T_1 - T_2)$$

$$\dot{m}_1 \cdot C_p \text{ aire } (T_1 - T_2) = \dot{m}_2(h_{g3} - h_2) \text{ Ecuación 1}$$

$$C_p \text{ aire} = 1.075 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{K}} \text{ a } 400^\circ\text{C promedio temperatura}$$

$$h_2 = \text{entalpía agua líquida a } 25^\circ\text{C}$$

$$47.05 \text{ BTU/lb}$$

$$47.05 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 1.055 \frac{\text{kJ}}{\text{BTU}} \times 2.20 \frac{\text{lb}}{\text{kg}} = 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Para encontrar  $h_{g3}$

TBS= temperatura bulbo seco temperatura salida del gas

$$TBS = 300^\circ\text{C}$$

$$\text{Presión} = 860 \text{ mbar}$$

$$\text{Humedad absoluta} = \frac{\text{kg agua}}{\text{kg aire seco}} = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1}$$

En la ecuación 1 tenemos:

$$\dot{m}_1 \cdot C_p \text{ aire } (T_1 - T_2) = \dot{m}_2(h_{g3} - h_2)$$

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

$$19380 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \times 1.075 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}\cdot\text{k}} \times 200 \text{ k} = \dot{m}^2(\text{hg}3 - \text{h}2)$$

$$4151220 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = \dot{m}^2 \left( \text{hg}3 - 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$4151220 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = \text{energía entregada por el gas}$$

$$\dot{m}^2 \left( \text{hg}3 - 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = \text{energía absorbida por el agua}$$

Datos tomados de la carta psicrométrica

Para aire

$$P_{\text{bar}} = 860 \text{ mbar}$$

$$T = 300^\circ\text{C}$$

$$P_v = 286.08 \text{ mbar (4.014 psi)}$$

Vapor sobrecalentado a 4.14 psi y 300°C (572°F) = h gas

$$h_{\text{gas}} = 1330 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}}$$

$$h_{\text{g}3} = 1330 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}} \times 1.055 \frac{\text{kJ}}{\text{BTU}} \times 2.20 \frac{\text{lb}}{\text{kg}}$$

$$h_{\text{g}3} = 3092 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}^2 \left( \text{hg}3 - 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$\dot{m}^2 \left( 3092 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$$

$$1392 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \left( 3092 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 110 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) = 6769140 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$4151220 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} = 4150944 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

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

912 | Thermodynamics

**TABLE A-2**

Ideal-gas specific heats of various common gases (*Continued*)

(b) At various temperatures

Temperature, K	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$	$c_p$	$c_v$	$k$
	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$	$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		$\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
	<i>Air</i>			<i>Carbon dioxide, CO<sub>2</sub></i>			<i>Carbon monoxide, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hydrogen, H<sub>2</sub></i>			<i>Nitrogen, N<sub>2</sub></i>			<i>Oxygen, O<sub>2</sub></i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Source: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Table A-4M. Originally published in *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.

Figura 13: Tabla A-2

TABLE A-4

Saturated water—Temperature table

Temp., $T$ °C	Sat. press., $P_{sat}$ kPa	Specific volume, $m^3/kg$		Internal energy, $kJ/kg$			Enthalpy, $kJ/kg$			Entropy, $kJ/kg \cdot K$		
		Sat. liquid, $v_f$	Sat. vapor, $v_g$	Sat. liquid, $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Sat. vapor, $u_g$	Sat. liquid, $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Sat. vapor, $h_g$	Sat. liquid, $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Sat. vapor, $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302

Figura 14: Tabla A-4

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

970 | Thermodynamics

**TABLE A-6E**

Superheated water

<i>T</i> °F	<i>v</i> ft <sup>3</sup> /lbm	<i>u</i> Btu/lbm	<i>h</i> Btu/lbm	<i>s</i> Btu/lbm · R	<i>v</i> ft <sup>3</sup> /lbm	<i>u</i> Btu/lbm	<i>h</i> Btu/lbm	<i>s</i> Btu/lbm · R	<i>v</i> ft <sup>3</sup> /lbm	<i>u</i> Btu/lbm	<i>h</i> Btu/lbm	<i>s</i> Btu/lbm · R
<i>P</i> = 1.0 psia (101.69°F)*				<i>P</i> = 5.0 psia (162.18°F)				<i>P</i> = 10 psia (193.16°F)				
Sat. <sup>†</sup>	333.49	1043.7	1105.4	1.9776	73.525	1062.7	1130.7	1.8438	38.425	1072.0	1143.1	1.7875
200	392.53	1077.5	1150.1	2.0509	78.153	1076.2	1148.5	1.8716	38.849	1074.5	1146.4	1.7926
240	416.44	1091.2	1168.3	2.0777	83.009	1090.3	1167.1	1.8989	41.326	1089.1	1165.5	1.8207
280	440.33	1105.0	1186.5	2.1030	87.838	1104.3	1185.6	1.9246	43.774	1103.4	1184.4	1.8469
320	464.20	1118.9	1204.8	2.1271	92.650	1118.4	1204.1	1.9490	46.205	1117.6	1203.1	1.8716
360	488.07	1132.9	1223.3	2.1502	97.452	1132.5	1222.6	1.9722	48.624	1131.9	1221.8	1.8950
400	511.92	1147.1	1241.8	2.1722	102.25	1146.7	1241.3	1.9944	51.035	1146.2	1240.6	1.9174
440	535.77	1161.3	1260.4	2.1934	107.03	1160.9	1260.0	2.0156	53.441	1160.5	1259.4	1.9388
500	571.54	1182.8	1288.6	2.2237	114.21	1182.6	1288.2	2.0461	57.041	1182.2	1287.8	1.9693
600	631.14	1219.4	1336.2	2.2709	126.15	1219.2	1335.9	2.0933	63.029	1219.0	1335.6	2.0167
700	690.73	1256.8	1384.6	2.3146	138.09	1256.7	1384.4	2.1371	69.007	1256.5	1384.2	2.0605
800	750.31	1295.1	1433.9	2.3553	150.02	1294.9	1433.7	2.1778	74.980	1294.8	1433.5	2.1013
1000	869.47	1374.2	1535.1	2.4299	173.86	1374.2	1535.0	2.2524	86.913	1374.1	1534.9	2.1760
1200	988.62	1457.1	1640.0	2.4972	197.70	1457.0	1640.0	2.3198	98.840	1457.0	1639.9	2.2433
1400	1107.8	1543.7	1748.7	2.5590	221.54	1543.7	1748.7	2.3816	110.762	1543.6	1748.6	2.3052
<i>P</i> = 15 psia (212.99°F)				<i>P</i> = 20 psia (227.92°F)				<i>P</i> = 40 psia (267.22°F)				
Sat.	26.297	1077.7	1150.7	1.7549	20.093	1081.8	1156.2	1.7319	10.501	1092.1	1169.8	1.6766
240	27.429	1087.8	1163.9	1.7742	20.478	1086.5	1162.3	1.7406				
280	29.085	1102.4	1183.2	1.8010	21.739	1101.4	1181.9	1.7679	10.713	1097.3	1176.6	1.6858
320	30.722	1116.9	1202.2	1.8260	22.980	1116.1	1201.2	1.7933	11.363	1112.9	1197.1	1.7128
360	32.348	1131.3	1221.1	1.8496	24.209	1130.7	1220.2	1.8171	11.999	1128.1	1216.9	1.7376
400	33.965	1145.7	1239.9	1.8721	25.429	1145.1	1239.3	1.8398	12.625	1143.1	1236.5	1.7610
440	35.576	1160.1	1258.8	1.8936	26.644	1159.7	1258.3	1.8614	13.244	1157.9	1256.0	1.7831
500	37.986	1181.9	1287.3	1.9243	28.458	1181.6	1286.9	1.8922	14.165	1180.2	1285.0	1.8143
600	41.988	1218.7	1335.3	1.9718	31.467	1218.5	1334.9	1.9398	15.686	1217.5	1333.6	1.8625
700	45.981	1256.3	1383.9	2.0156	34.467	1256.1	1383.7	1.9837	17.197	1255.3	1382.6	1.9067
800	49.967	1294.6	1433.3	2.0565	37.461	1294.5	1433.1	2.0247	18.702	1293.9	1432.3	1.9478
1000	57.930	1374.0	1534.8	2.1312	43.438	1373.8	1534.6	2.0994	21.700	1373.4	1534.1	2.0227
1200	65.885	1456.9	1639.8	2.1986	49.407	1456.8	1639.7	2.1668	24.691	1456.5	1639.3	2.0902
1400	73.836	1543.6	1748.5	2.2604	55.373	1543.5	1748.4	2.2287	27.678	1543.3	1748.1	2.1522
1600	81.784	1634.0	1861.0	2.3178	61.335	1633.9	1860.9	2.2861	30.662	1633.7	1860.7	2.2096
<i>P</i> = 60 psia (292.69°F)				<i>P</i> = 80 psia (312.02°F)				<i>P</i> = 100 psia (327.81°F)				
Sat.	7.1766	1098.1	1177.8	1.6442	5.4733	1102.3	1183.4	1.6212	4.4327	1105.5	1187.5	1.6032
320	7.4863	1109.6	1192.7	1.6636	5.5440	1105.9	1187.9	1.6271				
360	7.9259	1125.5	1213.5	1.6897	5.8876	1122.7	1209.9	1.6545	4.6628	1119.8	1206.1	1.6263
400	8.3548	1140.9	1233.7	1.7138	6.2187	1138.7	1230.8	1.6794	4.9359	1136.4	1227.8	1.6521
440	8.7766	1156.1	1253.6	1.7364	6.5420	1154.3	1251.2	1.7026	5.2006	1152.4	1248.7	1.6759
500	9.4005	1178.8	1283.1	1.7682	7.0177	1177.3	1281.2	1.7350	5.5876	1175.9	1279.3	1.7088
600	10.4256	1216.5	1332.2	1.8168	7.7951	1215.4	1330.8	1.7841	6.2167	1214.4	1329.4	1.7586
700	11.4401	1254.5	1381.6	1.8613	8.5616	1253.8	1380.5	1.8289	6.8344	1253.0	1379.5	1.8037
800	12.4484	1293.3	1431.5	1.9026	9.3218	1292.6	1430.6	1.8704	7.4457	1292.0	1429.8	1.8453
1000	14.4543	1373.0	1533.5	1.9777	10.8313	1372.6	1532.9	1.9457	8.6575	1372.2	1532.4	1.9208
1200	16.4525	1456.2	1638.9	2.0454	12.3331	1455.9	1638.5	2.0135	9.8615	1455.6	1638.1	1.9887
1400	18.4464	1543.0	1747.8	2.1073	13.8306	1542.8	1747.5	2.0755	11.0612	1542.6	1747.2	2.0508
1600	20.438	1633.5	1860.5	2.1648	15.3257	1633.3	1860.2	2.1330	12.2584	1633.2	1860.0	2.1083
1800	22.428	1727.6	1976.6	2.2187	16.8192	1727.5	1976.5	2.1869	13.4541	1727.3	1976.3	2.1622
2000	24.417	1825.2	2096.3	2.2694	18.3117	1825.0	2096.1	2.2376	14.6487	1824.9	2096.0	2.2130

\*The temperature in parentheses is the saturation temperature at the specified pressure.

† Properties of saturated vapor at the specified pressure.

Figura 15: Tabla A-6E

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## Datos de Entrada

### Temp Bulbo Seco y Humedad Absoluta

Presión Estándar, mbar	860
Presión Barométrica, mbar	860
Temperatura Bulbo Seco, °C	300,0
Humedad Absoluta, Kg H <sub>2</sub> O/Kg aire seco	0,31
Temperatura Bulbo Húmedo, °C	73,66
Temperatura Punto de Rocío, °C	68,0
Humedad Absoluta, Kg H <sub>2</sub> O/Kg aire seco	0,3101
Volumen Especifico, mt <sup>3</sup> /Kg	2,873
Humedad Relativa, %	0,33
% Humedad Vol.	33,27
Entalpía, Kcal/Kgm de aire seco (Base 0°C)	296,4
C <sub>p</sub> Aire, Kcal/Kg°C	0,248
P <sub>v</sub> , mbar	286,08
Presión Saturación TBH, mbar	364,19
Presión Saturación TBS, mbar	87121,80

1

Tabla 1: Carta Psicométrica

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## DISEÑO MECANICO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS

### VENTILADOR

En el diseño del ventilador se tuvo en cuenta los datos de ingreso del gas al sistema, los cuales fueron extraídos de un proceso de fundición de mineral, Con el desarrollo de la ecuación podemos obtener la potencia al freno del ventilador.

$$Q=50000 \text{ m}^3/\text{h} = 13.89 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Caudal } Q=(\text{m}^3/\text{s})$$

$$Sp= 860 \text{ mbar} = 8600 \text{ mmca}$$

$$\text{Presión } P=(\text{mmca})$$

$$\eta=90\%$$

Eficiencia

$$g= 9.89 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Gravedad } g= (\text{m/s}^2)$$

LA POTENCIA AL FRENO DEL VENTILADOR ES

$$P= \frac{Q \times Sp \times g}{\eta} (\text{w})$$

$$P= \frac{(13.89 \text{ m}^3/\text{s}) \times (8600 \text{ mmca}) \times (9.89 \text{ m/s}^2)}{0.9} (\text{w})$$

$$P=1312666.7 \text{ W}$$

$$\text{BHP}= 1312.7 \text{ kW}$$

$$\text{BHP}= 1785 \text{ HP}$$

### NOTAS

- En el anexo 1 se observa que la potencia del ventilador es de 1132 HP y la calculada en el sistema es 1785 HP.
- Este ventilador se debe mandar a fabricar bajo pedido ya que no es un equipo comercial y se puede demorar 6 meses la fabricación.
- La fabricación se hace con firmas especializadas como Siemens, FLSmidth y Robinson fans
- Se tomó como referencia un ventilador de una planta cementera, Este ventilador costó 330,000 USD.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

### COMPRESOR

El compresor debe elegirse conforme a la presión de servicio y el caudal de aire necesario

**Compresor de émbolo alternativo:** durante el movimiento de descenso, el émbolo aspira aire a través de la válvula de aspiración; lo comprime luego durante el movimiento ascendente lo expulsa por la válvula de presión.

Presión: de una etapa aprox. 600 kPa (6 bar)

de dos etapas aprox. 1500 kPa (15 bar)

Presión de la herramienta (Spray Nozzle): 6.0 bar

Caída de presión: línea principal	{	0.07 bar	{	
Línea de distribución	}		}	0.1 bar
Línea de servicio		0.03	}	

Accesorios: 0.6 bar

Filtro obstruido: 0.3bar

Total: 7.0 bar

(Atlas Copco S.A., 1984)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

<b>TABLA PARA CALCULO NECESIDAD DEL AIRE</b>				
HERRAMIENTAS	CUNSUMO AIRE L/S	CANTIDAD	GRADO UTILIZACION	NECESIDAD DE AIRE L/S
SPRAY NOZZLE	2.487	5	1	12.435

Tabla 2: Calculo necesidad del aire

<b>CORRECCIONES</b>	
DESGASTE DE LAS HERRAMIENTAS 5%	0.62175
FUGAS 10%	1.2435
EXPANSIÒN 30%	3.7305
NECESIDAD DE AIRE PARA FINES DE DIMENSIONAMIENTO	18.03075
	38.2 SCFM

Tabla 3: Correcciones necesidad del aire

**NOTAS:**

Los fabricantes de compresores de aire, calculan el SCFM como CFM a nivel del mar, con una temperatura ambiente de 68 ° F y 36 por ciento de humedad relativa. Las calificaciones estándar SCFM incluyen una presión específica, por ejemplo, 5,5 SCFM a 90 psi.

**COMPRESOR:**

Presión: 7 bar

Necesidad de aire: 38.2 SCFM

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

**COMPRESOR SELECCIONADO**

**SECADOR DE AIRE POR REFRIGERACION**

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

## SECADOR DE AIRE POR REFRIGERACION SELECCIONADO

### Technical data

#### FD refrigerant dryer range - 60 Hz

FD Type	Air flow at outlet with a PDP of 39 °F / 4 °C		Pressure drop		Maximum working pressure		Electrical supply	Dimensions				Weight		Compressed air connections		
	l/s	cfm	bar	psi	bar	psi		A		B		C			kg	lb
FD5 (A)	6	13	0.09	1.31	14.4	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	43	95	NPT 3/4
FD10 (A)	10	21	0.09	1.31	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	45	99	NPT 3/4
FD15 (A)	15	32	0.20	2.90	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	48	106	NPT 3/4
FD20 (A)	19	40	0.23	3.34	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	50	110	NPT 3/4

## RED DE AIRE COMPRIMIDO

Se deben obtener los planos de la zona o realizar un levantamiento de campo antes de desarrollar el diseño de la red de tuberías de aire. El diseño de esta depende del área de la zona donde se va a instalar con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento, el diseño propuesto se realizó con el mínimo de área necesaria para la instalación del sistema de tratamiento de gases.

Para garantizar la fiabilidad de un mando neumático, es necesario que el aire que alimenta el sistema tenga un nivel de calidad suficiente.

- a) Presión correcta
- b) Aire seco
- c) Aire limpio

La generación de aire a presión empieza por la compresión de aire. El aire pasa a través de una serie de elementos antes de llegar al punto de consumo. Para el acondicionamiento adecuado del aire, es recomendable utilizar los siguientes elementos:

- 1) Aire
- 2) Filtro de aspiración
- 3) Moto – compresor
- 4) secador (refrigerador)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5) Acumulador

6) Purgador

7) Unidad de mantenimiento: Filtro de aire, Regulador de presión, Lubricador

El aire que no ha sido acondicionado debidamente, provoca un aumento en la cantidad de fallas y en consecuencia disminuye la vida útil de los sistemas neumáticos.

Los elementos neumáticos son concebidos por lo general para resistir una presión máxima de 8 a 10 bar. No obstante es suficiente para que funcione bien y económicamente, aplicar una presión de 6 bar. En consecuencia el compresor deberá suministrar, con las pérdidas de 6,5 a 7 bar. (Atlas Copco S.A., 1984)

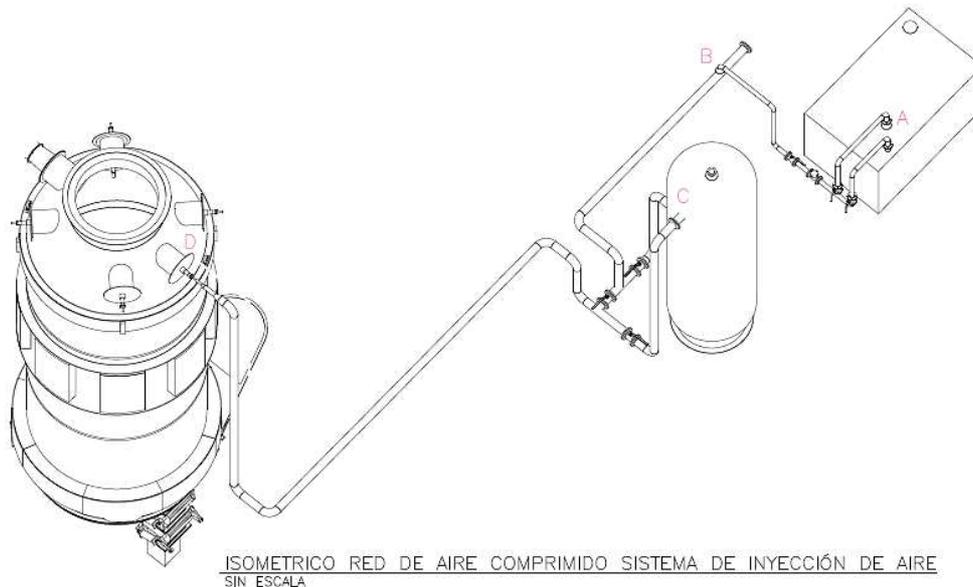


Figura 16: Isométrico red de aire comprimido. (Autoría propia)

<b>TABLA DE CALCULOS DIMENSIONES</b>		
PARTE DE LINEA	A-B	B-C-D
PRESIÓN-bar	7	7
FLUJO L/S	18.029	18.029
LONGITUD m	50	36
DATOS PRELIMINARES:		
DIAMETRO mm	32	26
CAIDA DE PRESIÓN bar	0.015	0.04

Tabla 4: Tabla de cálculos dimensiones

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

TABLA PARA RESISTENCIA NO REPETIDA TRAMO A-B			
PIEZA	CANTIDAD	LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERIA POR UNIDAD (m)	TOTAL (m)
VALVULA DE GLOBO	2	0.6	1.2
TUBO CURVO R-2D	5	0.6	3
RAMIFICACIÓN DEL TUBO EN T	1	3	3
TOTAL			7.2

Tabla 5: Tabla para resistencia no repetida tramo A-B

TABLA PARA RESISTENCIA NO REPETIDA TRAMO B-C-D			
PIEZA	CANTIDAD	LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERIA POR UNIDAD (m)	TOTAL (m)
VALVULA DE GLOBO	3	0.5	1.5
CURVA 90° R=2D	12	0.5	6
RAMIFICACIÓN DEL TUBO EN T	3	2.4	7.2
TOTAL			14.7

Tabla 6: Tabla para resistencia no repetida tramo B-C-D

CORRECCIÓN PARA RESISTENCIA NO REPETIDA		
TRAMOS	A-B	B-C-D
LONGITUD EQUIVALENTE DE TUBERIA m	7.2	14.7
CORREGIDA m	57.2	50.7
DIAMETRO mm	32	26
CAIDA DE PRESIÓN CORREGIDA bar	0.018	0.045

Tabla 7: Corrección para resistencia no repetida

MAXIMA CANTIDAD DE AIRE RECOMENDADA EN LA LINEA DE SERVICIO			
	MAX CANTIDAD DE AIRE L/S		
DIAMETRO mm	LONG 1 m	LONG 5 m	LONG 10 m
25	50	36	27
32	85	62	48

Tabla 8: Máxima cantidad de aire recomendada en la línea de servicio

**NOTAS:**

- Total caídas de presión en la línea principal y en las líneas de distribución no debe exceder 0.07 bar.

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

- Las dimensiones con que hemos trabajado producen una caída de presión de 0.063 bar. (Atlas Copco S.A., 1984)

**Tabla 1. Consumo de aire y grado de utilización para herramientas de aire comprimido, valores base**

Tipo de herramienta		Consumo de Aire		*Grado de Utilización				
		l/s	l	1	2	3	4	5
Llaves de Impacto	≤ 1/2"	8	0,2	0,1	0,1	0,2	—	0,05
	> 1/2"	13	0,3	0,2	0,1	—	—	0,15
Apretadoras	≤ M 8	9	0,35	0,1	0,05	0,05 — 0,2	—	—
	≥ M 10	19	0,4	0,1	0,07	0,05	—	—
Taladro	≤ 12 mm	5	0,15	0,1	0,25	—	0,3	0,2
	> 12 mm	10	0,2	0,1	0,1	—	0,1	0,25
Rectificadora		8	0,05	0,1	—	—	0,1	—
Esmeriladora	< 6"	10	0,07	0,2	0,2	—	0,15	0,2
	> 6"	34	0,01	0,35	0,4	—	0,15	0,3
Rascadora		6	—	—	0,1	—	0,1	—
Polipastos	≤ 1:1	35	0,1	0,01	0,05	—	0,1	—
	> 1:1	45	0,15	0,05	0,05	—	0,05	0,05
Martillo Bulonador	leve	6	—	0,15	0,1	—	—	0,1
	pesado	12	—	0,07	0,2	—	—	0,3
Atornillador		8	0,5	0,1	—	—	0,3	—
Pistola de Limpieza		6	0,01	0,05	0,1	—	0,05	—
Pistola de Pintura	automático	5	0,6	0,25	0,15	—	0,3	0,2
	manual	5	0,5	—	—	—	0,3	—

\* 1 - Industria Automotriz, 2 - Taller mecánico, 3 - Industria Mecánica Pesada, 4 - Industrias de Fabricación de Bienes Durables, Electroeléctricas, 5 - Industrias Complejas

**Tabla 2. Resistencia no repetida para codos y accesorios de tubería. Longitud equivalente (m)**

Descripción		Diámetro Interno de Tubería (mm)										
		13	16	20	25	40	50	80	100	125	150	200
Válvula de Esfera		0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3	1,6	1,8	2,8
Válvula de Diafragma completamente abierta		0,5	1,0	1,2	1,5	2,5	3,0	4,5	6	6	10	—
Curva 90° R = 2d		0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,2	1,5	1,8	2,4
Codo 90°		0,8	1,0	1,2	1,5	2,4	3,0	4,5	6,0	7,5	9	12
Tubo en "T" Paso		0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	1,0	1,3	1,5	2,0
Tubo en "T" Salida Lateral		0,8	1,0	1,2	1,5	2,4	3,0	4,8	6,0	7,5	9	12
Reducción		0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	3,1	3,6	4,8
Filtro Separador		2,0	2,4	3	4	5	7	12	15	18	22	30
Tubo en "T" Distribución		0,8	1,0	1,2	1,5	2,4	3,0	4,8	6,0	7,5	9	12
Salida para Línea de Servicio		0,5	1,0	1,2	1,5	2,4	3,0	—	—	—	—	—
Salida para Línea de Servicio en Cuello de Cisne		1,3	1,6	2,0	2,5	4	5	—	—	—	—	—

Figura 17: Consumo de aire y resistencia no repetida para accesorios.

(Atlas Copco S.A., 1984)

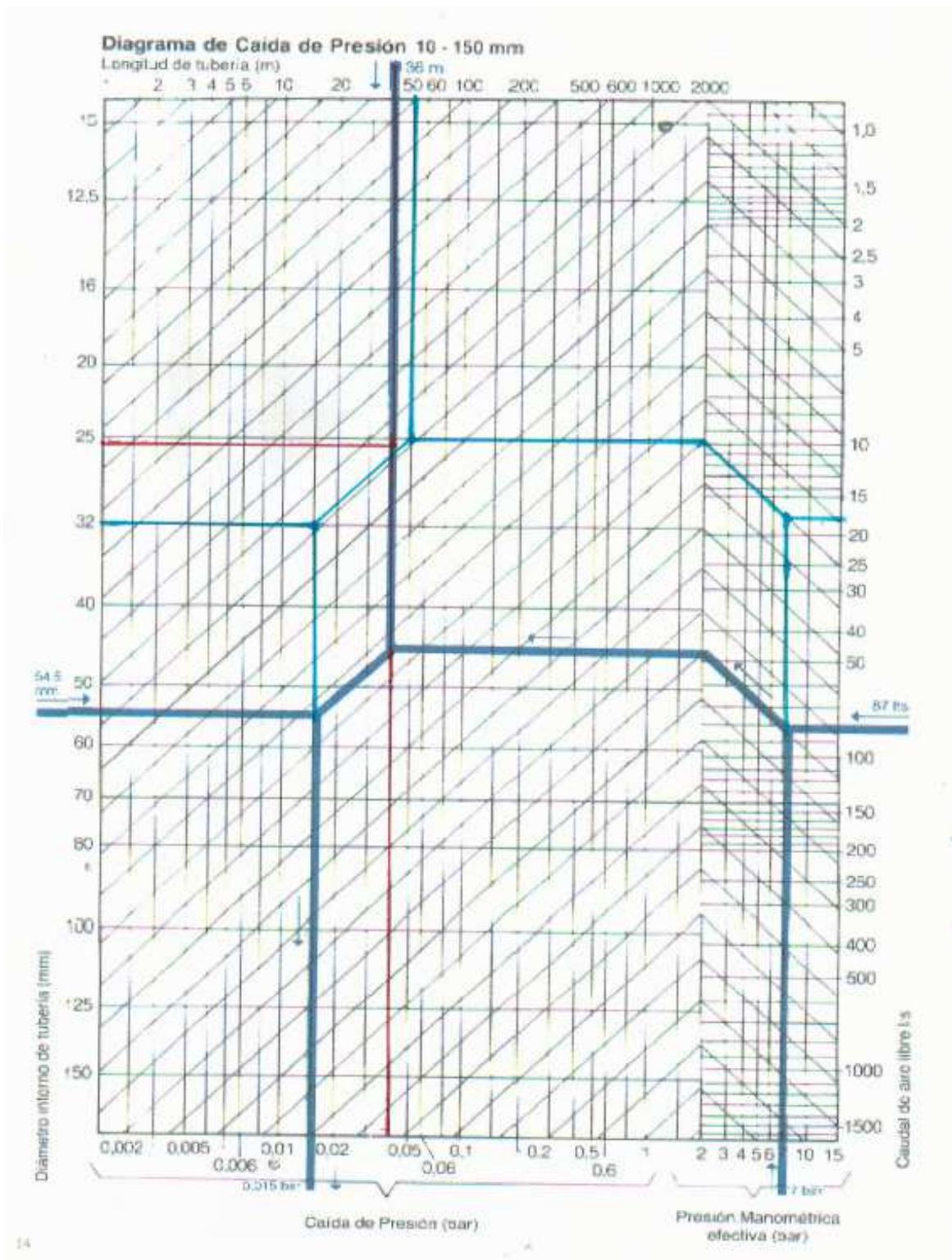


Figura 18: Diagrama caída de presión. (Atlas Copco S.A., 1984)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**Spray Nozzle (ver anexo 4).**

Suj30

Fluid cap j40100+aircap j120-6-35-60°

Liquid pressure: 60 psi

Air pressure: 90 psi

Liquid capacity: 4.65 gph

Air capacity: 5.27 scfm=2.487 l/s

**Spray Dimensions**

Air capacity: 90 psi

Liquid capacity: 60 g/h

**Caudal agua requerido en el sistema 1392 kg/h**

Masa agua= 1392 kg

Densidad agua= 1 kg/litro

$$D = \frac{m}{v} \quad V = \frac{m}{D}$$

$$V = \frac{1392 \text{ kg}}{1 \text{ kg/litro}} = 1392 \text{ litros}$$

$$1392 \text{ litros} \times \frac{1 \text{ galon}}{3.7854 \text{ litros}} = 367.72 \text{ galones (consumo total de los 5 Spray Nozzle)}$$

Cada Spray Nozzle consume 73.544 g/h

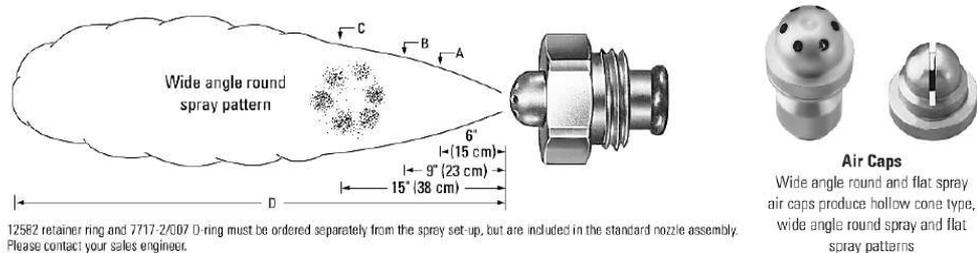


Figura 19: Air Atomizing Spray Nozzle

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

## **BOMBA**

Se deben obtener los planos de la zona o realizar un levantamiento de campo antes de desarrollar el diseño de la red de tuberías de agua. El diseño de esta depende del área de la zona donde se va a instalar con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento, el diseño propuesto se realizó con el mínimo de área necesaria para la instalación del sistema de tratamiento de gases.

En el cálculo de la bomba se utilizó un programa para cálculo de pérdidas, en él se incluyeron los datos entrada del fluido (agua): Caudal nominal, Densidad del fluido, Temperatura del fluido, Nivel nodo inicial del tramo, Nivel nodo final del tramo, Longitud Tubería y Accesorios. Con el ingreso de estos datos podemos obtener los datos para la selección bomba y para construir la curva de la bomba (ver tabla 24).

## **AYUDA Y RECOMENDACIONES DEL PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PÉRDIDAS**

### **INTRODUCCIÓN**

Este programa calcula las pérdidas de presión en un sistema de tuberías para agua. Se introducen los datos de cada una de los tramos del circuito.

### **MODO DE USO**

1. En la entrada de datos para cada tramo del sistema, se definen:

- Características del tubo (Material del tubo, diámetro nominal)
- Longitud
- Caudal
- Definición de accesorios (Tipos y cantidades). Para las reducciones y ensanchamientos, se deben especificar los diámetros inicial y final.
- Se selecciona para sistema nuevo o envejecido.

2. El programa trabaja para los diámetros de tubería comerciales más comunes. Para otros tubos se puede introducir sus valores en la sección "Cálculos" o en la sección "Ductos".

3. Los materiales disponibles para tubería son PVC RDE-21 presión ( De 3/4" a 12" ), acero galvanizado, hasta 4", acero sch 40, hasta 12", manguera plástica, hasta 12", acero sch 10, hasta 12" y acero sch 80, hasta 12". Si se desea trabajar con otro material, se debe introducir el material nuevo en la sección "ductos", en la cual se debe especificar los diámetros interiores de la tubería y su rugosidad absoluta en metros.

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. Si en la sección de datos de entrada, luego de introducir el diámetro nominal de la tubería, aparece un aviso diciendo "Diámetro no disponible", es debido a que no se dispone comercialmente, por lo que hay que dar el diámetro interior del mismo en la sección "Cálculos" o en la sección "Ductos".

5. Los valores de (L/D) equivalente para accesorios utilizados por el programa son datos típicos para accesorios comunes, por lo que se prefiere utilizar los datos del fabricante si se dispone de estos.

6. Las Tees se contabilizan para un solo tramo. Una Tee común se asigna al primer tramo en el recorrido del circuito.

7. Existe la opción de ingresar accesorios que no estén listados en el programa, especificando su "K" en la celda "Otros Kes". En tal caso el correspondiente valor de "K" debe calcularse previamente. Nota:  $K = f_{\text{turbulento}} (L/D)$  equiv.

8. Se pueden ingresar otras pérdidas, tales como: filtros, torres de enfriamiento, intercambiadores de calor, placa-orificio de medición, etc. simplemente especificando el valor de las pérdidas en psi de cada uno en la sección "Otras pérdidas". Se dispone de cuatro celdas para igual número de elementos, si se supera este valor se pueden reunir varios elementos en una de las celdas.

9. Cuando el flujo en algún tramo es laminar ( $Re < 2000$ ), el programa calcula internamente las correcciones necesarias para estimar las pérdidas, mayores y menores. Para la zona de transición lo considera turbulento lo que da un cálculo algo conservador.

10. Para considerar la influencia del envejecimiento de los ductos, se selecciona la celda correspondiente para ello, con lo cual el programa multiplica por 5 la rugosidad y a su vez, reduce el diámetro en un 15%.

11. El programa calcula las pérdidas por tramos, constitutivos de una red, que puede tener ramales y circuitos cerrados. La bomba se selecciona para el circuito o ramal dominante.

12. Este programa está diseñado para agua como fluido de trabajo, pero se puede aplicar para otros fluidos incompresibles, definiendo la viscosidad y la densidad correspondientes.

13. La hoja de cálculo básica considera solo ocho (8) tramos, si el sistema analizado supera esta cantidad, se debe proceder así:

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

- Seleccionar la columna K (Último tramo del sistema básico), desde la fila 16 a la 187.
- Mover hacia la derecha la columna K (Cortar y pegar) abriendo tantos espacios como tramos adicionales se requieran (Por ejemplo hasta la columna N, si son tres adicionales), pues quedan libres la K, L y M.
- Copiar el segundo tramo (Columna E) desde la fila 16 a la 187, y pegarlos en las columnas vacías, en este caso la " N " corresponde al último tramo del circuito.
- Renombrar los tramos en la fila 19.

Nota 1 importante: El procedimiento anterior es obligatorio pues otras opciones de "Copiar y pegar o de cortar y pegar", diferentes DAÑAN el programa

Nota 2 importante: Los tramos contenidos en cada hoja de cálculo tienen que pertenecer a un mismo circuito en el caso de " loops " o a una misma ruta en sistemas ramificados. Para cada circuito y cada ruta se debe tener una hoja de cálculo diferente.

14. Para sistemas con menos tramos. Las columnas restantes se pueden llenar con valores 0.001 para flujo y el valor del último tramo con flujo diferente de cero para los niveles z1 y z2, lo que los anula automáticamente, respecto a pérdidas.

15. Código de colores

95	Dato entrada
10	Dato de entrada con lista desplegable
A-B	Información de entrada Opcional
95	Resultado de un cálculo
95	Resultado de interés
OK	Aviso de verificación
Vel. alta	Advertencia

Tabla 9: Código de colores

Este programa está basando en:

- \* Crane. Manual Flujo de Fluidos
- \* FLAPP, John E. Engineering fluid mechanics.
- \* PAVCO. Manual técnico sistema de tuberías y accesorios presión PAVCO PVC.
- \* SIMESA. Manual de instalaciones hidráulicas con tubería de acero galvanizado.

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

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CIRCUITOS HIDRÁULICOS	
Hoja de Datos de Entrada	
<b>PROYECTO:</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS</b>
<b>Operación:</b>	<b>LAVADOR GASES</b>

DATOS DE ENTRADA							
Fluido	Temp, °C	P.atm, psi	Detalle Tramos	1	2	3	4
<b>Agua</b>	25	12.4	→	<b>Tanque</b>	<b>Succión bomba</b>	<b>Bomba</b>	<b>Linea ø3/4"</b>
		Símbolo	Unidades	Valor	Valor	Valor	Valor
Fluido a transportar		-	-				
Caudal nominal		Q	gpm	6	6	6	6
Densidad del fluido		$\rho$	kg/m <sup>3</sup>	1000	1000	1000	1000
Viscosidad del agua		$\mu$ agua	kg/m-s	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093
Viscosidad para fluido diferente de agua		$\mu$ otro	kg/m-s				
Nivel nodo inicial del tramo		z1	m	0.00	0.00	0.00	2.40
Nivel nodo final del tramo		z2	m	0.00	0.00	2.40	10.90
Temperatura del fluido		T1	°C	25.0	25.0	25.0	25.0
Material de la tubería		-	-	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel
Diámetro Nominal tubería		Ø	in	0.75	0.75	0.75	0.75
Disponibilidad comercial del diámetro seleccionado		-	-	ok	ok	ok	ok
Chequeo de velocidades de flujo		-	-	ok	ok	ok	ok
Considerar efectos de envejecimiento de las tuberías (si / no)		-	-	no	no	no	no
Longitud Tubería		L	m	0.1	2.0	2.4	26.4

Tabla 10: Datos de Entrada

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

Conexiones de la bomba			
Posición de la bomba (Elemento No.)			3
Diámetro sistema entrada		in	0.75
Diámetro sistema salida		in	0.75

Tabla 11: Conexiones de la Bomba

Accesorios						
Codo 90° estandar	-	cantidad		2	1	6
Codo 90° radio largo	-	cantidad				
Codo 45° estandar	-	cantidad				
Tee flujo a lo largo	-	cantidad				
Tee flujo a escuadra	-	cantidad			1	
Unión universal	-	cantidad				
Válvula Cheque	-	cantidad				
Válvula de pie obturador ascendente	-	cantidad				
Válvula de pie obturador oscilante	-	cantidad				
Válvula mariposa	-	cantidad				
Válvula globo	-	cantidad				
Válvula Bola	-	cantidad				1
Válvula Compuerta	-	cantidad				

Tabla 12: Accesorios

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

<b>Cambios de diámetro</b>						
Reducción	-	cantidad				
Diámetro inicial	$\emptyset_i$	in				
Diámetro final	$\emptyset_f$	in				
Ensanchamiento	-	cantidad				
Diámetro inicial	$\emptyset_i$	in				
Diámetro final	$\emptyset_f$	in				
Otros Kes						
Sumatoria de otros Kes	Ke	adim				

Tabla 13: Cambios de diámetro

<b>Pérdidas por elementos adicionales</b>						
Pérdida 1	-	psi				
Pérdida 2	-	psi				
Pérdida 3	-	psi				
Pérdida 4	-	psi				

Tabla 14: Pérdidas por elementos adicionales

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

RESULTADOS						
Caudal	Q	gpm m <sup>3</sup> /h	6 1	6 1	6 1	6 1
Material	-	-	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel
Diámetro Nominal	Ø	in	0.75	0.75	0.75	0.75
Velocidad	v	m/s	1.1	1.1	1.1	1.1
Viscosidad dinámica	μ	kg/m-s	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093
Número Reynolds	Re	adim	2.53E+04	2.53E+04	2.53E+04	2.53E+04
Carácter flujo	-	-	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento
Pérdidas Mayores en la conducción		m líquido	0.01	0.18	0.22	2.37
Pérdidas Menores en la conducción		m líquido	0.00	0.11	0.23	0.36
Total de Pérdidas en la conducción	Ht	m líquido psig	0.01 0.01	0.29 0.42	0.44 0.63	2.73 3.87
Diferencia nivel entre entrada y salida en cada tramo	z2-z1	m líquido	0.00	0.00	2.40	8.50
Cabeza de velocidad		m líquido	0.065	0.065	0.065	0.065

Tabla 15: Resultados

DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES EN LA LINEA SEGÚN EL PUNTO DE OPERACIÓN REAL						
Pérdidas Mayores reales		m líquido	0.2	3.3	3.9	42.9
Pérdidas Menores reales		m líquido	0.0	2.0	4.1	6.5
Total de Pérdidas en la conducción	Ht	m líquido	0.2	5.3	8.0	49.4
Cabeza al inicio del tramo	Ho	m líquido	0.0	-0.2	-5.5	57.9
Cabeza al final del tramo	Hf	m líquido	-0.2	-5.5	57.9	0.0
Presión al inicio del tramo	Po	psi	0.0	-0.2	-7.7	82.2
Presión al final del tramo	Pf	psi	-0.2	-7.7	82.2	0.0

Tabla 16: Distribución de presiones en la línea según el punto de operación real

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

CÁLCULOS						
	Símbolo	Unidades	Valor	Valor	Valor	Valor
Diámetro Interior de la tubería	$\varnothing_i$	in	0.82	0.82	0.82	0.82
Caudal	Q	gpm m <sup>3</sup> /h	6	6	6	6
			1	1	1	1
Velocidad	v	m/s	1.1	1.1	1.1	1.12
Viscosidad de trabajo	$\mu$ trabajo	kg/m-s	0.00093	0.00093	0.00093	0.00093
Número Reynolds	Re	adim	2.53E+04	2.53E+04	2.53E+04	2.53E+04
Carácter flujo	-	-	Turbulento	Turbulento	Turbulento	Turbulento
Rugosidad absoluta	$\epsilon$	m	0.000046	0.000046	0.000046	0.000046
Rugosidad relativa	$\epsilon/\varnothing_i$	adim	0.00220	0.00220	0.00220	0.00220
Factor fricción (1a iteración)	f (1)	adim	0.0300	0.0300	0.0300	0.0300
Factor fricción (2a iteración)	f (2)	adim	0.0291	0.0291	0.0291	0.0291
Factor fricción calculado	f calc	adim	0.0291	0.0291	0.0291	0.0291
<b>Reducción</b>						
Diámetro interior inicial	$\varnothing_i$	in				
Diámetro interior final	$\varnothing_f$	in				
K Reducción	K	adim	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>Ensanchamiento</b>						
Diámetro interior inicial	$\varnothing_i$	in				
Diámetro interior final	$\varnothing_f$	in				
K ensanchamiento	K	adim	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabla 17: Cálculos



MATERIAL			Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch40 carbon steel
$\varphi_{nom}$ , in	$\varnothing$ nom, mm		Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)
0.25	6.35	->	0.36	0.36	0.36	0.36
0.375	9.53	->	0.49	0.49	0.49	0.49
0.5	12.70	->	0.62	0.62	0.62	0.62
0.75	19.05	->	0.82	0.82	0.82	0.82
1	25.40	->	1.05	1.05	1.05	1.05
1.25	31.75	->	1.38	1.38	1.38	1.38
1.5	38.10	->	1.61	1.61	1.61	1.61
2	50.80	->	2.07	2.07	2.07	2.07
2.5	63.50	->	2.47	2.47	2.47	2.47
3	76.20	->	3.07	3.07	3.07	3.07
3.5	88.90	->	3.55	3.55	3.55	3.55
4	101.60	->	4.03	4.03	4.03	4.03
5	127.00	->	5.05	5.05	5.05	5.05
6	152.40	->	6.07	6.07	6.07	6.07
8	203.20	->	7.98	7.98	7.98	7.98
10	254.00	->	10.02	10.02	10.02	10.02
12	304.80	->	11.94	11.94	11.94	11.94
14	355.60	->	13.12	13.12	13.12	13.12
16	406.40	->	15.00	15.00	15.00	15.00
18	457.20	->	16.88	16.88	16.88	16.88
20	508.00	->	18.81	18.81	18.81	18.81
22	558.80	->	0.00	0.00	0.00	0.00
24	609.60	->	22.62	22.62	22.62	22.62
Rugosidad absoluta	$\epsilon$	m	0.0000460	0.0000460	0.0000460	0.0000460

Tabla 18: Material

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

<b>PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CIRCUITOS HIDRÁULICOS</b>	
Hoja de Resultados	
<b>PROYECTO:</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS</b>
<b>Operación:</b>	<b>LAVADOR GASES</b>

DATOS NOMINALES REQUERIDOS			
Caudal nominal	Q	m <sup>3</sup> /h	<b>1</b>
		gpm	<b>6</b>
Pérdidas totales del circuito debidas a las conducciones	H <sub>t</sub>	m líquido	<b>3</b>
		psi	<b>5</b>
Otras pérdidas	H'	m líquido	<b>0.0</b>
		psi	<b>0.0</b>
Elevación	z <sub>2</sub> -z <sub>1</sub>	m	<b>10.9</b>
Cabeza total del sistema	H	m líquido	<b>14</b>
		psi	<b>20</b>
		ft líquido	<b>47</b>

DATOS CORREGIDOS CON EL PUNTO DE OPERACIÓN REAL			
Caudal de operación real	Q	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>6</b>
Cabeza real de operación	H	<b>m líquido</b>	<b>66</b>
Potencia hidráulica de la bomba	Pot.	HP	<b>1</b>
		kW	<b>1</b>
Potencia necesaria en el motor	Pot.	HP	<b>2</b>

Tabla 19: Datos nominales requeridos y datos corregidos con el punto de operación real

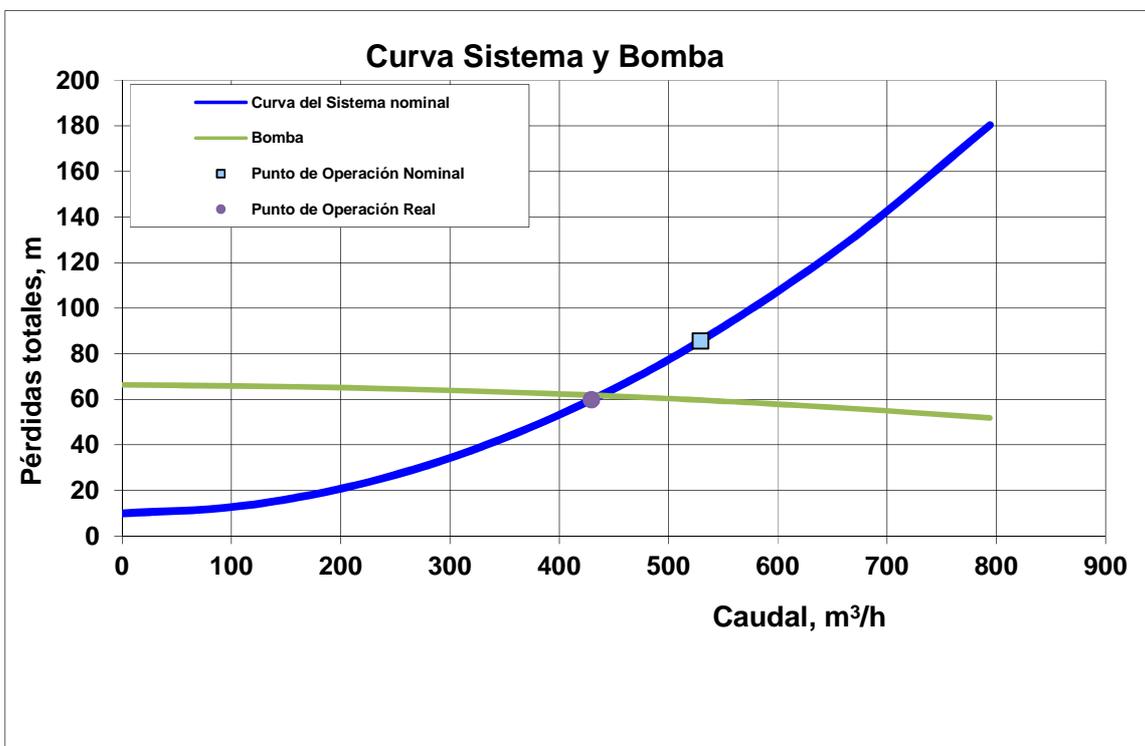


Tabla 20: Curva sistema y bomba

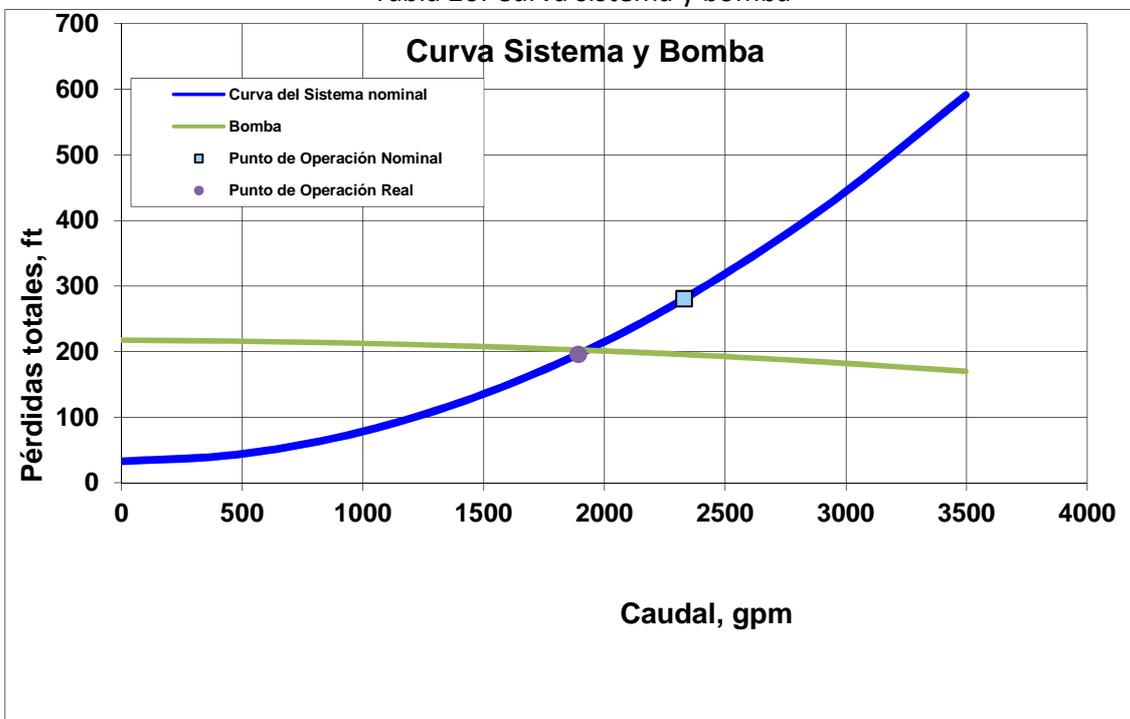


Tabla 21: Curva sistema y bomba

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

Pérdidas por conexiones de la bomba	Símbolo	Unidades	Valor
Caudal de bombeo de diseño	Q	m <sup>3</sup> /hr	1
Velocidad de entrada bomba	V <sub>inB</sub>	m/s	0.0
Velocidad de salida bomba	V <sub>outB</sub>	m/s	0.0
Velocidad de entrada sistema	V <sub>inS</sub>	m/s	1.4
Velocidad de salida sistema	V <sub>outS</sub>	m/s	1.4
K de entrada ensanchamiento	K	adim.	504257.790
K de entrada estrechamiento	K	adim.	-355.056
K de salida estrechamiento	K	adim.	-173.722
K de salida ensanchamiento	K	adim.	120717.642
HV entrada bomba	Hv	m	0.00
HV salida bomba	Hv	m	0.00
HV entrada sistema	Hv	m	0.09
HV salida sistema	Hv	m	0.09
Pérdidas de entrada	-	m	0.09
Pérdidas de salida	-	m	0.09
Pérdidas por transiciones entrada y salida bombas	H <sub>B</sub>	m	0.19

Tabla 22: Pérdidas por conexiones de la bomba

CURVA DEL SISTEMA			
Caudal nominal	Q	m <sup>3</sup> /h	1
		gpm	6
Caudal de diseño	Q <sub>d</sub>	m <sup>3</sup> /h	2
		gpm	7
Pérdidas del circuito nominal	H <sub>t</sub>	psi	20.40
		m líquido	14.37
Pérdidas del circuito por diseño	H <sub>t</sub>	psi	24.69
		m líquido	17.39
K sistema nominal	K <sub>sist</sub>	m / (m <sup>3</sup> /h) <sup>2</sup>	1.795625
K sistema de diseño	K <sub>sist-d</sub>	m / (m <sup>3</sup> /h) <sup>2</sup>	2.774759
Cabeza estática	z <sub>2</sub> -z <sub>1</sub>	m líquido	10.90
Cabeza total requerida sin F.D	H <sub>t</sub>	m líquido	14.37
		ft líquido	47
Cabeza total requerida con F.D	H <sub>t</sub>	m líquido	15.16
		ft líquido	50
Caudal del punto de operación real	Q <sub>R</sub>	m <sup>3</sup> /h	<b>5.56</b>
		gpm	24
Variar Q <sub>R</sub> para que valor de celda=0			0.00
Cabeza del punto de operación real	H <sub>R</sub>	m líquido	<b>66.34</b>
		ft líquido	218

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

Flujo		Curva del Sistema nominal		Bomba	
Caudal, m <sup>3</sup> /h	Caudal, gpm	Cabeza, m	Cabeza, ft	Cabeza, m	Cabeza, ft
0.0	0.0	10.90	35.74	66.36	217.56
0.3	1.2	11.04	36.19	66.36	217.56
0.6	2.4	11.46	37.56	66.36	217.56
0.8	3.7	12.15	39.83	66.35	217.56
1.1	4.9	13.12	43.02	66.35	217.55
1.4	6.1	14.37	47.11	66.35	217.55
1.7	7.6	16.32	53.51	66.35	217.55
2.1	9.2	18.71	61.33	66.35	217.54

Tabla 23: Curva del sistema

PROGRAMA PARA CÁLCULO DE PÉRDIDAS EN CIRCUITOS HIDRÁULICOS	
Hoja de Datos de la Bomba	
<b>PROYECTO:</b>	<b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS</b>
<b>Operación:</b>	<b>LAVADOR GASES</b>

DATOS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA			
Factor de diseño en caudal para la selección de la bomba	F.D.Q	adim	1.10
Factor de diseño en cabeza para la selección de la bomba	F.D.H	adim	1.21
Factor de diseño en la potencia para el motor	F.D.P	adim	1.15
Total pérdidas circuito	$\Sigma H_f$	psi	5
Cabeza requerida para la bomba	H	m líquido	15
		psi	22
		ft	50
Caudal de diseño requerido para la bomba	Q	m <sup>3</sup> /h	2
		gpm	7
Potencia hidráulica requerida en la bomba	Pot.	HP	0.08
		kW	0.06
Eficiencia de la bomba	$\eta_B$	%	85
Potencia necesaria en el motor	Pot.	HP	0.11
NPSH disponible (Solo para agua)	NPSH	m agua	3.53

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

DATOS PARA CONSTRUIR LA CURVA DE LA BOMBA			
Referencia Bomba			
Numero de Bombas a usar en Paralelo		#.B	1
Diámetro succión bomba		in	20.00
Diámetro descarga bomba		in	14.00
Velocidad nominal de la bomba correspondientes a los puntos ingresados	N <sub>nom</sub>	rpm	1800
Velocidad requerida de la bomba	N <sub>req</sub>	rpm	1770

			Punto No. 1	Punto No. 2	Punto No. 3	Punto No. 4
Caudal de una bomba	Q	gpm	0	1000	2500	4000
		m <sup>3</sup> /h	0	227	568	908
Caudal del conjunto de bombas	Q	gpm	0	983	2458	3933
		m <sup>3</sup> /h	0	223	558	893
Cabeza del conjunto de bombas	H	ft	225	220	200	163
		m	66	65	59	48

Curva de Interpolación	$H=a+b.Q+c.Q^2+d.Q^3$	a	b	c	d
Coeficientes		66.356563	-0.0025690	-0.0000174	0.00000000

Tabla 24: Datos para la selección bomba y para construir la curva de la bomba

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

DUCTOS						
Diámetros interiores para los distintos tipos de tubería disponible						
MATERIAL	PVC RDE-21	Manguera	Sch80 carbon steel	Sch40 carbon steel	Sch10 stainless steel	Galvanizado
Diámetro Nominal	Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)	Diam int (in)
1/4		0.250	0.302	0.364	0.410	0.363
3/8		0.375	0.423	0.493	0.545	0.517
1/2		0.500	0.546	0.622	0.674	0.645
3/4	0.930	0.750	0.742	0.824	0.884	0.873
1	1.189	1.000	0.957	1.049	1.097	1.091
1 1/4	1.502	1.250	1.275	1.380	1.442	1.435
1 1/2	1.720	1.500	1.500	1.610	1.682	1.672
2	2.149	2.000	1.939	2.067	2.153	2.107
2 1/2	2.601	2.500	2.323	2.469	2.635	2.552
3	3.166	3.000	2.900	3.068	3.260	3.182
3 1/2		3.500	3.364	3.548	3.760	
4	4.072	4.000	3.826	4.026	4.260	4.152
5		5.000	4.813	5.047	5.295	
6	5.993	6.000	5.761	6.065	6.357	
8	7.805	8.000	7.625	7.981	8.329	
10	9.728	10.000	9.562	10.020	10.420	
12	11.540	12.000	11.374	11.938	12.390	
14			12.500	13.124	13.624	
16			14.312	15.000	15.624	
18			16.124	16.876	17.624	
20			17.938	18.812	19.564	
22			19.750		21.564	
24			21.562	22.624	23.500	

Rugosidad absoluta (m), $\epsilon$	0.0000015	0.0000500	0.0000460	0.0000460	0.0000460	0.0000460
------------------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------

Tabla 25: Diámetros interiores para los distintos tipos de tubería disponible

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

<b>Valores de (L/D) para diferentes accesorios en flujo turbulento</b>			
Codo 90° estandar	-	adim	30
Codo 90° radio largo	-	adim	20
Codo 45° estandar	-	adim	16
Tee 90° a flujo	-	adim	30
Tee 90° a escuadra	-	adim	90
Unión universal	-	adim	10
Válvula Cheque	-	adim	100
Válvula de pie obturador ascendente	-	adim	420
Válvula de pie obturador oscilante	-	adim	75
Válvula mariposa	-	adim	45
Válvula globo	-	adim	340
Válvula Bola	-	adim	10
Válvula Compuerta	-	adim	13

Tabla 26: Valores de (L/D) para diferentes accesorios en flujo turbulento



Institución Universitaria

INFORME FINAL DE  
TRABAJO DE GRADO

Código

FDE 089

Versión

03

Fecha

2015-01-27

Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - ASME/ANSI B36.10/19														
Inside diameter (inches)														
Sch ->	10	20	30	40	60	80	100	120	140	160	5S	10S	40S	80S
Pipe Size (inches)														
1/8				0.269		0.215						0.307	0.269	0.215
1/4				0.364		0.302						0.410	0.364	0.302
3/8				0.493		0.423						0.545	0.493	0.423
1/2				0.622		0.546				0.466	0.710	0.674	0.622	0.546
3/4				0.824		0.742				0.612	0.920	0.884	0.824	0.742
1				1.049		0.957				0.815	1.185	1.097	1.049	0.957
1 1/4				1.380		1.278				1.160	1.530	1.442	1.380	1.278
1 1/2				1.610		1.500				1.338	1.770	1.682	1.610	1.500
2				2.067		1.939				1.687	2.245	2.157	2.067	1.939
2 1/2				2.469		2.323				2.125	2.709	2.635	2.469	2.323
3				3.068		2.900				2.624	3.334	3.260	3.068	2.900
3 1/2				3.548		3.364					3.834	3.760	3.548	3.364
4				4.026		3.826		3.624		3.438	4.334	4.260	4.026	3.826
5				5.047		4.813		4.563		4.313	5.345	5.295	5.047	4.813
6				6.065		5.761		5.501		5.187	6.407	6.357	6.065	5.761
8		8.125	8.071	7.981	7.813	7.625	7.437	7.187	7.001	6.813	8.407	8.329	7.981	7.625
10		10.250	10.136	10.020	9.750	9.562	9.312	9.062	8.750	8.500	10.482	10.420	10.020	9.750
12		12.250	12.090	11.938	11.626	11.374	11.062	10.750	10.500	10.126	12.438	12.390	12.000	11.750
14	13.500	13.376	13.250	13.124	12.812	12.500	12.124	11.812	11.500	11.188	13.688	13.624		
16	15.500	15.376	15.250	15.000	14.688	14.312	13.938	13.562	13.124	12.812	15.670	15.624		
18	17.500	17.376	17.124	16.876	16.500	16.124	15.688	15.250	14.876	14.438	17.670	17.624		
20	19.500	19.250	19.000	18.812	18.376	17.938	17.438	17.000	16.500	16.062	19.624	19.564		
22	21.500	21.250	21.000		20.250	19.750	19.250	18.750	18.250	17.750	21.624	21.564		
24	23.500	23.250	22.876	22.624	22.062	21.562	20.938	20.376	19.876	19.312	23.564	23.500		
26	25.376	25.000												
28	27.376	27.000	26.750											
30	29.376	29.000	28.750								29.500	29.376		
32	31.376	31.000	30.750	30.624										

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

34	33.312	33.250	32.750	32.624										
36	35.376	35.000	34.750	34.500										
42		41.000	40.720	40.500										

Tabla 27: Carbon, Alloy and Stainless Steel Pipes - ASME/ANSI B36.10/19

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

## SISTEMA DE CONTROL

Para el sistema de control se desarrolló un listado de señales el cual nos permite identificar las entradas y salidas analógicas y digitales del proceso tales como (sensores, switches, transmisores, válvulas y bombas etc.) para saber el tipo y cantidad de conexiones requeridas en el plc o módulo de entradas y salidas adicionales ver (Tabla 28 listado de señales). Luego de tener el listado de señales podemos desarrollar los siguientes planos:

Plano de conexionado interno del tablero de control e instrumentación en el cual se indica las conexiones tanto de los instrumentos ubicados en campo como motores válvulas etc., con las borneras internas del tablero, el plc y sus módulos (ver anexo 6).

Plano distribución interna tablero de control en el cual se indica el listado de materiales requerido para el sistema de control, dimensiones reales de los elementos internos (borneras, plc, módulos, minibreakers, barra de tierra etc.) con el fin de dimensionar el tablero (ver anexo 7).

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

<h2>LISTADO DE SEÑALES</h2>	<b>Proyecto</b>  SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS
-----------------------------	---

Rev	Fecha	Revisión	Elaboró
A	31/03/2016	Emitido para revisión interna	JULIAN DAVID CANO TAVERA

ITEM	TAG	DESCRIPCION	PLC(Maestro) / IO(Eslavos)	TIPO SEÑAL	FORMATO DE SEÑAL	PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	REFERENCIA	POSICION
1	TS	SWITCH DE TEMPERATURA	TABLERO I/O	DI	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
2	TT-1	TRANSMISOR INDICADOR DE TEMPERATURA ENTRADA GAS	TABLERO I/O	AI	4-20mA	N/A	212-1HD30-0XB0	0
3	TT-2	TRANSMISOR INDICADOR DE TEMPERATURA SALIDA GAS	TABLERO I/O	AI	4-20mA	N/A	212-1HD30-0XB0	0
4	LSLL	SWITCH NIVEL BAJO BAJO	TABLERO I/O	DI	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
5	LSL	SWITCH NIVEL BAJO	TABLERO I/O	DI	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
6	LSH	SWITCH NIVEL ALTO	TABLERO I/O	DI	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0

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

7	PSL	SWITCH PRESION BAJA	TABLERO I/O	DI	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
8	PUMP	BOMBA SUMINISTRO AGUA	TABLERO I/O	DO	120 VAC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
10	FV-1	VALVULA ACTUADA SUMINISTRO AIRE	TABLERO I/O	DO	120 VAC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
9	FV-2	VALVULA ACTUADA SUMINISTRO AGUA	TABLERO I/O	DO	120 VAC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
11	P1	PILOTO INDICADOR DE NIVEL BAJO BAJO	TABLERO I/O	DO	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
12	P2	PILOTO INDICADOR DE NIVEL BAJO	TABLERO I/O	DO	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0
13	P3	PILOTO INDICADOR DE NIVEL ALTO	TABLERO I/O	DO	24 VDC	N/A	212-1HD30-0XB0	0

**NOTAS**

<b>1</b>	Tipo de señal: (A) Análoga, (D) Digital, (AO) Salida Analógica, (AI) Entrada Analógica, (DO) Salida Digital, (DI) Entrada Digital, (DI-F) Entrada Digital Rápida.
----------	---

Tabla 28: Listado de Señales

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

La Programación se desarrolló en simatic step 7, software aprendido durante el curso control lógico 2 y redes de comunicación industrial, el cual solo es aplicable en el PLC Siemens® 300, se seleccionó un plc Siemens® 1200 el cual es más económico pero funciona con el software TIA portal el cual tiene diferencias en la programación con el simatic step 7, este plc tiene la capacidad para soportar las señales utilizadas en el proceso con un amplio porcentaje de reservas por si el cliente desea hacer conexiones futuras en este plc.

En las figuras 20, 21, 22, 23, 24, 25 y 26 se observan 3 ventanas:

En la ventana principal (KOP/AWL/FUP) se observa el diagrama en sistema KOP o cascada en modo de simulación (color verde) y la descripción de cada segmento.

En la ventana (var) tabla de variables, podemos observar las entradas (E 124.0 a E 124.3) y salidas (A 124.0 a A 124.4), su respectiva descripción y el estado de la señal de entrada o salida (true o false).

En la ventana (S7-PLCSIM1 simulador) se observan 4 sub ventanas (CPU, MB 1, EB 124, AB 124). La sub ventana CPU muestra el estado de la simulación RUN-P, RUN, STOP, el estado RUN-P significa que se pueden hacer cambios en el programa con el simulador encendido. La sub ventana MB 1 muestra el estado de las marcas, La sub ventana EB 124 muestra el estado de las entradas, La sub ventana AB 124 muestra el estado de las salidas.

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

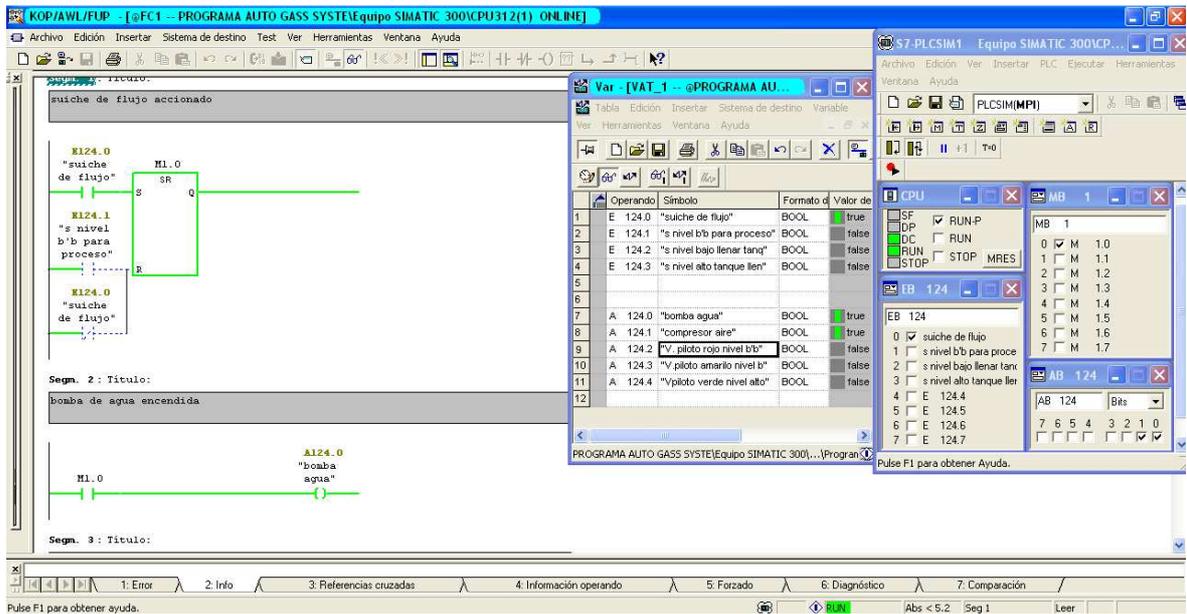


Figura 20: Suiche de Flujo y bomba agua encendida

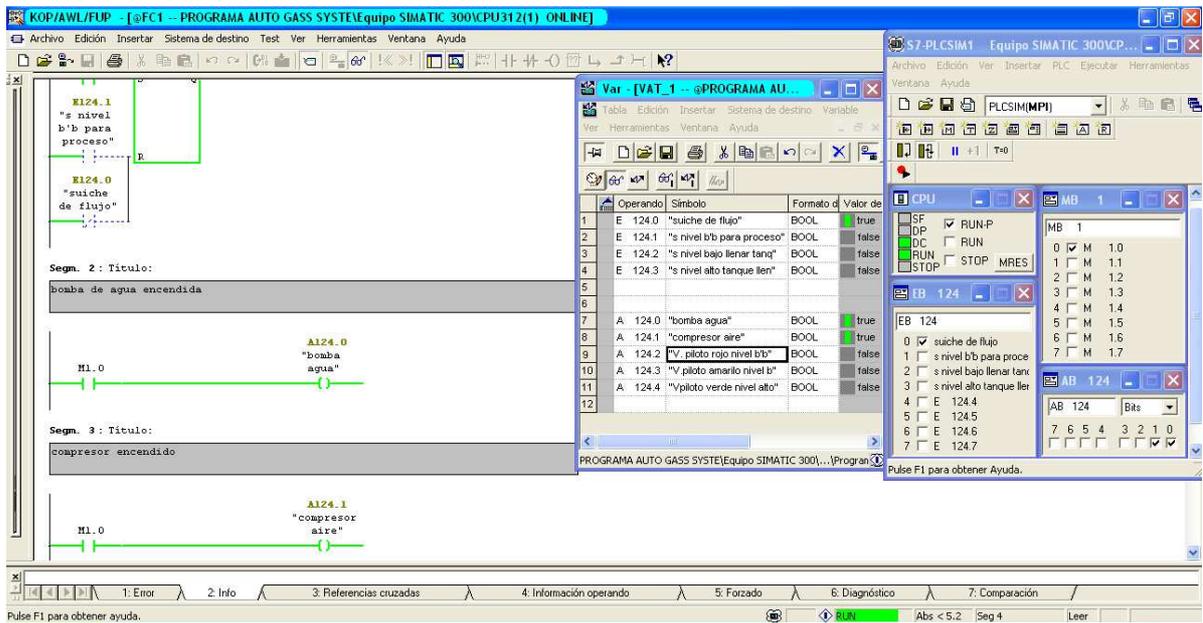


Figura 21: Suiche de Flujo, Bomba agua y compresor encendidos

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

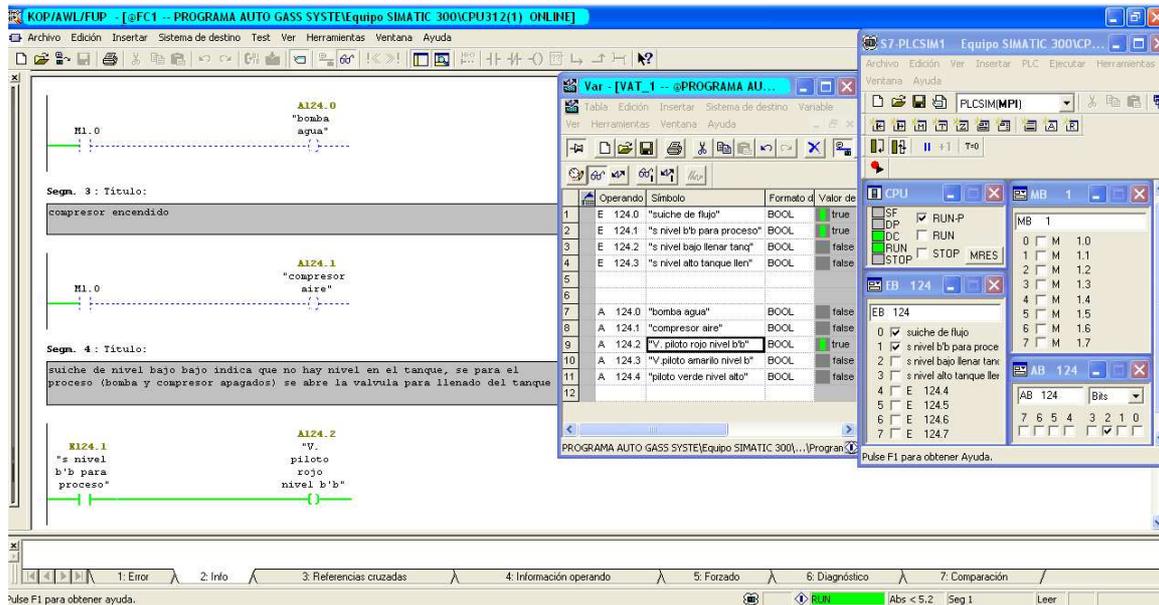


Figura 22: Suiche de nivel bajo accionado, piloto rojo y válvula de agua encendidos

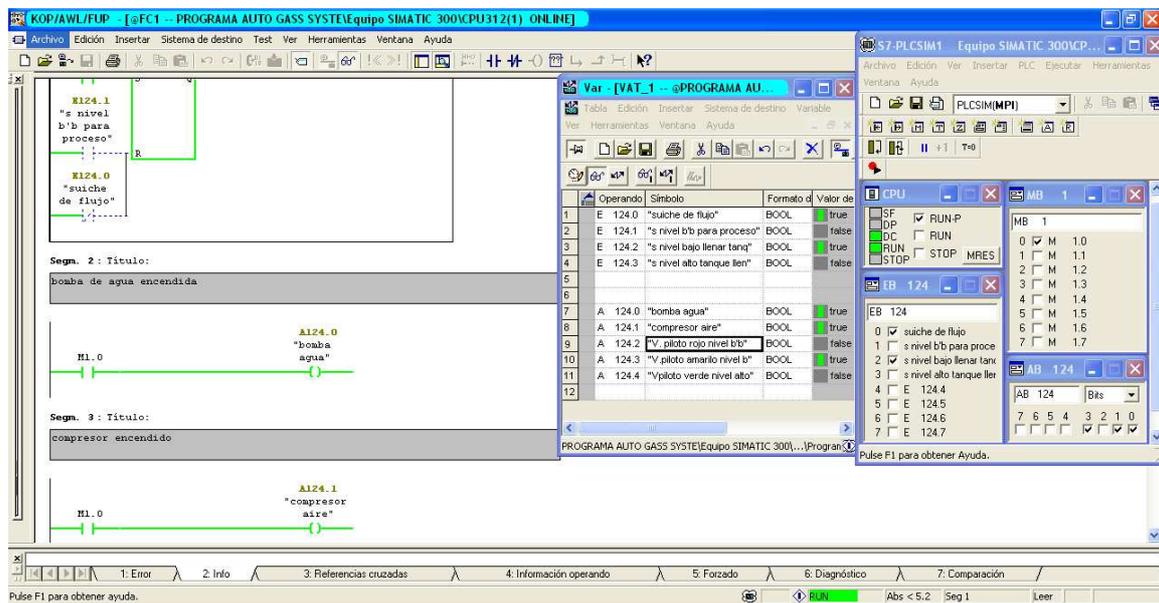


Figura 23: Suiche de Flujo y Suiche de nivel bajo accionados, Bomba agua y compresor encendidos

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

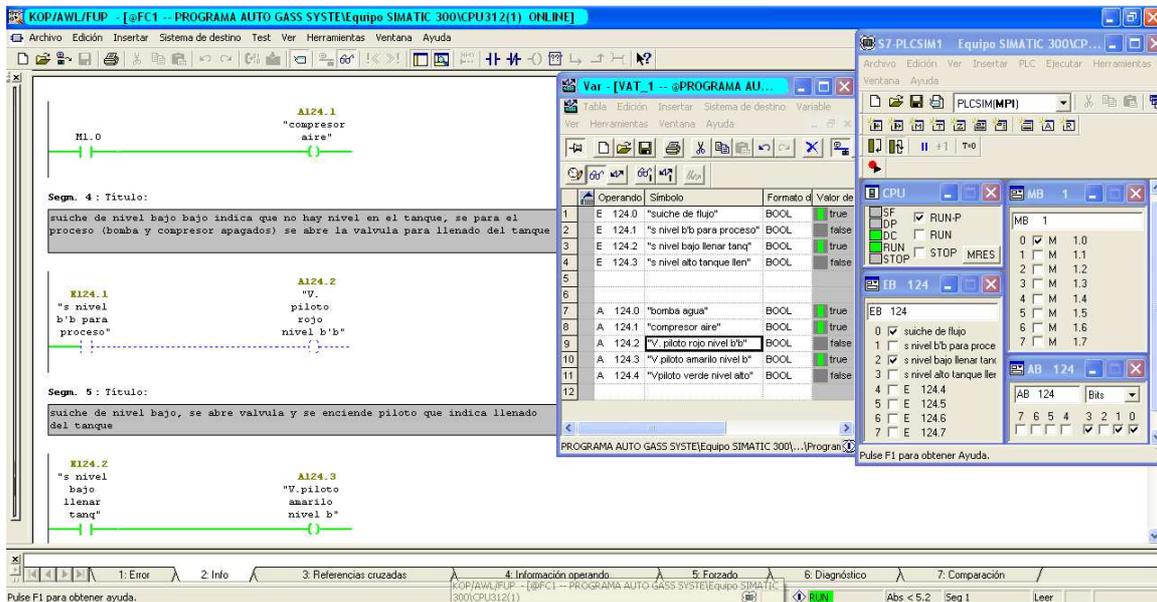


Figura 24: Suiche de nivel bajo accionado, piloto amarillo y válvula de agua encendidos

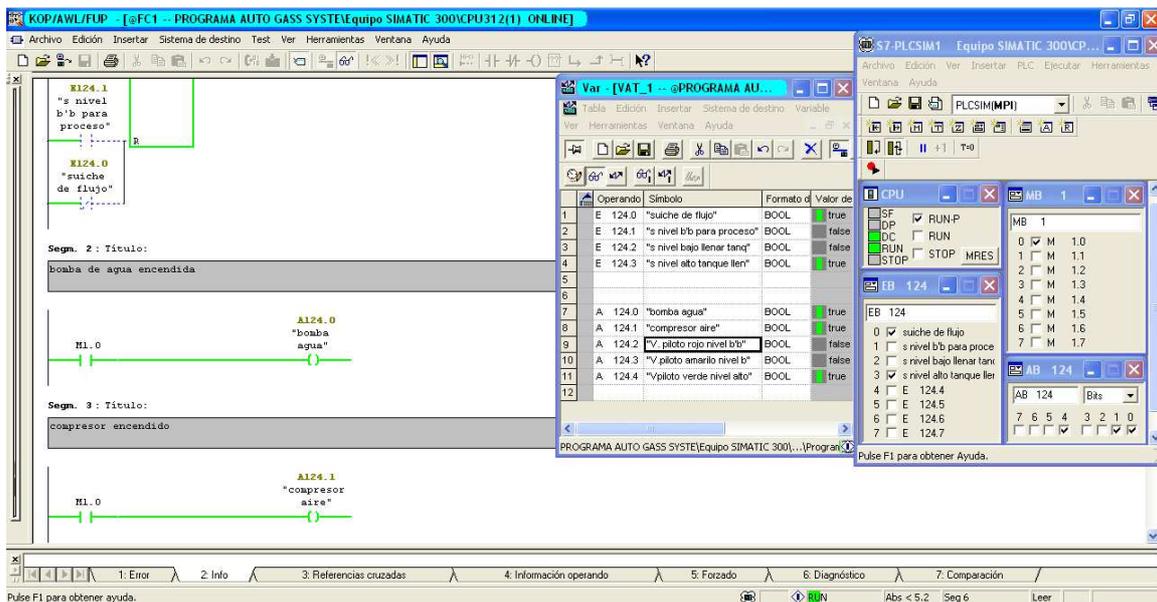


Figura 25: Suiche de flujo y Suiche de nivel alto accionados, Bomba agua y compresor encendidos

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

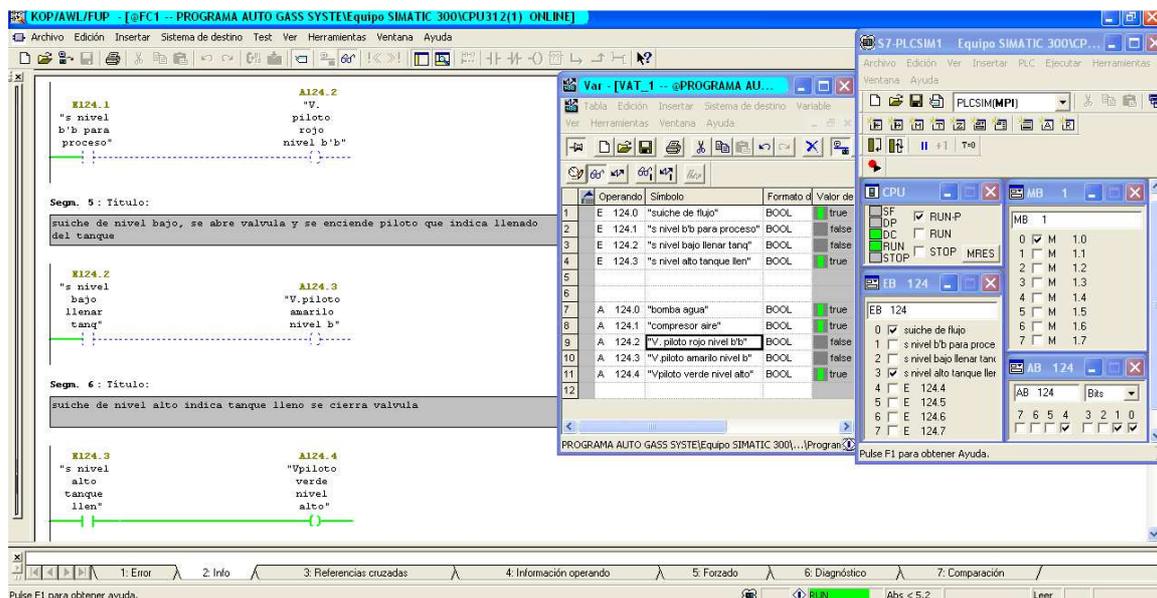


Figura 26: Suiche de nivel alto accionado, piloto verde encendido y válvula de agua cerrada

### DIAGRAMA UNIFILAR

Se deben obtener los planos de la zona o realizar un levantamiento de campo antes de desarrollar el diseño de la red eléctrica. El diseño de esta depende de la zona donde se va a instalar con el fin de garantizar la adecuada instalación de las canalizaciones eléctricas (bandejas portacables y tuberías) y de los equipos en la subestación eléctrica, el diseño propuesto se realizó con una distancia promedio de 20 m para el cálculo de regulación y definir los conductores, la selección de equipos eléctricos tales como switch gear de media tensión, transformadores, centro de control de motores, tableros de distribución y tablero arrancador suave no hicieron parte del alcance del proyecto (ver anexo 8).

### NOTAS

- XX ka: corriente corto cto entregada por el operador de red.
- Se utilizó un factor de potencia de 0.9 en el diseño del diagrama unifilar.
- En el diseño de la red eléctrica hay 4 niveles de tensión, debido a que fueron los obtenidos en la selección de equipos mecánicos.
- Para el cálculo de la selección de los conductores se asumió una distancia promedio de 20m desde los tableros hasta las cargas finales.
- Las corrientes de las cargas motrices fueron sacadas de la tabla 430-150 página 357 de la NTC 2050 (ver figura 27).

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

**VENTILADOR:** ver cálculo ventilador

DESCRIPCION	VOLTAJE (V)	POTENCIA (kW)
VENTILADOR	6600	1312.7

**BOMBA:**

DESCRIPCION	VOLTAJE (V)	POTENCIA (kW)
BOMBA	127	0.1865

$I_n$  = Corriente nominal

$I_n = 4.4$  A por tabla 430-150 pagina 357 NTC 2050 (ver figura 27). (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 1996)

Protección:  $I_n \times 2$  corriente de arranque

Protección =  $I_n \times 2 \rightarrow 4.4 \times 2 = 8.8$  A Se utiliza estandarizado de 20 A

Arranque directo: contactor =  $I_n \times 1.25 \rightarrow 4.4 \times 1.25 = 5.5$  A  $\approx 9$  A

termico =  $I_n \times 1.15 \rightarrow 4.4 \times 1.15 = 5.06$  A

**SECADOR:**

DESCRIPCION	VOLTAJE (V)	POTENCIA (kW)
SECADOR	230	3.7

$I_n$  = Corriente nominal

$I_n = 15.2$  A por tabla 430-150 pagina 357 NTC 2050 (ver figura 27). (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 1996)

Protección =  $I_n \times 1.25 \rightarrow 15.2 \times 1.25 = 19$  A  $\approx 20$  A

**ML-1:**

$I_n$  = Corriente nominal

Potencia = 15 kVA  $\approx 13.5$  kW

$$I_n = \frac{13500 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 230 \times 0.90} = 37.65 \text{ A}$$

Protección =  $I_n \times 1.25 \rightarrow 37.65 \times 1.25 = 47.06$  A  $\approx 50$  A

$I_{cc}$  = Corriente corto circuito

$S_{cc}$  = potencia corto circuito en MVA

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

$Z_{cc}$ = impedancia corto circuito para transformadores de baja tensión=4%

$V_{ll}$ = voltaje de línea en kV= 0.23 kV

$$I_{cc} = \frac{\frac{S_{cc}}{Z_{cc}}}{\sqrt{3} \times V_{ll}} = \frac{\frac{0.015 \text{ MVA}}{0.04}}{\sqrt{3} \times 0.23 \text{ kV}} = 0.94 \approx 10 \text{ kA}$$

### TRF-3:

30% reserva expansión futura

Capacidad = 3.7 kW + 0.1865 kW = 3.8865 kW  $\approx$  4.31 kVA x 1.3 = 5.61 kVA

Capacidad = 5.61 kVA x 1.25  $\approx$  7.01 kVA  $\approx$  15 kVA

$I_n = 15 \text{ kVA} \times 0.9 \approx 13.5 \text{ kW}$

$$I_n = \frac{13500 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 480 \times 0.90} = 18.04 \text{ A}$$

Nota: el transformador es  $\Delta Y$  por qué la red de EPM llega en  $\Delta$

### COMPRESOR:

DESCRIPCION	VOLTAJE (V)	POTENCIA (kW)
COMPRESOR	460	7.5

$I_n=14 \text{ A}$  por tabla 430-150 pagina 357 NTC 2050 (ver figura 27). (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 1996)

Protección =  $I_n \times 1.25 \rightarrow 14 \times 1.25 = 17.5 \text{ A} \approx 20 \text{ A}$

### VALVULA:

DESCRIPCION	VOLTAJE (V)	POTENCIA (kW)
VALVULA	460	0.9

$I_n=3 \text{ A}$  por tabla 430-150 pagina 357 NTC 2050 (ver figura 27). (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 1996)

Protección =  $I_n \times 2 \rightarrow$  corriente de arranque

Protección =  $I_n \times 2 \rightarrow 3 \times 2 = 6 \text{ A} \approx 20 \text{ A}$

Arranque directo: contactor =  $I_n \times 1.25 \rightarrow 3 \times 1.25 = 3.75 \text{ A} \approx 9 \text{ A}$

termico =  $I_n \times 1.15 \rightarrow 3 \times 1.15 = 3.45 \text{ A}$

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

### CCM-1:

$I_n$  = Corriente nominal

$$Potencia = 45 \text{ kVA} \approx 40.5 \text{ kW}$$

$$I_n = \frac{40500 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 480 \times 0.90} = 54.12 \text{ A}$$

$$Protección = I_n \times 1.25 \rightarrow 54.12 \times 1.25 = 67.65 \text{ A} \approx 80 \text{ A}$$

$I_{cc}$  = Corriente corto circuito

$S_{cc}$  = potencia corto circuito en MVA

$Z_{cc}$  = impedancia corto circuito para transformadores de baja tensión = 6%

$V_{ll}$  = voltaje de línea en kV = 0.48 kV

$$I_{cc} = \frac{\frac{S_{cc}}{Z_{cc}}}{\sqrt{3} \times V_{ll}} = \frac{\frac{0.045 \text{ MVA}}{0.06}}{\sqrt{3} \times 0.48 \text{ kV}} = 0.9 \approx 10 \text{ kA}$$

### TRF-2:

30% reserva expansión futura

$$Capacidad = 15 \text{ kVA} + 8.33 \text{ kVA} + 1 \text{ kVA} = 24.33 \text{ kVA} \times 1.3 = 31.62 \text{ kVA}$$

$$Capacidad = 31.62 \text{ kVA} \times 1.25 \approx 39.53 \text{ kVA} \approx 45 \text{ kVA}$$

$$I_n = 45 \text{ kVA} \times 0.9 \approx 40.5 \text{ kW}$$

$$I_n = \frac{40500 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 13200 \times 0.90} = 1.96 \text{ A}$$

Nota: el transformador es  $\Delta Y$  por qué la red de EPM llega en  $\Delta$

### TAS-1:

$I_n$  = Corriente nominal

$$Potencia = 1312.7 \text{ kW}$$

$$I_n = \frac{1312700 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 6600 \times 0.90} = 127.72 \text{ A}$$

$$Fusible = I_n \times 1.75 \rightarrow 127.72 \times 1.75 = 223 \text{ A} \approx 225 \text{ A}$$

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

**TRF-1:**

Capacidad = 1312.7 kW ≈ 1458.5 kVA

Capacidad = 1458.5 kVA x 1.25 ≈ 1823.19 kVA ≈ 2000 kVA – AN, 2600 – AF

In = 2000 kVA x 0.9 ≈ 1800 kW

$$In = \frac{1800000 \text{ W}}{\sqrt{3} \times 13200 \times 0.90} = 87.48 \text{ A}$$

Nota: el transformador es ΔY por qué la red de EPM llega en Δ

**SWITCH GEAR MT:**

Las protecciones secundarias de 630 A son las menores comercialmente para media tensión 13200 V.

La protección principal es de 1200 A, el doble de las protecciones secundarias.

		Motores de inducción de jaula de ardilla y rotor devanado. (A)							Motores sincrónicos con factor de potencia unitario*. (A)			
KW	HP	115 V	200 V	208 V	230V	460 V	575 V	2300 V	230 V	460 V	575 V	2300 V
0,373	1/2	4,4	2,5	2,4	2,2	1,1	0,9					
0,560	3/4	6,4	3,7	3,5	3,2	1,6	1,3					
0,746	1	8,4	4,8	4,6	4,2	2,1	1,7					
1,119	1-1/2	12,0	6,9	6,6	6,0	3,0	2,4					
1,492	2	13,6	7,8	7,5	6,8	3,4	2,7					
2,238	3		11,0	10,6	9,6	4,8	3,9					
3,730	5		17,5	16,7	15,2	7,6	6,1					
5,595	7-1/2		25,3	24,2	22	11	9					
7,460	10		32,2	30,8	28	14	11					
11,19	15		48,3	56,2	42	21	17					
14,92	20		62,1	59,4	54	27	22	53	26	21		
18,65	25		78,2	74,8	68	34	27					
22,38	30		92	88	80	40	32	63	32	26		
29,84	40		120	114	104	52	41	83	41	33		
37,30	50		150	143	130	65	52	104	52	42		
44,76	60		177	169	154	77	62	16	123	61	49	12
55,95	75		221	211	192	96	77	20	155	78	62	15
74,60	100		285	273	248	124	99	26	202	101	81	20
93,25	125		359	343	312	156	125	31	253	126	101	25
111,90	150		414	396	360	180	144	37	302	151	121	30
149,20	200		552	528	480	240	192	49	400	201	161	40
186,50	250					302	242	60				
223,80	300					361	289	72				
261,10	350					414	336	83				
298,40	400					477	382	95				
335,70	450					515	412	103				
373,00	500					590	472	118				

Figura 27: Tabla 430-150 Corriente a plena carga de motores trifásicos de corriente alterna. (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC, 1996)

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**PLANOS, MODELACIÓN 3D:**

La modelación 3D y los planos se desarrollaron en el software AutoCAD 2015

El sistema de bombeo incluye la red de agua, bomba, válvula y tanque de almacenamiento.

La Red de aire comprimido incluye la red de tuberías de aire, compresor, tanque pulmón de almacenamiento y válvulas.

El Sistema de extracción de gas incluye el ventilador, válvula (dámper) y la ducteria para el transporte del gas.

Boquilla de pulverización: transforma la energía total de un líquido en energía cinética. Es utilizada para descomponer el líquido en pequeñas partículas y distribuir las uniformemente de acuerdo con la distribución deseada.

En ciertos casos, la energía cinética es utilizada para conferir al líquido una mayor penetración. En otros, la boquilla permite obtener un caudal variable en función de la presión.

Tanque intercambiador de calor: está compuesto por el tanque principal y Válvulas Double Flap Airlock de Plattco ubicadas en la parte inferior (ver anexo 9).

En la modelación 3D se describe cada uno de los equipos, sistemas y la secuencia del proceso como tal, inicialmente se indica el flujo del gas resultante del proceso de fundición hacia el tanque principal donde se someterá a tratamiento por intercambio de calor, este tratamiento estará compuesto por dos sistemas:

Red de aire comprimido y red de agua; la suma de estas dos en la boquilla de pulverización es la encargada de tratar mediante transferencia de calor los gases resultantes del proceso de fundición, en la modelación se indicara el flujo y la pulverización del agua (ver anexo 10).

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Se logró el objetivo principal, el diseño de un sistema de tratamiento de gases mediante la inyección de aire y la pulverización de agua en la industria minera y de acerías

Este consta de simulación 3d en la cual se puede observar el funcionamiento del sistema, además se realizó el diseño del control por plc en simatic step 7 donde se almacena el programa de funcionamiento del equipo, planos eléctricos para la alimentación (diagrama unifilar), Plano de conexionado interno del tablero de control, Plano distribución interna tablero de control, los cuales se anexan al final del proyecto, además se realizaron los cálculos y la selección de los componentes necesarios para el funcionamiento como bombas, válvulas, instrumentos eléctricos y sensores.

Como es solo diseño en la simulación se muestra el proceso por el cual pasarían los gases que van a ser tratados rebajando sus agentes contaminantes como químicos y contaminación térmica, lo cual será beneficioso para las empresas y el ambiente si es ejecutado e implementado, ya que reducirá la contaminación y el vapor podrá ser reutilizado para el proceso que la empresa necesite bajando costos por generación de energía reaprovechando el gas en sus procesos, además la empresa estará más normalizada a las exigencias ambientales.

Para la mediana y pequeña industria no se encontraron procesos en los cuales se involucre el objetivo de este proyecto que solo consta de la etapa de diseño pero que a futuro puede ser implementado en muchos procesos industriales que involucren emisiones de gases.

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

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

### CONCLUSIONES

- En este trabajo se realizó el diseño de un sistema de tratamiento de gases mediante la inyección de aire y la pulverización de agua en la industria minera y de acerías considerando los requerimientos técnicos relacionados con la normatividad colombiana.
- Se Realizó una consulta teórica sobre el estado actual de la normativa ambiental sobre emisiones para las industrias dedicadas a la minería y acerías en Colombia, información que se implementó en este proyecto, de esta manera se ha contribuido a la protección del ambiente mediante.
- Mediante la de recopilación de información se obtuvieron datos técnicos de un proceso industrial similar.
- Se desarrolló el diseño termodinámico, mecánico, eléctrico y de control, de un sistema de control ambiental basado en la inyección de aire comprimido y pulverización de agua.
- Se analizó comparativamente el sistema propuesto con los demás sistemas utilizados en la pequeña y mediana industria, no se encontraron procesos similares, por esta razón se hace viable este proyecto para promover su uso masivo.
- Los resultados finales del diseño termodinámico se verificaron y se tienen niveles aceptables en las emisiones de gases y descargas de residuos industriales líquidos a Sistemas de Alcantarillado de esta manera se cumple con la normativa ambiental vigente en Colombia.
- La aplicación de este proyecto no solo es útil en la industria del acero o la minería, ya que se podría implementar en cualquier proceso en el cual se produzcan emisiones de

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

gases y quieran ser aprovechados, de esta manera se aumenta la eficiencia de los procesos o simplemente para disminuir las emisiones a la atmosfera y cumplir con las normas ambientales.

### **RECOMENDACIONES**

- Se recomienda realizar varias pruebas antes y después de la instalación del sistema de tratamiento de gases para verificar su correcto funcionamiento.
- Se deben garantizar el espacio y las condiciones en campo necesarias para proceder con la instalación del sistema de tratamiento de gases.
- se debe verificar el suministro de servicios auxiliares (agua y acometida eléctrica).
- Se debe realizar un levantamiento de campo antes de desarrollar el diseño de las redes de tuberías de aire, agua y redes eléctricas (potencia, control e instrumentación). El diseño de estas depende del área de la zona donde se va a instalar con el fin de garantizar su óptimo funcionamiento y su adecuado mantenimiento, el diseño propuesto se realizó con el mínimo de área necesaria para la instalación del sistema de tratamiento de gases.
- Se recomienda hacer mediciones de las emisiones de gases y descargas de residuos industriales líquidos a Sistemas de Alcantarillado para garantizar que se cumple con la normativa ambiental vigente en Colombia.

### **TRABAJO FUTURO**

- Adicionar un sistema BAGHOUSE en la chimenea del sistema de tratamiento de gases con el fin de atrapar los posibles finos que se puedan descargar a la atmosfera.
- Considerar el diseño del ducto refractario entre el horno y el sistema de tratamiento de gases cuyas características son la resistencia a choque térmico y la abrasión.
- Desarrollar el diseño del sistema de respaldo STAND BY de la red de aire, agua y realizar la selección de equipos (bomba).
- Se debe realizar el diseño civil de cárcamos para recoger las aguas emitidas por el sistema y diques para contener posibles derrames en el tanque de agua de proceso.

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

- Considerar el diseño del aislante térmico del Tanque intercambiador de calor que se caracteriza por su alta resistencia térmica con el fin de evitar transferencia de calor al entorno garantizando la interacción al momento de la operación y facilitar los mantenimientos preventivos y correctivos del sistema de tratamiento de gases.
- Considerar la expansión o el diseño de la red contra incendios ampliando el rango de cobertura, garantizando la extinción de incendios en la zona de instalación del sistema de tratamiento de gases.
- Considerar el diseño de un sistema para optimizar el proceso, aprovechando los gases de salida como fuente de generación de energía o utilizándolos en otros procesos.
- Considerar el diseño de una PTAR (planta tratamiento de aguas residuales e industriales). Con el fin de reutilizar el agua del sistema de pulverización.
- Desarrollar los planos de conexión de instrumentos utilizados en el proceso.
- Desarrollar los planos de conexión de motores utilizados en el proceso.

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

## REFERENCIAS

---

(s.f.). Obtenido de

<http://www.miliarium.com/prontuario/MedioAmbiente/Atmosfera/TecnoDescontaminacionAire.htm>

Atlas Copco S.A. (1984). Guía de Instalación. *Aire Comprimido*, 1-17.

Castells, X. E., & Cremades, L. V. (2012). *Tratamiento y Acondicionamiento de Gases*. Madrid: Diaz de Santos.

Feal Veira, Á. (2003). *Control de emisiones, Lavadores de gases (I)*. España.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación-ICONTEC. (1996). *Código Eléctrico Colombiano NTC 2050*. Madrid, España: MAPFRE.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Política de Prevención y Control de la Contaminación del Aire*. Bogotá.

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

## APÉNDICE

---

Los apéndices deben ser nombrados con letras para diferenciarse unos de otros (p. ej: Apéndice A, Apéndice B, etc.). Estos hacen extensiva la información del contenido del trabajo realizado tales como cálculos matemáticos extensos, códigos de programación, etc. El contenido de los apéndices debe permitir a alguien externo al desarrollo del trabajo, llegar a los mismos resultados siguiendo la misma metodología complementada con la información que en este aparte reposa.

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

## ANEXOS

---

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**ANEXO 1. Catálogo de Ventiladores Robinson Fans, Inc. SO. No. 1207681**

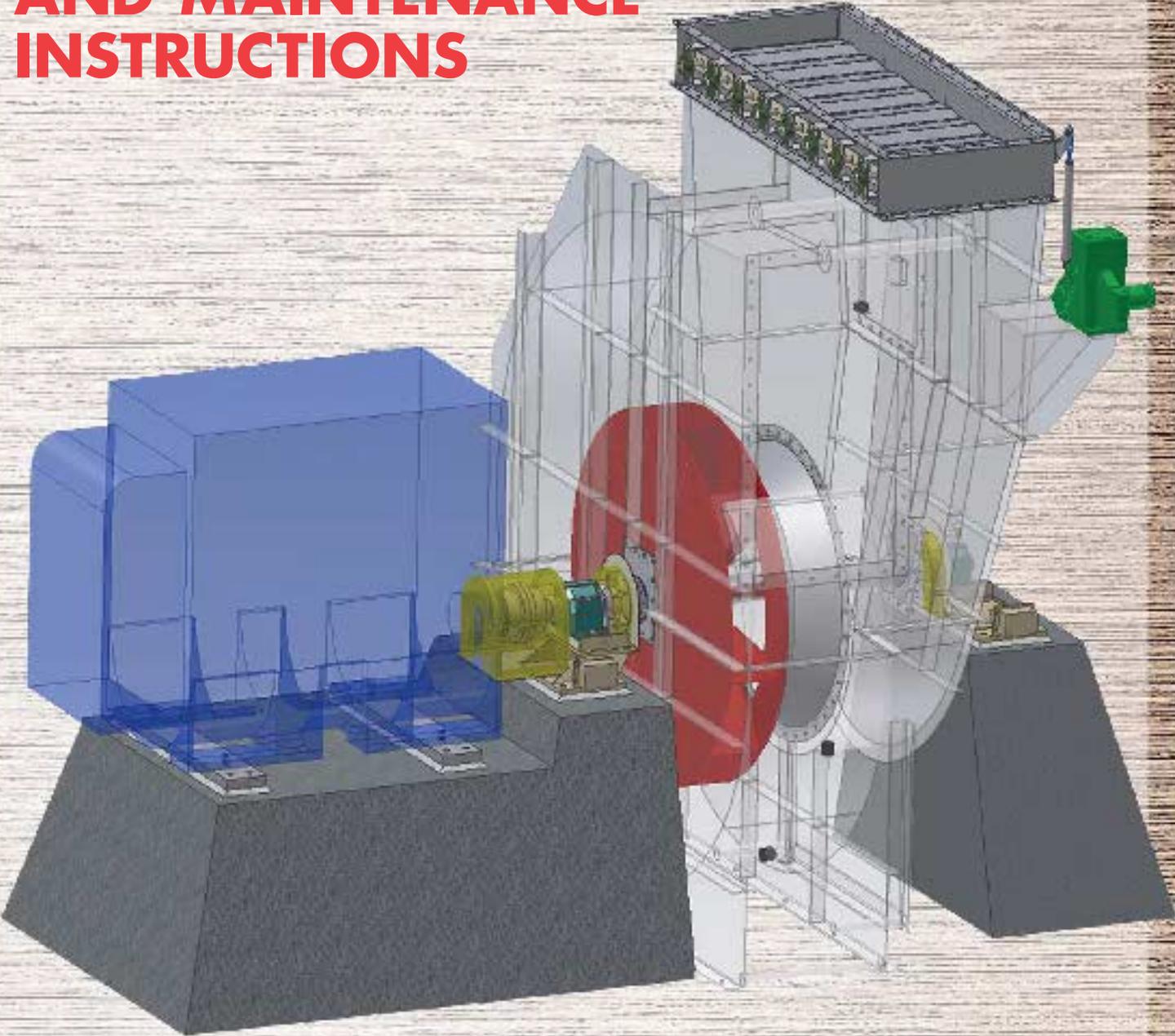


**Humboldt Wedag  
400 Technology Pkwy  
Norcross, GA 30092  
PO# C13171-14581**

**Robinson Fans, Inc.  
SO. No. 1207679  
SO. No. 1207681**



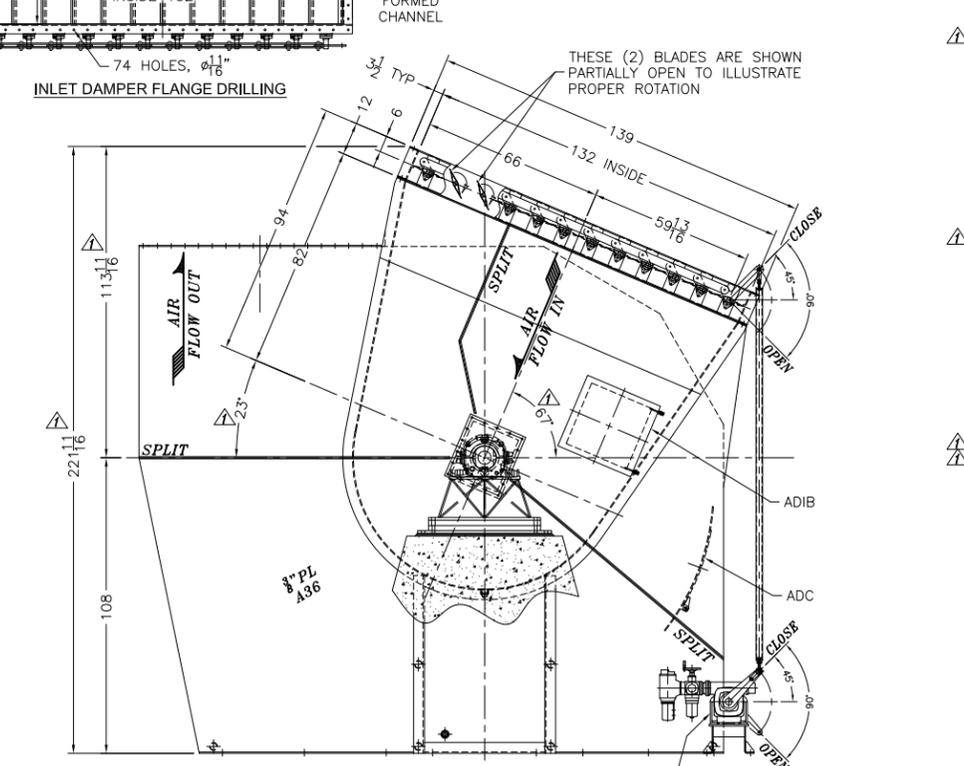
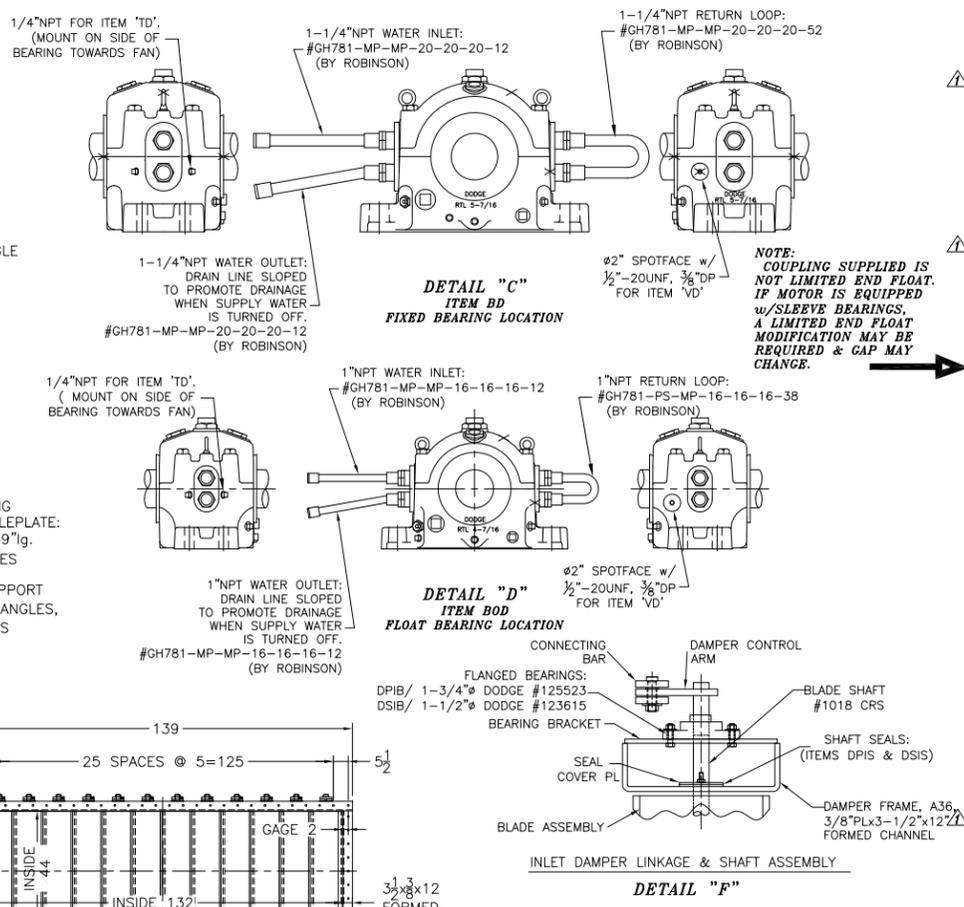
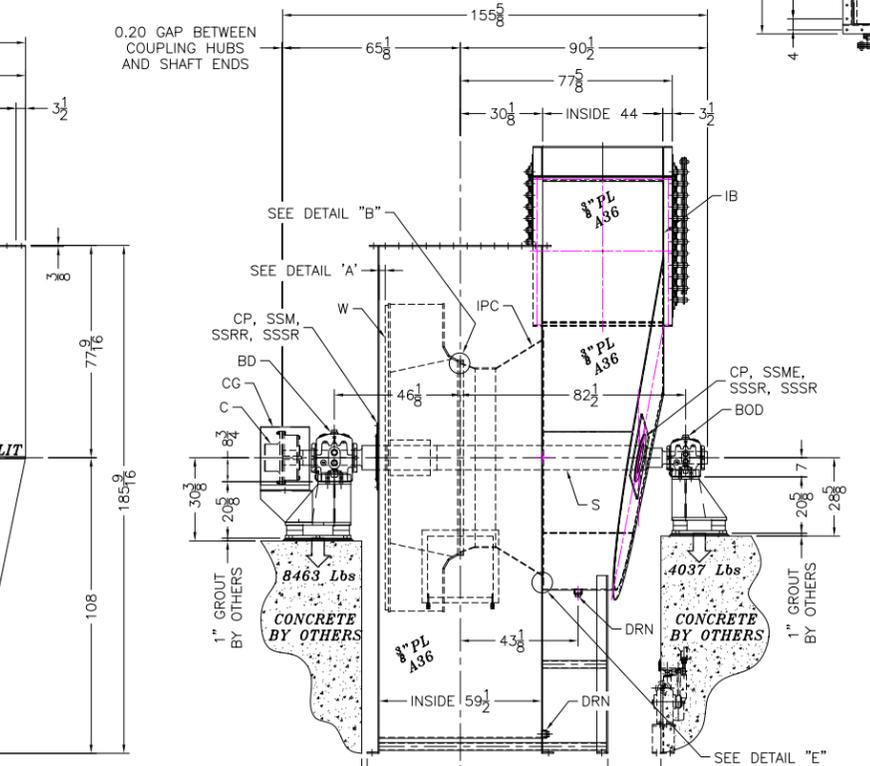
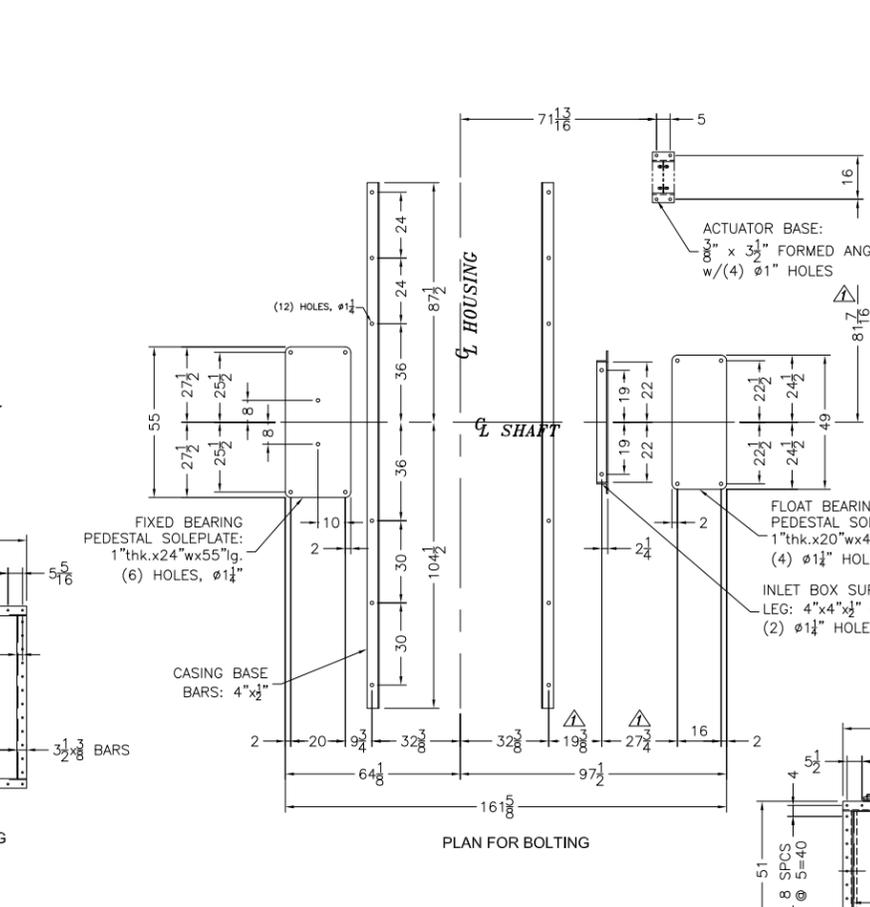
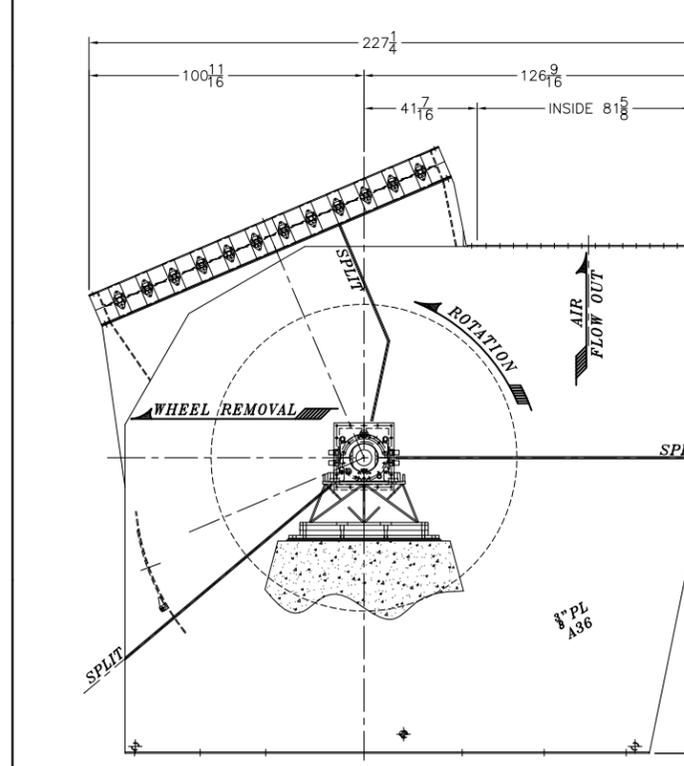
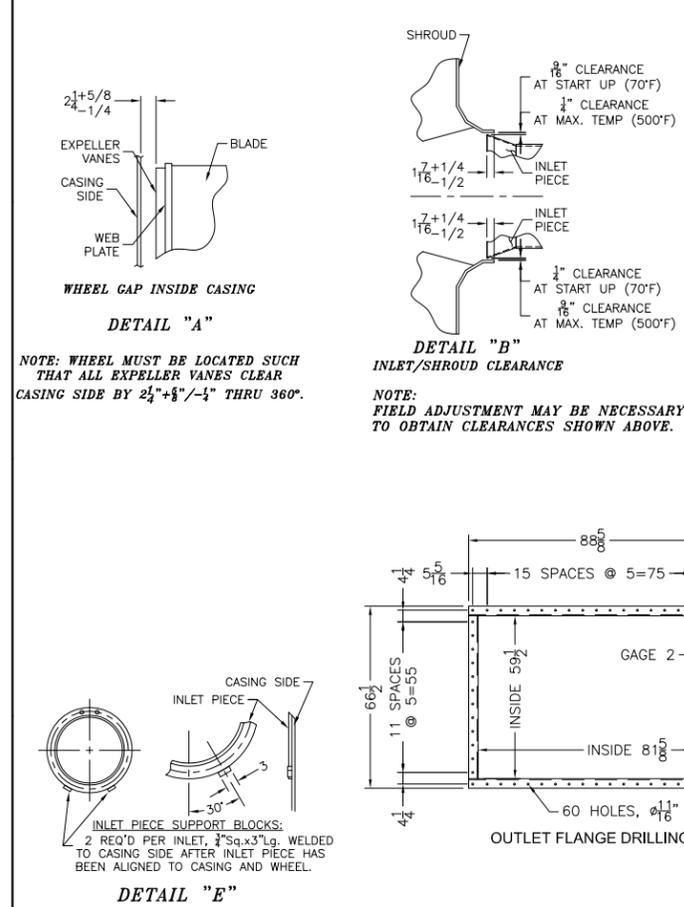
# OPERATION AND MAINTENANCE INSTRUCTIONS



**ROBINSON**

INDUSTRIES, INC.





MATERIAL LIST		
ITEM	QTY	DESCRIPTION
ACTI	1	ACTUATOR, INLET DAMPER - AUMA ELECTRICAL MODEL SAR07.5-54B/GF125.3/NZ4.3, 4-20 SIGNALS, 2 LIMIT SWITCHES TAG: 2414LD1.M01
ADC	1	ACCESS DOOR CASING - 24" sq. OPENING, APRX. WT. 95LB HINGED & BOLTED CONSTRUCTION.
ADIB	1	ACCESS DOOR INLET BOX - 24" sq. OPENING, APRX. WT. 95LB HINGED & BOLTED CONSTRUCTION.
BD	1	(FIXED) BEARING, DRIVE SIDE - DODGE "RTL" SLEEVOIL; #132383 $\phi 5\frac{1}{8}$ " c/w #132155 THRUST COLLAR, #137105 THRUST PL KIT, #133932 AUXILIARY SEALS (2); TAPS FOR RTD & VIBRATION PICK-UP. SEE DETAIL "C" REF NOTE #8 FOR LUBRICATION & COOLING REQMT'S
BOD	1	(FLOAT) BEARING, NON-DR. SIDE - DODGE "RTL" SLEEVOIL #132476 $\phi 4\frac{1}{8}$ " c/w #432184 AUXILIARY SEALS (2), TAPS FOR RTD & VIBRATION PICK-UP. SEE DETAIL "D" REF NOTE #8 FOR LUBRICATION & COOLING REQMT'S
C	1	COUPLING - HOLSET ELASTOMERIC COUPLING PM-40 FAN HALF BORE: 5.3710" +0.0015"/-0.0000" KEYWAY: 1-1/4" x 5/8" MOTOR HALF BORE: 6.38" MAX BORE KEYWAY:
CG	1	COUPLING GUARD A36
CP	2	COVER PLATE A36
DIL	1	DAMPER, INLET LOUVER DESIGN - SEE DETAIL "F" A36 w/#1018 CRS SHAFTS. APPROX WT 1675 Lbs.
DPIS	2	DAMPER PRIMARY BEARING - DODGE #125523 1-3/4" DIA. "LUBED FOR LIFE"
DPIS	2	DAMPER PRIMARY SEAL - 1/8" GARLOCK #9800
DSIS	16	DAMPER SECONDARY BEARING - DODGE #123615 1-1/2" DIA. "LUBED FOR LIFE"
DSIS	2	DAMPER SECONDARY SEAL - 1/8" GARLOCK #9800
DRN	16	DRAIN - 2" NPT HALF COUPLING w/PLUG
IB	1	INLET BOX - A36
IPC	1	INLET PIECE - A36
S	1	SHAFT - AISI #4140 HTSR
SSM	1	SHAFT SEAL - 1/8" GARLOCK #9800 HTC
SSME	1	SHAFT SEAL, ELLIPTICAL - 1/8" GARLOCK #9800 HTC
SSRR	2	SHAFT SEAL RETAINING RING - A36
SSSR	2	SHAFT SEAL SPACER RING - A36
SPC	2	SPICE PLATES, CASING - REFERENCE NOTE #12. SPICE PLATES MATCH MARKED FOR PROPER LOCATION.
SPB	1	SPICE PLATES, BOX - REFERENCE NOTE #12. SPICE PLATES MATCH MARKED FOR PROPER LOCATION.
TD	2	TEMPERATURE DETECTOR - T-TEC #1060-A-12-S-A 1000 PLATINUM, SINGLE ELEMENT, 3 WIRE RTD; #1060-34 ALUMINUM HEAD ASSEMBLY, #1060-39 TERMINAL BLOCK, #1060-33 SPRING LOADED FITTING w/O-RING SEE DETAILS "C,D" & NOTE #13. TAG: 2414FN1.T09 (FIXED BEARING) 2414FN1.T10 (FLOAT BEARING)
VD	2	METRIX SEISMIC VIBRATION TRANSMITTER - #ST5484E-121-241-00 w/#8841-084 STUD ADAPTER & #8200-002 CONDUIT ELBOW w/TERMINAL BLOCK & REDUCER; 4-20mA OUTPUT FOR REMOTE INDICATION. (REMOTE INDICATOR BY OTHERS) SEE DETAILS "C,D" & NOTE #13 TAG: 2414FN1.X01 (FIXED BEARING) 2414FN1.X02 (FLOAT BEARING)
W	1	WHEEL - A-514 Gr B/S w/ $\frac{1}{2}$ " $\phi$ on $\frac{1}{2}$ " CHROMIUM CARBIDE BLADE LINERS, LEADING EDGE BARS, & WEB LINERS

**NOTES:**

- FAN FABRICATED ENTIRELY FROM A36 STEEL. WHEEL & SHAFT MATERIALS AS NOTED ABOVE.
- FAN CLEANED PER SSPC-SP2 & 3 AND PAINTED WITH ONE COAT HI-TEMP RED PRIMER. GUARDS PAINTED SAFETY YELLOW. MACHINED SURFACES COATED w/TECTYL #506G OR EQUAL GASKET MATERIAL - ZETEX TAPE.
- FAN HOUSING SPLIT FOR WHEEL & SHAFT REMOVAL.
- WHEEL & SHAFT WT. APPROX. 7,970 Lbs.
- TOTAL APPROX FAN WT. 40,915 Lbs.
- ROBINSON RECOMMENDS A MINIMUM CONCRETE MASS UNDER THE FAN OF 204,575 Lbs. THIS DOES NOT INCLUDE CONCRETE REQUIRED ABOVE GRADE FOR MOTOR AND BEARING PEDESTALS.
- FAN BEARINGS, ITEMS BD & BOD, ARE TO BE STATIC OIL LUBRICATED USING AN ISO VG 68, TURBINE GRADE, HIGHLY REFINED STRAIGHT MINERAL OIL WITH RUST & OXIDATION (R&O) INHIBITORS AND ANTI-FOAM AGENTS ONLY. DO NOT USE MULTI-GRADE OILS. A DAILY CHECK OF OIL LEVELS IS REQUIRED. THESE BEARINGS ALSO REQUIRE COOLING USING POTABLE WATER AT THE FOLLOWING FLOWRATES:  
 FIXED BRC, ITEM BD - 4.0 gpm  
 FLOAT BRC, ITEM BOD - 2.0 gpm  
 MAXIMUM COOLING WATER INLET TEMP = 90°F.  
 MAXIMUM COOLING WATER PRESSURE = 120 psig.  
 REF. DODGE RTL BEARING INSTR. MANUAL #MN3060 & #MN3063 FOR DODGE RTL AUX SEAL INSTRUCTIONS.
- DAMPER BEARINGS ARE PERMANENTLY LUBRICATED.
- DAMPER OPERATING TORQUE = 678 ft.lbs.
- EXPANSION JOINTS IN ALL DUCTWORK AND PIPING TO AND FROM FAN ARE REQUIRED. THESE JOINTS ARE TO BE IMMEDIATELY ADJACENT TO THE FAN. CUSTOMERS DUCTWORK MUST BE STRUCTURALLY ANCHORED WITHIN APPROX 24" OF EXPANSION JOINT.
- FAN SPICE PLATES, PROVIDED BY ROBINSON, TO SPAN CASING & INLET BOX SPLITS WHERE REQUIRED. BRACING WILL BE DRILLED TO ACCEPT SPICE PLATES. SPICE PLATES TO BE BOLTED IN PLACE UPON FAN ASSEMBLY WITH ROBINSON SUPPLIED FASTENERS.
- TEMPERATURE & VIBRATION DETECTORS SHOWN IN MATERIAL LIST ARE PICK-UPS ONLY. MONITORS, INTERCONNECTING CABLES & JUNCTION BOXES, IF NEEDED, TO BE SUPPLIED & INSTALLED BY OTHERS.

WHEEL & SHAFT WR<sup>2</sup> = 59,945 lbs. ft<sup>2</sup>

TAG: RAW MILL FAN  
2414FN1 (FAN B)

UNITS PER ORDER **ONE (1)**

FAN PERFORMANCE - U.S. UNITS						
MAXIMUM FAN DESIGN TEMPERATURE	500°F @	880	RPM			
880	183,615	32.18"	.0555	194°F	1,345'	1,132
RPM	VOLUME (CFM)	PRESSURE (FSPR)	DENSITY (LB/FT <sup>3</sup> )	TEMP. (DEG.F)	ELEVATION (FT.ASL)	POWER (HP)

TYPE **112" BC0928, ARR#3, CCW ROTAT @360° DISCH, I0607, SWSI, CLA**

FOR **HUMBOLDT WEDAG**  
NORCROSS, GA 30092

PM-JM BY DATE  
DRAWN **JK 12-12-13**  
CHECKED **JM 12-12-13**  
CADFILE #1207681A.dwg

**ALL DIMENSIONS ARE IN INCHES**

**DA-112BC0928-100** **2** REV

NO.	REVISION	DATE	BY	CHK'D
1	ADDED ITEM C COUPLING SIZE	3-14-14	JK	3-14-14 JM
2	REV'D INLET BOX POS AND FOUNDATION BOLTING PLAN; BOX WAS 45°	2-14-14	RJD	JK 2-14-14
3	ADDED TAGGING, BEARING FLOW RATES, BOD SEALS & WR <sup>2</sup>			
4	REV'D WHEEL & SHAFT WT; WAS 6,370 LBS			

CAD GENERATED DRAWING, DO NOT CHANGE BY HAND

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ROBINSON FANS, INC. AND IS LOANED UPON CONDITION THAT IT IS NOT TO BE REPRODUCED OR COPIED IN WHOLE OR PART FOR FURNISHING INFORMATION TO OTHERS FOR ANY PURPOSE DETRIMENTAL TO OUR INTERESTS AND WILL BE RETURNED UPON REQUEST.

BEARINGS ARE DESIGNED FOR A MAXIMUM AMBIENT TEMPERATURE OF 100°F.

DO NOT USE SUBSTITUTE LUBRICANTS OR OVER LUBRICATE. WARRANTY WILL BE VOIDED UNLESS ROBINSON LUBRICATION INSTRUCTIONS ARE FOLLOWED.

FAN UNIT WILL BE SHIPPED  ASSEMBLED  DISASSEMBLED

FINAL ALIGNMENT OF BEARING, COUPLING, V-BELTS, WHEEL & SHAFT ASSY. MUST BE CHECKED BEFORE OPERATION OF THIS EQUIPMENT. NOTE ALL ITEMS ARE TO BE CHECKED FOR PROPER SETTINGS PER INSTRUCTION MANUAL AND CERTIFIED DRAWING.

CERTIFIED FOR  
 YOUR ORDER **C13171-14581**  
 OUR JOB NO **1207681**  
 BY **JK** DATE **12-12-13**

TOLERANCES UNLESS OTHERWISE MARKED  
 FRACTIONS ±1/32", ANGLES ±1°, DEC. ±.005"  
 FAB TOLERANCE ON OVERALL DIMENSIONS UNDER 54" DIA. FAN ±1/8"  
 54" DIA. FAN & ABOVE ±3/16"/-1/8"

MAXIMUM FAN DESIGN TEMPERATURE	500°F @	880	RPM
880	183,615	32.18"	.0555
RPM	VOLUME (CFM)	PRESSURE (FSPR)	DENSITY (LB/FT <sup>3</sup> )

	<b>INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**ANEXO 2. Catálogo de Compresores industriales de pistón LE/LT/LF  
Lubricados y exentos de aceite (1,5-15 kW / 2-20 CV)**

# Atlas Copco

## Compresores industriales de pistón



**LE/LT/LF**

Lubricados y exentos de aceite (1,5-15 kW / 2-20 CV)



*Atlas Copco*



## Capacidad total, responsabilidad total

En el corazón de su negocio, Atlas Copco suministra aire comprimido de calidad, logrando una capacidad de funcionamiento inigualable. Desde la generación del aire comprimido hasta el punto de uso, puede elegir entre nuestra amplia gama de productos para crear un completo sistema de aire comprimido adaptado a sus necesidades. Todos los productos Atlas Copco están diseñados para integrarse a la perfección y garantizar el mayor nivel de fiabilidad y de eficiencia energética. Como resultado, Atlas Copco puede asumir toda la responsabilidad de su instalación de aire comprimido con la garantía de la mayor calidad. Con una presencia mundial en más de 160 países, podemos proporcionar un servicio inigualable para mantener y mejorar continuamente el rendimiento de su sistema de aire comprimido.

Con el respaldo de 100 años en la vanguardia del aire comprimido, los productos de Atlas Copco ofrecen la mejor calidad y eficiencia. Nuestro objetivo es ser la primera opción y la primera elección (First in Mind—First in Choice®). Por ese motivo, Atlas Copco nunca deja de buscar nuevas formas de innovación, impulsado por su afán de satisfacer y superar las expectativas de los clientes. Trabajando siempre con usted, nos comprometemos a proporcionarle la solución de aire personalizada que sea el motor impulsor de su negocio.

***Nuestro compromiso es mejorar su productividad a través de la interacción y la innovación.***

# Rendimiento fiable de alta calidad

¿Busca una solución de aire comprimido de alto rendimiento y duradera para su aplicación industrial específica? Diseñados cuidando hasta el mínimo detalle, los compresores de aire de la serie L de Atlas Copco destacan por su fiabilidad excepcional y mantenimiento mínimo. Al incorporar tecnología de última generación, la serie L genera las temperaturas de funcionamiento más bajas de la industria a la vez que ofrece aire de calidad extraordinaria.



## UNA VARIEDAD DE VENTAJAS

- Diseño de automoción y materiales de alta calidad para un **rendimiento** y una **vida útil extraordinariamente larga**.
- Fiabilidad excepcional para **aplicaciones industriales de trabajos pesados**.
- **Tiempo de inactividad reducido** gracias a un servicio rápido y sencillo.
- Amplio alcance de producto para **adaptarse a sus necesidades exactas**.
- Caudal fiable de aire comprimido **directamente al punto de uso**.
- **Instalaciones compactas** gracias a la refrigeración óptima, el diseño de aluminio y el accionamiento directo.
- **Uso independiente** o **fácil integración** en su producto OEM (Fabricante de equipo original).



## EL COMPRESOR DE PISTÓN ÓPTIMO

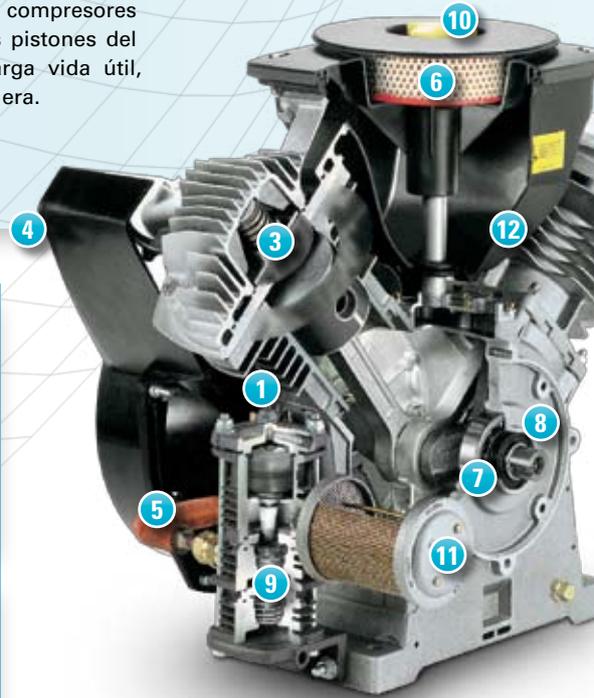
Al ser uno de los primeros diseños, los compresores de pistón se encuentran entre los más versátiles y de mayor rendimiento. Puntos fuertes:

- Gracias a su diseño sencillo y robusto y al principio de funcionamiento, los compresores de pistón son la mejor solución cuando se necesita aire comprimido en las más duras condiciones.
- Mantenimiento sencillo gracias a piezas fácilmente accesibles para realizar el servicio.
- Sin necesidad de un tratamiento especial (separación de aceite) ni filtrado de aceite ya que no hay contacto directo con éste.
- Mayor fiabilidad y vida útil gracias al menor riesgo de formación de condensado.
- Los compresores de pistón pueden funcionar en un amplio rango de presiones de trabajo. La presión máxima de trabajo de la serie L de Atlas Copco es de 30 bar (435 psi).



# Alcance de suministro estándar

La serie L es el mejor producto de la amplia gama de compresores de pistón Atlas Copco. La gama L tiene los mejores pistones del mercado debido a la combinación exclusiva de larga vida útil, fiabilidad y rendimiento en una unidad compacta y ligera.



## MÁXIMO RENDIMIENTO

- 1 Cilindros de estilo automovilístico** de aleación de aluminio con alto contenido de silicio y un acabado de bajas tolerancias que permite una lubricación extraordinaria, unas holguras extremadamente bajas y un arrastre de aceite mínimo.
- 2 Accionamiento directo:** sin pérdidas por transmisión.

## FÁCIL MANTENIMIENTO

- 3 Válvulas de disco de entrada/salida:** exclusivas y de fácil servicio, las válvulas son discos anulares flexibles de acero inoxidable.

## FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO

- 4 Ventilador de refrigeración:** ventilador de alta capacidad en una cubierta de protección, que proporciona una refrigeración directa óptima de los cilindros y de los refrigeradores posterior e intermedio.

## ALTA FIABILIDAD

- 5 Refrigerador posterior/refrigerador intermedio:** refrigerador combinado de salida de aleación de aluminio y tubería del refrigerador posterior de cobre aleteado para unidades de una etapa, y refrigerador intermedio adicional para unidades de dos etapas.

## LARGA VIDA ÚTIL DEL COMPRESOR

- 6 Filtro de aspiración de aire:** filtro de entrada de aire de gran superficie y fácil de sustituir, reduce los contaminantes y prolonga la vida del compresor.
- 7 Rodamientos de bolas para trabajos pesados:** seleccionados para servicio intenso y una larga vida útil.
- 8 Cárter y culatas con aletas de aleación de aluminio:** poseen unas excelentes características de refrigeración, el cárter y las culatas proporcionan una larga vida útil y un funcionamiento eficaz.
- 9 Válvula antirretorno o válvula de descarga industrial:** diseñadas para resistir condiciones extremas y altas presiones de trabajo. La válvula de descarga se utiliza junto con un arrancador Y/D y un motor especial para reducir el par de arranque. El resultado es una mayor vida del compresor y del motor así como un esfuerzo limitado de su suministro eléctrico.



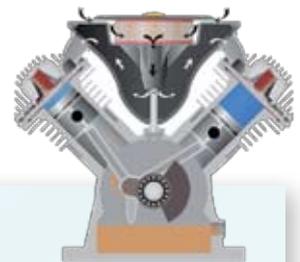
### FUNCIONAMIENTO SILENCIOSO

- 10 **Silenciador de aspiración del tipo Venturi:** bajo nivel sonoro garantizado.
- 11 **Silenciador:** utilizado en unidades con válvula de descarga. El nivel sonoro se mantiene bajo en todo momento.
- 12 **Diseño en V del bloque compresor:** el cigüeñal equilibrado dinámicamente y el robusto ventilador de fundición reducen la vibración.



### FUNCIONAMIENTO LIMPIO

- ➔ **Respiradero del cárter en LE y LT**
- ➔ **LF: la solución definitiva de pistón exento de aceite**



### PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El compresor mueve un pistón en el interior de un cilindro a través de una biela y un cigüeñal.

#### Compresión en 1 etapa (LE y LF):

El aire filtrado se introduce en ambos cilindros a través de la válvula de aspiración. El pistón es impulsado a través de la biela fijada al cigüeñal equilibrado. El aire se comprime en el cilindro que sale a través de la válvula de salida cuando se alcanza la presión requerida de 10 bar (145 psi).

#### Compresión en 2 etapas (LT):

El aire filtrado se introduce en un solo cilindro. Este cilindro de baja presión alimenta al segundo cilindro (de alta presión) que aumenta la presión hasta alcanzar el nivel requerido de 15, 20 ó 30 bar (218, 290 ó 435 psi). Entre las 2 etapas, un refrigerador intermedio reduce la temperatura de compresión, dando como resultado una mayor eficiencia de compresión.

#### Disposición de accionamiento:

La disposición estándar es el accionamiento directo con motor eléctrico. Sin embargo, el bloque compresor también puede ser accionado directamente por un motor hidráulico, un motor diesel o de gasolina, y se encuentra disponible un kit para disposición de accionamiento por correa.

#### Regulación eléctrica:

La regulación eléctrica estándar tiene lugar por medio de un presostato que arranca/para el compresor a las presiones preajustadas. Todas las unidades también se suministran con un relé de sobrecarga. En los modelos estándar, las culatas se despresurizan siempre si la unidad se detiene a través del presostato. En las unidades con arranque directo, esto se realiza a través de la válvula de descarga neumática situada en el interior de la caja del presostato. Las unidades con arranque Y/D se suministran con válvula de descarga industrial y válvula solenoide para despresurizar las culatas tanto en la parada como en el arranque de la unidad. El arranque del compresor sin contrapresión, junto con el motor especial Y/D, reduce drásticamente la intensidad de arranque. Es necesario un armario eléctrico para gestionar el funcionamiento del motor entre estrella y triángulo a fin de controlar la válvula de descarga industrial. Para más detalles, consulte la información general del modelo.

	CV	KW	FUNCIÓN ANTIRRETORNO	FUNCIÓN DE DESCARGA	REGULACIÓN DE PRESIÓN	INTERRUPTOR ON/OFF	PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGA	RELÉ CON TEMPORIZADOR Y/D	INDICADOR DEL TEMPORIZADOR
DOL	2-7,5	1,5-5,5	CV		Presostato			N/A	N/A
Y/D	5,5-20	4-15		UV	Presostato			Armario eléctrico	

# Aire versátil para numerosas aplicaciones

Tanto si elige una unidad estándar o una diseñada específicamente para las necesidades de su OEM, la gama L de Atlas Copco ofrece la solución más compacta y fiable para una gran variedad de aplicaciones. Desde cañones de nieve, aire de arranque para embarcaciones hasta aplicaciones ferroviarias, los compresores de la serie L le ofrecen una flexibilidad excepcional, el mayor alcance de productos y una duración máxima.



## DISEÑO COMPACTO Y AHORRO DE ESPACIO

El bloque compresor que está acoplado directamente al motor se fabrica utilizando materiales ligeros de la industria automovilística que proporcionan unas excelentes características de refrigeración: ideal para integración cuando el espacio es limitado. Todos los compresores de la serie L tienen una configuración de 2 cilindros en V que proporciona unos bajos niveles de vibración en todos los tamaños, mientras que el respiradero del cárter (tanto en LE como en LT) garantiza que en el cárter no se genere aire que contenga aceite.



## EXPERIENCIA RECONOCIDA

Con el respaldo de décadas de experiencia en una gran variedad de industrias específicas como la naval o la ferroviaria, Atlas Copco puede ofrecer soluciones de aire comprimido como la gama L de compresores que incluye la certificación de los organismos de clasificación oficiales.



## OPCIÓN EXENTA DE ACEITE

En casi todas las aplicaciones, la contaminación del suministro de aire puede ocasionar una merma seria del rendimiento y aumentar los costes de mantenimiento en términos de reparaciones y pérdida de productividad. El innovador compresor LF exento de aceite de Atlas Copco está concebido

para proporcionar un aire de la mejor calidad y satisfacer las crecientes demandas de calidad, con un coste razonable para aquellas aplicaciones que no permiten la presencia de aceite.





Diseñada para soportar un uso continuo en entornos industriales de trabajos pesados, la gama L de Atlas Copco incluye todo lo que necesita para dotar a su sistema de una fuente fiable de aire comprimido de alta calidad. Gracias a la prolongada vida útil y el bajo mantenimiento, los costes de funcionamiento y el tiempo de parada se reducen al mínimo absoluto.



#### FIABILIDAD EXCEPCIONAL

Gracias a su diseño único y robusto y a la combinación de materiales de la industria automovilística, el compresor L ofrece un mayor rendimiento y una vida más prolongada. El mantenimiento es sencillo y los componentes y puntos de servicio son fácilmente accesibles. Los costes operativos son limitados y las averías prácticamente se han eliminado, garantizando la continuidad de su producción. La gama de compresores de pistón L se prueba empleando los métodos más rigurosos de la industria. Puede sentirse tranquilo en todo momento: se llevan a cabo estrictos procedimientos de certificación y prueba para garantizar que el aire suministrado cumpla las normas más exigentes de control de calidad. Para reducir aún más cualquier tipo de contaminación dentro de su proceso y proteger sus equipos, Atlas Copco presenta una gama completa de filtros y secadores de aire comprimido.



#### CONSTRUIDO PARA DURAR

- Diseñado empleando herramientas e instalaciones de tecnología punta.
- Basado en años de extensa labor de investigación y desarrollo.
- Fabricado con los métodos de producción más avanzados de la industria.



#### PRESENCIA MUNDIAL

Como proveedor de soluciones, Atlas Copco está comprometido con usted como cliente OEM y con su cliente final. Garantizamos la calidad de sus soluciones de aire comprimido a través de la interacción e innovación en cualquier parte del mundo. Nuestra presencia en el mercado postventa y nuestra gama de productos está diseñada para añadir el máximo valor para nuestros clientes, garantizando una disponibilidad y fiabilidad óptimas de sus equipos de aire comprimido con los costes de explotación más bajos posibles. Ofrecemos esta garantía de servicio completa a través de nuestra extensa organización postventa, en línea con nuestra filosofía de líder mundial en aire comprimido.

# Satisfacemos sus necesidades específicas

En Atlas Copco ofrecemos la gama de productos más amplia de la industria para ayudarle a conseguir el sistema más eficiente de aire comprimido. Tanto si trabaja en una gran planta de producción o en un entorno pequeño, con una

gama completa de compresores L entre los que elegir, podrá satisfacer sus necesidades específicas y optimizar al mismo tiempo su proceso de producción.

## → LE LUBRICADO CON ACEITE

Compresor alternativo lubricado con aceite de una sola etapa diseñado para funcionar a una presión máxima de 10 bar (145 psi) y con capacidades de 3,4 a 31,7 l/s a 50 Hz; 8,3 a 78,8 cfm a 60 Hz.

## → LT LUBRICADO CON ACEITE

Compresor alternativo lubricado con aceite de dos etapas diseñado para funcionar a una presión máxima de 15, 20 ó 30 bar (218, 290 o 435 psi) y con las siguientes capacidades:

**15 bar (218 psi):** de 3,1 a 11,7 l/s a 50 Hz; 7,6 a 23,1 cfm a 60 Hz.

**20 bar (290 psi):** de 2,1 a 18,0 l/s a 50 Hz; 5,7 a 44,3 cfm a 60 Hz.

**30 bar (435 psi):** de 2,5 a 17 l/s a 50 Hz; 6,6 a 41,7 cfm a 60 Hz.

## → LF EXENTO DE ACEITE

Compresores alternativos de una etapa exentos de aceite, diseñados para funcionar a una presión de trabajo máxima de 10 bar (145 psi) y con capacidades de 3,1 a 15,5 l/s a 50 Hz; 7,6 a 38,6 cfm a 60 Hz.

## Versatilidad óptima

Los compresores de la gama L exentos de aceite y lubricados están disponibles en diferentes variantes para satisfacer las necesidades específicas de un amplio abanico de

usuarios finales. Están disponibles como unidades "base" con la posibilidad de añadir numerosas opciones estándar, para adaptarse a los requisitos de cada aplicación.

### ► L BLOQUE



El corazón del compresor L es un bloque compresor de aluminio al estilo de la industria automovilística, ligero y compacto, diseñado para ofrecer el mejor rendimiento. Junto con la disposición de accionamiento directo, convierte al bloque compresor L en la solución perfecta para aplicaciones OEM. Siguiendo el arrancador recomendado y la regulación de arranque/parada\*, el bloque L está disponible con conexión simple, válvula antirretorno o válvula de descarga industrial conectada a la tubería del refrigerador posterior del bloque.

### ► L UNIDAD MOTO-COMPRESOR

En una unidad moto-compresor, el bloque compresor L se acciona directamente con un motor eléctrico IP55/aislamiento clase F. Hay disponibles varios motores tanto para arranque directo como para arranque Y/D. El arranque directo se puede combinar con una válvula antirretorno simple (S) o con una válvula antirretorno industrial (CV). El arranque Y/D es habitual en unidades de 4 kW (5,5 CV) y siempre se combina con una válvula de descarga industrial (UV). En las versiones con unidad moto-compresor el alcance de suministro para unidades de arranque directo contiene un presostato (con interruptor on/off, protección contra sobrecarga y válvula de descarga), suministrados por separado. En las versiones con unidad moto-compresor Y/D, sólo se incluye la válvula solenoide, no el presostato ni el armario eléctrico.



## ► L MONTADO SOBRE BANCADA



Con variante montada sobre bancada, la unidad moto-compresor L está disponible montada sobre bastidor con regulación de conexiones para el arranque/parada de la unidad. Además, se montan una manguera flexible y un manómetro para conectar la unidad montada sobre bancada al consumidor o a la red de aire. Las unidades montadas sobre bancada siempre se suministran con válvula antirretorno industrial o válvula de descarga, no con la válvula antirretorno simple. Las unidades con arranque Y/D se suministran con armario eléctrico. Éste contiene un transformador para la tensión de mando de 230/1 si el voltaje de la unidad <math>\leq 230/1, 230/3</math> o <math>400/3/50</math>. Para <math>400/3/50</math> se supone que hay disponible una línea neutra de la red eléctrica.

## ► UNIDAD COMPLETA L

En el modelo de unidad completa L, se monta sobre el depósito una unidad de potencia.

Los tamaños de depósito estándar son:

1,5 - 4 kW (2 - 5,5 CV): 90 litros

4 - 15 kW (5,5 - 20 CV): 250 litros

Opciones: 250 - 475 litros

Los depósitos están disponibles con diferentes homologaciones: CE, ASME, SQL, MOM, AS1210. Diríjase a la persona de contacto para obtener más información acerca de las homologaciones que están disponibles para cada depósito.



## ► L FULL FEATURE

En la versión Full Feature, se monta sobre el depósito un secador frigorífico de Atlas Copco.

Tamaños del depósito:

1,5 - 4 kW (2 - 5,5 CV): 250 litros

4 - 7,5 kW (5,5 - 10 CV): 475 litros

Las versiones Full Feature están disponibles de 1,5 a 7,5 kW (de 2 a 10 CV).



## ► L TRANSPORTABLE

Se trata de unidades de potencia montadas sobre un bastidor especial con 2 depósitos integrados de 10 litros, ruedas y barra elevadora. Debido al reducido volumen del depósito, las unidades transportables pueden funcionar en modo de descarga utilizando una válvula de pilotaje especial.

Las unidades L transportables están disponibles con motor eléctrico (1,5 - 15 kW / 2 - 20 CV) y con motor de gasolina (2,2 - 7,5 kW / 3 - 10 CV).



\* Arrancador recomendado y regulación de arranque/parada:

DOL + válvula antirretorno simple	1,5 - 2,2 kW / 2 - 3 CV	Máximo 15 bar (218 psi)
DOL + válvula antirretorno industrial	4 - 5,5 kW / 5,5 - 7,5 CV	
Y/D + válvula de descarga industrial	4 - 15 kW / 5,5 - 20 CV	

# Opciones

		LF	LE	LT	Bloque	Moto-compresor	Sobre bancada	Unidad completa	Full Feature	Transportable
	Cubierta insonorizada (no se puede combinar con un filtro de aspiración para trabajos pesados)	•	•	•			•	•		
	El interruptor de nivel de aceite bajo cierra el contacto (NA) / abre el contacto (NC)		•	•	•	•	•	•	•	•
	Filtro de aspiración para trabajos pesados	•	•	•		•	•	•	•	
	Secador de adsorción CD de Atlas Copco	•	•	•				•		
	Purga de drenaje neumática	•	•	•				•	•	
	Purgador electrónico con temporizador	•	•	•				•	•	
	Drenaje interetapas			•	•	•	•	•	•	•
	Elemento calentador + termistores en bobinados del motor	•	•	•		•	•	•	•	•
	Kit de ruedas (en depósito de 90/250 litros)	•	•	•				•		
	Actualización del depósito de 250-475 litros	•	•	•				•	•	
	Depósito vertical de 250 litros (LE 2-5)	•	•	•				•	•	



▲ Cubierta insonorizada



▲ Filtro de aspiración para trabajos pesados



▲ Purgador electrónico con temporizador

Están disponibles kits de servicio y aceite Atlas Copco para mantenimiento específico en compresores alternativos. Deben respetarse los intervalos de servicio predefinidos para lograr un funcionamiento continuo sin problemas y una prolongada vida útil.

# Especificaciones técnicas

TIPO DE COMPRESOR	Presión máxima de trabajo*		FAD a presión de trabajo normal y 1500 rpm (50 Hz)			FAD a presión de trabajo normal y 1800 rpm (60 Hz)			Potencia instalada recomendada		Nivel sonoro dB(A)**	
	bar(e)	psig	l/s	m³/min	cfm	l/s	m³/min	cfm	kW	CV	Sin insonorizar	Montado sobre bancada, insonorizado
<b>10 BAR LF</b>												
LF 2-10	10	145	3,1	0,19	6,6	3,6	0,22	7,6	1,5	2	82/84	67/69
LF 3-10	10	145	4	0,24	8,5	4,6	0,28	9,7	2,2	3	83/85	68/70
LF 5-10	10	145	8,2	0,49	17,4	9,1	0,55	19,3	4	5,5	83/85	68/70
LF 7-10	10	145	11	0,66	23,3	12	0,72	25,4	5,5	7,5	84/86	72/74
LF 10-10	10	145	15,5	0,93	32,8	18,2	1,1	38,9	7,5	10	86/88	74/76
<b>10 BAR LE</b>												
LE 2-10	10	145	3,4	0,2	7,2	3,9	0,23	8,3	1,5	2	78/80	63/65
LE 3-10	10	145	4,4	0,26	9,3	5,1	0,31	10,8	2,2	3	79/81	64/66
LE 5-10	10	145	8,4	0,5	17,8	9,7	0,58	20,6	4	5,5	79/81	64/66
LE 7-10	10	145	11,7	0,7	24,8	13,6	0,82	28,2	5,5	7,5	80/82	68/70
LE 10-10	10	145	15,7	0,94	33,3	18,2	1,04	38,6	7,5	10	81/81	68/69
LE 15-10	10	145	23,9	1,43	50,7	28,7	1,70	60,8	7,5	10	89/90	78/78
LE 20-10	10	145	31,7	1,90	67,2	37,2	2,26	78,8	7,5	10	88/89	76/78
<b>15 BAR LT</b>												
LT 2-15	15	218	3,1	0,19	6,6	3,6	0,22	7,6	1,5	2	78/80	63/65
LT 3-15	15	218	4,0	0,25	8,5	4,7	0,28	10	2,2	3	79/81	64/66
LT 5-15	15	218	6,7	0,4	14,2	7,9	0,47	16,7	4	5,5	79/81	64/66
LT 7-15	15	218	9,2	0,56	19,5	10,9	0,65	23,1	5,5	7,5	80/81	68/70
LT 10-15	15	218	11,7	0,7	24,8	-	-	-	7,5	10	81/--	68
<b>20 BAR LT</b>												
LT 2-20	20	290	2,1	0,13	4,5	2,7	0,16	5,7	1,5	2	78/80	63/65
LT 3-20	20	290	2,9	0,17	6,1	3,6	0,22	7,6	2,2	3	79/81	64/66
LT 5-20	20	290	5	0,3	10,6	6,3	0,38	13,3	4	5,5	79/81	64/66
LT 7-20	20	290	6,7	0,4	14,2	8,4	0,5	17,8	5,5	7,5	80/82	68/70
LT 10-20	20	290	9,1	0,55	19,3	13,6	0,82	28,8	7,5	10	81/83	68/70
LT 15-20	20	290	15,1	0,91	29,1	17,7	1,06	37,5	11	15	86/89	75/83
LT 20-20	20	290	18	1,08	38,1	20,9	1,25	44,3	15	20	86/88	78/81
<b>30 BAR LT</b>												
LT 3-30	30	435	2,5	0,15	5,3	3,1	0,19	6,6	2,2	3	79/81	64/66
LT 5-30	30	435	4,4	0,26	9,3	5,5	0,33	11,7	4	5,5	79/81	64/66
LT 7-30	30	435	6,4	0,38	13,6	8	0,48	17	5,5	7,5	80/82	68/70
LT 10-30	30	435	8,5	0,51	18	-	-	-	7,5	10	81/--	68/--
LT 15-30	30	435	9,3	0,56	19,7	11,1	0,67	23,5	11	15	85/89	76/85
LT 20-30	30	435	17	1,02	36	19,7	1,18	41,7	15	20	86/88	80/83

\* Rendimiento de las unidades medido de acuerdo con ISO 1217, Ed. 3, Anexo C-1996.

\*\* Nivel sonoro medio medido a una distancia de 1 m de acuerdo con el código de prueba ISO 2151/Pneurop/Cagi PN8NTC2; tolerancia 3 dB(A).

#### Condiciones de referencia:

- Presión absoluta de entrada 1 bar (14,5 psi).
- Temperatura de aire de entrada y de refrigerante 20°C, 68°F.

#### FAD medido a las presiones de trabajo siguientes:

- Versiones de 10 bar a 7 bar.
- Versiones de 15 bar a 12 bar.
- Versiones de 20 bar a 20 bar.
- Versiones de 30 bar a 30 bar.

**Tamaño del depósito: versiones de 10, 15 y 20 bar (218, 290 y 435 psi):**  
90, 250 y 475 litros (24, 66 y 125 galones USA)

#### Tensiones estándar disponibles:

50 Hz: monofásico 230 V, trifásico 230, 400, 500 V  
60 Hz: monofásico 230 V, trifásico 230, 460, 380, 575 V



Para ser su primera opción y elección (First in Mind—First in Choice®) en todas sus necesidades de aire comprimido, Atlas Copco le ofrece productos y servicios que le ayudarán a aumentar la eficacia y rentabilidad de su negocio.

Atlas Copco nunca deja de buscar nuevas formas de innovación, pensando en la fiabilidad y eficiencia que necesitan los clientes. Trabajando siempre con usted, nos comprometemos a proporcionarle la solución de aire de calidad personalizada que sea el motor impulsor de su negocio.



**No utilice nunca el aire comprimido como aire respirable sin purificarlo previamente, de acuerdo con la legislación y las normas locales.**

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**ANEXO 3. Catálogo de Secadores de Aire por Refrigeración FD**

# Atlas Copco Air Dryers

**FD series – 50-60 Hz**  
Refrigeration air dryers



QUALITY  
DRY AIR

*Atlas Copco*

# Why Quality Air?



When the air that surrounds us is compressed, its vapour and particle concentration increases dramatically. The compression process causes the oil and water vapours to condense into droplets, and then mix with the high concentration of particles. The result is an abrasive oily sludge that in many cases is also acidic. Without air treatment equipment, much of this corrosive sludge will enter the air net.

Effective Quality Air equipment is an investment with a solid return: it efficiently reduces the contamination in the air that would otherwise produce corrosion in the pipework, lead to premature pneumatic equipment failure and cause product spoilage.



## The high cost of low quality air

When it comes to tools, machines and instruments, poor air quality will cause more breakdowns, repairs and replacements. In addition to the remedial costs, the resulting downtime and production delays are often far more expensive than any repair.



## The threat to an impeccable reputation

Where the compressed air comes in contact with the product, the stability, scrap rate and final quality of the product can be significantly affected by contamination. Aside from the costs to correct the situation, the potential damage to your product's reputation can not be underestimated.





### **Money disappearing into thin air**

The pipe work that carries the compressed air is often forgotten when calculating the potential cost of poor quality air. Aggressive condensate will cause corrosion, leading to air leaks and a costly waste of energy. A leak of 3 mm is roughly equivalent to an energy waste of 3.7 kW. After one year, this can add up to € 1800.



### **Persistent pressure on the environment**

The energy waste caused by leaks and the unsafe disposal of untreated condensate will adversely affect our environment. Apart from the stringent legislation that imposes heavy fines in case of non-compliance, every waste of energy negatively influences the bottom line. Caring for the environment can be smart business !

### **From products to total solutions**

Based on years of experience, Atlas Copco has the know-how to determine the exact requirements and to offer the right equipment from an extensive range of air treatment products. In addition to providing total solutions, Atlas Copco has built an aftermarket organisation to support your complete installation... from a local point of contact, around the globe.

From compressor to dryer and down to the last filter, Atlas Copco can be your single partner for total quality compressed air solutions.



# The complete Quality Air solution

Particles / dust

Water

filtration

drying

**adsorption dryer**

MD  
(for ZR/ZT/ZE/ZA Compressors)



2 3

**adsorption dryer**

BD



0 1 2 3

**refrigerant dryer**

FD/ID



4

draining

**electronic water drain**

EWD

oil/water separation

OSW/OSD/OSM



**filter**

PD, DD, DDp & QD



0 1 2

**Quality Air process**  
=  
**End user satisfaction**



# Oil

## filtration

0

filter  
PD, DD & QD



adsorption dryer CD

0 1 2

## air compression

### oil-free compressors

ZH/ZR/ZT/ZE/ZA/LF/SF/LXF/H/  
S/P/HX-HN/PETPACK®



### oil-injected compressors

GA/GR/GX/LE/LT



Air quality classes ISO 8573-1	Dirt (solid particles)				Water		Oil
	Maximum number of particles per m <sup>3</sup> particle diameter (d) size, μm				Max. pressure dewpoint		Max. concentration
	≤0.10	0.1 < d ≤ 0.5	0.5 < d ≤ 1.0	1.0 < d ≤ 5.0	°C	°F	mg/m <sup>3</sup>
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1						
1	*	100	1	0	-70	-94	0.01
2	*	100 000	1000	10	-40	-40	0.1
3	*	*	10000	500	-20	-4	1
4	*	*	*	1000	3	+37.4	5
5	*	*	*	20000	7	+44.6	> 5

\* Not specified

A well designed compressed air system ensures that the air quality demands of the process are closely met. With the desired ISO class as a guide, the appropriate components can be selected.

Atlas Copco offers a complete product range that never requires a customer to compromise.

# FD dryers - moisture doesn't stand a chance



## Moisture: an avoidable threat ?

Compressed air entering the air net is always 100% saturated with water vapour. When cooling down, this moisture will condense, causing damage to your air system... and to your finished products. The amount of water is directly proportional to the flow and although an aftercooler will eliminate 2/3 of the moisture, the remaining third can still be very destructive.

## FD adds dryness to the equation

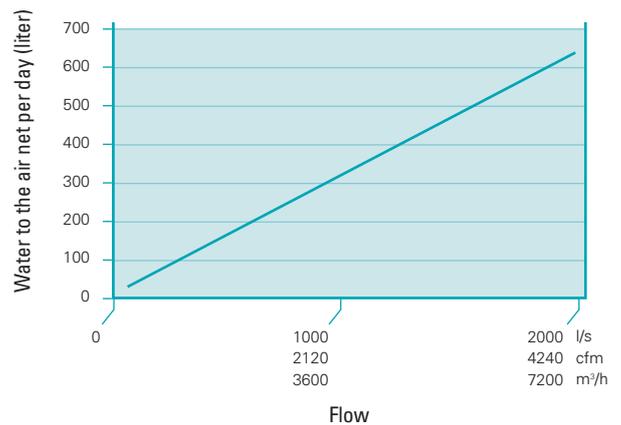
Atlas Copco FD refrigerant dryers eliminate the moisture before it can cause any damage. They ensure a reliable process and impeccable end products by offering quality dry air to your compressed air system, with a pressure dewpoint of +3°C/+37°F.

## Low pressure drop, big savings

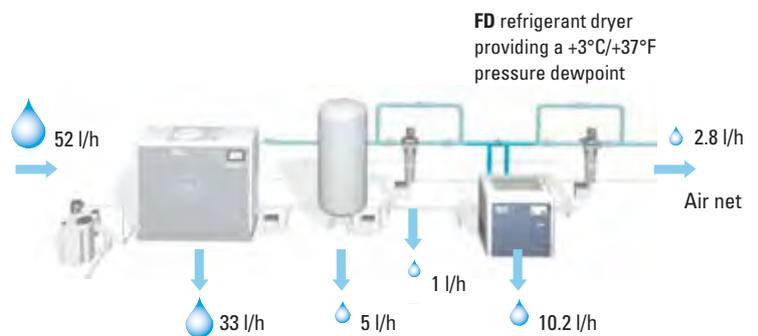
The FD dryer was designed to give the smallest possible pressure drop, approximately 0.2 bar, to ensure the lowest operating cost. Systems with a pressure drop of even a mere 0.1 bar more, add thousands of Euros annually in running costs. Using Atlas Copco Quality Air products directly results in substantial savings.



WATER TO THE AIR NET IF NO DRYER INSTALLED

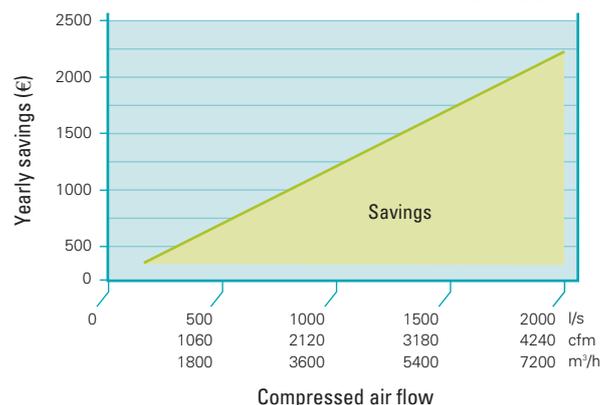


WATER ENTERING AND LEAVING THE COMPRESSOR & DRYER (EXAMPLE)



**Reference conditions**  
 Compressor flow 1050 l/s - 2226 cfm - 3780 m³/h FAD - Compressed air temp. 35 °C  
 Ambient air temp. 25 °C - Ambient relative humidity 60% - Pressure: 7 bar(e)

POSSIBLE SAVINGS FOR EACH 0.1 BAR (1.4 PSI) PRESSURE DROP

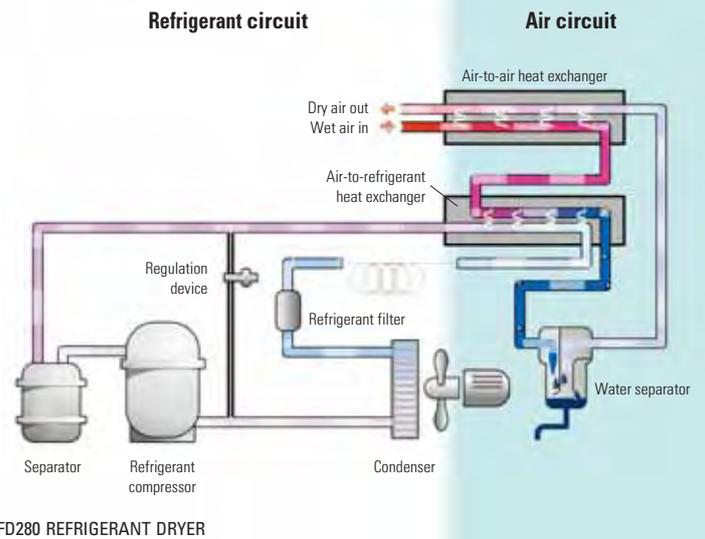




## FD - a proven design

### Refrigerant circuit

- ▶ **Refrigerant compressor**  
*brings the gaseous refrigerant to a high pressure and a high temperature.*
- ▶ **Condenser**  
*cools the refrigerant slightly so that it changes from gas to liquid; refrigerant is more effective in the liquid state.*
- ▶ **Refrigerant filter**  
*protects the expansion device from harmful particles.*
- ▶ **Expansion device**  
*reduces the refrigerant's pressure, thereby lowering its temperature and increasing its cooling capacity; the refrigerant is now almost all liquid, with some residual gas.*
- ▶ **Separator**  
*ensures that only refrigerant gas can enter the compressor, as liquid would cause damage.*
- ▶ **Regulation device**  
*the hot gas bypass or automatic expansion valve regulates the amount of refrigerant passing through the air-to-refrigerant heat exchanger, ensuring a stable pressure dewpoint.*



### Air circuit

- ▶ **Air inlet**  
*hot saturated air enters the dryer and is cooled by the outgoing air via the air-to-air heat exchanger. Reducing the temperature of the inlet air reduces the load on the refrigerant circuit.*
- ▶ **Air outlet**  
*re-heats the outgoing air to prevent condensation on the factory's pipework.*
- ▶ **Air-to-refrigerant heat exchanger**  
*transfers heat from the compressed air to the cold refrigerant, forcing water vapour in the compressed air to condense. The more effective the heat transfer, the cooler the air becomes and the more water vapour condenses.*
- ▶ **Water separator**  
*collects and drains off condensate from the cooled air flow. The more efficient the separation the better the pressure dewpoint, as droplets which are not collected re-appear and degrade the pressure dewpoint.*



## FD - cost effective and reliable drying performance

### Minimal energy consumption - lowest running cost

- ▶ low pressure drop reduces compressor running costs
- ▶ high efficiency fan motors
- ▶ aluminium heat exchanger with highest possible heat transfer
- ▶ VSD models' energy consumption proportional to water load
- ▶ Electronic no loss drain eliminates compressed air losses\*

### First class performance, first class air quality

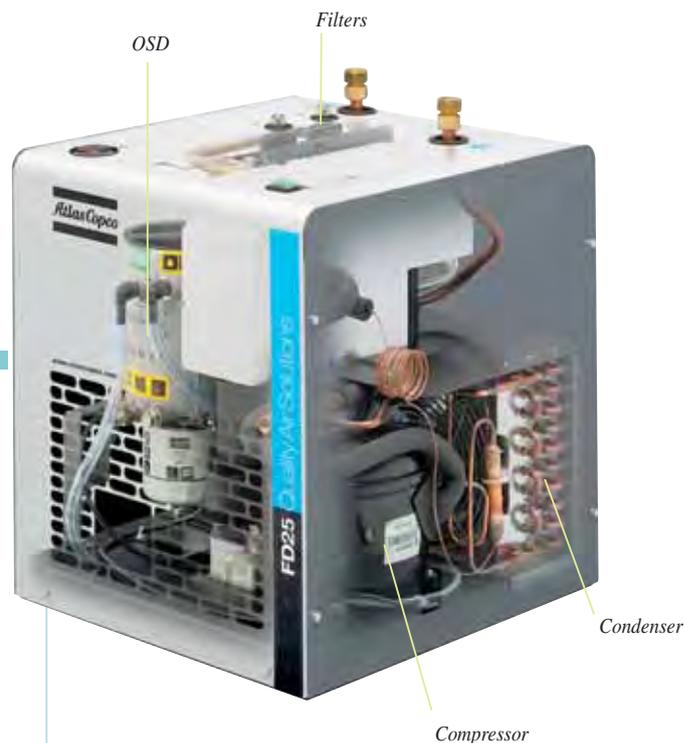
- ▶ oversized compressor & condenser provide extra capacity
- ▶ assured and stable pressure dewpoint
- ▶ innovative heat exchanger enables excellent air cooling
- ▶ high efficiency water separation ensures low pressure dewpoint
- ▶ air heated on exit to avoid pipe work condensation

### Reliable performance in difficult conditions

- ▶ oversized refrigerant circuit guarantees low pressure dewpoint
- ▶ water separator remains efficient at higher loads

### User friendliness

- ▶ simple control panel
- ▶ minimal routine maintenance
- ▶ pressure dewpoint remote alarm signals - standard & optional



### Minimal maintenance downtime

- ▶ long service intervals
- ▶ few component replacements
- ▶ ergonomic design for fast removal & refit of components

### Environment conscious

- ▶ low energy consumption
- ▶ compliant to the strictest environmental regulations
- ▶ CFC free refrigerants
  - FD7-95: R134a
  - FD110-2000: R404a

Features & options	FD5-25	FD35-280	FD300-1600	FD750/1000/1600/ 2000 VSD/FS*
Electronic hot gas bypass	-	-	-	Std
Hot gas bypass	Std	Std	-	-
Automatic expansion valve	-	-	Std	-
Air-to-air heat exchanger	Std	Std	Std	Std
Elektronikon® control	-	-	-	Std
Digital pressure dewpoint readout	Std	Optional	Optional	Std
Analogue pressure dewpoint readout	-	Std	Std	-
SMART pressure dewpoint alarm	Std	-	-	-
Pressure dewpoint alarm	-	Optional	Optional	Std
Voltage-free contacts for remote alarm signal	Std	Optional	Optional	Std
Control panel protection to IP54	Std	Optional	Optional	Std
Integrated electronic no loss drain	Std	Optional	Optional	Std
Anchor pads	Optional	Optional	Optional	Optional
Integrated filters to give class 1 protection	Optional	-	-	-
Integrated filter to give class 2 protection	Optional	-	-	-
Integrated OSD oil/water condensate separator	Optional	-	-	-

\* FS: Fixed Speed – VSD: Variable Speed Drive



## Excellence by design

- ❖ First rate air quality – a stable pressure dewpoint of +3°C / +37°F
- ❖ Reduced energy costs through low pressure drop and efficient heat exchanger
- ❖ Designed and tested for operation in harsh climates
- ❖ Operating reliability through quality components and manufacturing
- ❖ Minimal maintenance cost and downtime due to service friendly design
- ❖ Environmentally friendly refrigerants – compliant with all international regulations
- ❖ Small footprint and forklift slots for fast and simple installation
- ❖ Operator friendly through a simple, comprehensive control panel
- ❖ Complete range to match all application and ambient requirements; air and water cooled versions
- ❖ Available as an integrated dryer with Full Feature compressor models



## Save 25% or more on your energy bill

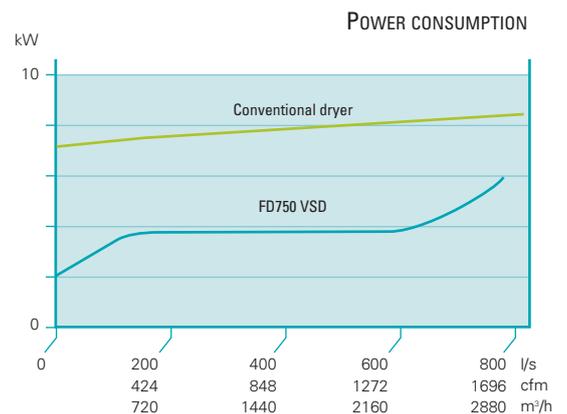


### FD VSD

**FD750 VSD - FD1000 VSD - FD1600 VSD - FD2000 VSD**

#### Variable load, variable energy = maximum savings

The VSD (Variable Speed Drive) controlled FD refrigerant compressor exactly matches the energy input to the need defined by the water load to the dryer. When the water load decreases, so will the speed of the refrigerant compressor... and the energy consumption of the FD dryer. Energy will no longer be wasted, which results typically in more than 25% savings when compared to conventional dryers.



# Technical data

## FD refrigerant dryer range - 50 Hz

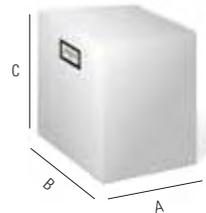
FD Type	Air flow at outlet with a PDP of +3 °C / 36 °F		Pressure drop		Maximum working pressure		Electrical supply	Dimensions						Weight		Compressed air connections
								A		B		C				
								mm	in	mm	in	mm	in			
FD5 (A)	6	13	0.09	1.31	14.5	210	110-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	45	99	R 3/4
FD10 (A)	10	21	0.09	1.31	14.5	210	110-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	45	99	R 3/4
FD15 (A)	15	32	0.20	2.90	14.5	210	110-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	45	99	R 3/4
FD20 (A)	19	40	0.23	3.34	14.5	210	110-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	46	101	R 3/4
FD25 (A)	24	51	0.24	3.48	14.5	210	110-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	47	104	R 3/4
FD35 (A)	33	70	0.10	1.45	13	189	230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	74	163	R1
FD45 (A)	45	95	0.15	2.18	13	189	230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	74	163	R1
FD65 (A)	63	134	0.14	2.03	13	189	230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	89	196	R1 1/2
FD95 (A)	93	197	0.26	3.77	13	189	230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	90	198	R1 1/2
FD110 (A)	110	233	0.15	2.18	13	189	230V	877	34.5	696	27.4	810	31.9	122	269	R1 1/2
FD130 (A)	130	276	0.21	3.05	13	189	230V	877	34.5	696	27.4	810	31.9	122	269	R1 1/2
FD170 (A)	170	360	0.19	2.76	13	189	230V	973	38.3	804	31.7	820	32.3	155	342	R2 1/2
FD230 (A)	230	488	0.19	2.76	13	189	230V	973	38.3	804	31.7	820	32.3	167	368	R2 1/2
FD280 (A/W)	280	594	0.24	3.48	13	189	230-415V/3	985	38.8	850	33.5	920	36.2	185	408	R3
FD300 (A/W)	314	666	0.15	2.18	14.5	210	230-415V/3	1227	48.3	937	36.9	1125	44.3	265	584	R3
FD380 (A/W)	380	806	0.09	1.31	14.5	210	230-415V/3	1227	48.3	937	36.9	1125	44.3	305	673	R3
FD450 (A/W)	450	954	0.15	2.18	14.5	210	230-415V/3	1227	48.3	937	36.9	1125	44.3	315	695	R3
FD560 (A/W)	585	1240	0.21	3.05	14.5	210	230-415V/3	1491	58.7	911	35.9	1011	39.8	350	772	DN100
FD700 (A/W)	725	1537	0.23	3.34	14.5	210	230-500V/3	1633	64.3	1220	48.0	1234	48.6	440	970	DN100
FD750VSD/FS (A)	750	1590	0.29	4.21	13	189	380-460V/3	1750	68.9	1070	42.1	1500	59.1	450	992	DN100
FD850 (A/W)	850	1802	0.16	2.32	10.5	152	230-500V/3	1656	65.2	1481	58.3	1414	55.7	750	1654	DN150
FD950 (A/W)	942	1997	0.19	2.76	10.5	152	230-500V/3	1656	65.2	1481	58.3	1414	55.7	750	1654	DN150
FD1000 VSD/FS (A/W)	1000	2120	0.17	2.47	13	189	380-460V/3	1500	59.1	970	38.2	1800	70.9	500	1103	DN150
FD1200 (W)	1150	2438	0.24	3.48	10.5	152	230-500V/3	1540	60.6	1481	58.3	1414	55.7	750	1654	DN150
FD1600 (W)	1663	3526	0.22	3.19	10.5	152	230-500V/3	1887	74.3	1500	59.1	1673	65.9	1150	2536	DN150
FD1600 VSD/FS (A/W)	1600	3392	0.14	2.03	11	159	380-460V/3	2800	110.0	1350	53.1	1900	74.8	1000	2206	DN200
FD2000 VSD/FS (A/W)	2000	4240	0.20	2.90	11	159	380-460V/3	2150	84.6	1380	54.3	1880	74.0	1200	2645	DN200

### Reference conditions

Air inlet temperature :	35 °C / 95 °F
Ambient temperature :	25 °C / 77 °F
Working pressure :	7 bar(e) / 102 psig
Max. inlet temperature :	
FD5-25	60 °C / 140 °F
FD35-2000	55 °C / 131 °F
Max. ambient temperature :	
FD5-25	50 °C / 122 °F
FD35-2000	45 °C / 113 °F

■ 20 bar(e)/290 psig version available

- (A) Air cooled version
- (A/W) Air and water cooled versions
- (W) Water cooled version
- VSD Variable Speed Drive
- FS Fixed Speed



For other compressed air inlet temperatures and pressure dewpoint temperatures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>1</sub>** :

FD 5-230 Inlet temperature	Pressure dewpoint temperature					
	3 °C	5 °C	7 °C	10 °C	15 °C	18 °C
25 °C	1.00	1.20	1.41	1.72	2.20	2.46
30 °C	1.00	1.17	1.32	1.54	1.96	2.25
35 °C	1.00	1.15	1.25	1.38	1.74	2.00
40 °C	0.98	1.08	1.14	1.28	1.54	1.76
45 °C	0.85	0.92	1.00	1.09	1.37	1.53
50 °C	0.70	0.75	0.80	0.92	1.15	1.33
55 °C	0.57	0.60	0.65	0.75	0.94	1.12

FD 280-2000 Inlet temperature	Pressure dewpoint temperature			
	3 °C	5 °C	7 °C	10 °C
25 °C	1.00	1.20	1.41	1.72
30 °C	1.00	1.17	1.32	1.54
35 °C	1.00	1.15	1.25	1.38
40 °C	0.85	0.95	1.05	1.15
45 °C	0.72	0.79	0.85	1.00
50 °C	0.60	0.67	0.74	0.86
55 °C	0.49	0.56	0.62	0.70

For other compressed air inlet pressures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>2</sub>** :

bar(e)	4	6	7	8	10	12	15	20
	0.80	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.35	1.45

For other cooling medium temperatures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>3</sub>** :

°C	25	30	35	40	45
	1.00	0.95	0.88	0.81	0.74

### Example:

What is the inlet capacity for an FD45 at the following conditions :

Inlet temp. : 45 °C - Pressure dewpoint : 10 °C - Inlet pressure : 10 bar(e) - Ambient temp. : 35 °C

Retrieve the correction factors from the tables :

**K<sub>1</sub>** = 1.09 / **K<sub>2</sub>** = 1.15 / **K<sub>3</sub>** = 0.88 / Q<sub>nominal</sub> for FD45 = 45 l/s at reference conditions

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{actual}} &= \mathbf{K_1} \times \mathbf{K_2} \times \mathbf{K_3} \times Q_{\text{nominal}} \\
 &= 1.09 \times 1.15 \times 0.88 \times 45 \text{ l/s} \\
 &= 49.6 \text{ l/s}
 \end{aligned}$$

# Technical data

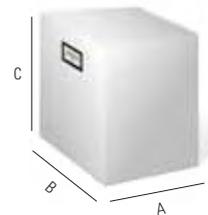
## FD refrigerant dryer range - 60 Hz

FD Type	Air flow at outlet with a PDP of 39 °F / 4 °C		Pressure drop		Maximum working pressure		Electrical supply	Dimensions						Weight		Compressed air connections
								A		B		C				
								mm	in	mm	in	mm	in			
FD5 (A)	6	13	0.09	1.31	14.4	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	43	95	NPT 3/4
FD10 (A)	10	21	0.09	1.31	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	45	99	NPT 3/4
FD15 (A)	15	32	0.20	2.90	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	48	106	NPT 3/4
FD20 (A)	19	40	0.23	3.34	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	50	110	NPT 3/4
FD25 (A)	24	51	0.24	3.48	14.5	210	115-230V	558	22.0	515	20.3	582	22.9	52	115	NPT 3/4
FD35 (A)	33	70	0.10	1.45	13	189	200-230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	74	163	NPT 1
FD45 (A)	43	91	0.13	1.89	13	189	200-230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	74	163	NPT 1
FD65 (A)	63	134	0.14	2.03	13	189	200-230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	89	196	NPT 1 1/2
FD95 (A)	93	197	0.26	3.77	13	189	200-230V	469	18.5	657	25.9	919	36.2	90	198	NPT 1 1/2
FD110 (A)	113	240	0.15	2.18	13	189	200-230V	877	34.5	696	27.4	810	31.9	122	269	R 1 1/2
FD130 (A)	135	286	0.21	3.05	13	189	200-230V	877	34.5	696	27.4	810	31.9	122	269	R 1 1/2
FD170 (A)	175	371	0.25	3.63	13	189	230-575V/3	973	38.3	804	31.7	820	32.3	155	342	R 2 1/2
FD230 (A)	235	498	0.22	3.19	13	189	230-575V/3	973	38.3	804	31.7	820	32.3	167	368	R 2 1/2
FD280 (A/W)	265	562	0.22	3.19	13	189	230-440V/3	985	38.8	850	33.5	920	36.2	185	408	R3
FD300 (A/W)	314	666	0.09	1.31	14.5	210	230-440V/3	1227	48.3	937	36.9	1125	44.3	305	673	R3
FD380 (A/W)	380	806	0.15	2.18	14.5	210	230-440V/3	1227	48.3	937	36.9	1125	44.3	315	695	R3
FD450 (A/W)	450	954	0.21	3.05	14.5	210	230-440V/3	1491	58.7	911	35.9	1011	39.8	350	772	R3
FD700 (A/W)	705	1495	0.21	3.05	14.5	210	230-575V/3	1663	65.5	1220	48.0	1234	48.6	440	970	DN100
FD750 VSD/FS (A)	750	1590	0.29	4.21	13	189	400-460V/3	1750	68.9	1070	42.1	1500	59.1	450	992	DN100
FD850 (A/W)	850	1802	0.16	2.32	10.5	152	230-575V/3	1656	65.2	1481	58.3	1414	55.7	750	1654	DN150
FD1000 VSD/FS (A/W)	1000	2120	0.17	2.47	13	189	400-460V/3	1500	59.1	970	38.2	1800	70.9	500	1103	DN150
FD1200 (W)	1150	2438	0.18	2.61	10.5	152	230-575V/3	1540	60.6	1481	58.3	1414	55.7	750	1654	DN150
FD1600 (W)	1663	3526	0.23	3.34	10.5	152	230-575V/3	1887	74.3	1500	59.1	1673	65.9	1150	2536	DN150
FD1600 VSD/FS (A/W)	1600	3392	0.14	2.03	11	159	380-460V/3	2800	110.0	1350	53.1	1900	74.8	1000	2206	DN200
FD2000 VSD/FS (A/W)	2000	4240	0.20	2.90	11	159	380-460V/3	2150	84.6	1380	54.3	1880	74.0	1200	2645	DN200

### Reference conditions

Air inlet temperature :	100 °F / 38 °C
Ambient temperature :	100 °F / 38 °C
Working pressure :	102 psig / 7 bar(e)
Max. inlet temperature :	
FD5-25	140 °F / 60 °C
FD35-2000	131 °F / 55 °C
Max. ambient temperature :	
FD5-25	122 °F / 50 °C
FD35-2000	113 °F / 45 °C

- 290 psi(g)/20 bar(g) version available
- CSA/UL variants supplied with NPT thread
- CSA/UL variants supplied with ANSI flange
- (A) Air cooled version
- (A/W) Air and water cooled versions
- (W) Water cooled version
- VSD Variable Speed Drive
- FS Fixed Speed



For other compressed air inlet temperatures and pressure dewpoint temperatures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>1</sub>** :

FD 5-230 Inlet temperature	Pressure dewpoint temperature				
	39 °F	45 °F	50 °F	59 °F	64 °F
86 °F	1.09	1.30	1.55	1.85	2.10
95 °F	1.03	1.22	1.40	1.63	1.83
100 °F	1.00	1.15	1.30	1.49	1.66
113 °F	0.91	1.02	1.11	1.21	1.30
122 °F	0.76	0.83	0.93	1.06	1.12
131 °F	0.61	0.68	0.75	0.87	0.95

FD 280-2000 Inlet temperature	Pressure dewpoint temperature		
	39 °F	45 °F	50 °F
86 °F	1.09	1.30	1.55
95 °F	1.03	1.22	1.40
100 °F	1.00	1.15	1.30
113 °F	0.80	0.96	1.07
122 °F	0.66	0.76	0.84
131 °F	0.54	0.63	0.69

For other compressed air inlet pressures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>2</sub>** :

psig	58	87	102	116	145	174	218	290
	0.80	0.95	1.00	1.05	1.15	1.25	1.35	1.45

For other cooling medium temperatures, multiply the dryer air flow by the following factors **K<sub>3</sub>** :

°F	77	86	95	100	113
	1.10	1.06	1.02	1.00	0.93

### Example:

What is the inlet capacity for an FD45 at the following conditions :

Inlet temp. : 113 °F - Pressure dewpoint : 50 °F - Inlet pressure : 145 psi(e) - Ambient temp. : 95 °F

Retrieve the correction factors from the tables :

**K<sub>1</sub>** = 1.11 / **K<sub>2</sub>** = 1.15 / **K<sub>3</sub>** = 1.02 / Q<sub>nominal</sub> for FD45 = 95 cfm at reference conditions

$$Q_{\text{actual}} = K_1 \times K_2 \times K_3 \times Q_{\text{nominal}}$$

$$= 1.11 \times 1.15 \times 1.02 \times 95 \text{ cfm}$$

$$= 123.7 \text{ cfm}$$



The face of innovation

What sets Atlas Copco apart as a company is our conviction that we can only excel in what we do if we provide the best possible know-how and technology to really help our customers produce, grow and succeed.

There is a unique way of achieving that - we simply call it the Atlas Copco way. It builds on **interaction**, on long-term relationships and involvement in the customers' process, needs and objectives. It means having the flexibility to adapt to the diverse demands of the people we cater for.

It's the **commitment** to our customers' business that drives our effort towards increasing their productivity through better solutions. It starts with fully supporting existing products and continuously doing things better, but it goes much further, creating advances in technology through **innovation**. Not for the sake of technology, but for the sake of our customer's bottom line and peace-of-mind.

That is how Atlas Copco will strive to remain the first choice, to succeed in attracting new business and to maintain our position as the industry leader.



Never use compressed air as breathing air without prior purification in accordance with local legislation and standards.

**Service competence**

Atlas Copco is committed to provide the levels of after-sales care that you require. Our highly trained engineers offer the best possible support and assistance in operating your equipment with the most modern diagnostic tools available.

**Global capability**

Global capability with local presence means that we can respond rapidly to any situation anywhere in the world. Our world class logistics ensures timely delivery of our range of guaranteed quality spare parts.



**ISO 9001**

From design to production and delivery of compressors, Atlas Copco adheres to the ISO 9001 management system.



**ISO 14001**

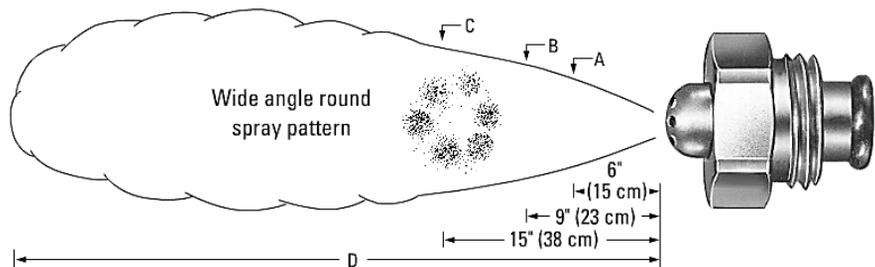
Atlas Copco's Environmental Management System forms an integral part of each business.

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

#### **ANEXO 4. Catálogo Air Atomizing Spray Nozzle**

**FEATURES AND BENEFITS**

- For wide angle round and flat sprays, dimensions “A”, “B” and “C” are the pattern widths at distances from the nozzle
- The total distance of spray projection from the nozzle to the maximum dispersal point is represented by “D”
- When using a pressure-fed liquid system, the liquid is supplied to the nozzle under pressure
- The liquid and compressed air or gas are mixed internally to produce a completely atomized spray



12582 retainer ring and 7717-2/007 O-ring must be ordered separately from the spray set-up, but are included in the standard nozzle assembly. Please contact your sales engineer.



**PERFORMANCE DATA**

**WIDE ANGLE ROUND SPRAY**

\*At the stated pressure in psi.

Spray Set-up No.	Spray Set-up Consists of Fluid and Air Cap Combination	Liquid Capacity (gallons per hour)* and Air Capacity (standard cubic feet per minute)*															Spray Dimensions					
		Liquid Pressure																				
		10			20			30			40			60								
		Air Press.	gph	scfm	Air Press.	gph	scfm	Air Press.	gph	scfm	Air Press.	gph	scfm	Air Press.	gph	scfm	Air*	Liquid*	A (in.)	B (in.)	C (in.)	D (ft.)
SUJ16	Fluid Cap J2050 + Air Cap J67-6-20-70°	8.0	1.41	.36	14.0	2.10	.42	22	2.36	.56	30	2.53	.68	44	2.95	.81	10	10	5-1/2	7	9	5
		10.0	1.14	.43	16.0	1.90	.50	26	2.02	.69	34	2.23	.81	48	2.72	.94	20	20	6	7-1/2	9-1/2	6
		12.0	.79	.50	18.0	1.68	.56	30	1.61	.83	38	1.90	.94	55	2.30	1.20	34	30	6-1/2	8	10	7
		14.0	.45	.60	22	1.17	.71	36	.91	1.07	46	1.10	1.26	65	1.50	1.60	42	40	6-1/2	8	10-1/2	9
		-	-	-	26	.55	.90	40	.43	1.25	50	.69	1.45	75	.65	2.05	60	60	7-1/2	9	12	13
SUJ26B	Fluid Cap J40100 + Air Cap J140-6-37-70°	12.0	1.85	1.78	22	3.30	2.30	30	5.10	2.54	38	6.40	2.84	54	8.76	3.44	12	10	7	9-1/2	12-1/2	6
		14.0	.55	2.20	24	2.20	2.67	32	4.25	2.85	42	4.70	3.42	56	8.10	3.74	24	20	7-1/2	10	13	8
		-	-	-	26	1.20	3.05	36	2.50	3.50	46	3.06	4.05	60	6.76	4.32	34	30	7-1/2	10	13	10-1/2
		-	-	-	-	-	-	40	.70	4.30	50	1.40	4.84	70	3.50	6.00	46	40	8	10-1/2	13-1/2	13-1/2
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	.60	5.34	75	1.85	6.95	60	60	8-1/2	11	14-1/2	19-1/2
SUJ26	Fluid Cap J60100 + Air Cap J140-6-37-70°	10.0	6.3	1.14	20	9.0	1.60	30	11.2	2.04	40	12.4	2.54	56	16.2	2.75	12	10	7-1/2	10	14	7
		12.0	3.6	1.54	22	6.9	2.00	32	9.3	2.44	42	10.6	2.92	58	14.8	3.11	22	20	8	10-1/2	14-1/2	10-1/2
		14.0	2.0	2.00	24	5.1	2.40	36	5.4	3.20	46	7.1	3.72	65	9.8	4.42	34	30	8	10-1/2	14-1/2	13-1/2
		-	-	-	26	3.3	2.80	40	2.3	3.98	50	3.6	4.51	75	4.0	6.31	46	40	8	11	15	16-1/2
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	2.2	4.91	80	2.4	6.51	65	60	8	11	15-1/2	22-1/2
SUJ29	Fluid Cap J60100 + Air Cap J140-6-52-70°	18.0	9.4	3.0	30	13.4	4.15	44	15.3	5.45	60	15.6	7.05	80	21.4	8.55	28	10	8	10	13	18
		22	7.7	3.6	34	11.9	4.65	48	13.8	5.9	70	12.5	8.25	85	19.5	9.15	42	20	8	10-1/2	13-1/2	21
		26	6.0	4.13	38	10.3	5.1	55	11.3	6.75	80	9.3	9.45	90	17.9	9.75	65	30	8-1/2	11	14-1/2	27
		30	4.4	4.7	46	7.3	6.1	70	6.1	8.6	90	6.2	10.7	100	15.1	10.95	85	40	9	11-1/2	15	30
		34	3.0	5.25	60	2.4	7.95	80	3.3	9.85	100	3.7	11.9	-	-	-	90	60	9-1/2	12-1/2	16	34
SUJ30	Fluid Cap J40100 + Air Cap J120-6-35-60°	16.0	3.24	1.43	28	4.60	1.96	42	5.27	2.67	55	5.69	3.30	80	7.10	4.50	22	10	6	7-1/2	9	9
		18.0	2.61	1.59	32	3.37	2.27	46	4.0	2.96	60	4.24	3.68	85	5.80	4.88	40	20	6-1/2	8	9-1/2	15
		20	2.08	1.75	36	2.45	2.55	48	3.45	3.11	65	3.15	4.06	90	4.65	5.27	50	30	6-1/2	8	9-1/2	18
		24	1.30	2.06	42	1.45	3.00	55	2.11	3.63	75	1.72	4.82	100	3.00	6.03	70	40	7	8-1/2	10	24
		28	.82	2.35	46	1.0	3.28	65	1.03	4.36	85	1.05	5.58	-	-	-	90	60	7-1/2	9-1/2	11	31

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

**ANEXO 5. Catálogos Motobomba centrífuga para agua Siemens y Bomba Goulds Pumps**

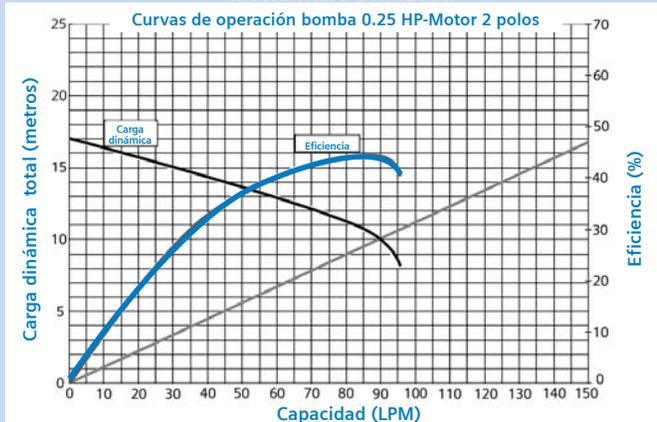


# motobombas

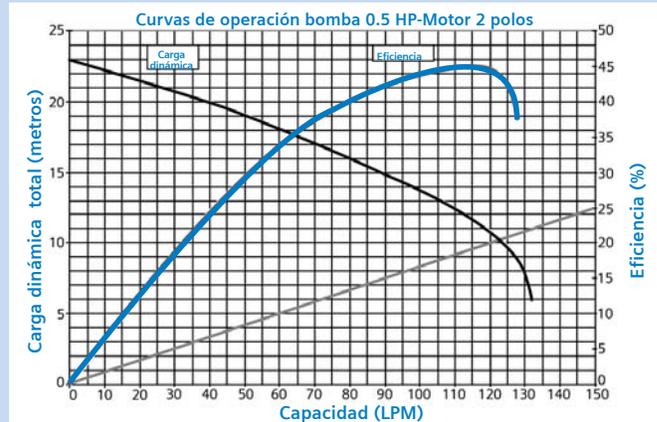
# Motobomba centrífuga para agua

- Motor con factor de servicio de acuerdo a NEMA
- Motor abierto APG
- Impulsor cerrado de latón en motobomba de 0.25 HP a 1.5 HP
- Operación silenciosa
- Diseño compacto
- Eficiente
- Color naranja RAL 2001
- Eficiente
- Impulsor de fundición de bronce en motobomba de 2 HP
- Protector térmico automático hasta 0.75 HP
- Servicio: Continuo
- Garantía 24 meses

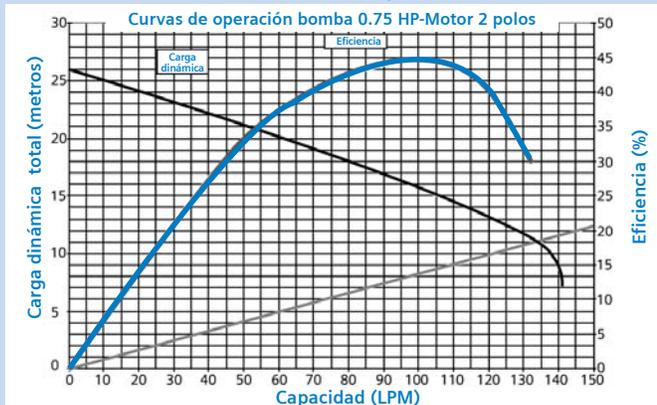
**Motobomba de 0.25 HP**



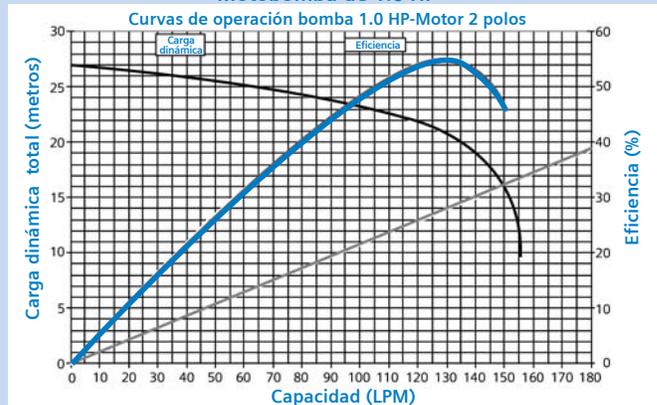
**Motobomba de 0.5 HP**



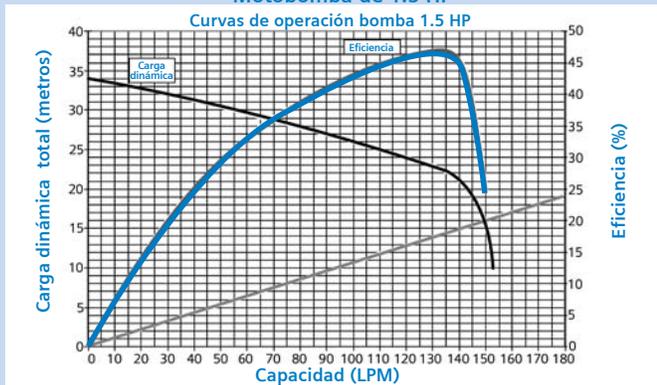
**Motobomba de 0.75 HP**



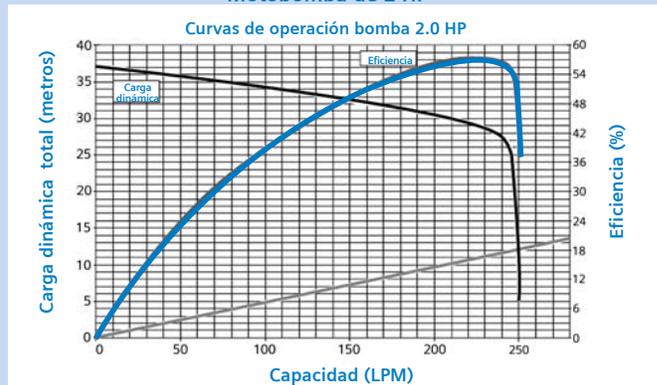
**Motobomba de 1.0 HP**



**Motobomba de 1.5 HP**



**Motobomba de 2 HP**

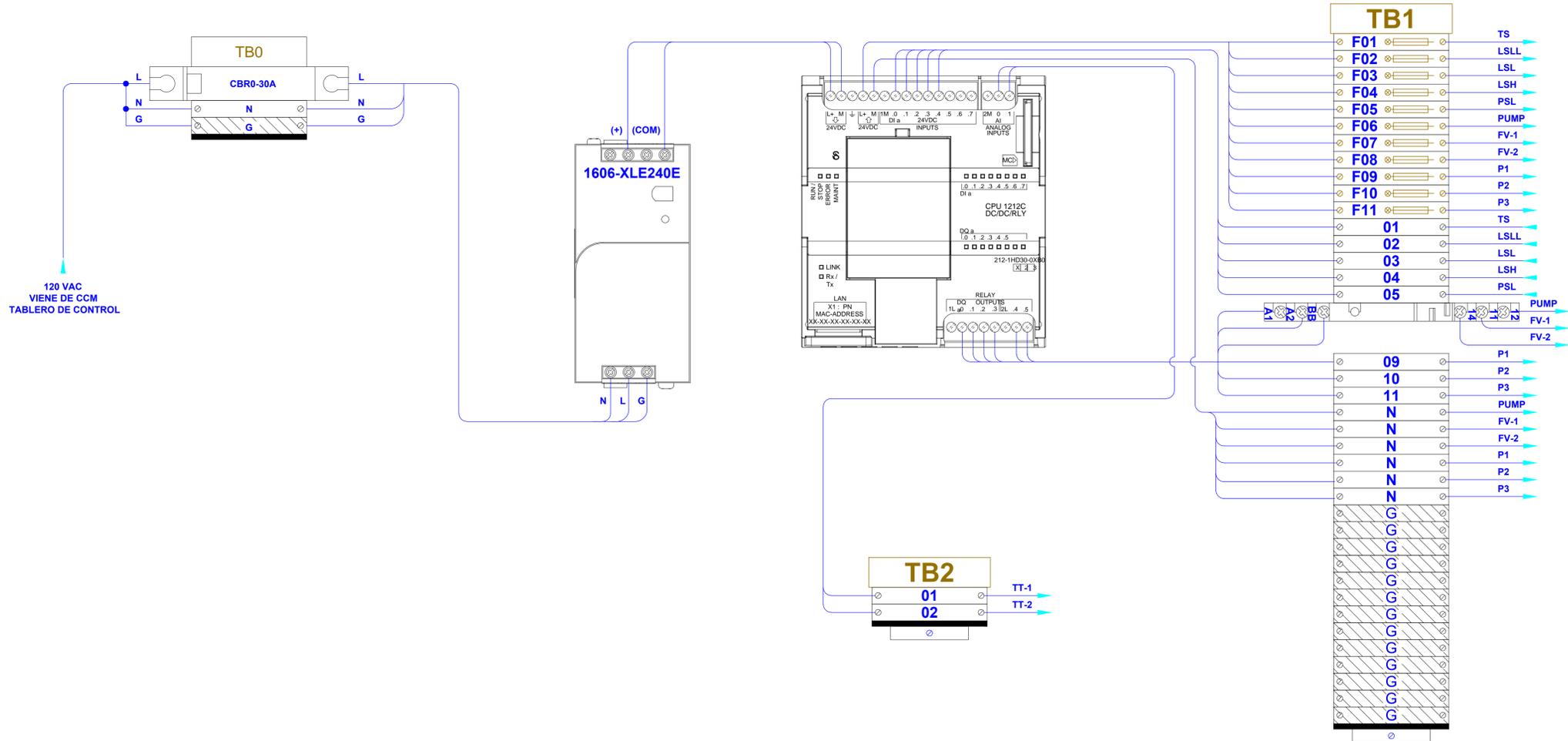


**Tipo 2AN - Monofásica, Arranque por capacitor, base rígida, 2 polos**

HP	Volts	Flujo Máximo	Diámetro de succión	Diámetro de descarga	Altura max. a flujo cero	Catálogo Spiridon	F.S.	Corriente nominal A	Corriente a F.S. A	Capacitor M.N. \$
0,25	127	90 l/min a 10 m de altura	1" - 11,5 NPT	3/4" - 14 NPT	17 m	A7B10000002537	1,80	4,3	5,6	A
0,50	127	120 l/min a 10 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	23 m	A7B10000002538	1,60	8,0	9,3	C
0,75	127	135 l/min a 11 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	26 m	2AN42552YC35	1,50	9,3	12,0	J
1,00	115/230	145 l/min a 16 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	27 m	2AN42762YC65	1,30	13,4/6,7	15,4/7,7	E
1,50	115/230	150 l/min a 16 m de altura	1 1/4" - 11,5 NPT	1" - 11,5 NPT	34 m	2AN32572YC66	1,30	16,4/8,2	20,0/10,0	F
2,00	115/230	250 l/min a 11 m de altura	1 1/2" - 11,5 NPT	1 1/4" - 11,5 NPT	37 m	2AN32582YC66	1,20	21,0/10,5	25,0/12,5	G

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

**ANEXO 6. Plano de conexionado interno del tablero de control e instrumentación**



CONVENCIONES :

- MINIBREAKER
- BORNERA UNIVERSAL XX= CONSECUTIVO BORNE
- BORNERA UNIVERSAL PARA TIERRA
- BORNERA FUSIBLE DE 0,5 A.
- RELE FINDER
- TOPE PLASTICO PARA BORNERA
- TAPA PLASTICA PARA BORNERA
- SEÑAL DESDE PROCESO (CAMPO)
- BLOQUE DE TERMINALES

NOTAS:

1. MEDIDAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE OTRA UNIDAD.
2. ELIMINAR ARISTAS VIVAS.
3. EL GABINETE DEBERA CUMPLIR CON LA NORMA ICS-6, NO VENTILADO, A PRUEBA DE AGUA, POLVO Y RESISTENTES A LA CORROSION, EN LAMINA DE ACERO COLD ROLLED CALIBRE 16, CON CIERRES RAPIDOS CANDAEABLES, OREJAS DE IZAJE Y DEBE INCLUIR UN BOLSILLO INTERIOR PARA PLANOS.
4. TODA LA ESTRUCTURA DEL TABLERO, INCLUYENDO LA PUERTA, DEBERA IR DEBIDAMENTE ATERRIZADA, GARANTIZANDO LA CONTINUIDAD ELÉCTRICA, CON CABLE No.12 AWG COLOR VERDE.
5. SE DEBEN UTILIZAR BORNERAS CON RANGO DE CALIBRE DE CABLE 22-10 AWG.
6. EN LA PARTE INTERNA DEL TABLERO SOBRE LA SUPERFICIE DEL FONDO DEBE TENER ENSAMBLADA UNA LÁMINA DE ACERO COLD ROLLED CALIBRE 18 QUE SEA DESMONTABLE (DOBLE FONDO).
7. LAS MEDIDAS INDICADAS SON APROXIMADAS, EL FABRICANTE LAS AJUSTARA EN CASO DE SER NECESARIO .
8. EL CABLEADO INTERNO DEBERA SER DE COBRE SUAVE, FLEXIBLE, CALIBRE 16 AWG, 300 V. (CABLE TIPO VEHICULAR).
9. LOS CONDUCTORES DEBERAN ESTAR IDENTIFICADOS CON MARCADORES MULTIDIGITOS, CON IMPRESION EN MAQUINA TERMICA.
10. LA PUERTA DEBERA CONTENER PARAL CENTRAL REMOVIBLE.
11. EL PLANO TIENE COMO BASE LAS MEDIDAS DE LAS BORNERAS Y CIRCUIT BREAKERS MARCA ALLEN BRADLEY. EL CONTRATISTA DEBERA VERIFICAR SI LAS DIMENSIONES DEL TABLERO SON SUFICIENTES PARA INSTALAR EQUIPOS DE OTRO FABRICANTE.
12. LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTA MARQUILLA DE IDENTIFICACIÓN TALES COMO COLOR, MATERIAL, TAMAÑO Y TIPO DE LETRA, ENTRE OTROS, DEBEN SER VERIFICADOS.

REV. FECHA		CONCEPTO	DIBUJO	REVISO	APROBO
04-03-2016		EMITIDO PARA CONSTRUCCIÓN	J. CANO T.	J. CANO T.	J. CANO T.
		<b>ITM</b> INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO Campus Robledo: Calle 73 No. 76A - 354 Via al Volador Tel: (574) 440 51 00 Fax: (574) 440 51 03 www.itm.edu.co MEDELLÍN - COLOMBIA		<b>ISO 9001</b> NTC-ISO 9001:2008 No. SC301-1	
DIRECTOR : J. CANO T. INGENIERO PROYECTO : J. CANO T. DIBUJANTE : J. CANO T.		ESCALA : INDICADAS FECHA : 04-03-2016 COD. PROYECTO : --- PLANO No. : ---		ULTIMA REV. : 0 CAD	
PROYECTO : SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCIÓN DE AIRE Y LA PULVERIZACIÓN DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERÍAS					
CONTIENE : CONEXIONADO INTERNO DEL TABLERO DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN					
DISEÑO		DIBUJO		PLANO No. :	
No.		REVISO		APROBO	
FECHA		FECHA		FECHA	

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

**ANEXO 7. Plano distribución interna tablero de control**

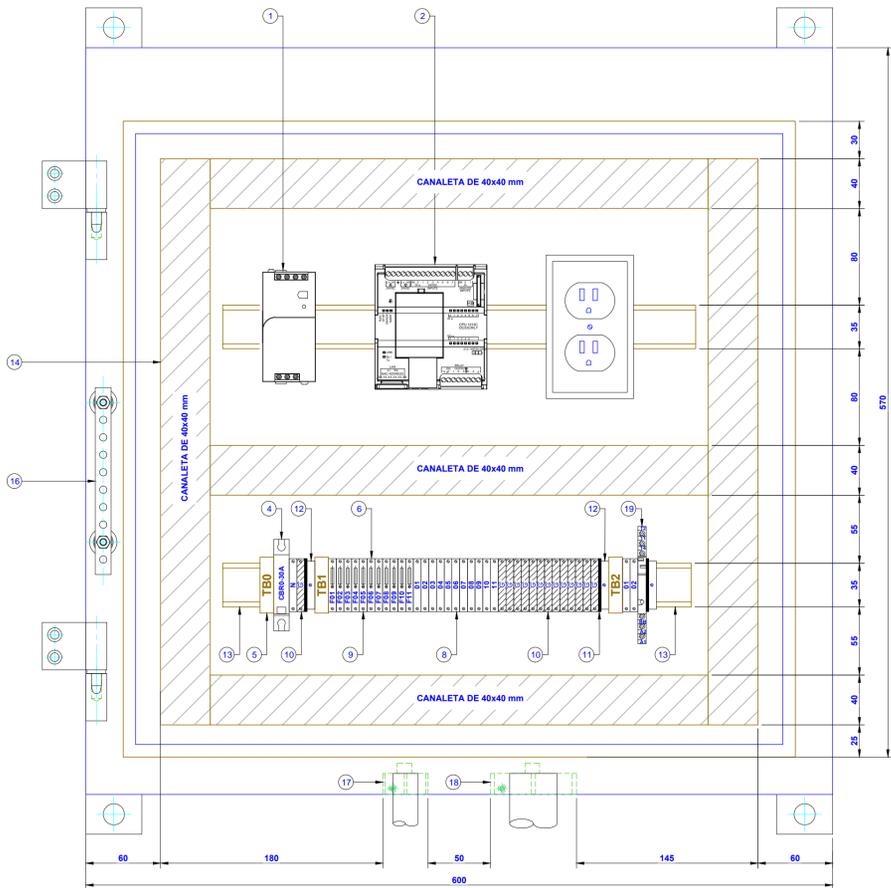
A

B

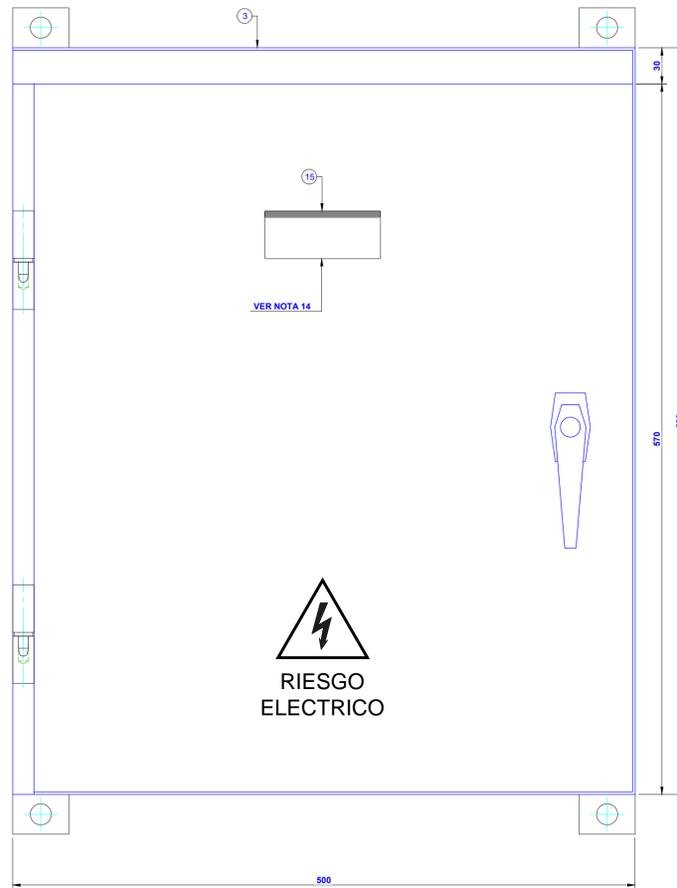
C

D

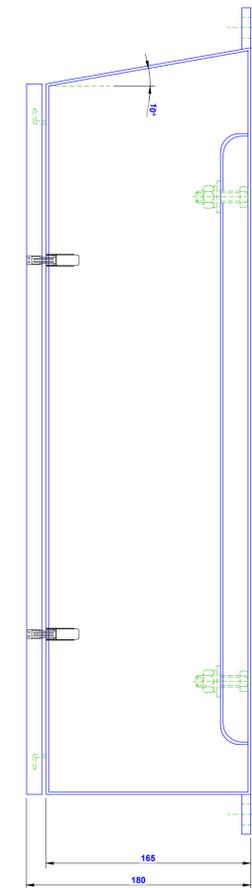
E



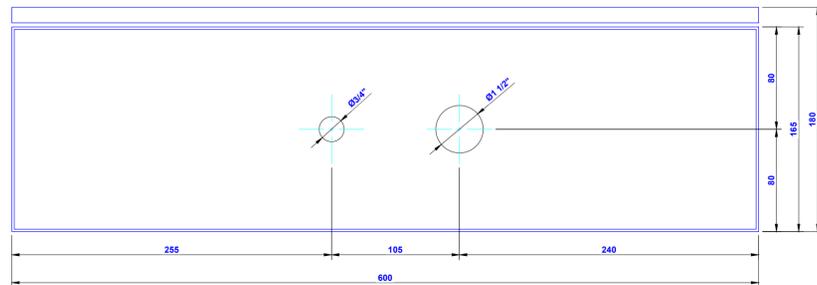
DISTRIBUCION INTERNA  
ESCALA: 1:2



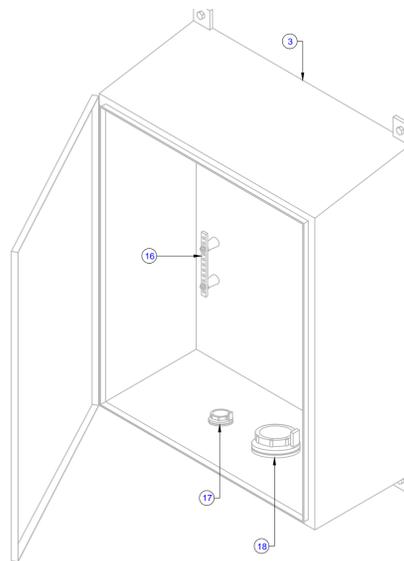
VISTA FRONTAL  
ESCALA: 1:2



VISTA LATERAL  
ESCALA: 1:2



VISTA INFERIOR  
ESCALA: 1:2



VISTA EN ISOMETRICO  
ESCALA: SIN

LISTA DE MATERIALES				
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	MODELO	CANTIDAD
1	FUENTE DE ALIMENTACION PARA VIN=120 VAC; VOUT=24 VDC/5 A, MARCA ROCKWELL	U	1606-XLE120E	1
2	PLC-CPU 1212C	U	212-1HD30-0XB0	1
3	GABINETE EN LAMINA DE ACERO COLD ROLLED CALIBRE 18, 500x400x180 mm, DOBLE FONDO, CON TECHO INCLINADO.	U	---	1
4	MINIBREAKERS MONOPOLARES DE 5 A.	U	---	2
5	MARCADOR DE REGLETA DE BORNES, DE ACUERDO A MARCACION INDICADA.	U	---	3
6	BORNERA FUSIBLE CON FUSIBLE 2 A, COLOR NEGRO.	U	---	4
6	TOMACORRIENTE DOBLE PARA 15 A, 120 VAC CON TERMINAL DE TIERRA NEMA 5-SR CON PROTECCION	U	---	4
8	BORNERS UNIVERSALES COLOR GRIS.	U	---	7
9	MARCADOR DE BORNES, DE ACUERDO A MARCACION INDICADA.	U	---	1
10	BORNERS UNIVERSALES DE TIERRA, COLOR VERDE AMARILLO.	U	---	1
11	TAPA FINAL DE BORNE COLOR GRIS.	U	---	3
12	TOPE PLASTICO PARA BORNERA.	U	---	3
13	RIEL OMEGA	mm	---	480
14	CANALETA PLASTICA RANURADA DE 40x40mm, CON CUBIERTA QUE CUMPLA NORMA UL	mm	---	1150
15	MARQUILLA DE IDENTIFICACION.	U	---	1
16	BARRA DE CU PARA TIERRA.	U	---	1
17	BOQUILLA TERMINAL CON ROSCA NPT 3/4" CON POLO A TIERRA	U	---	1
18	BOQUILLA TERMINAL CON ROSCA NPT 1/2" CON POLO A TIERRA	U	---	1
19	RELE FINDER 24 VDC/120VAC	U	---	1

CONVENCIONES :

	MINIBREAKER
	BORNERA UNIVERSAL XX= CONSECUTIVO BORNE
	BORNERA UNIVERSAL PARA TIERRA
	BORNERA FUSIBLE DE 5 A.
	TOPE PLASTICO PARA BORNERA
	TAPA PLASTICA PARA BORNERA
	RIEL OMEGA
	CANALETA PLASTICA
	BLOQUE DE TERMINALES

NOTAS:

1. MEDIDAS EN MILIMETROS A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE OTRA UNIDAD.
2. ELIMINAR ARISTAS VIVAS.
3. EL GABINETE DEBERA CUMPLIR CON LA NORMA ICS-8, NO VENTILADO, A PRUEBA DE AGUA, POLVO Y RESISTENTES A LA CORROSION, EN LAMINA DE ACERO COLD ROLLED CALIBRE 18, CON CIERRES RAPIDOS CANDAEABLES, OREJAS DE IZAJE Y DEBE INCLUIR UN BOLSILLO INTERIOR PARA PLANOS.
4. TODA LA ESTRUCTURA DEL TABLERO, INCLUYENDO LA PUERTA, DEBERA IR DEBIDAMENTE ATERRIZADA, GARANTIZANDO LA CONTINUIDAD ELECTRICA, CON CABLE No.12 AWG COLOR VERDE.
5. SE DEBEN UTILIZAR BORNERS CON RANGO DE CALIBRE DE CABLE 22-10 AWG.
6. EN LA PARTE INTERNA DEL TABLERO SOBRE LA SUPERFICIE DEL FONDO DEBE TENER ENSAMBLADA UNA LAMINA DE ACERO COLD ROLLED CALIBRE 18 QUE SEA DESMONTABLE (DOBLE FONDO).
7. LAS MEDIDAS INDICADAS SON APROXIMADAS, EL FABRICANTE LAS AJUSTARA EN CASO DE SER NECESARIO.
8. EL CABLEADO INTERNO DEBERA SER DE COBRE SUAVE, FLEXIBLE, CALIBRE 16 AWG, 300 V. (CABLE TIPO VEHICULAR).
9. LOS CONDUCTORES DEBERAN ESTAR IDENTIFICADOS CON MARCADORES MULTIDIGITOS, CON IMPRESION EN MAQUINA TERMICA.
10. VER DIAGRAMA DE CONEXIONADO INTERNO.
11. LA PUERTA DEBERA CONTENER PARAL CENTRAL REMOVIBLE.
12. EL PLANO TIENE COMO BASE LAS MEDIDAS DE LAS BORNERS Y CIRCUIT BREAKERS MARCA ALLEN BRADLEY, EL CONTRATISTA DEBERA VERIFICAR SI LAS DIMENSIONES DEL TABLERO SON SUFICIENTES PARA INSTALAR EQUIPOS DE OTRO FABRICANTE.
13. LAS CARACTERISTICAS DE ESTA MARQUILLA DE IDENTIFICACION TALES COMO COLOR, MATERIAL, TAMAÑO Y TIPO DE LETRA, ENTRE OTROS, DEBEN SER VERIFICADOS.

REV. FECHA		CONCEPTO		DIBUJO		REVISO		APROBO	
04-03-2016		EMITIDO PARA CONSTRUCCION		J. CANO T.		J. CANO T.		J. CANO T.	
		<b>ITM</b> INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO Campus Robledo: Calle 73 No. 76A - 354 Via al Volador Tel: (574) 440 51 00 Fax: (574) 440 51 03 www.itm.edu.co MEDELLIN - COLOMBIA				<b>ISO 9001</b> NTC-ISO 9001:2008 No. SC305-1			
DIRECTOR:		ING. PROYECTO:		DIBUJANTE:		ULTIMA REV.:			
J. CANO T.		J. CANO T.		J. CANO T.		CAD			
ESCALA:		FECHA:		COD. PROYECTO:		PLANO No.:			
INDICADAS		04-03-2016		---		---		0	
PROYECTO: <b>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCION DE AIRE Y LA PULVERIZACION DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERIAS</b>									
CONTIENE: <b>DISTRIBUCION INTERNA TABLERO DE CONTROL</b>									
DISENO		REVISO		APROBO		FECHA		PLANO No.:	
DIBUJO		No.		REVISO		APROBO		FECHA	

A

B

C

D

E

ESCALA DE PLOTEO: 1:1

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

**ANEXO 8. Plano diagrama unifilar**

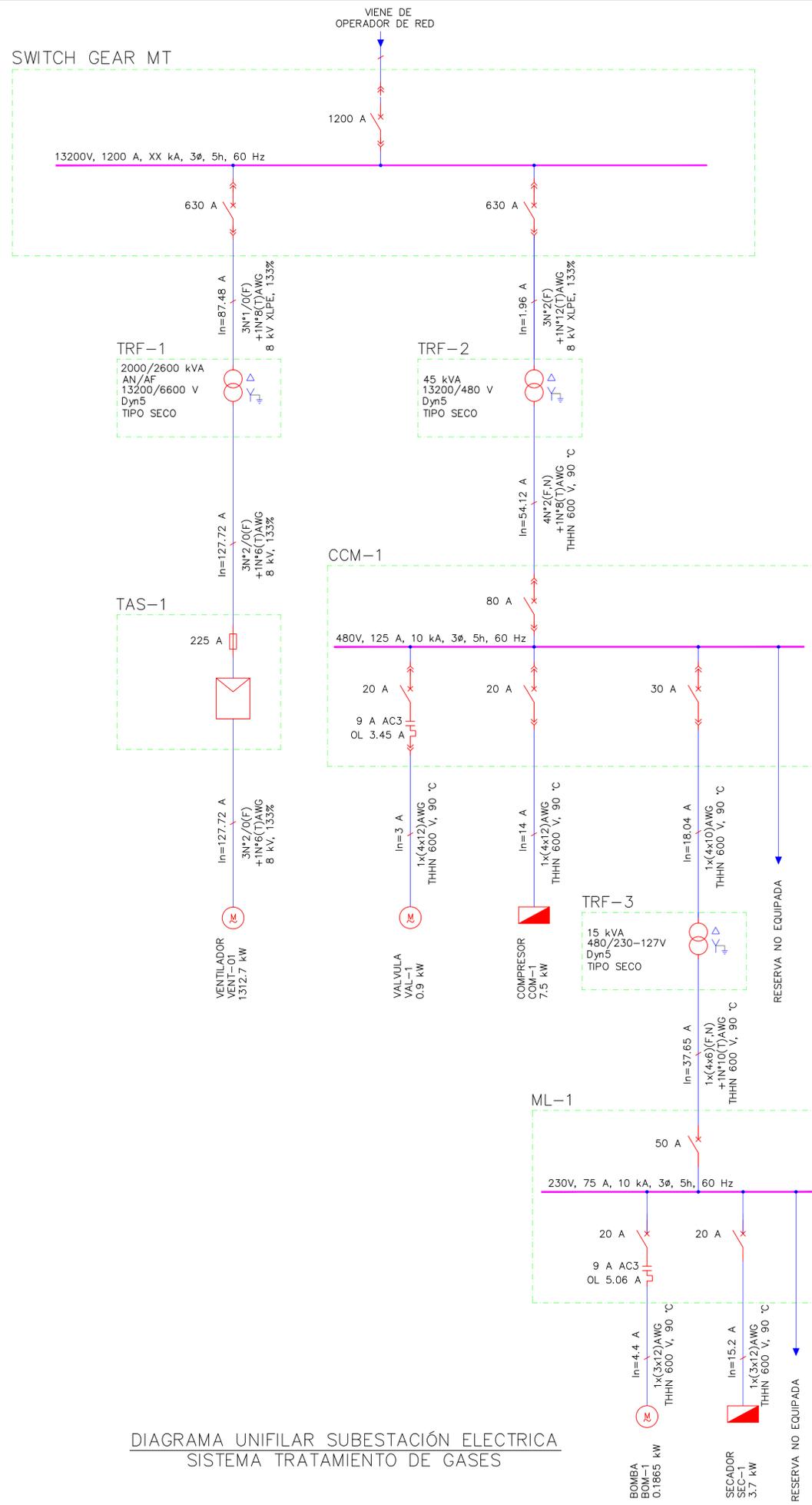


DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACIÓN ELECTRICA  
SISTEMA TRATAMIENTO DE GASES

**CONVENCIONES :**

- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO EXTRAIBLE
- INTERRUPTOR TERMOMAGNETICO
- TRANSFORMADOR
- FUSIBLE
- ARRANCADOR SUAVE
- MOTOR
- MARCACION CONDUCTOR
- ARRANCADOR DIRECTO CONTACTOR Y TERMICO
- TABLERO ELECTRICO EQUIPO PAQUETE

- NOTAS:**
- XX kA: CORRIENTE CORTO CTO ENTREGADA POR EL OPERADOR DE RED.
  - SE UTILIZO UN FACTOR DE POTENCIA DE 0.9 EN EL DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR.
  - EN EL DISEÑO DE LA RED ELECTRICA HAY 4 NIVELES DE TENSION, DEBIDO A QUE FUERON LOS OBTENIDOS EN LA SELECCION DE EQUIPOS MECANICOS.
  - PARA EL CALCULO DE LA SELECCION DE LOS CONDUCTORES SE ASUMIO UNA DISTANCIA PROMEDIO DE 20m DESDE LOS TABLERO HASTA LAS CARGAS FINALES.
  - LAS CORRIENTES DE LAS CARGAS MOTRICES FUERON SACADAS DE LA TABLA 430-150 PAGINA 357 DE LA NTC 2050.

REV.	FECHA	CONCEPTO	DIBUJO	REVISO	APROBO
15-04-2016	EMITIDO PARA CONSTRUCCION		J. CANO T.	J. CANO T.	J. CANO T.
		<b>ITM</b> INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO Campus Robledo: Calle 73 No. 76A - 354 Via al Volador Tel: (574) 440 51 90 Fax: (574) 440 51 93 www.itm.edu.co MEDELLIN - COLOMBIA		<b>ISO 9001</b> NTC-850 9001:2008 No. SC305-1	
DIRECTOR: J. CANO T.		ING. PROYECTO: J. CANO T.		DIBUJANTE: J. CANO T.	
ESCALA: INDICADAS		FECHA: 15-04-2016		COD. PROYECTO: ---	
PROYECTO: SISTEMA DE TRATAMIENTO DE GASES MEDIANTE LA INYECCION DE AIRE Y LA PULVERIZACION DE AGUA EN LA INDUSTRIA MINERA Y DE ACERIAS					
CONTIENE: DIAGRAMA UNIFILAR SUBESTACION ELECTRICA SISTEMA TRATAMIENTO DE GASES					
DISEÑO		DIBUJO		PLANO No.:	
No.		REVISO		APROBO	
FECHA		FECHA		ULTIMA REV.	

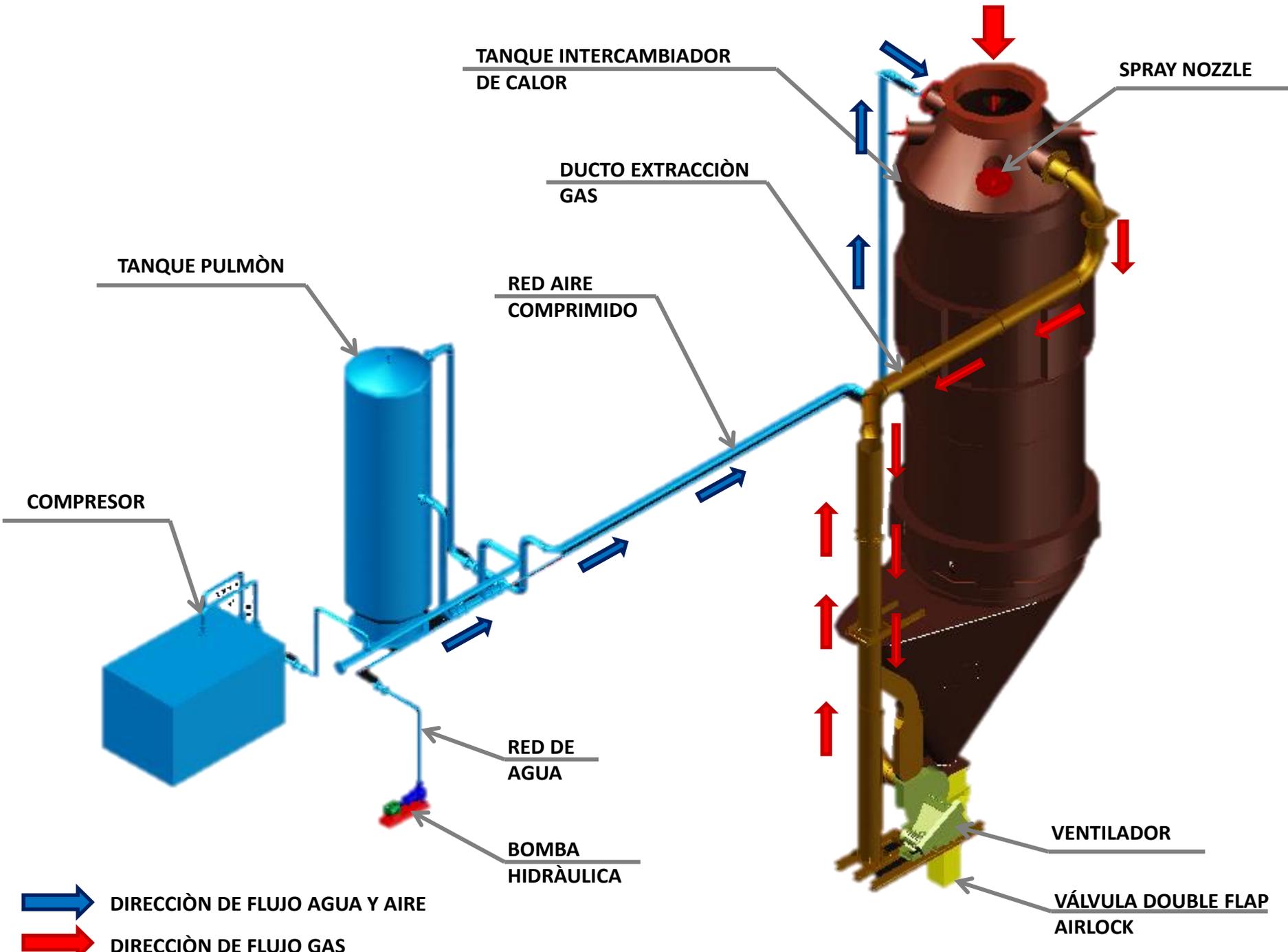
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

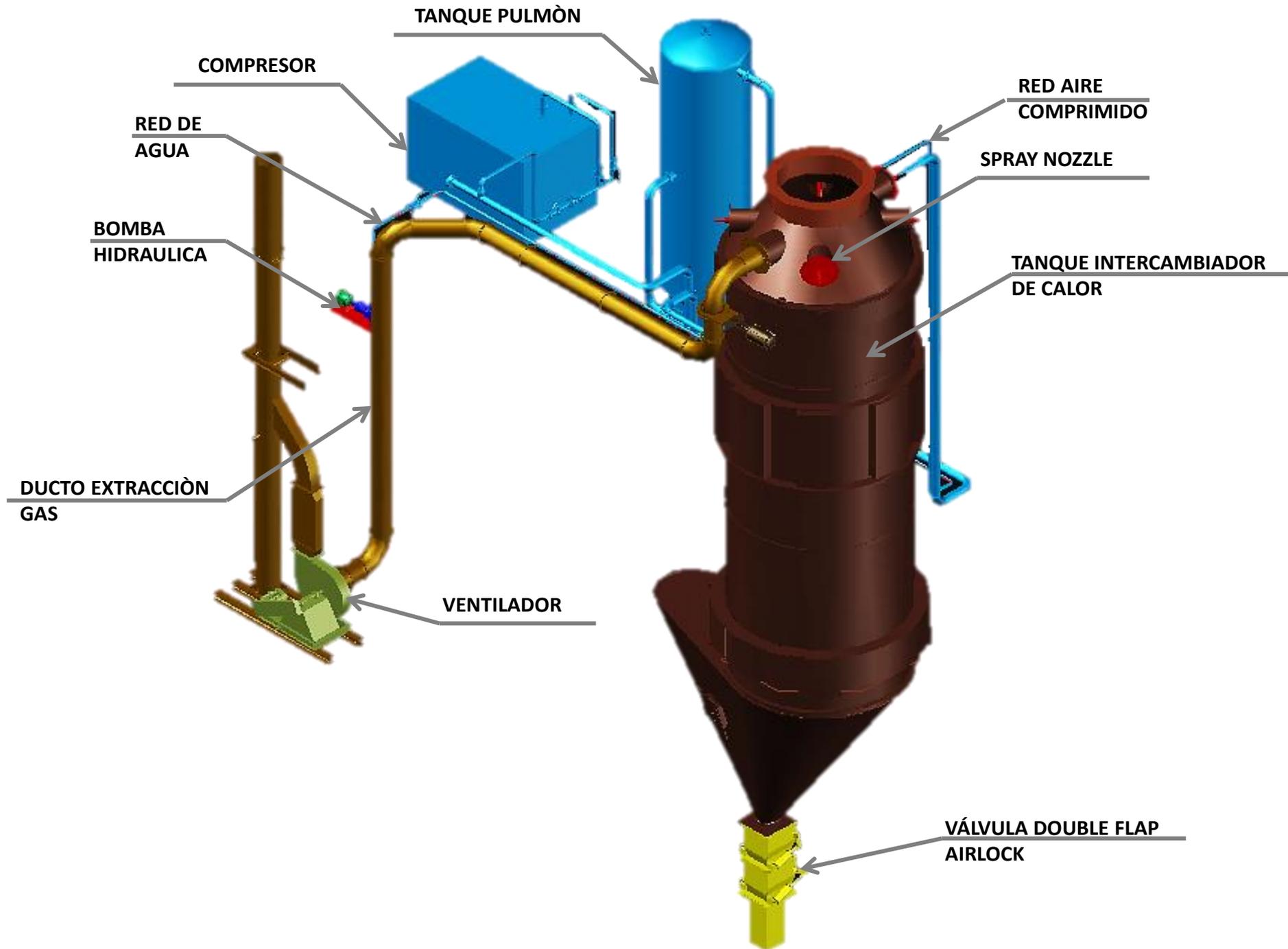
**ANEXO 9. Plano Tanque intercambiador de calor**

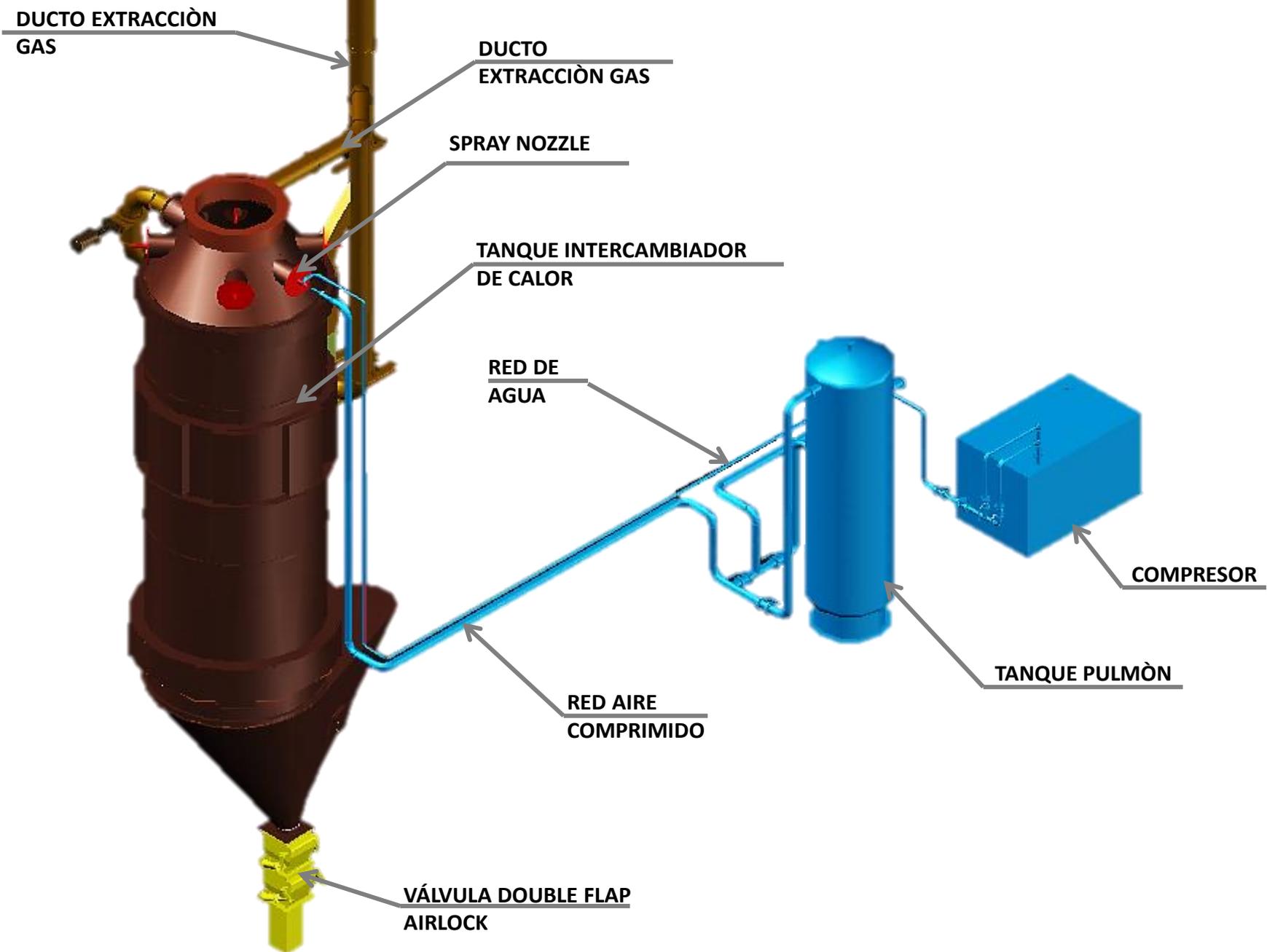


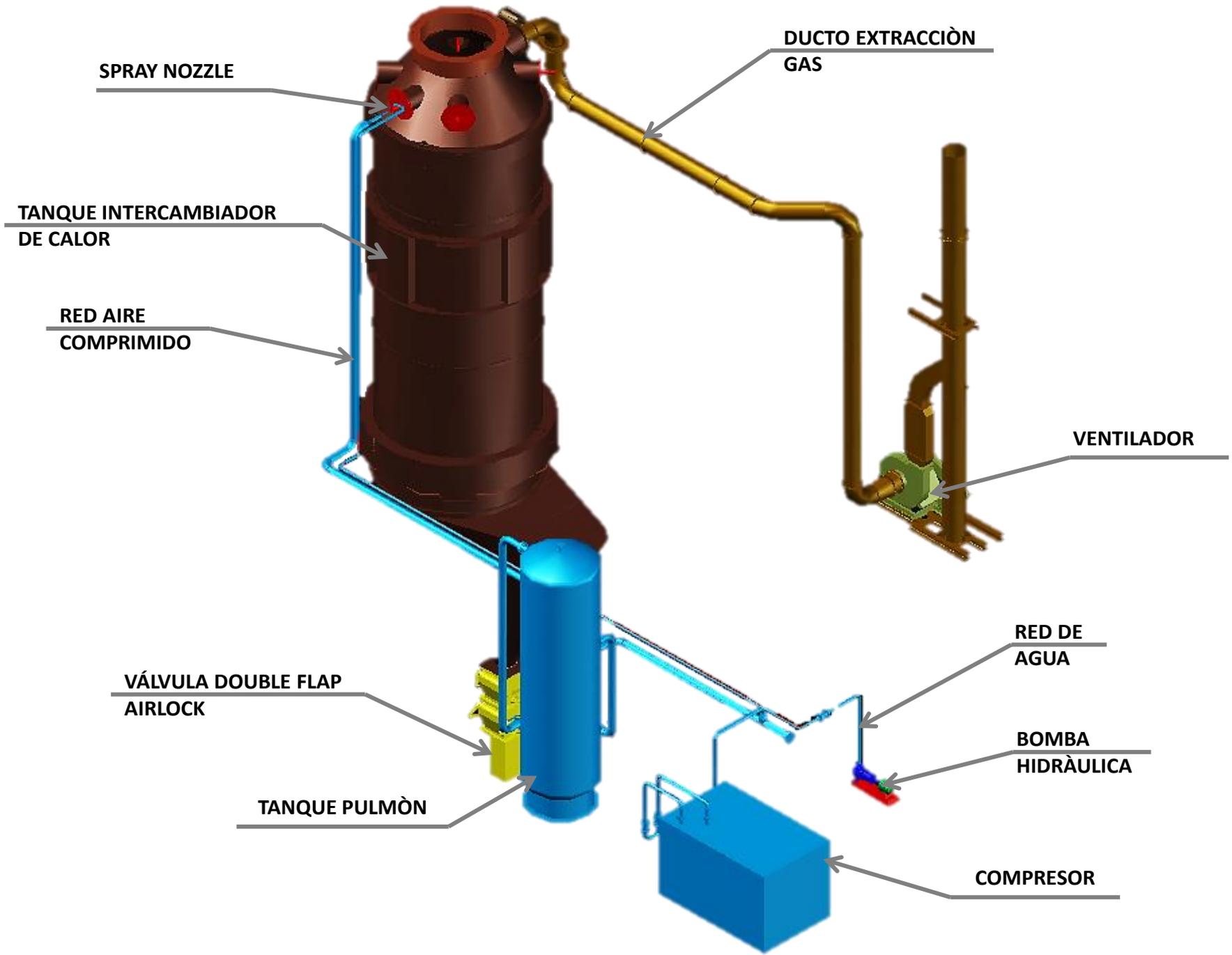
	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

**ANEXO 10. Modelación 3D, descripción de los equipos, sistemas y la secuencia del proceso**









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

FIRMA ESTUDIANTES Julian David Coronado

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

FIRMA ASESOR Adrián F. Martínez

FECHA ENTREGA: 28-06-2016

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: \_\_\_\_\_