

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y LIMPIEZA DE  
GASES ÁCIDOS PRODUCIDOS EN EL ANÁLISIS DE  
MINERALES EN EL LABORATORIO ALBORADA, NAZCA**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**LAJO-MORALES-RICARDO ADRIAN**

**PROMOCIÓN 1991-II**

**LIMA-PERÚ**

**2012**

# ÍNDICE

## PRÓLOGO

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

1.2 OBJETIVO

1.3 ALCANCE

1.4 JUSTIFICACIÓN

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ANÁLISIS DE MINERALES

2.2 PROCEDIMIENTO

2.3 GASES TÓXICOS

2.3.1 El óxido de azufre o trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>)

2.3.2 Ácido Sulfhídrico

2.4 PROCEDIMIENTOS DE PURIFICACIÓN Y LIMPIEZA DE GASES ÁCIDOS

2.4.1 Lavado de gases

2.4.1.1 Lavado de gases tipo Venturi

2.4.2 Sistemas de Relleno

2.4.3 Sistemas de Vacío

2.5 VENTILADORES

2.6 PÉRDIDAS EN TUBERÍAS

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y LIMPIEZA

3.1 DISEÑO DE NEUTRALIZADOR DE GASES

3.1.1. Difusor

3.1.2 La columna

3.1.3 Tobera circular

### III

- 3.1.4 Sistema de lavado de gases
- 3.2 DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE GASES A MANEJAR
- 3.3 CÁLCULO DE TUBERÍA
- 3.4 DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN
- 3.5 DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA

## CAPÍTULO IV

### FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS

- 4.1 FABRICACIÓN
  - 4.1.1 Columna de condensación
  - 4.1.2 Difusor
  - 4.1.3 Depósito de agua de neutralización y lavado de gases
- 4.2 INSTALACIÓN
  - 4.2.1 Ensamble de Columna de Condensación
  - 4.2.2 Nivelar la base donde descansa el Neutralizador de Gases
  - 4.2.3 Instalar el extractor sobre su base
  - 4.2.4 Colocar los tubos desde el Neutralizador de Gases al extractor
  - 4.2.5 Instalación de depósito de agua de recirculación
  - 4.2.6 El depósito de agua
- 4.3 PRUEBAS
  - 4.3.1 Eficiencia del neutralizador de gases
    - 4.3.1.1 Pruebas Cualitativas
    - 4.3.1.2 Pruebas Cuantitativas
  - 4.3.2 Evaluación de la recirculación de agua
  - 4.3.3 Evaluación del funcionamiento del extractor
- 4.4 RESULTADO DE LAS PRUEBAS
  - 4.4.1 Eficiencia del Neutralizador de gases
    - 4.4.1.1 Pruebas Cualitativas
    - 4.4.1.2 Pruebas Cuantitativas

4.4.2 Evaluación de la recirculación de agua

4.4.3 Evaluación del funcionamiento del extractor

## **CAPÍTULO V**

### **COSTOS**

5.1 COSTO DEL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA

5.2 COSTO DE FABRICACIÓN

5.2.1 Costo de fabricación de columna de neutralización

5.2.2 Costo de tuberías

5.2.3 Costo de extractor de gases ácidos

5.3 COSTO DE TRASLADO DE EQUIPOS

5.4 COSTO DE INSTALACIÓN

5.4.1 Costo de instalaciones civiles

5.4.2 Costo de instalaciones mecánicas

5.4.3 costo de Instalaciones eléctricas

5.4.4 Costo de equipos e instrumentos

5.5 COSTO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

5.5.1 Pruebas Cualitativas

5.5.2 Pruebas Cuantitativas

5.6 RESUMEN DE COSTOS

### **CONCLUSIONES**

### **RECOMENDACIONES**

### **BIBLIOGRAFÍA**

### **PLANOS**

## **PRÓLOGO**

En el proceso de separación de mineral se tiene procesos definidos desde su remoción de estado natural hasta concentrado. Los procesos más usados son: chancado, molienda, flotación y filtrado. Para cumplir con estos procesos se usan equipos como chancadoras, molinos, celdas de flotación, espesadores, filtros, etc. Para el funcionamiento adecuado de cada proceso se necesita equipos y materiales diversos, los cuales cumplan su función.

Tanto en el proceso de compra y venta de minerales, se requiere determinar los contenidos de metales preciosos en los mismos, lo que se llama determinar la ley del mineral. Esta actividad se realiza en **Laboratorios de Análisis de Minerales**, siendo uno de ellos el Laboratorio de la Alborada, localizado en la ciudad de Nazca, en donde se ha diseñado el sistema de extracción y limpieza de gases ácidos producidos en el proceso de análisis de minerales por vía húmeda, para neutralizarlos y reducir la contaminación del medio ambiente.

En el capítulo 1, Introducción del informe, trata los antecedentes, objetivos y justificación del trabajo de ingeniería realizado.

Se continúa con el capítulo 2, donde se da cuenta de los fundamentos teóricos del análisis de minerales, y el procedimiento de limpieza de los gases ácidos producidos en el proceso.

El capítulo 3, es la parte central de éste informe, y trata de los materiales utilizados en el sistema de extracción y limpieza.

En el capítulo 4 se informa sobre la fabricación de la conducción de los gases, empleando PVC; así como la realización de la pruebas en situ.

Los costos diversos en que se ha incurrido, son tratados en el capítulo 5.

Finalmente se presentan las conclusiones de este trabajo de ingeniería, y las recomendaciones para que se continúe con el mejoramiento del diseño del extractor de gases, la evaluación de la eficiencia del sistema. Se adiciona una somera bibliografía, los planos y anexos.

Agradezco a Laboratorio Alborada Consultores Metalurgistas, quien me dio la oportunidad de realizar el Proyecto que estoy informando, a la par de la experiencia .que he adquirido en esta labor de trabajo de la Ingeniería Mecánica.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

El creciente aumento del precio de los metales ha hecho que las actividades mineras de explotación y concentración sean más intensas. En el sector denominado informal, esta actividad es muy intensa, donde la comercialización de minerales se da en grandes volúmenes y los procesos de concentración en plantas metalúrgicas de igual modo. Este fenómeno se aprecia en la ciudad de Nazca donde las plantas metalúrgicas son alrededor de una veintena y otras en instalación. Acompañando esta explosión también abundan los laboratorios de Análisis de Minerales.

Tanto en el proceso de compra venta de minerales, como en el proceso de concentración metalúrgica en plantas para tal fin, se requiere determinar los contenidos de metales preciosos en los minerales, lo que se llama determinar la ley del mineral. Esto se realiza en **Laboratorios de Análisis de Minerales** donde se determina la ley del mineral empleando diferentes tipos de análisis.

Los tipos de análisis más usados son: por **vía húmeda** que, generalmente,

tienen lugar entre iones en disolución y por **vía seca** que se verifican entre sólidos.

Se puede estimar como promedio que en el proceso de análisis por vía húmeda se utiliza por año alrededor 90 kg de ácido nítrico, 60 kg de ácido sulfúrico y 40 kg de ácido clorhídrico. Las reacciones que realizan en el proceso producen diferentes compuestos y gases entre ellos el sulfhídrico, nítricos, dióxidos de carbono, dióxidos de azufre, cianhídricos, entre otros. De este total un gran porcentaje es eliminado directamente a la atmosfera que puede producir contaminación si es que no se tiene un sistema que neutralice los gases.

## **1.2. OBJETIVO**

Diseñar un sistema de extracción y limpieza de gases ácidos producidos en el proceso de análisis de minerales por vía húmeda, para neutralizarlos y reducir la contaminación del medio ambiente.

## **1.3. ALCANCE**

El estudio se realiza en el LABORATORIO ALBORADA CONSULTORES METALURGISTAS EIRL de la ciudad de Nazca. Comprende el diseño, la fabricación, la instalación, puesta en funcionamiento y pruebas. No comprende el colector de gases que ya existe en el laboratorio.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

El **Laboratorio de Análisis de Minerales Alborada Consultores Metalurgistas EIRL** ha solicitado la fabricación del equipo neutralizador de gases mediante orden de trabajo. Una vez culminado el trabajo se ha entregado un recibo por honorarios, quedando ambas parte contratantes satisfechas en sus expectativas.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTO TEÓRICO**

#### **2.1 ANÁLISIS DE MINERALES**

Tiene por objeto determinar el contenido de metales preciosos de una determinada muestra dando una concentración llamada Ley del Mineral.

Para el cobre, zinc, plomo se emplea el análisis cualitativo. El análisis cualitativo es un área de la química analítica que contempla la determinación de las especies química en una muestra. La dificultad que se puede presentar en un análisis cualitativo depende de la naturaleza de la muestra. Para la determinación de elementos en muestras complejas tales como de origen biológico, o desechos industriales, requieren el uso de técnica analíticas más modernas y experimentadores más experimentados. Pero en el caso del área minera, a pesar de tener técnicas y maquinaria de última generación, las técnicas clásicas son las más utilizadas por los ingenieros de ejecución por su sencillez y rapidez. <sup>1</sup>

Para un buen análisis se requiera tomar una buena muestra que sea representativa del mineral que se quiere determinar. Esta muestra se cuartea

y se toma una porción aproximadamente  $\frac{1}{2}$  kilogramo la cual se seca en una estufa para quitarle la humedad y se extrae una parte de aproximadamente 200 gramos que se pulveriza a 60% malla 200. De esta muestra pulverizada, homogenizada, se toma 1 gramo que es el que se va a analizar siguiendo alguno de los procedimientos conocidos.

- **Marcha analítica:** La marcha analítica es el procedimiento por el cual identificamos los aniones o cationes que se encuentran en una muestra.

Una marcha analítica involucra una serie de pasos basados en reacciones químicas, en donde los iones se separan en grupos que poseen características comunes. Luego estos grupos de iones pueden ser tratados químicamente para separar e identificar reacciones específicas selectivas de cada uno de los iones que la componen.

La separación y análisis de cationes en solución siguen patrones determinados por las diferencias de solubilidad de varios tipos de compuestos de los iones metálicos.

Los cationes son clasificados en cinco grupos de acuerdo a su comportamiento frente a ciertos reactivos, principalmente frente al ácido clorhídrico, sulfuro de hidrógeno, sulfuro de amonio y carbonato de amonio. La clasificación se basa en si la reacción entre

los cationes y el reactivo promueve o no la formación de un precipitado, *es decir, se basa en la diferencia de solubilidades de los cloruros, sulfuros y carbonatos formados*

- **Grupo II:** Los iones que conforman éste grupo generan precipitados, al hacerlos reaccionar con sulfuro de hidrógeno en un medio ligeramente ácido. Los cationes que integran el mismo son: mercurio ( $\text{Hg}^{2+}$ ), cobre ( $\text{Cu}^{2+}$ ), bismuto ( $\text{Bi}^{3+}$ ), cadmio ( $\text{Cd}^{2+}$ ), antimonio III y V ( $\text{Sb}^{3+}$  y  $\text{Sb}^{5+}$ ), arsénico III y V ( $\text{As}^{3+}$  y  $\text{As}^{5+}$ ) y estaño II y IV ( $\text{Sn}^{2+}$  y  $\text{Sn}^{4+}$ ). A su vez, dichos cationes se clasifican en dos subgrupos: el subgrupo IIA que incluye los primeros cuatro cationes y el subgrupo IIB que incluye los seis cationes restantes. Esta subclasificación responde a la diferencia de solubilidad que tienen ambos grupos en presencia de sulfuro de amonio. El grupo IIB se caracteriza por ser soluble en dicho reactivo mientras que el grupo IIA no lo es”<sup>2</sup>.

## 2.2 PROCEDIMIENTO.

- Pesar un gramo de muestra y colocarla en un Erlenmeyer que contenga 2 ml de agua destilada.
- Agregar 15 ml de ácido clorhídrico 5 ml de ácido nítrico y calentar hasta aparición de sales.
- Dejar enfriar y agregar 3 ml de ácido sulfúrico concentrado calentar hasta eliminación de **humos blancos**.

- Diluir con 100 a 150 ml con agua destilada calentar hasta disolver las sales, filtrar con papel de filtro banda azul y lavar con agua destilada el Erlenmeyer y el filtro unas 4 veces, el precipitado que queda en el filtro se separa para analizar plomo, y el líquido filtrado se utiliza para analizar el cobre.
- Al filtrado se agrega amoníaco hasta que precipite el hierro y se agrega un exceso de 1 ml.
- Se filtra nuevamente con papel banda negra o N° 41, para eliminar el hierro que precipitó.
- Al filtrado claro se agrega ácido clorhídrico gota a gota hasta que decolore el amoniaco de azul a celeste claro.
- Agregar con una espátula unos tres gramos de ioduro de potasio hasta coloración marrón.
- Titular con solución de tiosulfato de sodio 0,1 normal hasta que decolore a marrón claro, se agrega de 2 a 3 ml de almidón preparado al 1 % y seguir titulando hasta cambio de coloración blanco lechoso o si tiene poco será blanco transparente.

### **2.3 GASES TÓXICOS**

En el proceso de análisis se producen diferentes reacciones que dan como resultado algunos gases que son ácido sulfhídrico, ácido nítrico, dióxidos de carbono, dióxidos de azufre, ácido cianhídrico, entre otros. De estos el más perjudicial es el trióxido de azufre.

### 2.3.1 El óxido de azufre o trióxido de azufre (SO<sub>3</sub>)

Es en condiciones normales un sólido incoloro de textura fibrosa, pero en condiciones estándar (a 25°C y 1 atm) es un gas, un contaminante importante, siendo el principal agente de la lluvia ácida. Es el producto de la oxidación del óxido de azufre (IV) con oxígeno en presencia de un catalizador como el pentóxido de vanadio o de platino. Es producido a gran escala como precursor del ácido sulfúrico<sup>3</sup>.

El dióxido de azufre es un gas irritante y tóxico. Afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos. Si bien éste es absorbido principalmente por el sistema nasal, la exposición de altas concentraciones por cortos períodos de tiempo puede irritar el tracto respiratorio, causar bronquitis y congestionar los conductos bronquiales de los asmáticos. La concentración máxima permitida en los lugares de trabajo es de 2 ppm.

- El valor IDLH (Peligroso para la Vida)
- Valor letal 100 ppm (262mg/m<sup>3</sup>)
- Umbral de olor 0,5 ppm (1 mg/m<sup>3</sup>) (es detectado por el olfato humano)<sup>4</sup>

### 2.3.2 Ácido Sulfhídrico

El sulfuro de hidrogeno, denominado ácido sulfhídrico en disolución acuosa ( $H_2S_{aq}$ ), es un hidrácido de fórmula  $H_2S$ . Este gas, más pesado que el aire, es inflamable, incoloro, tóxico, odorífero: su olor es el de materia orgánica en descomposición, como de huevos podridos. A pesar de ello, en el organismo humano desempeña funciones esenciales.

En la nomenclatura química la desinencia -uro corresponde a los haluros, es decir a las sales que no contienen oxígeno. Puesto que sal "es un compuesto iónico formado por un catión distinto de  $H^+$  y un anión distinto de  $OH^-$  u  $O^{2-}$ : ácido + base  $\rightarrow$  sal + agua", [2] la expresión «sulfuro de hidrógeno» resulta extraña, pues implica que el hidrógeno se substituye a sí mismo. Para evitar esta incongruencia en su denominación, al  $H_2S$  se le podría considerar como disolución acuosa (aq en la fórmula), es decir ácido sulfhídrico. Con bases fuertes genera sales: los sulfuros. Su punto de ebullición es de 212,86 K.

La toxicidad del ácido sulfhídrico es semejante a la del ácido cianhídrico. La razón por la cual -a pesar de existencia más masificada de aquel compuesto- causa relativamente pocos decesos es su mal olor. Sin embargo, a partir de 50 ppm, en las células receptoras del olfato provoca un efecto narcotizante, y las personas afectadas ya no perciben el hedor.

Después de 100 ppm puede ocurrir la muerte. Como la densidad del sulfhídrico es mayor que la del aire, suele acumularse en lugares bajos: pozos, etcétera, donde puede causar víctimas. A menudo suceden varios siniestros consecutivos: una primera persona cae inconsciente (luego víctima), después resultan afectados también todos los demás que, sin el equipo de protección necesario, acuden a su rescate.

El sulfhídrico parece actuar sobre todo en los centros metálicos de las enzimas: las bloquea y de este modo impide su funcionamiento. Para tratamiento se recomienda llevar al afectado lo más rápidamente posible al aire fresco y aplicar oxígeno puro.

Además el ion sulfuro ( $S^{=}$ , ó  $S^{-2}$ ) se combina con la hemoglobina del mismo modo que el oxígeno, y acelera la asfixia del organismo.

La exposición a niveles bajos de ácido sulfhídrico puede producir irritación de ojos, nariz o garganta. También es factible que provoque dificultades respiratorias a personas asmáticas. Exposiciones breves a contenidos altos (mayores de 500 ppm) de ácido sulfhídrico pueden causar pérdida del conocimiento y posiblemente la muerte.

En la mayoría de los casos quienes pierden el conocimiento parecen recuperarse sin padecer otros efectos. Sin embargo algunas personas parecen sufrir efectos permanentes o a largo plazo, tales como dolor

de cabeza, escasa capacidad de concentración, mala memoria y mala función motora.

No se han detectado efectos a la salud en personas expuestas al ácido sulfhídrico en los contenidos existentes típicamente en el ambiente (0,00011-0,00033 ppm). Los científicos no tienen información por la cual se demuestren fallecimientos de personas intoxicadas por ingerir ácido sulfhídrico. Cerdos que ingirieron alimentos que contenían H<sub>2</sub>S sufrieron diarrea durante varios días y perdieron peso aun después de 105 días.

Los científicos poseen poca información acerca de qué sucede cuando la piel de una persona se expone al ácido sulfhídrico. Sin embargo se sabe que es necesario ser precavidos con el ácido sulfhídrico líquido comprimido, ya que puede causar quemaduras de la piel por congelación.

A pesar de la alta toxicidad del gas sulfhídrico en los mamíferos, muchos microorganismos toleran elevados contenidos de este gas, o incluso se alimentan de él. Hay teorías en las que se relaciona la metabolización del gas sulfhídrico -como existe por ejemplo cerca de fuentes volcánicas subacuáticas- con el desarrollo de la vida en la Tierra.<sup>5</sup>

## **2.4 PROCEDIMIENTOS DE PURIFICACIÓN Y LIMPIEZA DE GASES ÁCIDOS**

Existen en la industria diversos métodos de purificación de gases entre los cuales podemos mencionar: los sistemas de lavado, los sistemas de relleno o los sistemas de vacío.

### **2.4.1 Lavado de Gases**

“Es el término general que se aplica a los procedimientos de limpieza o purificación de emisiones gaseosas, tanto en la industria como en el laboratorio, recurriendo a un líquido como colector.

Los contaminantes del aire así tratado (lavado) son separados del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido, ya sea por empaque húmedo, aspersión, burbujeo u operaciones equivalentes.

Los lavadores de gases son utilizados ampliamente para la eliminación de polvos, nieblas, vapores y olores, así como para la neutralización de gases tóxicos.

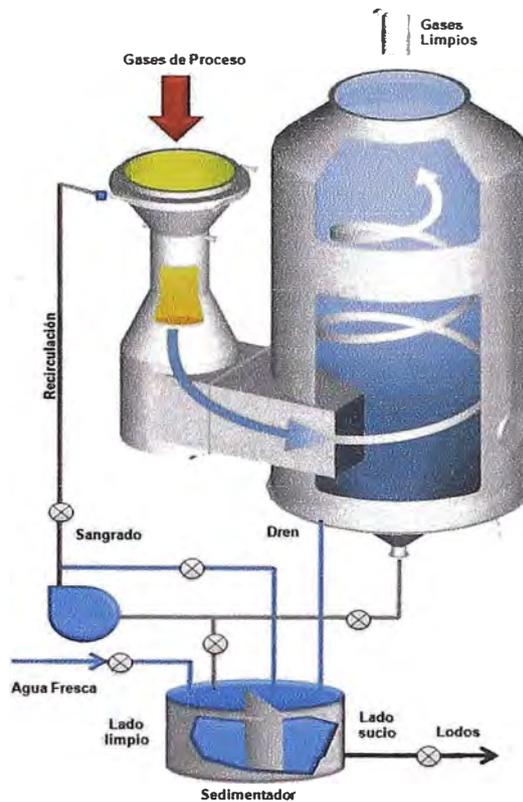
El líquido lavador puede ser agua, aceite, una solución alcalina o agua ionizada, dependiendo de los contaminantes a eliminar <sup>6</sup>

#### **2.4.1.1 Lavado de Gases Tipo Venturi**

Los gases que entran en el Lavador son dirigidos hacia un Venturi inundado con líquido a través de un ducto seco mientras que el líquido es introducido en una cámara de distribución cubierta, como resultado, no existe interferencia fase húmedo/seco la cual podría provocar la

aglomeración del polvo. El ducto de entrada ayuda a direccionar los gases a la garganta del Venturi que se encuentra completamente inundada y el líquido actúa como una capa protectora que elimina el choque térmico y minimiza la abrasión debida a las partículas de polvo.

A medida que el líquido desciende por la garganta debido a su propio peso, la alta velocidad del gas fragmenta el líquido creando una densa niebla de gotas muy finas. La niebla captura las partículas a través del impacto, intercepción o difusión browniana. Los gases y la niebla generada entran en una cámara de separación donde el polvo adherido a las gotas de agua es separado del gas y se escurre hasta la parte inferior del tanque. El gas limpio sale del lavador hacia un ventilador o chimenea.<sup>7</sup>



*Fig. 2.1 Lavado de gases*

Fuente: ARALCO, [www.comercialaralco.com](http://www.comercialaralco.com)

#### 2.4.2 Sistemas de Relleno

Se basa en la dilución física o absorción química de los contaminantes gaseosos contenidos en una corriente de aire, con las gases líquida y gaseosa a contracorriente o equicorriente, a través de elementos para intercambio de masa. Aplicación en columnas de alta eficacia, incluso para gases poco solubles. <sup>7</sup>

### 2.4.3 Sistemas de Vacío

Columnas en las que se produce vacío para absorción de gases de alta solubilidad que contenga incluso polvo con granulometría superior a 15 micras. <sup>8</sup>

## 2.5 VENTILADORES

Los ventiladores son máquinas destinadas a producir un incremento de presión total  $\Delta p_{total}$  pequeño; convencionalmente se fija el límite de  $\Delta p_{total}$  para ventiladores en 1 m.c.a., o una relación de compresión,  $\epsilon_c = 1,1$ . Si el incremento de presión no excede el valor indicado, la variación del volumen específico del gas a través de la máquina se puede despreciar en el cálculo de la misma, por lo que el ventilador se comporta como una turbo máquina hidráulica. En la actualidad, en el diseño se tiene en cuenta la compresibilidad para incrementos de presión muchos menores, hasta 0,3 m.c.a., por lo que los ventiladores, hasta dicho incremento de presión, se pueden diseñar y considerar como una turbo máquina hidráulica.

Los soplantes o turbosoplantes son máquinas destinadas a comprimir gases en donde la relación de compresión está comprendida en el intervalo ( $1,1 < \epsilon_c < 3,0$ ); no tienen refrigeración incorporada y en general son de un sólo escalonamiento.

En los recuperadores de los altos hornos, por ejemplo, el soplante tiene que impulsar aire a una presión equivalente a la resistencia de la conducción, más la resistencia de las toberas de inyección al interior del horno, con una relación de compresión del orden de  $\epsilon_c=3$ , utilizándose en estas circunstancias soplantes de varios escalonamientos, en los que el aire no se refrigera, ya que posteriormente hay que precalentarlo.

Una clasificación orientativa de las turbosoplantes es:

- soplantes de BP  $\epsilon_c = 1,1 \div 1,5$
- soplantes de MP  $\epsilon_c = 1,5 \div 2,5$
- soplantes de AP  $\epsilon_c = 2,5 \div 4$

El número de revoluciones de las turbosoplantes varía de 3 000 a 21 000 rpm.

El ventilador es una bomba rotodinámica de gas que sirve para transportar gases, absorbiendo energía mecánica en el eje y devolviéndola al gas; se distingue del turbocompresor en que las variaciones de presión en el interior del ventilador son tan pequeñas, que el gas se puede considerar prácticamente incompresible.

De todo esto se deduce que las fórmulas relativas al diseño y funcionamiento de las bombas centrífugas son de aplicación a los ventiladores, excepto aquellas que por su naturaleza sean propias de las bombas. 9

## 2.6 PÉRDIDAS EN TUBERÍAS.-

La pérdida de carga que tiene lugar en una conducción representa la pérdida de energía de un flujo hidráulico a lo largo de la misma por efecto del rozamiento. A continuación se resumen las principales fórmulas empíricas empleadas en el cálculo de la pérdida de carga que tiene lugar en tuberías:

1. Darcy-Weisbach (1875)
2. Manning (1890)
3. Hazen-Williams (1905)
4. Scimeni (1925)
5. Scobey (1931)
6. Veronesse-Datei
7. Pérdidas de carga en singularidades

### **Darcy-Weisbach (1875)**

Una de las fórmulas más exactas para cálculos hidráulicos es la de Darcy-Weisbach. Sin embargo por su complejidad en el cálculo del coeficiente "f" de fricción ha caído en desuso. Aun así, se puede utilizar para el cálculo de la pérdida de carga en tuberías de fundición. La fórmula original es:

$$h = f * (L / D) * (v^2 / 2g) \quad (2.1)$$

En función del caudal la expresión queda de la siguiente forma:

$$h = 0,0826 * f * (Q^2/D^5) * L \quad (2.2)$$

En donde:

- h: pérdida de carga o de energía (m)
- f: coeficiente de fricción (adimensional)
- L: longitud de la tubería (m)
- D: diámetro interno de la tubería (m)
- v: velocidad media (m/s)
- g: aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- Q: caudal (m<sup>3</sup>/s)

El coeficiente de fricción f es función del número de Reynolds (Re) y del coeficiente de rugosidad o rugosidad relativa de las paredes de la tubería ( $\epsilon_r$ ):

$$f = f(\text{Re}, \epsilon_r); \quad \text{Re} = D * v * \rho / \mu; \quad \epsilon_r = \epsilon / D \quad (2.3)$$

- $\rho$ : densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>). Consultar tabla.
- $\mu$ : viscosidad del agua (N<sup>1/2</sup>s/m<sup>2</sup>). Consultar tabla.
- $\epsilon$ : rugosidad absoluta de la tubería (m)

En la siguiente tabla se muestran algunos valores de rugosidad absoluta para distintos materiales:

Tabla N° 2.1. Rugosidad absoluta de materiales de tuberías

RUGOSIDAD ABSOLUTA DE MATERIALES			
Material	$\epsilon$ (mm)	Material	$\epsilon$ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015	Fundición asfaltada	0,06-0,18
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01	Fundición	0,12-0,60
Tubos estirados de acero	0,0024	Acero comercial y soldado	0,03-0,09
Tubos de latón o cobre	0,0015	Hierro forjado	0,03-0,09
Fundición revestida de cemento	0,0024	Hierro galvanizado	0,06-0,24
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024	Madera	0,18-0,90
Fundición centrifugada	0,003	Hormigón	0,3-3,0

Fuente: [www.miliarum.com](http://www.miliarum.com)

Para el cálculo de "f" existen múltiples ecuaciones, a continuación se exponen las más importantes para el cálculo de tuberías:

- a. Blasius (1911). Propone una expresión en la que "f" viene dado en función del Reynolds, válida para tubos lisos, en los que  $\epsilon_r$  no afecta al flujo al tapar la subcapa laminar las irregularidades. Válida hasta  $Re < 100000$ :

$$f = 0,3164 * Re^{-0,25} \quad (2.4)$$

- b. Prandtl y Von-Karman (1930). Amplían el rango de validez de la fórmula de Blasius para tubos lisos:

$$1 / \sqrt{f} = - 2 \log (2,51 / \text{Re}\sqrt{f}) \quad (2.5)$$

- c. Nikuradse (1933) propone una ecuación válida para tuberías rugosas:

$$1 / \sqrt{f} = - 2 \log (\epsilon / 3,71 D) \quad (2.6)$$

- d. Colebrook-White (1939) agrupan las dos expresiones anteriores en una sola, que es además válida para todo tipo de flujos y rugosidades. Es la más exacta y universal, pero el problema radica en su complejidad y en que requiere de iteraciones:

$$1 / \sqrt{f} = - 2 \log [(\epsilon / 3,71 D) + (2,51 / \text{Re}\sqrt{f})] \quad (2.7)$$

- e. Moody (1944) consiguió representar la expresión de Colebrook-White en un ábaco de fácil manejo para calcular "f" en función del número de Reynolds (Re) y actuando la rugosidad relativa ( $\epsilon_r$ ) como parámetro diferenciador de las curvas<sup>10</sup>

## **CAPÍTULO III**

### **DISEÑO DE SISTEMA DE EXTRACCIÓN Y LIMPIEZA**

#### **3.1 DISEÑO DE NEUTRALIZADOR DE GASES**

Para el diseño del Neutralizador de Gases vamos a partir de la premisa de que los gases a separar, principalmente el trióxido de azufre, son bastante pesados por lo tanto se pueden condensar dándole las condiciones apropiadas. Estas condiciones son: temperatura, presión y superficies donde chocar. Por lo tanto nuestra propuesta es, para este caso particular de análisis de minerales por vía húmeda, condensar los gases y neutralizarlos en vez de lavarlos como se hace tradicionalmente.

La producción de gases en la campana extractora se da alrededor de 280°C que es la temperatura que toma la plancha de calentamiento donde se colocan los vasos con las muestras. El aire del medio ambiente ingresa a la campana 27°C y se mezcla con los gases producto de las reacciones. La mezcla de gases sale a 60°C de la campana debido a que el aire fresco que entra en ella es mucho mayor que los gases producidos.

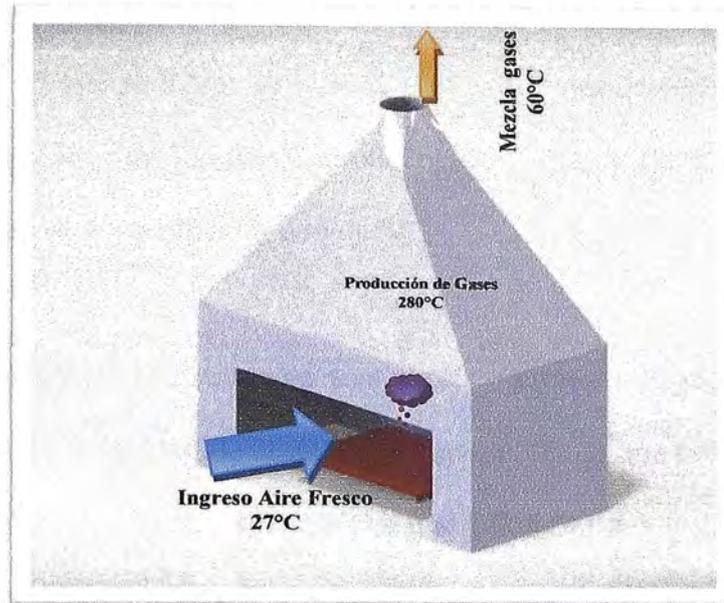


Fig. 3.1. Flujo gases en campana extractora

Fuente: elaboración propia

Se ha establecido en forma practica que el aire debe ingresar a la campana extractora a una velocidad de 50 cm/seg para asi no permitir que los gases producidos no salgan al medio ambiente. De esta manera podemos calcular el flujo masico que ingresa al sistema. Tenemos que el ancho de la compuerta de ingreso es de 90 cm y el alto es de 40 cm.

$$\text{largo} := 90 \text{ cm}$$

$$\text{alto} := 40 \text{ cm}$$

$$\text{Area} := \text{largo} \cdot \text{alto} \quad (3.1)$$

$$\text{Velocidad} := 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Caudal} := \text{Velocidad} \cdot \text{Area} \quad (3.2)$$

$$\text{Caudal} = 0.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

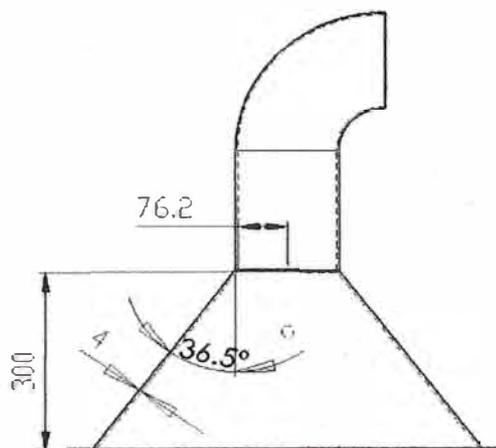
$$\text{Caudal} = 381.398 \text{ cfm}$$

El ducto que transporta los gases hacia el Neutralizador de Gases tiene 10 m de longitud, 15 cm de diámetro y es de PVC de 1 mm de espesor y en el se da un enfriamiento de los gases alrededor de 20°C de tal manera que los gases ingresan al Neutralizador con 40°C.

El Neutralizador de Gases tendrá tres partes: primero un difusor que nos permita bajar la velocidad de la mezcla de gases, luego una columna vertical donde se coloca elementos dispersores que permitan a los gases variar su recorrido, condensar, aglutinarse y caer. Finalmente una reducción a modo de tobera circular que permitirá acelerar el flujo y terminar por condensar las partículas que no llegaron a condensar con los elementos.

### 3.1.1. Difusor

El diámetro inicial es el de la tubería, 15 cm, y el diámetro final es el del cilindro, 60 cm, el ángulo es de 36°, la longitud de 30 cm.



*Fig. 3.2. Difusor*

Fuente: elaboración propia

En el difusor tenemos el siguiente efecto:

$$D_{tuberia} := 15 \text{ cm}$$

$$Velocidad_{tuberia} := \frac{Caudal}{(D_{tuberia}^2) \frac{\pi}{4}} \quad (3.3)$$

$$Velocidad_{tuberia} = 10.1859 \frac{m}{s}$$

$$D_{cilindro} := 0.6 \text{ m}$$

$$Area_{cilindro} := D_{cilindro}^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (3.4)$$

$$Velocidad_{cilindro} := Velocidad_{tuberia} \cdot \left( \frac{D_{tuberia}}{D_{cilindro}} \right)^2 \quad (3.5)$$

$$Velocidad_{cilindro} = 0.6366 \frac{m}{s}$$

El efecto en el flujo de gases considerando solamente aire puesto que los gases contaminantes presentes son menos del 1% del flujo masico.

Tenemos:

$$T_1 := 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$V_1 := \text{Velocidad}_{\text{tuberia}}$$

$$V_2 := \text{Velocidad}_{\text{cilindro}}$$

$$\rho_1 := 1.1273 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{de tablas}$$

$$\text{Flujo\_masico} := \text{Caudal} \cdot \rho_1 \quad (3.6)$$

$$\text{Flujo\_masico} = 0.2029 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$R_{\text{aire}} := 0.287 \text{ kPa} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$v_1 := \frac{\text{Caudal}}{\text{Flujo\_masico}} \quad (3.7)$$

$$v_1 = 0.8871 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_1 := R_{\text{aire}} \cdot \frac{T_1}{v_1} \quad (3.8)$$

$$P_1 = (1.0132 \cdot 10^5) \text{ Pa}$$

$$h_1 := 13.9620 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$h_2 := h_1 - \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right) \quad (3.9)$$

$$h_2 = 13.9743 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

El cambio de entalpia es despreciable por lo que la temperatura y la presion no son afectadas considerablemente.

### 3.1.2. La columna

Es un cilindro de seccion constante de una altura total de 1,80 m. Tiene en la parte inferior a una altura de 0,23 m un disco con

perforaciones de 25 mm de diametro para permitir el paso del gas con facilidad y a la vez sostener los elementos dispersores.

Por el centro de la columna esta instalado el tubo de evacuación de los gases de 15 cm de diametro.

Los elementos dispersores son de PVC, para soportar la accion de los gases utilizando en este caso formadores de pelo usados en cosmetica. Estos tienen forma apropiada para dispersar los gases y no tienen mucho volumen permitiendo su colocacion en forma aleatoria.

El diagrama muestra una columna de condensación vertical con los siguientes componentes etiquetados:

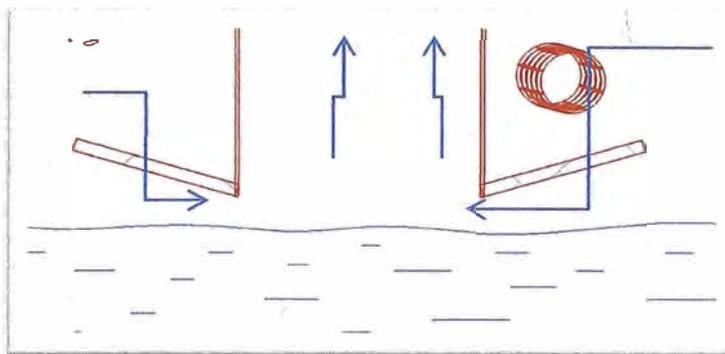
- INGRESO GASES: Entrada superior de gases.
- ENTRADA DE AGUA DE NEUTRALIZACION: Entrada lateral de agua.
- DIFUSOR: Dispositivo que distribuye el agua.
- PERNOS 8M X 16: Soportes que sostienen los elementos dispersores.
- SALIDA DE GASES: Salida lateral de gases.
- TUBO DE DESCARGA: Tubo central para la salida de líquidos.
- ELEMENTO DISPERSANTE: Dispositivos que dispersan los gases.
- DISCO PERFORADO: Disco con agujeros que permite el paso de gases.
- TOBERA CIRCULAR: Salida lateral de agua.
- SALIDA DE AGUA: Salida inferior de agua.
- ESPEJO DE AGUA: Nivel de agua en la base de la columna.

Fig. 3.3. Columna de Condensación

Fuente: elaboración propia

### 3.1.3. Tobera circular

En el extremo del tubo central de descarga se coloca un cono invertido de 35 cm de diametro mayor y 15 cm de diametro menor y una altura de 3 cm. En el fondo de la columna se llena de agua a una altura tal que quede cerca de la parte inferior del cono, aproximadamente a 2 cm. De esta manera, la superficie lateral del cono con el espejo de agua forma una reduccion que semeja a una tobera pero de forma circular.



*Fig. 3.4 Tobera Circular*

Fuente: elaboración propia

### 3.1.4. Sistema de Lavado de Gases.

Para asegurar el funcionamiento del Sistema vamos a instalar, en forma adicional, un Sistema de Lavado de Gases en la direccion del flujo. Para esto instalamos en la parte exterior un depósito de agua en comunicación con la parte interior de la columna de condensacion que nos permita regular el nivel del agua que forma la tobera circular y donde se pueda agregar sustancia basica para neutralizar los gases

ácidos condensados. En esta caso vamos a utilizar soda caustica. Será necesario instalar una bomba que haga recircular el agua de neutralización, que ingrese por la parte superior de la columna en forma de lluvia, que extraiga el agua en la parte inferior y que mantenga el nivel apropiado en el espejo de agua.

### 3.2. DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE GASES A MANEJAR

El flujo de gases que se van a procesar está determinado por el aire fresco que ingresa por la compuerta de la cabina donde se realiza el proceso del ataque ácido.

El área de la compuerta de ingreso a la cabina es de 90 cm de largo por 30 cm de alto, el aire debe ingresar a una velocidad de 50 *cm/seg* para asegurar que el gas no salga de la cabina.

Por tanto el caudal

$$\text{largo} := 90 \text{ cm}$$

$$\text{alto} := 40 \text{ cm}$$

$$\text{Area} := \text{largo} \cdot \text{alto} \quad (3.1)$$

$$\text{Velocidad} := 0.5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Caudal} := \text{Velocidad} \cdot \text{Area} \quad (3.2)$$

$$\text{Caudal} = 0.18 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\text{Caudal} = 381.398 \text{ cfm}$$

### 3.3. CÁLCULO DE TUBERIA.

De las condiciones dadas en el laboratorio tenemos que el NEUTRALIZADOR DE GASES esta ubicado a 10 m de la campana de extracción, la tubería de salida de la campana extractora y la de bajada al Neutralizador son de 1 m cada una lo que da un total de 12 m. Considerando tubería de 15 cm de diametro tenemos que la velocidad en la tubería es de:

$$diametro_{tuberia} := 15 \text{ cm}$$

$$Velocidad_{tuberia} := \frac{Caudal}{diametro_{tuberia}^2 \cdot \frac{\pi}{4}} \quad (3.3)$$

$$Velocidad_{tuberia} = 10.1859 \frac{m}{s}$$

El número de Reynolds para estas condiciones se da por:

$$P_{atm} := 1 \text{ atm}$$

$$T := 27 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$D := 0.15 \text{ m}$$

$$c := 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho := \frac{P_{atm}}{287 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \cdot T} \quad \rho = 1.176 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{Densidad del aire} \quad +$$

$$\mu := 1.724 \cdot 10^{-5} \left( \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \right) \cdot \left( \frac{T}{273.16} \right)^{0.76}$$

$$\mu = (1.852 \cdot 10^{-5}) \text{ N} \cdot \frac{\text{s}}{\text{m}^2} \quad \text{Viscosidad Dinamica del aire}$$

$$\nu := \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = (1.574 \cdot 10^{-5}) \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \quad \text{Viscosidad Cinematica del aire}$$

$$Re := D \cdot c \cdot \frac{\rho}{\mu} \quad (3.10)$$

$$Re = 9.527 \cdot 10^4$$

De tablas vemos que el coeficiente de rugosidad para tubería PVC es

$$\varepsilon := 0.0015 \text{ mm}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 1 \cdot 10^{-5} \quad (3.11)$$



Existen en el trayecto dos codos a 90°. La pérdida de presión en los codos será:

$$\begin{aligned}
 K_{\text{codo}} &:= 0.33 \\
 \Delta P_{\text{codos}} &:= K_{\text{codo}} \cdot \rho \cdot \frac{c^2}{2} \\
 \Delta P_{\text{codos}} &= 19.408 \text{ Pa} \\
 \text{mmcda} &= 1.979 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

La pérdida de presión en la tubería es de:

$$\begin{aligned}
 \Delta P_{\text{total}} &:= \Delta P_{\text{tubería}} + \Delta P_{\text{codos}} \\
 \Delta P_{\text{total}} &= 104.097 \text{ Pa} \\
 \text{mmcda} &= 10.615 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \tag{3.13}$$

### 3.4. DETERMINACIÓN DE LA PRESIÓN

En la práctica se ha determinado que la presión de los gases producidos es pequeña por lo que asumimos una presión de 200 mmcda.

### 3.5. DETERMINACIÓN DE LA POTENCIA

La presión total es la necesaria para el traslado de gases más la caída de presión en la tubería:

$$\begin{aligned}
 \text{presion\_total} &:= \text{presion} + \Delta P_{\text{total}} \\
 \text{presion\_total} &= (2.0691 \cdot 10^3) \text{ Pa}
 \end{aligned}
 \tag{3.14}$$

La potencia teórica será:

$$\begin{aligned}
 N &:= \text{Caudal} \cdot \text{presion\_total} \\
 N &= 372.4375 \text{ W}
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

Como el extractor elegido es un tipo SIROCO, la eficiencia es aproximada a 55% por lo tanto la potencia del extractor sera:

$$\eta_{motor} := 0.520$$

$$N_{motor} := \frac{N}{\eta_{motor}} \quad (3.16)$$

$$N_{motor} = 716.23 \text{ W}$$

Por lo tanto elegimos un extractor tipo SIROCO de 1 HP que sea de material resistente a la corrosion por ácido.

## **CAPÍTULO IV**

### **FABRICACIÓN, INSTALACIÓN Y PRUEBAS**

#### **4.1. FABRICACIÓN**

Todo el sistema se fabricara en PVC para evitar la corrosion por los gases acidos. De esta manera se asegura una mayor duracion y poco mantenimiento.

Se usará PVC en plancha de 6 mm de espesor.

Se elaboran los planos según lo indicado.

##### **4.1.1. Columna de condensación, de 60 cm de diámetro y 1,80 m de altura.**

El fondo es plano para permitir su instalación sobre una superficie plana. Se debe tener especial cuidado con la soldadura de PVC para evitar fugas de gas y agua.

En la parte superior se coloca una brida que permita colocar el difusor con pernos así permitir el ensamble y la colocación de elementos dispersores.

En la parte inferior se colocan soportes para recibir el disco perforado a una distancia de 23 cm del fondo. El disco perforado debe tener agujeros de 25 mm de diámetro y en la cantidad suficiente para que permita el flujo de gases con facilidad. También debe permitir sostener los elementos dispersantes.

En la parte inferior, lo más bajo posible, debe colocarse un niple de  $\frac{1}{2}$ " para permitir la recirculación de la solución neutralizadora.

En la parte superior se debe hacer una perforación de 15 cm de diámetro para colocar un niple de 15 cm de diámetro y 10 cm de largo que debe permitir colocar el codo para el tubo central de evacuación. Este niple debe estar bien soldado.

El tubo central tiene 1,25 m de largo y tiene en la parte inferior la brida en forma de cono para formar la tobera circular con el espejo de agua.

**4.1.2. Difusor.** La parte superior del Neutralizador de Gases tiene forma de cono de 60 cm de diámetro en la base y 15 cm de diámetro en la parte superior. En la base tiene una brida con agujeros al igual que la columna para permitir el ensamble entre ambos

En la parte superior tiene un niple de 15 cm de diámetro por 20 cm de largo para que entre el codo proveniente de la tubería de comunicación entre la campana y el Neutralizador. Debe tener cerca al ingreso un cono que permita el ingreso del agua de neutralización en forma de lluvia para el lavado de gases.

#### **4.1.3. Depósito de agua de neutralización y lavado de gases**

También se hará de PVC, con dos compartimientos separados, uno para regular el nivel del agua para formar la tobera circular y otro para “pulmón” cuando el agua recircule. A la salida del depósito de agua se coloca una bomba de lavadora la cual tendrá un mando independiente para cuando se requiera que el agua recircule.

## **4.2. INSTALACIÓN**

En la instalación se procederá con mucho cuidado puesto que los componentes son de PVC, soldados con PVC, lo cual no es tan rígido como el acero.

### **4.2.1. Ensamble de columna de condensación**

Se colocará primero tubo de succión con la brida cónica en la parte inferior. Luego se coloca el disco perforado que descansa en los tacos dispuestos para tal fin. Se instala el codo a 90° en el tubo de succión y en el niple de la columna. Se colocan las bridas del difusor con la de la columna con sellador de empaquetaduras, silicona de uso

automotriz. Se ajustan los pernos en forma uniforme cuidando darle el torque apropiado. Finalmente se agregan los dispersores de plástico por el agujero superior hasta que cubra totalmente el tubo de succión.

#### **4.2.2. Nivelar la base donde descansa el Neutralizador de Gases**

Colocar el tubo de alimentación desde la campana hasta el Neutralizador teniendo cuidado de darle una pendiente negativa en el sentido del flujo para que los gases que condensan en el trayecto se deslicen hacia el Neutralizador y no regresen a la campana extractora.

#### **4.2.3. Instalar el extractor sobre su base**

Teniendo cuidado de alinearlos con el ducto que vienen del Neutralizador de Gases.

#### **4.2.4. Colocar los tubos desde el Neutralizador de Gases al extractor**

Teniendo cuidado de sellar con silicona automotriz para evitar fugas pues es la parte de baja presión que no debe ser completamente hermético. Es necesario intercalar entre el extractor y los ductos del Neutralizador de Gases un tubo flexible para absorber las vibraciones provenientes del extractor.

#### **4.2.5. Instalación de depósito de agua de recirculación**

Debe colocarse el depósito de agua de tal manera que el nivel de agua en la cámara de regulación está al nivel de la tobera circular al interior

de la columna. Para verificar bien el nivel de agua al interior de la columna se deberá encender el extractor, luego ir subiendo el nivel de agua hasta cerrar por completo el paso de gases, luego ir bajando poco a poco hasta que se restablezca el flujo y que tenga la presión suficiente para extraer los gases al interior de la campana. Luego instalar la bomba de recirculación de agua con el depósito de agua y con el tubo de recirculación en el difusor del Neutralizador.

#### **4.2.6. El depósito de agua**

Debe permitir la inspección periódica del PH del agua, para agregar soda caustica a fin de mantener el PH por encima de 11. También debe permitir la evacuación y renovación de la solución cuando sea necesario.

### **4.3. PRUEBAS**

Las pruebas que se van a realizar son para evaluar la eficiencia del Neutralizador de Gases, para evaluar la recirculación de agua y para evaluar el funcionamiento del extractor.

#### **4.3.1. Eficiencia del Neutralizador de Gases**

Se harán dos tipos de pruebas: cualitativas y cuantitativas.

#### **4.3.1.1. Pruebas Cualitativas**

Son las que se harán por observación directa del funcionamiento del Neutralizador de Gases. En este caso cuando se realiza el proceso de análisis de cobre la emisión de gases tóxicos es evidente porque cuando son expelidos a la atmosfera libremente provoca ardor en las vías respiratorias que no es posible estar cerca del laboratorio. El momento crítico es cuando se hace ataque acido con ácido sulfúrico y se produce trióxido de azufre de color blanco que es muy irritante.

#### **4.3.1.2. Pruebas Cuantitativas**

Se harán tomando muestras apropiadamente y analizar su contenido a fin de cuantificar la eficiencia del Neutralizador de Gases. Se tomaran muestras en el ingreso de la columna y a la salida de la misma en diferentes condiciones.

Las condiciones en las que se tomaran las muestras son:

- Cuando en la campana se realizan análisis simultáneamente con cinco muestras, con 10 muestras, con 20 muestras y con 30 muestras así vamos a tener flujo de gases tóxicos diferentes y podremos evaluar la capacidad del Neutralizador de Gases.
- Estas muestras se tomaran durante el ataque con ácido clorhídrico, luego durante el ataque con ácido nítrico y durante el ataque con ácido sulfúrico. Tendremos 12 muestras que deberemos analizar por gases tóxicos.

Las muestras que llegan al laboratorio tienen diferente procedencia así que no se puede uniformizar sus componentes. Por lo tanto para un mejor registro tendría que hacerse esta evaluación en diferentes días a fin de tener un mayor espectro. Esto demanda mayor gasto.

#### **4.3.2. Evaluación de la recirculación de agua.**

Verificar la circulación de agua a través del depósito y que se mantenga el nivel establecido.

#### **4.3.3. Evaluación del funcionamiento del extractor**

Debe ser capaz de extraer todos los gases que se producen al interior de la campana donde se realizan las reacciones químicas.

### **4.4. RESULTADO DE LAS PRUEBAS**

#### **4.4.1. Eficiencia del Neutralizador de Gases.**

##### **4.4.1.1. Pruebas Cualitativas**

Se ha puesto en marcha el Neutralizador de Gases y se observa en la descarga que el gas que sale al ambiente es transparente, no hay olor, no irrita las vías respiratorias. Las pruebas se han hecho hasta con 20 análisis simultáneos.

Se observa en la descarga la presencia de condensados en forma de gotas y de carácter ácido. Se ha puesto para tal fin un recipiente para colectarlos.

**4.4.1.2. Pruebas Cuantitativas.** Se ha contactado con la empresa de estudios ambientales MINPETEL para la realización de las pruebas. Ellos están elaborando un protocolo para la toma de muestras. Estas pruebas están pendientes de realizar.

**4.4.2. Evaluación de la recirculación de agua**

Se ha puesto en marcha la bomba de recirculación y se observa que el agua circula manteniendo el nivel en el interior de la columna de condensación. Cuando el agua recircula se observa mayor presencia de condensados en la descarga.

El agua de recirculación a pesar de tener gran volumen, alrededor de 50 litros rápidamente se torna acida, por lo que es necesario agregarle sustancia básica, al menos dos veces por semana.

También se observa que el nivel de agua desciende por lo que es necesario agregar agua también dos veces por semana.

**4.4.3. Evaluación del funcionamiento del Extractor**

Se observa que todo el gas que se produce durante los ensayos es absorbido por la campana encontrándose el ambiente libre de gases.

## **CAPÍTULO V**

### **COSTOS**

#### **5.1. COSTO DEL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA**

La elaboración de este proyecto se ha desarrollado en el transcurso de tres meses por la necesidad del laboratorio de neutralizar los gases producto del análisis de cobre principalmente el trióxido de azufre.

Antes de este neutralizador se tenía instalado un sistema lavador de gases hecho con láminas de fierro revestidos con fibra de vidrio, el cual tenía un buen funcionamiento pero necesitaba un mantenimiento cada tres meses o cuatro meses lo cual era muy frecuente y obligaba a mantenimientos de urgencia.

De la observación de este sistema y la aplicación de teoría básica de ingeniería se desarrolla el Neutralizador de Gases. Por lo tanto el costo de desarrollo va desde la experiencia obtenida en el lavador de gases y el propio del diseño, cálculos, elaboración de planos.

## **5.2. COSTO DE FABRICACIÓN**

**5.2.1.** Costo de fabricación de columna de neutralización, caja depósito de agua de recirculación. Este trabajo se encarga a un especialista en fabricación con PVC el cual de acuerdo a los planos desarrolla el equipo.

**5.2.2.** Costo de tuberías, se compra tuberías de PVC clase 5 marca MATUSITA.

**5.2.3.** Costo de extractor de gases ácidos, se compra un extractor de las características indicadas.

**5.3. COSTO DE TRASLADO DE EQUIPOS,** una vez obtenidos cada uno de los equipos y accesorios se traslada vía terrestre en la Agencia MARVISUR.

## **5.4. COSTOS DE INSTALACIÓN.**

### **5.4.1. Costo de Instalaciones civiles.**

Se encarga la construcción de una loza de cemento de 1 m x 1 m x 50 mm de espesor en el lugar donde se instalara la columna neutralizadora.

### **5.4.2. Costo de Instalaciones mecánicas.**

Tanto la instalación del extractor como de los tuberías se hace con personal especializado.

### **5.4.3. Costo de Instalaciones eléctricas.**

Se encarga la instalación de un tablero de control para el extractor y la bomba de recirculación a un técnico electricista.

#### 5.4.4. Costo de Equipos e instrumentos.

Se utiliza los siguientes instrumentos, voltímetro, pinza amperimétrica, termocupla, anemómetro.

### 5.5. COSTO DE PRUEBAS Y ENSAYOS.

5.5.1. Pruebas Cualitativas, para la realización de las pruebas se tomara en promedio tres días consecutivos.

5.5.2. Pruebas Cuantitativas, tiene dos partes: la toma de las muestras en forma apropiada y el análisis de laboratorio que se realizara en la Empresa MINPETEL.

### 5.6. RESUMEN DE COSTOS

La siguiente tabla muestra el resumen de los costos así como el porcentaje que cada uno representa en relación al costo total

*Tabla N° 5.1 Resumen de costos*

5.1	<b>Costo del Desarrollo de la Ingeniería</b>		S/. 3,500.00
5.2	<b>Costo de Fabricación</b>		S/. 4,690.00
5.2.1	Costo de fabricación de columna	S/. 2,600.00	
5.2.2	Costo de tuberías	S/. 290.00	
5.2.3	Costo de extractor de gases	S/. 1,800.00	
5.3	<b>Costo de traslado de equipos</b>		S/. 270.00
5.4	<b>Costos de instalación</b>		S/. 350.00
5.4.1	Costo de Instalaciones civiles	S/. 130.00	
5.4.2	Costo de Instalaciones mecánicas	S/. 140.00	
5.4.3	Costo de Instalaciones eléctricas	S/. 80.00	
5.5	<b>Costo de Equipos e instrumentos</b>		S/. 150.00
5.6	<b>Costo de Pruebas y Ensayos</b>		S/. 760.00
5.6.1	Pruebas Cualitativas	S/. 240.00	
5.6.2	Pruebas Cuantitativas		
	Toma de muestras	S/. 160.00	
	Pruebas	S/. 360.00	
<b>TOTAL</b>			<b>S/. 9,720.00</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

## CONCLUSIONES

1. Si es posible condensar los gases que se producen durante el análisis de minerales de cobre cuando se usan los ácidos clorhídrico, nítrico y sulfúrico.
2. No es indispensable el llamado “lavado de gases”, en este caso.
3. El PVC, como material para manejo de gases ácidos, excelente.
4. El mantenimiento del PVC, prácticamente cero.
5. Al cabo de un año de funcionamiento el extractor, el Neutralizador de Gases se encuentran en buen estado.
6. El presente trabajo constituye una alternativa ante los grandes y costosos LAVADORES DE GASES que son realizados en acero inoxidable del tipo quirúrgico, que para el caso de pequeños laboratorios y/o plantas de proceso resultan inaccesibles.

## **RECOMENDACIONES**

1. Es necesario concluir con las pruebas cualitativas a fin de determinar con exactitud la eficiencia del Neutralizador de Gases en forma clara.
2. En futuros protocolo de pruebas, realizarlos en diferentes momentos de tal manera que se pueda realizar una curva de funcionamiento. Esto permitiría optimizar el uso de este equipo.
3. Realizar un análisis de barrido en las emisiones gaseosas a fin de determinar la composición de los gases resultantes en las diferentes pruebas.
4. Estar atentos a la posible aparición de compuestos nuevos, que no están considerado y necesiten una atención diferente.
5. Al equipo Neutralizador de Gases tal como esta funcionando seria conveniente agregarle una segunda etapa de limpieza para atrapar aquellos gases que no son condensables en las condiciones normales.
6. Probar con carbón activado en la limpieza de los gases.
7. Estos gases pueden ser atrapados en carbón activado o similar. De esta manera se completa el objeto de limpieza para todo tipo de gases producidos.
8. Se presenta como. Se puede mejorar la ingeniería del diseño y bajar algunos costos que en el caso de fabricar en mayor cantidad ya serian menores.

## BIBLIOGRAFÍA

1.- Laboratorio de Química Analítica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela

[http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/martinezma/archivos/Lab\\_Analitica\\_Concepto.pdf](http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/martinezma/archivos/Lab_Analitica_Concepto.pdf)

2.- Marcha Analítica, WIKIPEDIA

[http://es.wikipedia.org/wiki/Marcha\\_anal%C3%ADtica](http://es.wikipedia.org/wiki/Marcha_anal%C3%ADtica)

3.- Óxido de Azufre, WIKIPEDIA

[http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido\\_de\\_azufre\\_%28VI%29](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93xido_de_azufre_%28VI%29)

4.- Dióxido de Azufre, WIKIPEDIA

[http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido\\_de\\_azufre](http://es.wikipedia.org/wiki/Di%C3%B3xido_de_azufre)

5.- Ácido Sulhídrico, WIKIPEDIA

[http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido\\_sulfh%C3%ADdrico](http://es.wikipedia.org/wiki/%C3%81cido_sulfh%C3%ADdrico)

6.- Lavado de Gases, Tratamiento con ozono por vía húmeda. COSEMAR OZONO

<http://cosemarozono.com/descargas/LAVADO%20DE%20GASES.pdf>

7.- Lavador de Gases Tipo Venturi. ARALCO

<http://www.calderacolombia.com/LavadorDeGasesVenturi.pdf>

8.- Depuración de Gases en Procesos Industriales. ECOTEC

<http://www.ecotec.es/docs/depuracion-de-gases-en-procesos-industriales.pdf>

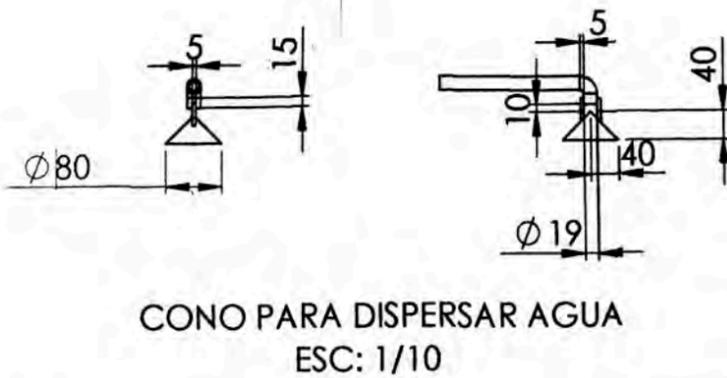
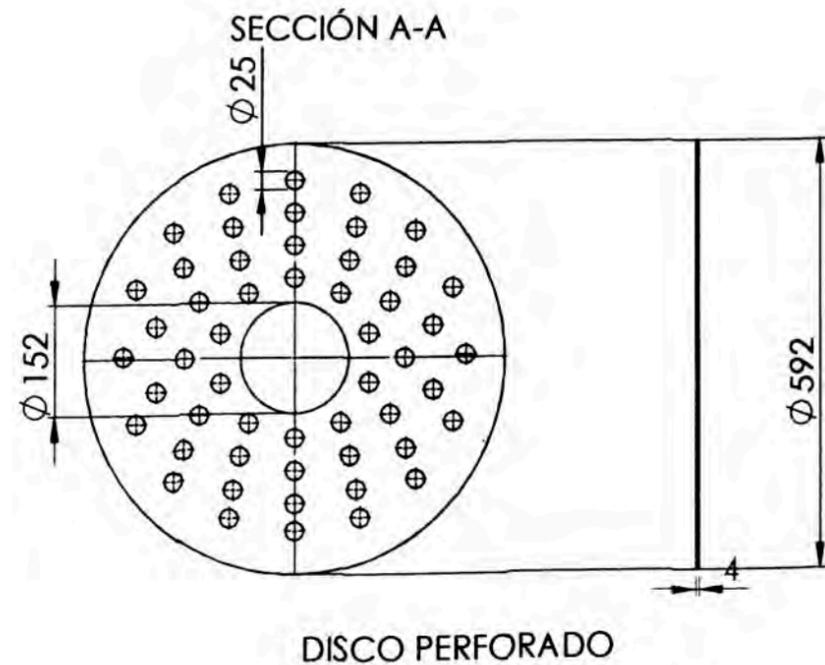
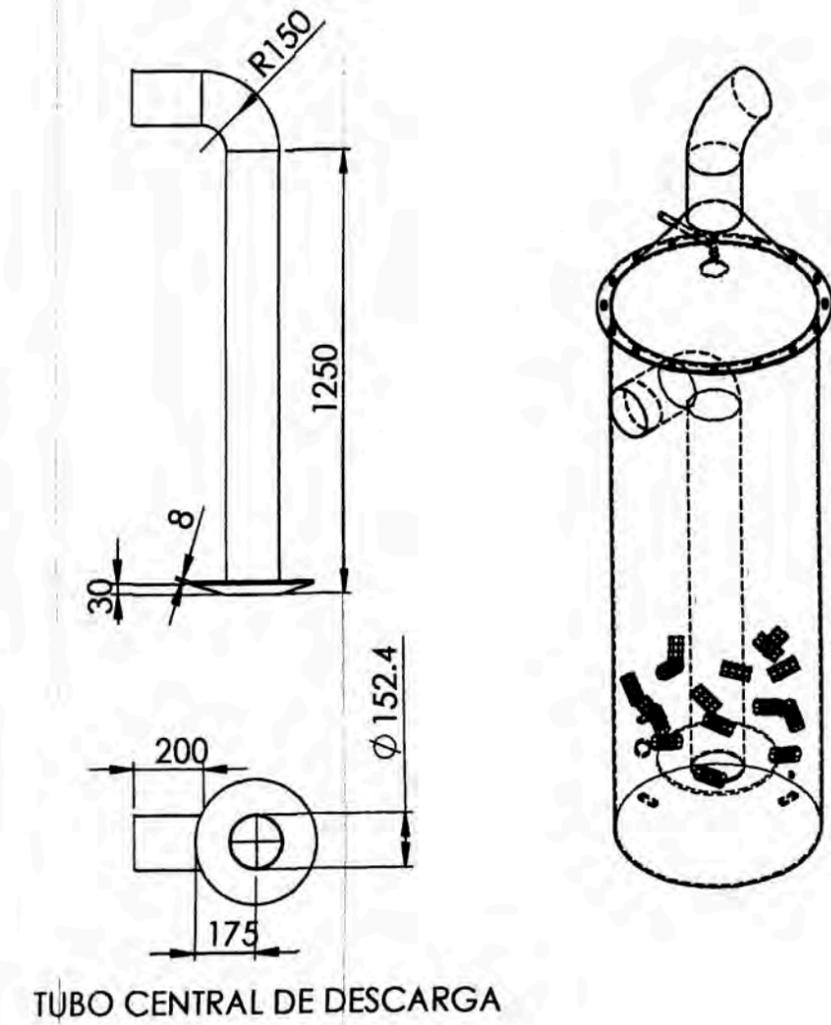
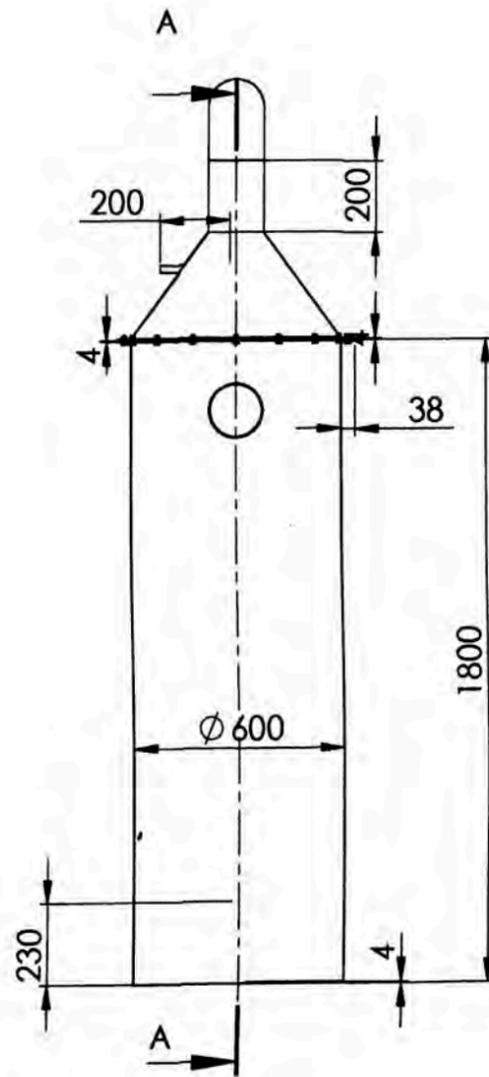
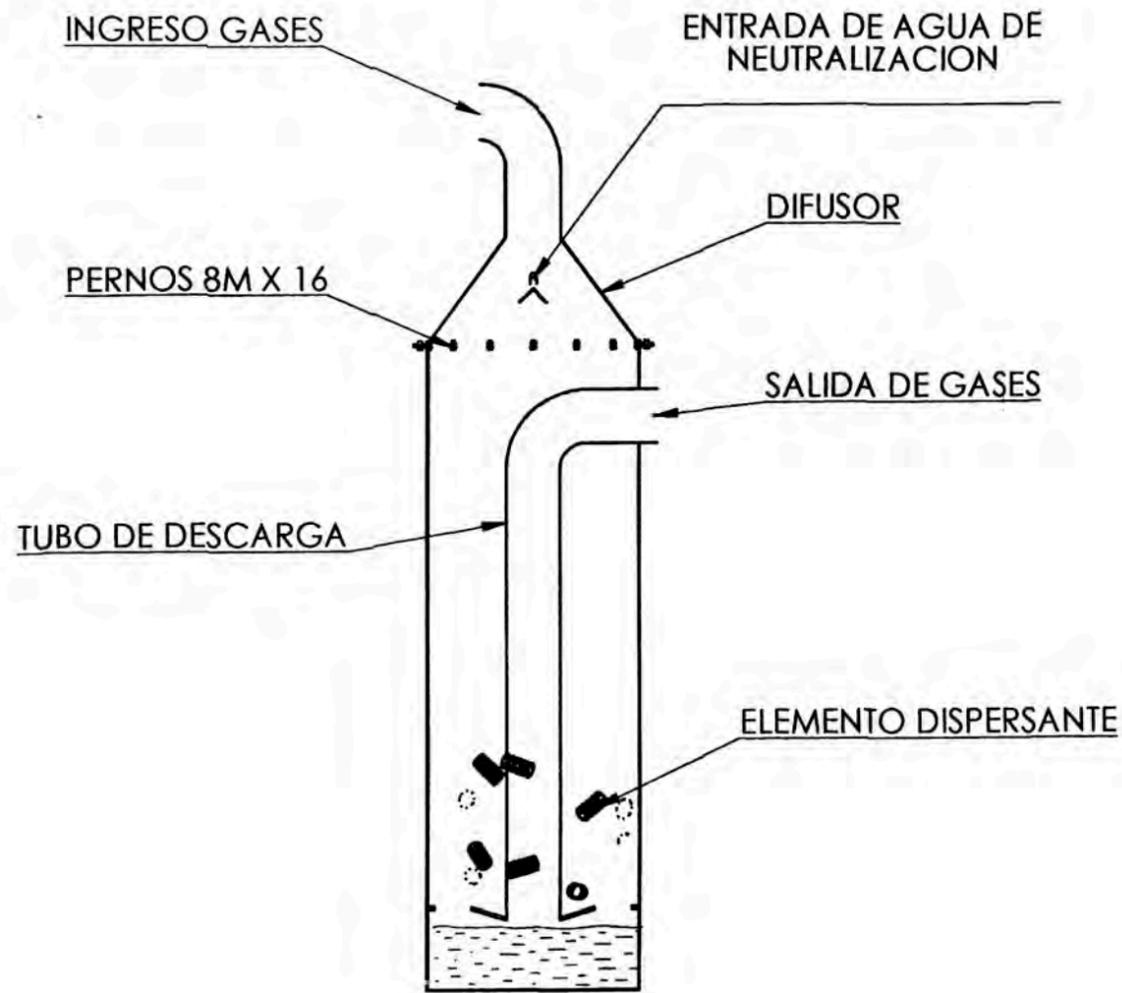
9.- Ventiladores, Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA. Pedro Fernández Díez

<http://files.pfernandezdiez.es/Compresores/PDFs/6Compresores.pdf>

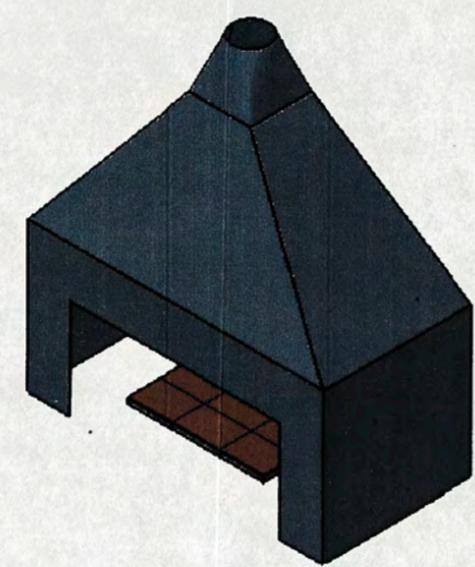
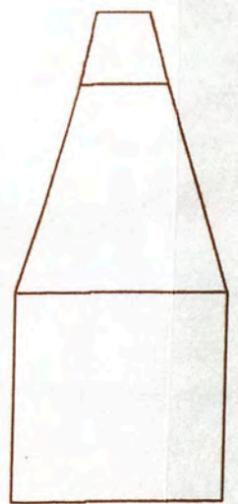
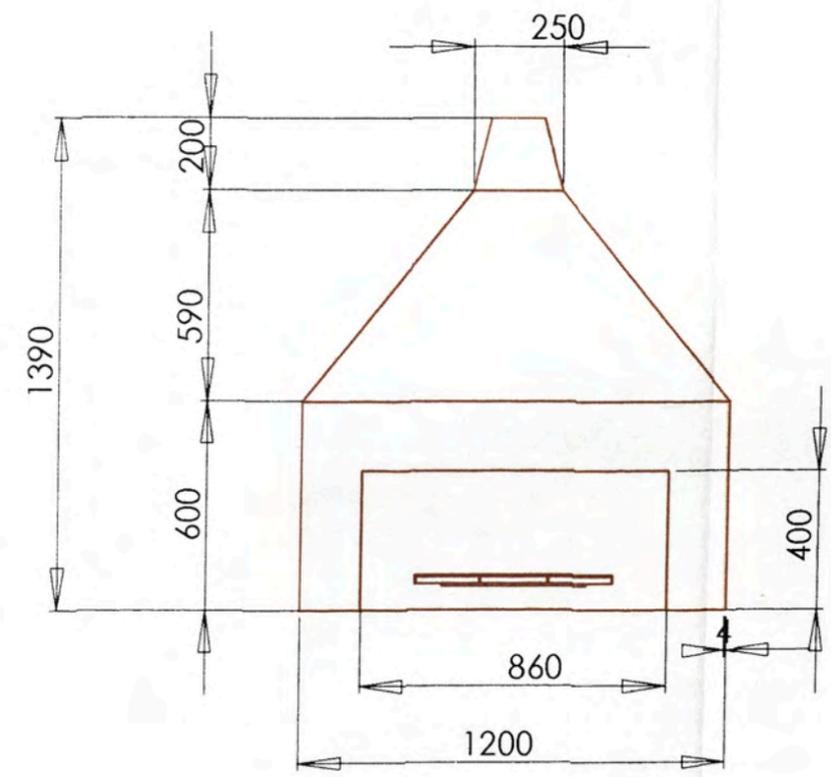
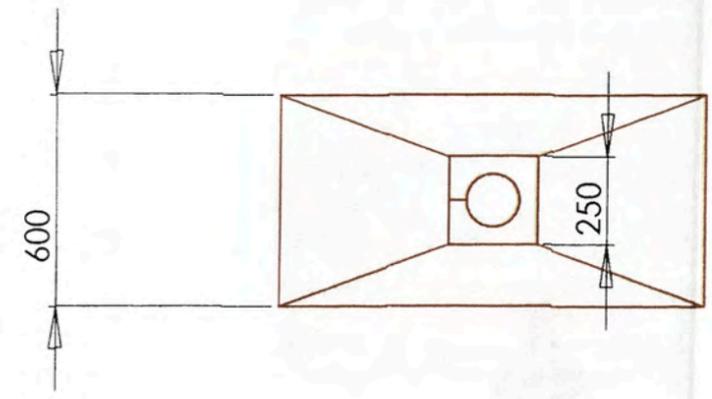
10.- Pérdidas de Cargas en Tuberías

<http://es.slideshare.net/karinagimenezabreu/presentacion-perdida-de-cargas-de-tuberias>

# **ANEXOS**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISION
				UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
				TÍTULO:	
				NEUTRALIZADOR DE GASES	
DBUJ.	RICARDO LAJO	FIRMA	FECHA	06/06/12	N.º DE DIBUJO
VERIF.					A001-2012
APROB.					A3
FABR.					
CALID.					
				MATERIAL:	
				Todo el conjunto se fabrica en PVC	
				PESO:	
				ESCALA: 1:20	HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

REBARBAR Y  
 ROMPER ARISTAS  
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	RICARDO LAJO		06/06/12
VERIF.			
APROB.			
FARR.			
CAID.			

TÍTULO:

CAMPANA EXTRACTORA

MATERIAL:  
 Todo el conjunto se fabrica en PVC

N.º DE DIBUJO

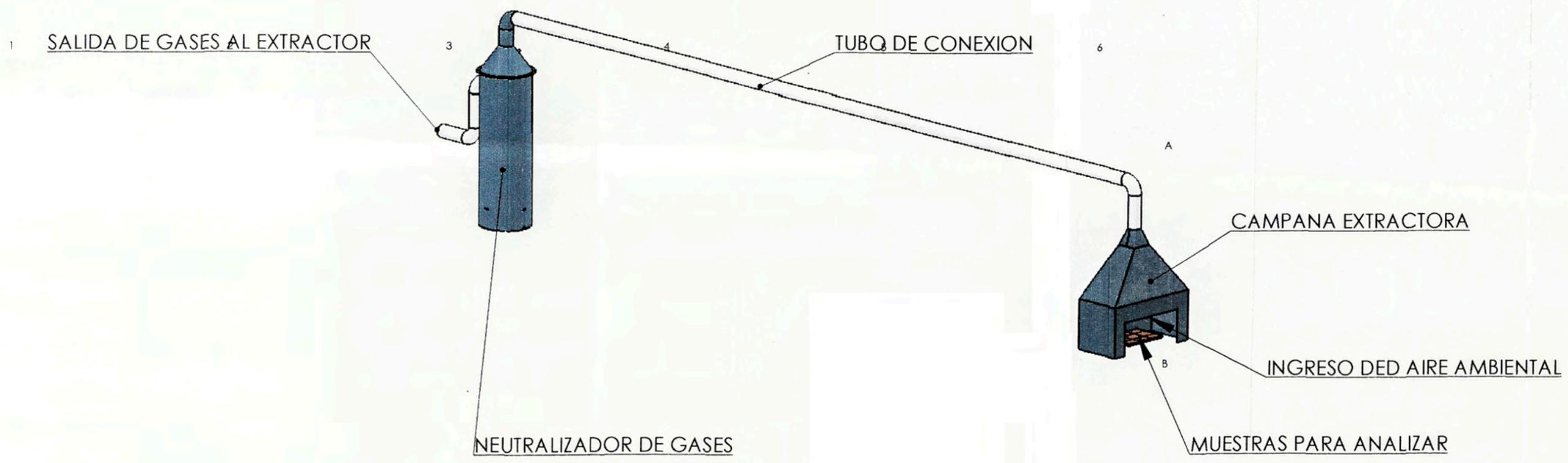
A002-2012

A3

PESO:

ESCALA:1:20

HOJA 1 DE 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
ACABADO SUPERFICIAL:					UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
TOLERANCIAS:					TÍTULO:	
LINEAL:					DISPOSICION DE EQUIPOS	
ANGULAR:					N.º DE DIBUJO	A3
DIBUJ.	NOMBRE	FIRMA	FECHA		A003-2012	
VERIF.	RICARDO LAJO		06/06/12			
APROB.						
FABR.				MATERIAL:		
CALID.				PESO:	ESCALA:1:50	HOJA 1 DE 1