

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA-ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



**“DISEÑO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN
DE GASES CONTAMINANTES PARA OBTENER
AIRE A CONDICIONES PERMISIBLES EN EL
LABORATORIO QUÍMICO DE LA MINA
CUAJONE – MOQUEGUA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECÁNICO
MIGUEL ANGEL ARBILDO OLGUÍN**

Callao, Septiembre, 2014

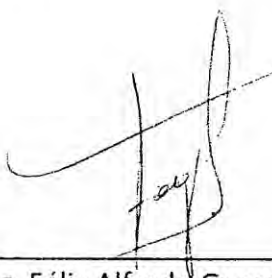
PERÚ

INFORME

El Presidente del Jurado Evaluador del I ciclo de tesis, informa que la sustentación de la tesis titulada: **“DISEÑO DEL SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE GASES CONTAMINANTES PARA OBTENER AIRE A CONDICIONES PERMISIBLES EN EL LABORATORIO QUÍMICO DE LA MINA CUAJONE – MOQUEGUA”**, presentado por el bachiller **ARBILDO OLGUIN, Miguel Ángel**, realizado el día 19 de setiembre del 2014; el mismo que fue aprobado como consta en el acta correspondiente.

Se emite el presente informe para los fines pertinentes.

Bellavista, 29 de setiembre del 2014



Mg. Félix Alfredo Guerrero Roldan
Presidente del Jurado Evaluador
I ciclo de tesis

DEDICATORIA

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificios en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia, mis padres y hermanas, por brindarme su apoyo en todo momento y entregarme su cariño.

A mi asesor el Ing. Oscar Tacza por el gran esfuerzo y dedicación que puso para sacar adelante esta tesis.

Y un agradecimiento muy especial a mi compañera de siempre Katy, por darme las fuerzas e impulsarme a seguir en todo momento.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
ÍNDICE DE FIGURAS.....	5
RESUMEN.....	6
ABSTRACT	7
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 Identificación del problema	8
1.2 Formulación del problema.....	9
1.2.1 Problema General.....	9
1.2.2 Problemas Específicos	9
1.3 Objetivos.....	10
1.3.1 Objetivo General.....	10
1.3.2 Objetivos Específicos	10
1.4 Justificación	10
1.4.1 Justificación Práctica	11
1.4.2 Justificación Tecnológica	11
1.5 Importancia	12
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes del estudio.....	13
2.2 Marco conceptual	15
2.2.1 Laboratorio Químico de la mina Cuajone.....	15
2.2.2 Sistema de neutralización de gases contaminantes.....	18

2.2.3 Calidad del aire.....	68
2.3 Normatividad.....	70
2.3.1. DS 074-2001-PCM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire	70
2.3.2.RM 315-96-EM/VMM: “Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas”	71
 CAPITULO III: VARIABLES E HIPÓTESIS	
3.1 Variables de la investigación.....	74
3.2 Operacionalización de las variables.....	74
3.3 Hipótesis.....	75
3.3.1 Hipótesis General	75
3.3.2 Hipótesis Específicos.....	75
 CAPITULO IV: METODOLOGÍA	
4.1 Tipo de la Investigación	76
4.2 Diseño de la Investigación	76
4.2.1 Parámetros básicos de investigación.....	76
4.2.2 Etapas de la investigación	76
4.2.3 Detalles de la investigación	77
4.3 Población y muestra	91
4.4 Técnicas e instrumentos de investigación.....	91
4.5 Procedimiento de recolección de datos.....	92
4.5.1 Observación	92

4.5.2 Mediciones convencionales	93
4.5.3 Documental	93
4.5.4. Análisis de los gases emitidos	94
4.6 Procesamiento estadístico y análisis de datos	96
CAPITULO V: RESULTADOS	97
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6.1 Contrastación de la Hipótesis con los resultados	99
6.2 Contrastación de los resultados con otros estudios similares	100
CAPITULO VII: CONCLUSIONES	101
CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES	102
CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	103
ANEXOS	106

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Salas de trabajo en Laboratorio Químico de la Mina de Cuajone.....	20
Tabla N° 2.2: Adsorbentes utilizados para el control de contaminantes gaseosos.....	39
Tabla N° 2.3: Velocidades de cara recomendadas por diversas normas y guías.....	56
Tabla N° 2.4: Factores de pérdida por codos.....	61
Tabla N° 2.5: Factores de pérdida por derivaciones.....	62
TABLA N° 2.6: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Aire.....	70
Tabla N° 2.7: Niveles Máximos Permisibles de Calidad de Aire.....	72
Tabla N° 2.8: Emisiones Máximas Permisibles para Dióxido de Azufre ...	72
Tabla N° 4.1: Métodos de ensayo y equipos utilizados.....	92
Tabla N°4.2: Parámetros de Medición y Muestreo – Sala de Vía Húmeda.....	94
Tabla N°4.3: Parámetros de Medición y Muestreo – Sala de Cianuros....	95
Tabla N°4.4: Parámetros de Medición y Muestreo – Sala de Absorción Atómica.....	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Esquema de Distribución de las Salas Operativas y las Campanas de Extracción.....	15
Figura N° 2.2: Diagrama Esquemático de una Torre de Aspersión	26
Figura N° 2.3: Lavador Mecánico.....	28
Figura N° 2.4: Lavador de Platos	29
Figura N° 2.5: Lavador Venturi.....	31
Figura N° 2.6: Torre de Lavado Empacada.....	33
Figura N° 2.7: Material de Empaque al Azar	37
Figura N° 2.8: Diagrama Esquemático de la Operación a Contracorriente de un Lecho Empacado.....	45
Figura N° 2.9: Modificación de Eckert de la Correlación Generalizada a Razones de Inundación	49
Figura N° 2.10: Extractora Tipo Vitrina de Sobresuelo.....	54
Figura N° 2.11: Flujo de Aire en Cabinas	55
Figura N° 2.12: Ventilador Axial	65
Figura N° 2.13: Ventilador Centrífugo	66
Figura N° 2.14: Ventilador Con Álabes Curvados Hacia Adelante	67
Figura N° 2.15: Ventilador Con Álabes Rectos	67
Figura N° 2.16: Ventilador Con Álabes Curvados Hacia Atrás	68
Figura N° 4.1: Datos de Ingreso – Software Vortex 1.3.....	85
Figura N° 4.2: Ventilador Seleccionado del Software “Vortex 1.3”	85

RESUMEN

La presente investigación desarrolla el diseño del sistema de neutralización para los gases contaminantes generados en las salas de análisis del Laboratorio Químico de la mina Cuajone.

El diseño de esta investigación se ha basado en normas y estándares nacionales e internacionales tales como la ACGIH, ASHRAE, y EPA, su aplicación permite garantizar el correcto funcionamiento del sistema.

Calculó de los parámetros de los equipos de neutralización de gases, en las torres de lavado tipo empacada se calculó el diámetro, altura de empaque y caída de presión; para el equipo de adsorción se determinó la vida útil de los filtros de carbón activado.

Calculó de ductos y selección del ventilador para el sistema de extracción.

Los sistemas de neutralización para las salas de Vía Húmeda y Cianuros están compuestos por vitrinas extractoras, sistemas de ductos de PVC, torres de lavado tipo empacada y ventiladores centrífugos de tipo alabes curvos hacia atrás con capacidades de 13170 m³/h y 185 mmcda para la sala de Vía Húmeda y 5270 m³/h y 173 mmcda para la de cianuros.

El sistema de la sala de absorción atómica cuenta con campanas de extracción tipo canopy, un sistema de ductos de PVC, un equipo de adsorción con filtros de carbón activado y un ventilador centrífugo con alabes curvos hacia atrás de una capacidad de 2585 m³/h y 110 mmcda.

Palabras claves: Normas y estándares, torres de lavado, equipo de adsorción, campanas tipo vitrina y canopy; y ventilador centrífugo.

ABSTRACT

The purpose of this investigation is to develop the neutralization system design for the gaseous pollutants generated in the rooms of the Chemical Analysis Laboratory Cuajone mine.

The design of this investigation has been based on national and international norms and standards such as the ACGIH, ASHRAE and EPA whose application ensures the correct operation of the system.

It has been calculated the main parameters of the gaseous neutralization equipment, the diameter, packing height and pressure drop in packed towers was calculated; The lifetime of the activated carbon filter by adsorption equipment. Furthermore, the pipelines was calculated and the fan extraction system was selected.

Neutralization systems by cyanide rooms and Wet Process are composed of fume hoods, a system of PVC ducts, packed tower and centrifugal fans with backward curve impeller with capabilities of 13170 m³/h y 185 mmcda by wet process and 5270 m³/h and 173 mmcda by cyanide rooms.

The system of atomic absorption room has three canopy fume hoods, a system PVC ducts, and an adsorption equipment with activated carbon filters and a centrifugal fan with backward curve impeller with capabilities of 2585 m³/h y 110 mmcda.

CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación del problema

La generación de gases contaminantes es un problema general en los laboratorios químicos de unidades mineras, debido que es ahí donde se analizan todas las muestras minerales que lleguen. Además, estos gases emitidos son peligrosos ya que pueden dañar severamente al personal que labora dentro de sus instalaciones y a la atmosfera de su entorno, es por este motivo que requiere una especial atención. El problema se basa en la generación de gases no controlados de las muestras analizadas, y es que una vez que son emitidos es casi imposible controlar sus efectos a mediano o largo plazo, los cuales pueden ser perjudiciales para las personas o el medio ambiente, teniendo en algunos casos consecuencias irreversibles.

Para el desarrollo de la presente tesis se tomaron en cuenta los siguientes estudios realizados en las instalaciones del Laboratorio Químico:

- Programa de muestreo y medición de los gases contaminantes.
- Evaluación de la velocidad de cara (Face velocity) de las campanas extractoras.

De acuerdo a los estudios realizados se tiene que la emisión de gases tóxicos al ambiente sobrepasa los niveles máximos permisibles, además se obtuvo una velocidad de cara (face velocity) en las campanas de humos

por debajo de los valores recomendados en estándares nacionales e internacionales.

Lo mencionado anteriormente ocurre debido a una deficiente ventilación de sus instalaciones y a que los gases extraídos que contienen contaminantes se encuentran siendo emitidos a la atmosfera sin ningún tipo de tratamiento previo.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo determinar un sistema de neutralización de gases que permita obtener aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua?

1.2.2. Problemas Especificos

- ¿Cómo evaluar las propiedades de los gases contaminantes que permitan seleccionar los equipos de neutralización?
- ¿Cómo determinar los principales parámetros de los equipos de neutralización que permitan reducir la emisión de gases contaminantes?
- ¿Cómo determinar un sistema de extracción localizada que permita la evacuación de los gases contaminantes?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de neutralización de gases contaminantes mediante torres de lavado y filtros de carbón activado para obtener aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Analizar las propiedades de los gases contaminantes para seleccionar las tecnologías de neutralización más adecuadas.
- Determinar los principales parámetros de los equipos del sistema de neutralización para reducir la emisión de gases contaminantes a niveles dentro de los límites máximos permisibles.
- Diseñar un sistema de extracción localizado para la captación y desalojo de los gases contaminantes.

1.4. Justificación

Los encargados del laboratorio de la mina Cuajone han realizado análisis a las campanas extractoras y a los gases emitidos en sus diferentes salas. Dichos estudios determinaron que las campanas se encuentran trabajando de manera deficiente y, además, la cantidad de los gases contaminantes generados se encuentra excediendo los Límites Máximos Permisibles, los cuales están definidos según la Resolución Ministerial 315-96-EM/VMM.

Además deberá de cumplirse con los *Estándares de Calidad ambiental* dados en el *Decreto supremo 074-2001-PCM*.

1.4.1. Justificación Práctica

Lo explicado anteriormente evidencia la necesidad de desarrollar la presente Tesis, para analizar las propiedades físico-químicas de los gases emitidos por el laboratorio químico y con ello plantear un sistema para mejorar su calidad antes de ser emitidos al medio ambiente, tomando como base los requisitos establecidos en la legislación ambiental pertinente.

Además, se planteó una solución para mejorar el actual sistema de inyección y extracción de gases con el objeto de compensar el aire extraído por las campanas y garantizar la calidad del aire interior; es decir, un ambiente libre de emanaciones tóxicas dentro de las salas operativas del laboratorio.

1.4.2. Justificación Tecnológica

Con la implementación del sistema de neutralización de gases contaminantes se mejorará la calidad del aire, disminuyendo el impacto ambiental generado por los gases tóxicos del laboratorio y mejorando las condiciones de trabajo para las personas en el laboratorio y sus alrededores, con ello se podrá generar ambiente de trabajo libre de contaminantes, evitándose enfermedades a consecuencia de los gases.

1.5. Importancia

Al ser una tecnología que contribuye con el medio ambiente, esta investigación es importante para dar solución al problema de la emisión de gases contaminantes, el cual es uno de los principales que aqueja el Laboratorio Químico de la mina Cuajone.

El tratamiento de los gases contaminantes se hace de mucha importancia debido a que el Laboratorio Químico no viene cumpliendo con las regulaciones ambientales pertinentes con respecto a la calidad del aire, además permitirá reducir la contaminación del aire al exterior e interior del laboratorio, con lo que se podrá conseguir un ambiente seguro y libre de gases tóxicos para los usuarios del laboratorio y a sus alrededores.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

Algunas investigaciones respecto al problema objeto de estudio se citan en las siguientes tesis:

- Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Título: ***“Diseño del sistema de extracción localizado para el banco de pruebas de combustión del proyecto Carbón”***, Año 2011. Repositorio Digital de Tesis de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Autor: Julio Miker Arias Riveros

Algunas de las conclusiones relevantes son:

- a. Optar por un ventilador de alabes inclinados hacia atrás ($< 90^\circ$ 2β) sobre uno de alabes rectos, pero estos últimos son para mayores potencias lo cual no iba acuerdo con el proyecto. Además, El sistema de transmisión entre el motor-ventilador se realiza mediante correas en V, porque produce menos ruido en la zona de trabajo.
- b. Se eligió un sistema de extracción localizada para limitar el foco contaminante y evitar que los gases y partículas se expandan dentro de la zona de trabajo, siendo transportado dentro del sistema.

- Tesis de grado para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico. Título: ***“Diseño y construcción de un prototipo de sistema para reducir la concentración de SO₂ de los gases de cola generados en el proceso de desulfurización del refinamiento de crudo en la refinería estatal Esmeraldas”***, Año 2006. Repositorio Digital de Escuela Politécnica del Ejército - Ecuador. Autores: Iván Santiago Montenegro Silva Andrés Alejandro Moncayo Olalla

Algunas de las conclusiones relevantes son:

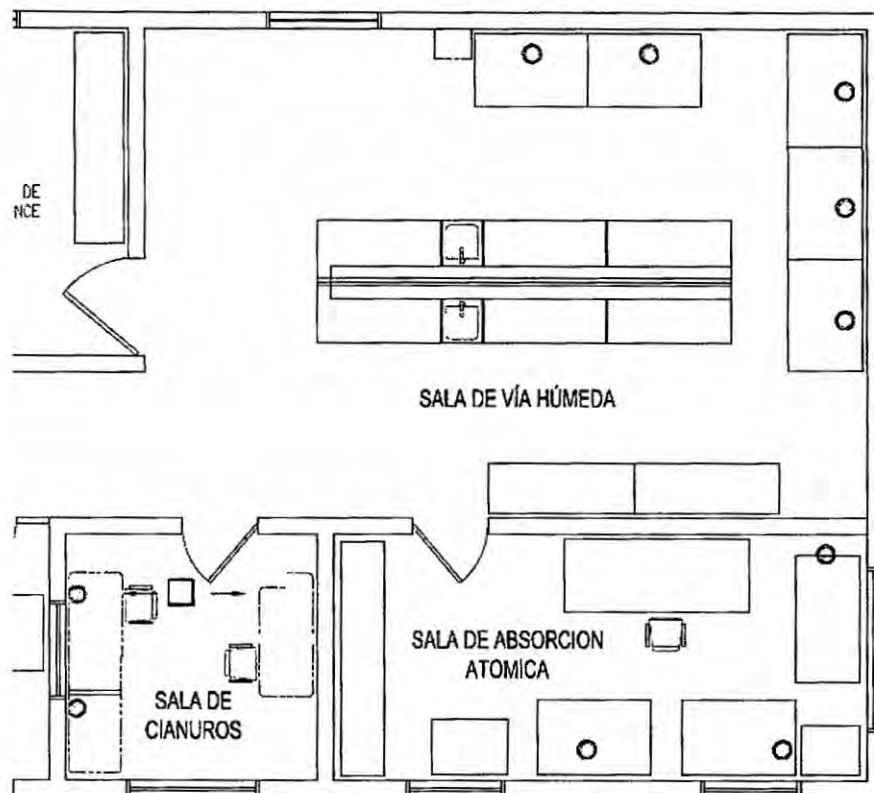
- a. La instalación de dispositivos para el control de emisiones no conlleva a beneficios económicos directos, sino que a través del no pago de multas ambientales, se pueden comenzar a notar a corto plazo los beneficios económicos de forma indirecta.
- b. A través del uso de dispositivos para el control de emisiones, si es posible mitigar, casi por completo, los efectos producidos por contaminantes ambientales, lo que conlleva a un desarrollo sustentado entre la empresa, la comunidad y el ecosistema.
- c. A través del dispositivo se pudo remover hasta 13000 mg/l de sulfatos, lo que demuestra que el sistema es eficiente y constituye una solución efectiva al problema de contaminación.

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Laboratorio Químico de la mina Cuajone

El Laboratorio Químico cumple una función muy importante para la producción de las compañías mineras, debido a que diariamente reportan leyes tanto para la mina como para Planta Concentradora, todos estos resultados son obtenidos a través de sus diferentes áreas de análisis (Salas operativas).

FIGURA Nº 2-1
ESQUEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LAS SALAS OPERATIVAS Y LAS
CAMPANAS DE EXTRACCIÓN



Fuente: Elaboración Propia

El laboratorio químico de la mina Cuajone, ubicado en el departamento de Moquegua a una altura aproximada de 3380, msnm cuenta en su interior con 3 áreas en donde se realizan los ensayos. Dichas áreas son las siguientes:

- Sala de Vía Húmeda
- Sala de Absorción atómica
- Sala de Cianuros

a. Sala de Vía Húmeda

Los ensayos por vía húmeda son los más usuales en el análisis cualitativo, para ello primero es necesario disolver la sustancia ensayada.

El Laboratorio químico recibe aproximadamente 200 muestras de mineral por turno para ser trabajadas en el área de vía húmeda, donde se tienen 3 campanas para el trabajo en caliente, cada campana tiene una capacidad aproximada de 67 muestras. Usualmente, las muestras se van colando en las estufas conforme se van adicionando los reactivos a cada una de ellas, hasta que todas han sido colocadas en las estufas. Luego las muestras son retiradas progresivamente para ser enfriadas en las campanas de trabajo en frío.

Las muestras de mineral son atacadas con ácidos (Clorhídrico, nítrico y sulfúrico) en vasos de 100 a 400 ml (diámetro de 5 a 8 cm) para los posteriores análisis. El tiempo estimado para la reacción en caliente es 2 horas y para el secado 1 hora.

Esta sala tiene una superficie de 54.5 m² y se encuentra equipada con 4 campanas tipo vitrina, 3 para trabajos en caliente y 1 para trabajo en frío, adicionalmente se está agregando una campana tipo vitrina.

b. Sala de Absorción Atómica

La sala de adsorción atómica procesa 750 muestras por turno, con lo cual cada uno de los tres equipos que se tienen debe analizar 250 muestras por turno aproximadamente.

En los métodos instrumentales de análisis por Espectroscopia de Absorción Atómica (AAS), la solución de la muestra es absorbida por el sistema nebulizador del equipo y una porción de la misma es dirigida al quemador. Sólo la porción de muestra volatilizada en el quemador es la que eventualmente va a ser absorbida por el sistema de extracción de gases (aproximadamente entre 3-5%).

Esta sala tiene una superficie de 20 m² y se encuentra equipada con 3 campanas tipo Canopy para absorber los gases generados.

c. Sala de Cianuros

Laboratorio químico recibe aproximadamente 80 muestras por turno para ser trabajadas en el área de Cianuros. Las muestras de mineral son atacadas con cianuro de sodio en vasos de 100 a 400 ml (diámetro de 5 a 8 cm), el tiempo estimado para la reacción 2 horas.

Esta sala tiene una superficie de 10 m² y se encuentra equipada con 2 campanas tipo vitrina para absorber los gases generados.

2.2.2. Sistema de neutralización de gases contaminantes

a. Contaminación del aire

La contaminación del aire se define como la presencia en la atmósfera de uno o más contaminantes o sus combinaciones, en cantidades tales y con tal duración que sean o puedan afectar la vida humana, de animales, de plantas, o de la propiedad que interfiera el goce de la vida, la propiedad o el ejercicio de las actividades¹.

Los contaminantes del aire se clasifican de acuerdo a la fuente de contaminación en primarios y secundarios. Los contaminantes primarios son aquellos donde una fuente emite directamente al ambiente mientras que, los contaminantes secundarios se forman en el ambiente a través de reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios.

b. Efectos de la contaminación del aire

Los cambios en las proporciones normales de los componentes del aire ocasionan efectos negativos en los seres vivos, en los materiales y en los ecosistemas que pueden valorarse a corto plazo (por ejemplo, los daños en la salud humana) o a largo plazo (como el cambio climático).

¹ WARK, WARNER; WARNER, CECIL F. "Contaminación del aire. Origen y Control"

Si tenemos en cuenta el radio de acción, podemos hablar de efectos locales (los ocasionados por cada uno de los contaminantes), efectos regionales (la lluvia ácida) o efectos globales, que afectan a todo el sistema terrestre (el cambio climático).

Los factores que influyen en el grado y el tipo de efectos son la clase de contaminantes, su concentración y el tiempo de exposición a los mismos; la sensibilidad de los receptores y las posibles reacciones de combinación entre contaminantes (sinergias) que provocan un aumento de los efectos.

c. Medición y muestreo de los gases emitidos

El muestreo y medición tiene como objetivo caracterizar la concentración de gases contaminantes que se generan, para luego en base a estos resultados realizar el diseño del sistema de lavado de gases.

Los puntos de muestreo y medición, realizados por la empresa "Envirolab Perú", se dividen en puntos de emisión y puntos de calidad de aire.

- ***Puntos de emisión***

Existen tres salas de trabajo dentro del laboratorio donde se generan gases contaminantes, la Tabla N° 2.1, página 20 muestra las salas y la cantidad de campanas que presentan.

Los parámetros de medición de emisiones están regulados en las normas y estándares de calidad del aire, dentro de las salas se tomaron datos de los caudales y sus componentes.

TABLA N° 2.1
SALAS DE TRABAJO EN LABORATORIO QUÍMICO DE LA MINA
CUAJONE.

Sala de Trabajo	Cantidad de campanas	Aplicación
Sala de Vía húmeda	5	3 campanas funcionan en caliente y una campana en frío. (Se consideró una campana adicional)
Sala de Cianuro (Lixiviación)	2	Se utilizan para trabajo en frío.
Sala de Absorción Atómica	3	Lectura de concentración en soluciones diluidas, se utiliza acetileno para combustión.

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

- **Puntos de calidad de aire**

La caracterización de la calidad de aire en las inmediaciones del laboratorio químico tiene como objetivo especificar el aire que se utilizara para ser purificado y utilizado para el sistema de renovación y aire acondicionado.

d. Neutralización de gases contaminantes

La neutralización de gases contaminantes se refiere a la disminución de los agentes tóxicos de los gases mediante la presencia de un agente externo (dispositivos de control agregado).

El método más común para neutralizar los contaminantes gaseosos es la adición de dispositivos de control agregado. Las técnicas de control agregado son la absorción, adsorción, combustión y condensación.

- **Absorción**

La absorción es el proceso mediante el cual un contaminante gaseoso se disuelve en un líquido. El agua es el absorbente más usado. A medida que el flujo de gas pasa por el líquido éste es absorbido. La absorción se usa comúnmente para recuperar productos o purificar gases con alta concentración de compuestos orgánicos.

El equipo de absorción está diseñado para obtener la mayor cantidad de mezcla posible entre el gas y el líquido.

Los absorbedores son frecuentemente llamados lavadores de gas y existen varios tipos de ellos. Los más usados son las torres rociadoras, torres de empacadas, cámaras rociadoras y lavadores Venturi entre otros.

- **Adsorción**

Retención de contaminantes sobre sólidos por fenómenos de tensión superficial. La eficacia del método depende del sistema sólido-gas que intervengan. En cualquier caso se requiere adsorbentes de elevada porosidad y área superficial. Cuando el adsorbente se satura se hace necesaria su sustitución.

- **Combustión**

Es la rápida oxidación de una sustancia producto de la combinación del oxígeno con un material combustible en presencia de calor. Cuando se

completa la combustión, el flujo gaseoso se convierte en dióxido de carbono y vapor de agua.

La combustión constituye un proceso apropiado para la eliminación de compuestos orgánicos.

- **Condensación**

Permite remover contaminantes gaseosos mediante la reducción de la temperatura del gas hasta un punto en el que el gas se condensa y se puede recolectar en estado líquido. La condensación se puede lograr mediante un incremento de la presión o la extracción de calor de un sistema. La extracción de calor es la técnica que más se emplea.

Los condensadores se usan generalmente para recuperar los productos valiosos de un flujo de desechos. Usualmente se usan con otro dispositivo de control.

- e. **Identificación de las tecnologías para la neutralización de gases**

Para alcanzar los estándares de emisiones establecidos en las normas y legislación actuales se están aplicando y/o desarrollando varias técnicas para el tratamiento de gases emitidos.

“Lavado de gases” es el término general que se aplica a los procedimientos de limpieza o purificación de emisiones gaseosas, tanto en industria como en laboratorio, recurriendo a un líquido como medio colector.

Los contaminantes del aire así tratado (lavado) son separados del flujo gaseoso al entrar en contacto con un líquido.

Los lavadores de gases húmedos son utilizados ampliamente para la eliminación de polvos, nieblas, vapores y olores, así como para la neutralización de gases tóxicos¹.

Los lavadores de gases húmedos se pueden dividir en dos tipos: colectores de partículas y dispositivos de control de emisiones gaseosas. Los colectores de partículas dependen de las fuerzas inerciales o electrostáticas para la colección de partículas en el aire. Los dispositivos de control de emisiones gaseosas tienen grandes áreas de contacto líquido-gas a fin de que los gases contaminantes puedan ser absorbidos por el líquido de lavado.

Todos los equipos de lavado que utilizan líquidos para la absorción del gas se basan en la creación de grandes zonas de superficie del líquido a través de métodos mecánicos como pulverización hidráulica, bandejas de choque, platos perforados, empaques, mallas y una variedad de combinaciones de mecanismos, todos tratando de crear una mayor superficie de contacto líquido-gas en el menor espacio volumétrico posible. Dichas técnicas pueden ser divididas en dos categorías básicas: las que contienen algún

¹ COSEMAR OZONO, "Lavado de gases: Tratamiento con Ozono por vía húmeda"

tipo de soporte para el flujo del líquido (empaques, mallas, rejillas, etc.) y las que crean un aerosol¹.

La eficiencia de recolección para los depuradores húmedos varía de acuerdo con la distribución del tamaño de las partículas que contiene el flujo de gas. En general, la eficiencia de recolección disminuye a medida que disminuye el tamaño de las partículas.

A continuación se darán algunas características de funcionamiento, ventajas y costos de las principales tecnologías utilizadas.

- ***Cámara de aspersion***

El tipo más simple de lavador es la cámara de aspersion. En este, el aire contaminado entra a una cámara en la que hace contacto con gotas del líquido producidas por los aspersores. El tamaño de las gotas generadas por los aspersores se controla para maximizar del contacto líquido y el gas y, en consecuencia, la eficiencia de recolección del lavador.

Los tipos comunes de *Cámaras de aspersion* son las torres de aspersion y Cámaras de aspersion ciclónicas.

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

Las Torres de Aspersión se pueden colocar en el sentido de la trayectoria de flujo de gas, ya sea vertical u horizontal. El líquido pulverizado puede ir en la misma dirección del gas, en contraflujo o perpendicular al flujo del gas.

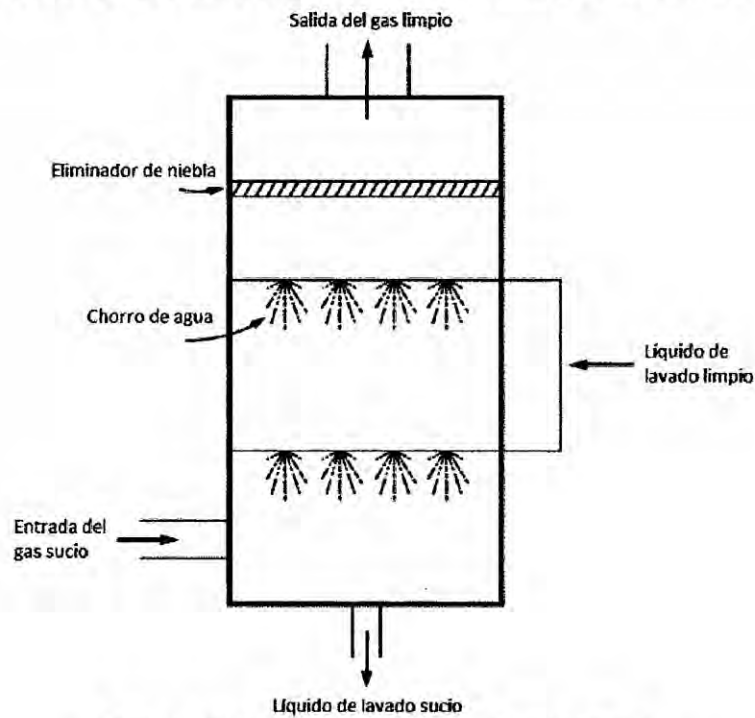
La Figura N° 2-2 (Ver página 26) muestra un ejemplo de una torre de aspersión vertical a contracorriente, el flujo de gas entra por la parte inferior de la torre y fluye hacia arriba. El agua pulverizada es dirigida hacia abajo desde los aspersores, los cuales son colocados en las paredes de la torre o montados en una matriz en el centro de la torre. Las gotas de agua capturan los gases contaminantes en el flujo de gas a través de impacto, intercepción y difusión. Las gotas de mayor tamaño se posarán en la parte inferior de la cámara mientras que las gotas de líquido que son arrastradas con la corriente de gas son recolectadas por medio de un eliminador de niebla¹.

Este tipo de dispositivos se basan en la captación de partículas por impacto, por lo tanto tienen una alta eficiencia para la colección de partículas gruesas. La eficiencia de colección para partículas mayores a $5\mu\text{m}$ es del 90%, mientras que para partículas que van de $3 - 5\mu\text{m}$ de diámetro la eficiencia de remoción se encuentra desde un 60% hasta

¹ SPELLMAN, FRANK R.; WHITING, NANCY, "Environmental Engineer's Mathematics Handbook"

un 80%. Para partículas que tienen un diámetro menor a $3\mu\text{m}$ la eficiencia de colección se encuentra por debajo del 50%.

FIGURA N° 2-2
DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE UNA TORRE DE ASPERSIÓN



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual

El costo de inversión de las torres de aspersión es menor en comparación con el costo de otros lavadores. Los costos de operación de las torres de aspersión aumentan para partículas finas, porque estos sistemas requieren de más de 0.08 m^3 de líquido por cada 28.32 m^3 de gas. Las tasas de flujo de gas típicas para las torres de aspersión son de 1 a 47 m^3 estándares.

- **Lavador mecánico**

Los depuradores mecánicos son conocidos también como depuradores con ayuda mecánica. Este tipo de depurador es similar a la torre de aspersión, pero con la adición de un rotor. El rotor accionado por un motor provoca una fina pulverización del líquido. Como en los otros lavadores, las gotas de líquido son los principales cuerpos de recolección de las partículas¹. El rotor es el responsable de la turbulencia y se debe de utilizar un eliminador de vapor o ciclón para separar las gotas que son arrastradas por el gas. La unidad que se muestra en la FIGURA N° 2-3 permite la separación de polvo ligero.

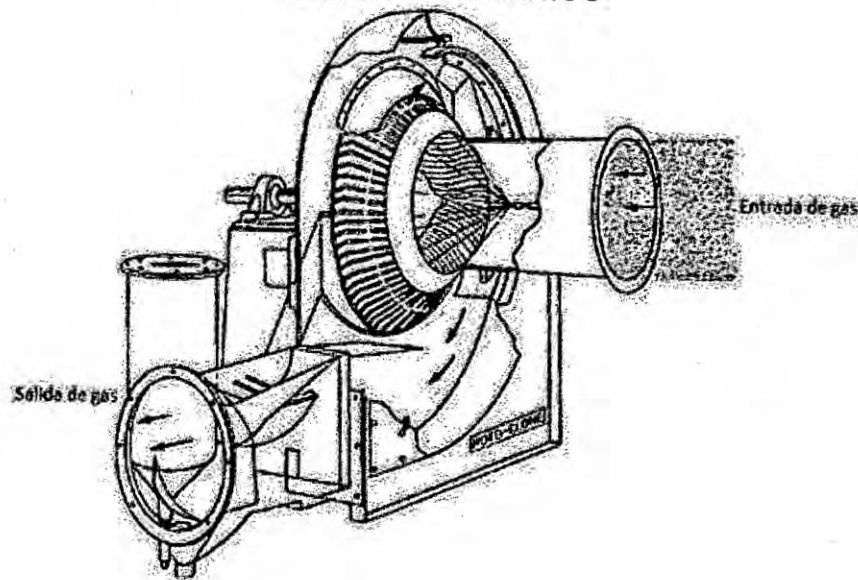
La mayoría de los sistemas de depuración dinámica humedecen al gas en la zona aguas arriba del rotor para reducir la evaporación y deposición de partículas en la zona de rotación. Los depuradores mecánicos separan eficazmente las partículas, sin embargo el agregar un rotor al sistema aumenta su costo de mantenimiento debido a que grandes tamaños de partícula pueden raspar el rotor y el líquido depurador puede corroerlo. Por lo tanto, un ciclón a menudo precede a un depurador dinámico para remover las partículas más grandes.

El consumo de energía para el lavado del gas es de 4 a 10 kW por 0.47 m³/s. Puede tratar caudales de gas entre 0.47 m³/s y 23.60 m³/s. Sus

¹ HESKETH, HOWARD D.; SCHIFFTNER, KENNETH C., "Wet Scrubbers"

eficiencias de colección de partículas son similares a las eficiencias de las torres de aspersión ciclónicas. Los costos de inversión, operación y mantenimiento son moderadamente superiores a los costos de las torres de aspersión sencillas, la elevación de los costos se debe al rotor¹.

FIGURA N° 2-3
LAVADOR MECÁNICO



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual [1]

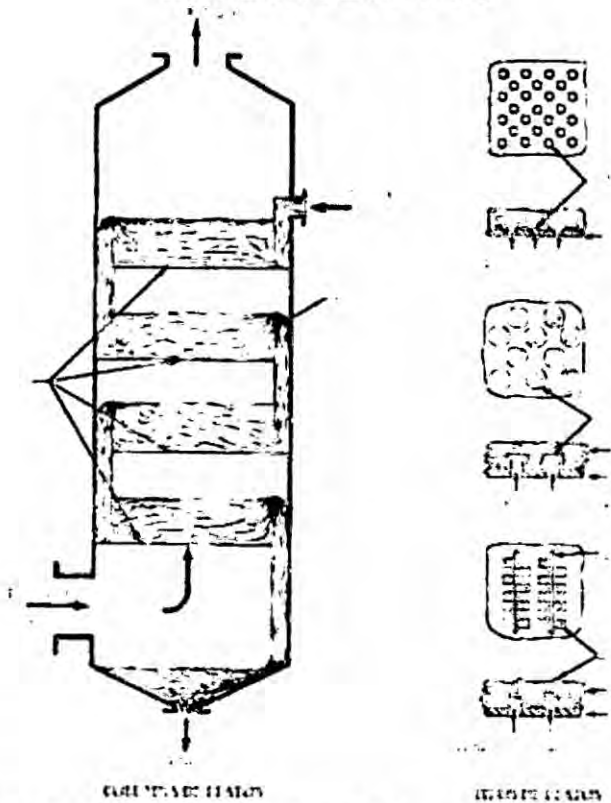
- **Torre de platos**

Estos depuradores consisten en una torre vertical con platos montados horizontalmente, el gas entra en la torre por la parte inferior y se desplaza hacia arriba a través de los orificios de los platos, mientras

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

que el líquido cae desde la parte superior de la torre y pasa por cada uno de los platos. El gas se mezcla con el líquido que fluye sobre la bandeja, lo que proporciona más contacto gas-líquido que en los diseños de torre de aspersión. La velocidad del gas evita que el líquido fluya hacia abajo a través de las perforaciones de los platos. Ver FIGURA N° 2-4.

FIGURA N° 2-4
LAVADOR DE PLATOS



Fuente: Air pollution control systems for boilers and incinerators [2]

Sin embargo, partículas grandes pueden obstruir las perforaciones, por lo tanto, es muy común que le precedan otros separadores para remover las partículas más grandes.

Las torres de platos no eliminan eficazmente partículas menores a 1 μm , sin embargo, la eficiencia de recolección es del 97% para partículas con diámetro mayor a 5 μm . La tasa de flujo de gas es de 0.47 m³/s a 35.40 m³/s. La relación líquido-gas es relativamente baja en comparación a las torres de aspersion y lavadores Venturi, porque el líquido de lavado se encuentra estático. Los costos de inversión, mantenimiento y operación son moderadamente más elevados que los de las torres sencillas.

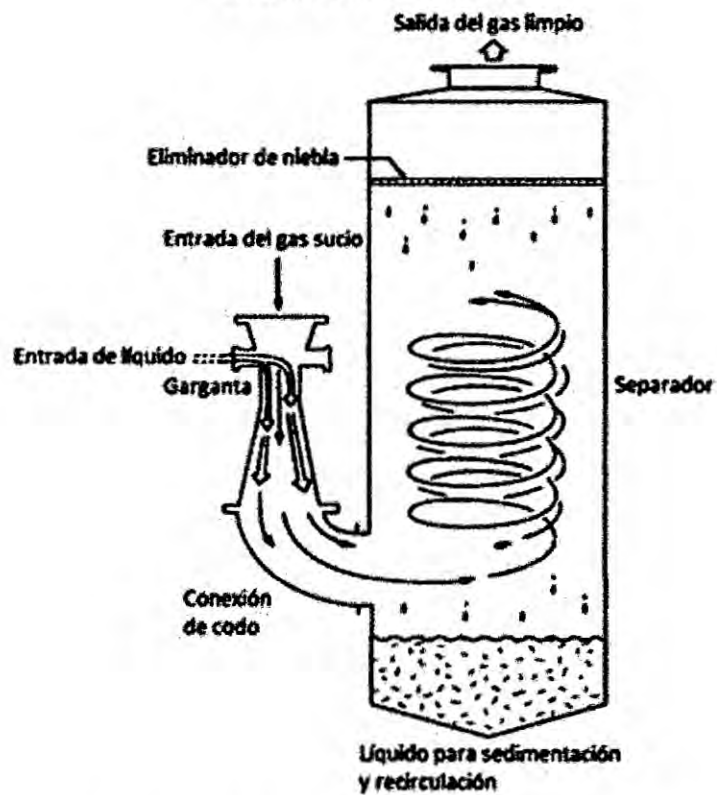
- ***Lavador Venturi***

El lavador tipo Venturi es uno de los más utilizados para la eliminación de partículas; se pueden utilizar como dispositivos de alta o baja energía, pero los que más se utilizan son los de alta energía. La diferencia entre un dispositivo de alta, baja o media energía, es la cantidad de energía que consume, es decir: para un dispositivo de baja energía se consumen de 0.5-2 HP por cada 0.47 m³/s de gas tratado, un sistema de energía media consume 1-3.5 HP por cada 0.47 m³/s de gas, mientras que un sistema de alta energía consume 3-10 HP por cada 0.47 m³/s de gas tratado. La Figura N° 2-5 (Ver página 31) representa un lavador Venturi¹.

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

Los depuradores Venturi son más caros que la torre de aspersion, ciclones o la torre de platos, pero la eficiencia de colección de partículas finas es más alta. La eficiencia de colección va de 70% a 99% para partículas de diámetro mayor a 1 μm , mientras que para partículas submicrónicas (menores a 1 μm) la eficiencia es mayor del 50% [3]. El aumento en la caída de presión en un lavador Venturi aumenta la eficiencia, pero también aumenta la demanda de energía del sistema, lo que conduce a tener mayores costos de operación.

FIGURA N° 2-5
LAVADOR VENTURI



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual [1]

- **Torre empacada**

Son torres de lavado que contienen un lecho de material empacado. El material de empaque proporciona una superficie mojada grande para el contacto gas-líquido. El líquido de lavado se introduce por la parte superior de la torre y fluye hacia abajo a través de los empaques y su recubrimiento, formando una delgada película. Los materiales de los empaques están disponibles en una variedad de formas, cada uno con características específicas con respecto al área de superficie, la caída de presión, peso, resistencia a la corrosión, y el costo. Las torres empacadas son los más utilizados para la absorción de gases en lugar de la remoción de partículas, ya que estas a altas concentraciones se pueden acumular en el embalaje y obstruir la torre¹.

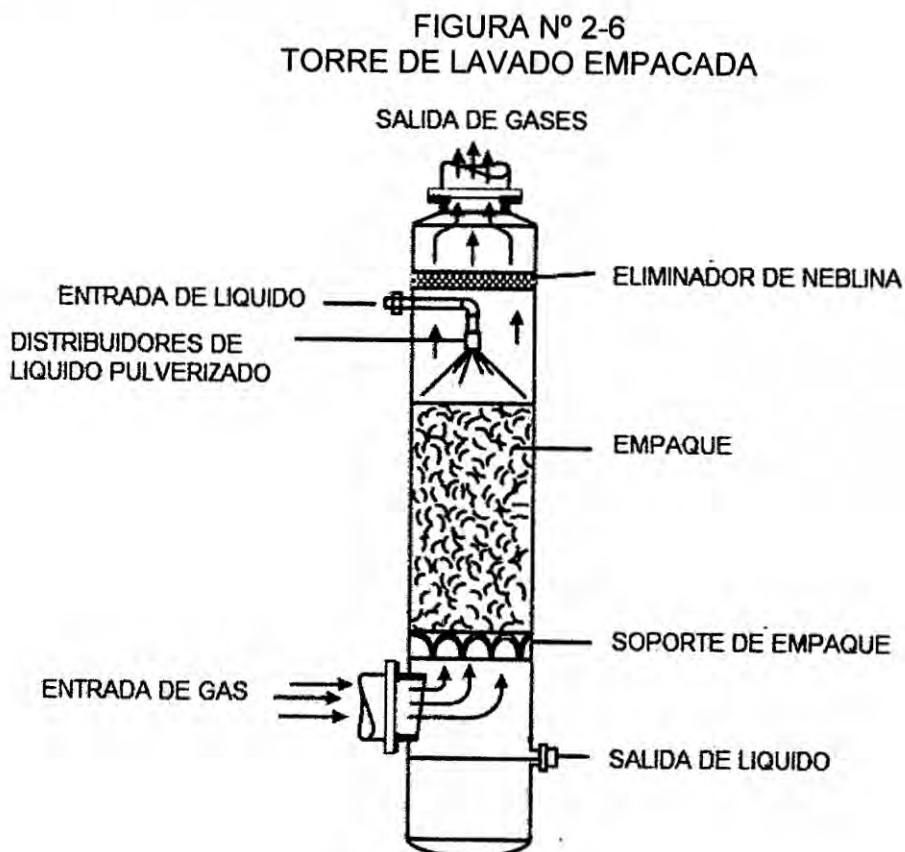
Los lavadores de gas tipo torre empacada se emplean en procesos donde puedan encontrarse gases tales como HCl, Cl₂, NO₂, HNO₃, SO₂, olores, nieblas ácidas, etc. Las eficiencias de remoción varían en función del químico a capturar y la solución reactiva a emplear para capturar el químico. Generalmente las eficiencias de captura son superiores al 95%, y el volumen de gas a manejar varía desde 0.56 m³/s hasta 26.4 m³/s².

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

² COMERCIAL ARALCO, "Lavador de gases tipo Torre Empacada"

Una unidad de torre empacada básica se compone de una envoltura de la columna, eliminadores de rocío, distribuidores de líquido, material de empaque, soporte del empaque y puede incluir un retenedor del empaque.

Cuando se utilizan solventes o gases altamente corrosivos, para los interiores de la columna se requieren de aleaciones resistentes a la corrosión o materiales plásticos. En la Figura N° 2-6 se muestra un diagrama esquemático de una torre empacada a contracorriente.



Fuente: Air Poll Engineering Web Site (modificado)

La envoltura de la torre puede estar hecha de acero o de plástico o una combinación de estos materiales, dependiendo de la corrosividad de las corrientes gaseosas, el líquido y de las condiciones de operación del proceso. Puede utilizarse una aleación que sea resistente a las sustancias químicas y a la temperatura o múltiples capas de materiales diferentes menos caros. A veces, la envoltura está recubierta con una membrana protectora, en ocasiones hecha de un polímero resistente a la corrosión. Para absorción donde se involucren gases muy ácidos se puede adicionar una capa interior de ladrillo resistente al ácido, lo cual proporciona una resistencia adicional a las sustancias químicas y a la temperatura.

A altas velocidades del gas, el gas que sale por la parte superior de la columna puede arrastrar pequeñas gotas de líquido en forma de niebla. Para prevenir esto, puede instalarse en la parte superior de la columna un eliminador de niebla en forma de hojas corrugadas o una capa de malla, para recolectar las gotitas de líquido, las cuales se unen y caen de nuevo en la columna¹.

El distribuidor de líquido está diseñado para mojar uniformemente el lecho de empaque y obtener un mejor contacto entre el líquido y el gas.

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

Las torres grandes frecuentemente tienen un redistribuidor de líquido que recolecta el líquido de las paredes de la columna y lo dirige hacia el centro de la columna para redistribuirlo y mejorar el contacto en la sección más baja del empaque. Generalmente se requieren redistribuidores de líquido por cada 2.4 a 6 m de profundidad de empaque al azar.

Los distribuidores se dividen en dos categorías: los tipos gravitacionales, tales como los tipos de orificio y perforación, y los tipos de caída de presión, tales como las boquillas de aspersion y los tubos perforados. Las boquillas de aspersion son los distribuidores más comunes, pero pueden producir un rocío fino que es arrastrado fácilmente por el flujo de gas. También se pueden tapar y usualmente requieren razones de flujo altas para compensar la pobre distribución. Los distribuidores tipo orificio consisten en bandejas planas con un número de elevadores para el flujo del vapor y de perforaciones en el piso de la bandeja para el flujo del líquido. Las bandejas mismas pueden presentar resistencia al flujo de gas. Sin embargo, generalmente se logra mejor contacto cuando se utilizan distribuidores de orificio.

Los materiales de empaque proporcionan una superficie húmeda grande para la corriente de gas, maximizando el área disponible para

la transferencia de masa. Los materiales de empaque se encuentran disponibles en una variedad de formas, cada una teniendo características específicas con respecto al área de superficie, caída de presión, peso, resistencia a la corrosión y costo. La vida del empaque varía dependiendo de la aplicación. En circunstancias ideales, el empaque durará tanto como la torre misma. En ambientes adversos, la vida del empaque puede ser tan corta como de 1 a 5 años debido a la corrosión, el ensuciamiento y al rompimiento.

Los materiales de empaque se categorizan por su distribución como *al azar* o *estructurados*.

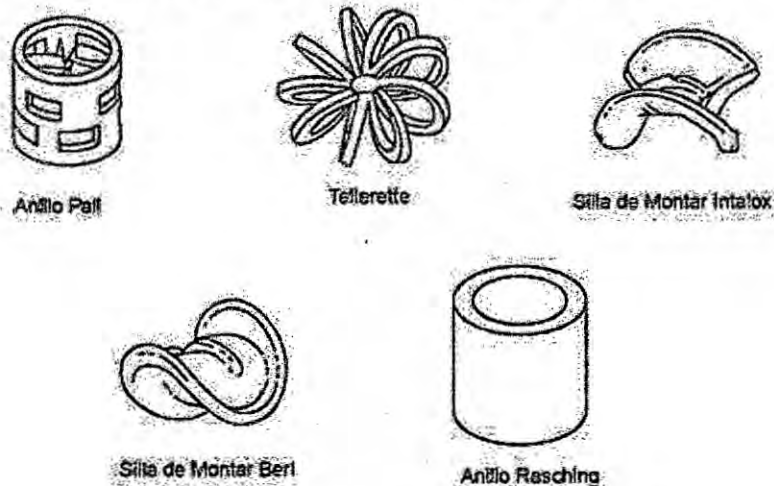
En el *empaque al azar*, este se coloca en el interior de la torre sin ningún arreglo en particular, por el contrario, el empaque regular se coloca siguiendo un patrón determinado.

En un principio como empaque se usaban materiales tales como: trozos de vidrio, grava, pedazos de coque. Posteriormente se emplearon los empaques geométricos manufacturados, tales como los anillos Raschig, Pall y Lessing o las sillas Berl, Intalox y los Telleretes (Ver FIGURA N° 2-7, página 37).

Los empaques geométricos pequeños se fabrican de arcilla, cuarzo o porcelana. Durante la instalación, el empaque se arroja dentro de la

torre, que está llena de agua y se acomoda al azar. Los empaques distribuidos en forma regular ofrecen menor caída de presión pero menor área de contacto.

FIGURA N° 2-7
MATERIAL DE EMPAQUE AL AZAR



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual [1]

Hoy en día, se emplean frecuentemente los empaques estructurados, de alta eficiencia ya sea tejidos o no tales como los de mallas segmentada o en forma de espiral, que reciben nombres de acuerdo a los fabricantes¹.

Los empaques estructurados pueden ser empaques al azar conectados en un arreglo ordenado, cuadrículas interconectadas o mallas de alambre tejido o entrelazado en forma de cilindros en arreglos tipo

¹ BARDERAS, ANTONIO VALIENTE, "Absorción"

gasa. Usualmente tienen caídas de presión menores y son capaces de manejar mayores razones de flujo de solvente que los empaques al azar. Sin embargo, los empaques estructurados son más caros de instalar y pueden no ser prácticos para columnas más chicas. La mayoría de los empaques están hechos de metal o plástico.

Para asegurar que el gas residual está bien distribuido, es necesario un espacio abierto entre el fondo de la torre y el empaque. *Placas de soporte* sostienen al empaque encima del espacio abierto. Las placas de soporte deben tener suficiente resistencia para soportar el peso del empaque y suficiente área libre para permitir que el solvente y el gas fluyan con restricciones mínimas.

Velocidades de gas altas pueden fluidizar el empaque en la tapa de un lecho. El empaque podría entonces ser arrastrado hacia el distribuidor, desnivelarse o dañarse. Puede instalarse un retenedor de empaque en la tapa de un lecho empacado para contener al empaque. Puede asegurarse el retenedor de empaque a la pared, de modo que las perturbaciones de la columna no lo desarreglen, o puede colocarse por encima del empaque una placa pesada flotante no sujeta, de modo que se asiente junto con el empaque. Con frecuencia se usa esta última para empaque frágil de cerámica.

- **Equipo de adsorción con carbón activado**

La adsorción se emplea para remover gases contaminantes de corrientes de gas con baja o media concentración, cuando deba alcanzarse alguna concentración restringida de salida y/o se desea la recuperación de compuestos orgánicos volátiles (COV).

Estos equipos trabajan con filtros especiales para atrapar las partículas de los gases (SO₂, HCl, HNO₃, etc). La eficiencia que alcanza los lavadores de gases secos es muy alta (99 a 99.5%), y pueden trabajar a temperaturas elevadas. Por otro lado, son equipos compactos, de fácil aplicación y no ocupan mucho espacio.

Los adsorbentes utilizados en gran escala incluyen al carbón activado, sílica gel, alúmina activada, zeolitas sintéticas, tierra de fuller y otras arcillas. La más importante característica de los adsorbentes sólidos son sus grandes superficies, volumen y su afinidad para componentes individuales. Algunos de estos adsorbentes así como sus usos se muestran en la TABLA N° 2.2.

TABLA N° 2.2
 ADSORBENTES UTILIZADOS PARA EL CONTROL DE
 CONTAMINANTES GASEOSOS.

Adsorbente	Uso
Carbón activado	Recuperación de solventes, eliminación de olores, purificación de gases.
Alúmina	Secado de gases, aire y líquidos.
Bauxita	Tratamiento de fracciones del petróleo, secado de gases y líquidos.

Adsorbente	Uso
Óxido de Calcio (cal)	Eliminación de dióxido de azufre y neblinas ácidas.
Sílica gel	Eliminación de la humedad de gases.

Fuente: Tesis: "Métodos para el control de la contaminación atmosférica por compuestos orgánicos volátiles (COVs)"

f. Parámetros de diseño y selección de equipos principales

Para la selección de los equipos más adecuados se contempló diversos aspectos, los cuales nos permitirá hallar los principales parámetros para la selección de los equipos de neutralización.

La elección de los equipos de neutralización de gases contaminantes depende de la ponderación de los siguientes aspectos¹:

- Características del contaminante a remover.
- Las características de la corriente contaminada.
- La eficiencia de remoción requerida.

Según lo revisado sobre las tecnologías para neutralización de gases, para las salas de Vía Húmeda y Cianuros se optó por torres de lavado de gases tipo empacada, porque son las más usadas en la aplicación de neutralización de gases contaminantes; Además, para la sala de Absorción Atómica se consideró el uso de un equipo de adsorción con filtros de carbón

¹ CÁRDENAS GONZALES, BEATRIZ, "Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas"

activado por tener un bajo nivel de emisión de gases, además de ser compuestos resultado de una combustión.

- **Determinación de la concentración de gases contaminantes**

Para el diseño de las torres de lavado de gases se deberá tener en cuenta los resultados de las mediciones de emisiones, los cuales determinan la cantidad del gas contaminante generado por unidad de tiempo, para lo cual se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Caudal de gas captado en una la solución (m³/h)
- Tiempo de muestreo (h)
- Concentración del contaminante captado en la solución (g/m³)
- Volumen de solución (m³)

Los resultados de las mediciones proporcionaron los datos mencionados anteriormente, con dichos datos se determinó la concentración del gas contaminante. A continuación se muestra el método de cálculo utilizado:

- El caudal de diseño captado (m³/h)

$$G_i = FS * n * G_{CE} \quad (2-1)$$

Donde:

- FS : Factor de seguridad
- n : Numero de campanas extractoras
- G_{CE} : Caudal por campana (m³/h)

- Concentración del gas contaminante (g/m³):

$$C_{gas} = \frac{W_{gas}}{Vol_M} \quad (2-2)$$

Donde:

- W_{gas} : Peso del Gas (g)
- Vol_M : Volumen aire/gas (m³)

- Concentración peso por volumen para los nuevos caudales:

$$C_{gas} = \frac{C'_{gas} \cdot G'_M}{G_i} \quad (2-3)$$

Donde:

- C_{gas} : Concentración de contaminantes determinado en los ensayos
- G'_M : Flujo del gas determinado por ensayos (m³/h)
- G_i : Flujo del gas entrando al absorbedor (m³/h)

- Cantidad de gas contaminante generado por unidad de tiempo (g/h)

$$F_{gas} = G_i * C_{gas} \quad (2-4)$$

- Flujo másico de la mezcla (Kg/h)

$$F_M = \frac{G_i}{\rho_M} \quad (2-5)$$

- Fracción molar de los gases (Kg/Kmol)

$$y_i = \frac{F_{gas} \cdot M_{gas}}{\sum F_{gas} \cdot M_{gas}} \quad (2-6)$$

- Peso molecular de la mezcla (Kg/Kmol)

$$M_M = \sum y_i * M_i \quad (2-7)$$

- ***Determinación de los parámetros de las torres de lavado empacadas***

Para las torres empacadas los parámetros para la selección más adecuada son los siguientes:

- Diámetro de la columna.
- Caída de presión de la columna empacada.
- Altura de empaque

Los absorbedores de gas se diseñan en base a la relación líquido/gas entrando a la columna (L_i/G_i), a la pendiente de la curva de equilibrio (m), y a la eficiencia de remoción requerida (η). Estos factores se

calculan de las variables de la corriente de entrada y salida del gas y del líquido:

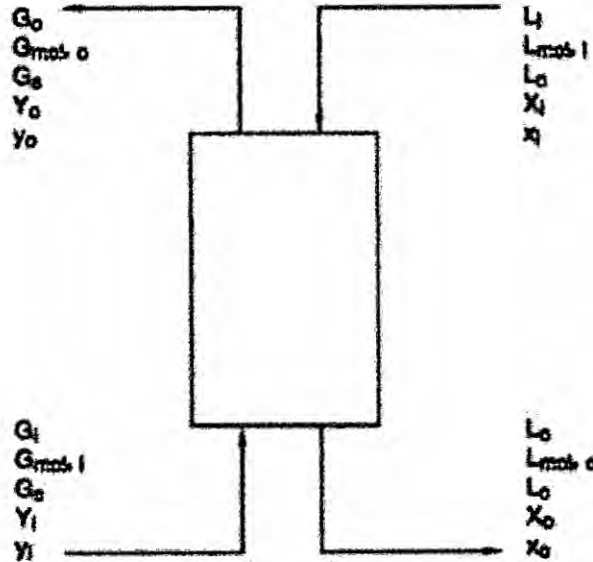
- Razón de flujo del gas residual, en pies cúbicos reales por minuto (m^3/min), entrando y saliendo la columna (G_i y G_o , respectivamente).
- Concentración del contaminante (moles de contaminante por mol de gas libre de contaminante), entrando y saliendo de la columna en el gas residual (Y_i y Y_o , respectivamente).
- Razón de flujo del solvente, en galones por minuto (m^3/min), entrando y saliendo la columna (L_i y L_o , respectivamente).
- Concentración del contaminante (moles de contaminante por mol de solvente libre de contaminante) entrando y saliendo de la columna en el solvente (X_i y X_o , respectivamente).

Se tendrá en cuenta las siguientes consideraciones, las variables G_i , Y_i , y η son conocidas. Para las concentraciones diluidas encontradas típicamente en aplicaciones de control de la contaminación y cambios despreciables en el contenido de humedad, se supone G_i igual a G_o . El proceso donde las corrientes pasan una sola vez el valor de X_i se aproximará a cero. Teniendo en cuenta los criterios planteados se puede calcular las restantes variables de la corriente, Y_o , L_i , L_o y X_o ¹.

¹ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA), "EPA Air Pollution Control Cost Manual"

FIGURA N° 2-8:

DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE LA OPERACIÓN A CONTRACORRIENTE DE UN LECHO EMPACADO



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual

Determinación de las concentraciones de los flujos

Concentración del contaminante entrando al absorbedor en el flujo gaseoso (moles de contaminante por mol de gas libre de contaminante)

$$Y_i = \frac{y_i}{1 - y_i} \tag{2-8}$$

Donde:

y_i : Fracción molar del contaminante entrando al absorbedor en el flujo gaseoso

Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo gaseoso (moles de contaminante por mol de gas libre de contaminante)

$$Y_o = Y_i(1 - \eta) \quad (2-9)$$

Donde:

η : Eficiencia del absorbedor

Fracción molar del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo gaseoso

$$y_o = \frac{Y_o}{1 + Y_o} \quad (2-10)$$

Flujo molar del gas libre de contaminante (Kmol/min)

$$G_S = \frac{\rho_g \cdot G_i}{M_G(1 + Y_i)} \quad (2-11)$$

Donde:

ρ_g : Densidad del gas (Kg/m³)

M_G : Peso molecular del gas (Kg/kmol)

G_i : Flujo del gas entrando al absorbedor

Flujo molar del gas entrando al absorbedor ($G_{mol,i}$)

$$G_{mol,i} = G_S(1 + Y_i) \quad (2-12)$$

Flujo molar del solvente libre de contaminante (L_S)

$$L_S = \frac{\rho_L \cdot L_i}{M_L} \quad (2-13)$$

Donde:

ρ_L : Densidad del solvente (Kg/m^3)

M_L : Peso molecular del solvente (Kg/kmol)

L_i : Flujo del solvente entrando al absorbedor (m^3/min)

Flujo molar del solvente entrando al absorbedor ($L_{mol,i}$)

$$L_{mol,i} = L_S(1 + X_i) \quad (2-14)$$

Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo solvente (moles de contaminante por mol de solvente libre de contaminante)

$$X_o = \frac{Y_i - Y_o}{L_S/G_S} \quad (2-15)$$

Fracción molar del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo gaseoso

$$x_o = \frac{X_o}{1 + X_o} \quad (2-16)$$

Determinación del diámetro de la torre

El área de la sección transversal y el diámetro de la columna, pueden determinarse a partir de la razón de flujo superficial del gas en el punto de inundación (G_f). En la FIGURA N° 2-9 (ver página 49) se presenta la relación entre G_f y la relación $L_{mol,i}/G_{mol,i}$ en el punto de inundación de la torre.

El valor de la abscisa (eje de las X), en la FIGURA N° 2-9 se expresa como:

$$Abscisa = \left(\frac{L_{mol,i}}{G_{mol,i}} \right) \left(\frac{M_L}{M_G} \right) \sqrt{\frac{\rho_G}{\rho_L}} \quad (2-17)$$

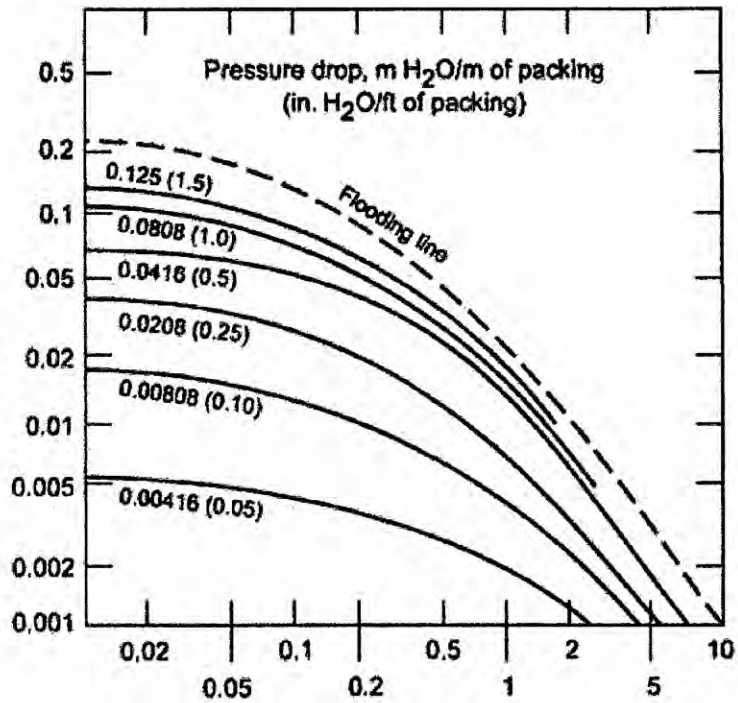
El valor de la ordenada (eje de las Y), en la gráfica se expresa como:

$$Ordenada = \frac{G_f^2 \cdot F_p \cdot \mu_L^{0.2}}{\rho_L \cdot \rho_G \cdot g_c} \quad (2-18)$$

Donde:

- G_f : flujo superficial del gas en el punto de inundación
- F_p : Factor de empaque
- g_c : Constante gravitacional (m/s^2)
- μ_L : Viscosidad del solvente ($Kg/m.s$)
- ρ_L : Densidad del Líquido (Kg/m^3)
- ρ_G : Densidad del Gas (Kg/m^3)

FIGURA N° 2-9
 MODIFICACIÓN DE ECKERT DE LA CORRELACIÓN GENERALIZADA
 A RAZONES DE INUNDACIÓN



Fuente: EPA Air Pollution Control Cost Manual

El área de la sección transversal de la torre (m²)

$$A = \frac{G_{mol,i} M_G}{G_f} \tag{2-19}$$

El diámetro de la torre (m)

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \tag{2-20}$$

- ***Determinación de la Profundidad del empaque***

La profundidad requerida del empaque (H_{pack}), se determina del número teórico de unidades de transferencia de masa total (NOG), necesario para alcanzar una eficiencia de remoción específica y de la altura de la transferencia de masa total (HOG).

$$H_{\text{pack}} = \text{NOG} * \text{HOG} \quad (2-21)$$

Donde

$$\text{NOG} = \text{Ln}(y_i/y_o) \quad (2-22)$$

- ***Determinación de la Caída de Presión***

La caída de presión en el absorbedor de gas es una función de la razón de flujo superficial de gases en el punto de inundación (G_r) y las propiedades del empaque utilizado.

La caída de presión en columnas empacadas varía generalmente de 0.5 a 1 pulgadas de H₂O por pie de empaque. El absorbedor puede diseñarse para una caída de presión específica.

$$\Delta P_{\text{Total}} = H_{\text{pack}} \Delta P_{\text{pack}} \quad (2-23)$$

- **Determinación de la vida útil de los filtros de carbón activado del equipo de Adsorción**

Para las emisiones de la sala de absorción atómica, la solución de la muestra es absorbida por el sistema nebulizador del equipo y una porción de la misma es dirigida al quemador. Sólo la porción de muestra volatilizada en el quemador es la que eventualmente va a ser absorbida por el sistema de extracción de gases y sus contaminantes serán retenidos en los filtros de Carbón Activado

Para la selección y cálculo de la vida útil de los filtros de carbón activado de los equipos adsorbedores se utilizará la información proporcionada por proveedores y el número de muestras a procesar por día.

Calculo del peso de contaminante en la saturación de filtros por muestra (gr/muestra)

$$Peso = V_{volatilizado} * C * N * \rho \quad (2-24)$$

$V_{Volatilizado}$: Volumen absorbido volatilizado (ml)
C : Concentración de ácidos (%)
N : Número de elementos
 ρ : Densidad (gr/ml) (Para cálculos se asume soluciones acuosas de gravedad específica igual a uno)

Calculo de la capacidad total en peso por paquete de filtros

$$\text{Capacidad} = \text{Área filtración} \times \text{N}^{\circ} \text{ Filtros} \times \text{GAC} \quad (2-25)$$

Cantidad de Muestras por paquete de filtros

$$\text{Total de muestras} = \frac{\text{Capacidad}}{\text{Peso}} \quad (2-26)$$

Duración del paquete de filtros

$$\text{Duración} = \frac{\text{eficiencia} \times \text{Total de muestras}}{\text{Muestras por día}} \quad (2-27)$$

g. Sistemas de ventilación industrial

Los sistemas de ventilación Industrial en general tienen un objetivo específico que se refiere a la eliminación de humos, polvos y vapores contaminantes presentes en locales (ventilación ambiental o general) y procesos (ventilación localizada). En los procesos industriales donde se liberan cantidades considerables de contaminantes deberán instalarse con sistemas de ventilación por extracción local, contruidos de tal manera que protejan efectivamente la salud de los trabajadores y que permita expulsar las sustancias tóxicas hacia el exterior, tratando además de prevenir el peligro de la contaminación ambiental.

- **Ventilación localizada**

La extracción localizada se encarga de efectuar la captación de los contaminantes lo más cerca posible de su punto de emisión, evitando

su difusión al ambiente y eliminando la posibilidad de que sean inhalados. Estos sistemas crean en la proximidad del foco de emisión una corriente de aire que aspira los humos generados, eliminando de esta forma la contaminación en la zona respiratoria del operador.

Un sistema de ventilación localizada consta de los siguientes elementos indispensables¹:

1. Elemento de captación: campana, cajón o cualquier otro elemento dispuesto para la captación del contaminante.
2. Elemento de conducción: tubería sea cual sea la sección transversal de la misma.
3. Elemento de aspiración: ventilador, generalmente centrífugo por su facilidad para vencer elevadas pérdidas de carga.

- ***Campanas extractoras***

Las campanas extractoras son básicamente los elementos de captación de gases en el punto más próximos a donde se generan los gases, estos pueden ser de diferentes tipos.

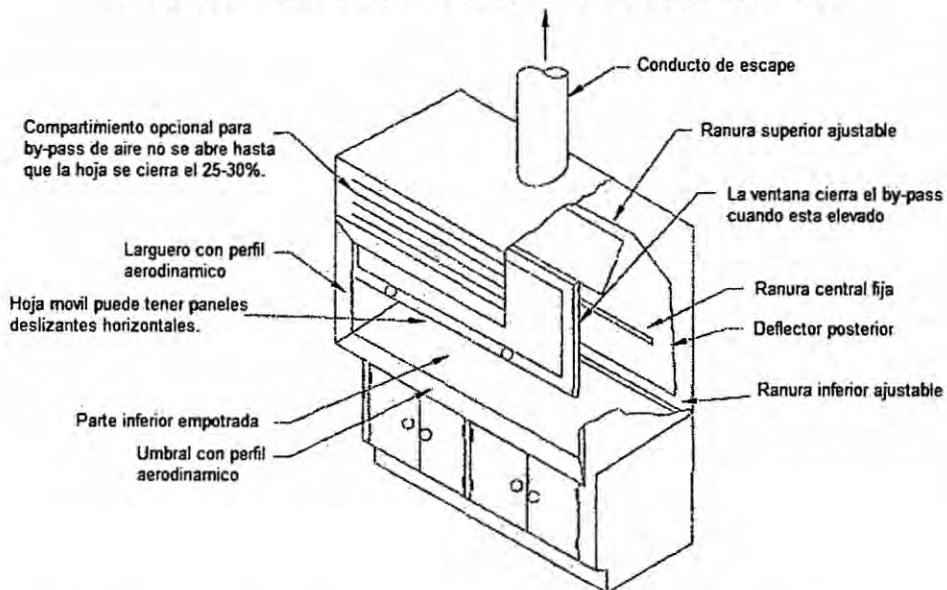
- ***Campanas tipo vitrina (Fume Hood)***

Las vitrinas o cabinas extractoras de gases están provistas de una superficie de trabajo en la que se disponen los materiales y aparatos

¹ PÉREZ LÓPEZ, GABRIEL, "Ventilación por extracción localizada, VEL."

necesarios en un proceso. Su conexión con el laboratorio es a base de una abertura por la que penetra en el recinto el aire necesario para arrastrar los contaminantes. Esta abertura suele recibir el nombre de frente o cara de la vitrina, y al órgano móvil utilizado para cerrar o modificar la abertura, generalmente con movimiento vertical pero también puede ser horizontal, se le conoce habitualmente como ventana¹ (Sash) (Ver Figura N° 2-10).

FIGURA N° 2-10
EXTRACTORA TIPO VITRINA DE SOBRESUELO



Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

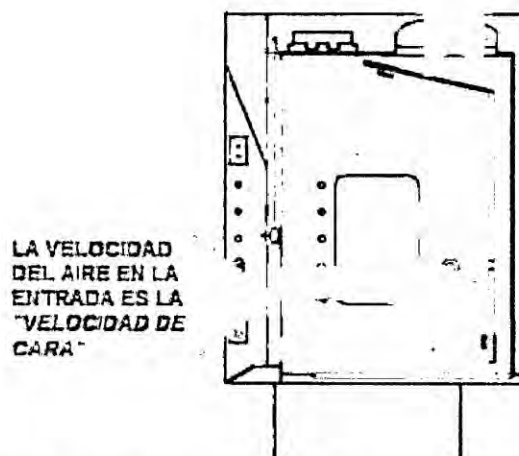
La velocidad de la cara (Face velocity) es la medida de la velocidad media a la que se aspira aire a través de la cara de la campana de

¹ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, "NTP 672: Extracción localizada en el laboratorio"

humos. Velocidades de cara demasiado altas o muy bajas pueden ser perjudiciales para el rendimiento de la campana de humos. El rango aceptable de la velocidad media de cara puede variar dependiendo del tipo de campana y del peligro.

En la TABLA N° 2.3 se muestran los rangos para la Velocidad de cara recomendados por diversas normas y directrices para la industria, donde se resalta la importancia de los valores aceptables para una adecuada contención. El valor de la velocidad de cara mayormente recomendada en la industria es de 0.5m/s (100 fpm).

FIGURA N° 2-11
FLUJO DE AIRE EN CABINAS



Fuente: Web Site "OSU Oregon State University"

TABLA N° 2.3
VELOCIDADES DE CARA RECOMENDADAS POR DIVERSAS
NORMAS Y GUÍAS

Estándar / Guía	Velocidad de cara (Face Velocity)
ANSI / AIHA Z9.5, p.13, sección 5.7	0.4 - 0.6 m/s
Registro Federal - OSHA, p.484	0.3 - 0.5 m/s
NFPA 45 p.45-26, sección A-6 a 4,5	0,4 - 0,6 m/s
Prudent Practices p.178	0.4 - 0.5 m/s Tóxico = 0.5 - 0.6 m/s
SEFA 1.2/1996 p. 7, Sección 5.2	0.5 m/s 0.4 - 0.65 m/s acceptable
NIH Design Guidelines, Mechanical, D-138	0.5 m/s +/- 0.1

Fuente: www.cxhvac.com/Resources/PublicationsArticles.aspx.

El caudal captado por las campanas tipo vitrina se calcula con la siguiente ecuación:

$$G_{CE} = A_{apertura} * V_{captación} \quad (2-28)$$

Donde:

$S_{apertura}$: Área de apertura (m²)
 $V_{captación}$: Velocidad de captación recomendada (m/s)

- **Campanas tipo Canopy**

En muchos casos es aconsejable instalar pequeñas campanas o rendijas en lugar de utilizar vitrinas. Por ejemplo, en ensayos fisicoquímicos que pueden implicar desprendimientos de humos, es más recomendable instalar alguno de los elementos mencionados que alojar los aparatos en el interior de una vitrina inhabilitándola para otros

usos, aparte del coste de construcción que, de utilizar vitrinas, es mucho más elevado¹.

El caudal captado por las campanas tipo canopy se calcula con la siguiente ecuación:

$$G_{CE} = 1.4 * P * d * V_{captación} \quad (2-29)$$

Donde:

- P : Perímetro de la campana (m)
d : Distancia al punto de generación (m)
V_{captación} : Velocidad de captación recomendada (m/s)

Del Anexo D se pueden obtener las velocidades de captura recomendadas según las características de los gases.

h. Ductos de extracción

El ducto en un sistema de extracción localizada es el lugar por donde se transporta el aire contaminado desde la campana, que se encuentra junto al foco contaminante, al punto en que se ha ubicado el ventilador y la descarga. Cuando ese aire pasa por cualquier ducto debe vencerse la resistencia originada por la fricción y, por lo tanto, hay que gastar energía.

¹ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, "NTP 672: Extracción localizada en el laboratorio"

Para el sistema de extracción es necesario determinar el diámetro de los ductos de acuerdo al caudal de aspiración por las cabinas y campanas.

Del se pueden obtener las velocidades mínimas recomendadas para el diseño de los ductos según las características de los gases¹.

La velocidad de transporte (m/s) se calculó con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{4 \cdot Q_{ducto}}{\pi \cdot D^2} \quad (2-30)$$

Donde:

- V : Velocidad de transporte (m/s)
- D : Diámetro del ducto (m)
- Q : Caudal de aire (m³/s)

- **Pérdidas en tuberías**

Para el cálculo de pérdidas en las tuberías para el transporte de los gases captados por la campana se utilizará la fórmula de Darcy Weisbach, para lo cual se consideró que la mezcla gases-aire se comporta como fluido incompresible y de densidad constante.

A continuación se muestran las ecuaciones utilizadas para el cálculo de las pérdidas por fricción:

$$h_L = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (2-31)$$

¹ AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice"

Donde:

- h_L : Perdida de carga por tuberías (mm.c.a)
- f : factor de fricción
- L : Longitud del tubo (m)
- D : diámetro interior (m)
- V : Velocidad media (m/s)
- g : Aceleración de la gravedad (m/s^2)

El coeficiente de fricción es función de la velocidad, el diámetro del tubo, la densidad, viscosidad del fluido y la rugosidad interna de la tubería. Agrupando variables, se obtiene que f es función del número de Reynolds, el cual lo calculamos usando la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu}$$

(2-32)

Donde:

- V : Velocidad media (m/s)
- D : diámetro interior (m)
- ρ : Densidad Promedio (Kg/m^3)
- μ : Viscosidad dinámica ($Kg/m.s$)

Para determinar f se puede utilizar la ecuación de Colebrook – White, la cual relaciona f con el número de Reynolds, pero es un poco difícil resolver esta ecuación ya que es una función implícita de f (se resuelve por métodos iterativos).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \ln \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}} \right) \quad (2-33)$$

Donde:

- f : factor de fricción (m)
- ε : Rugosidad (m)
- D : diámetro interior (m)
- Re : número de Reynolds

- **Pérdidas secundarias**

El cálculo de las pérdidas secundarias se realizará mediante el método de la presión de la velocidad descrito en el "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" de la American Conference Of Governmental Industrial Hygienists, el cual se basa en el hecho de que todas las pérdidas en ductos, accesorios y campanas son funciones de la presión de la velocidad y se pueden calcular multiplicado la presión dinámica por un coeficiente de pérdida¹.

$$h_s = n * PD \quad (2-34)$$

Donde:

- n : Coeficiente de perdidas
- PD : Presión dinámica (mm.c.a.)

¹ AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS, "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice"

- Presión dinámica (mm.c.a)

$$PD = \rho \times \frac{V^2}{2g}$$

(2-35)

Donde:

V : Velocidad en el ducto (m/s)

ρ : Densidad de aire (kg/m³)

g : Aceleración de la gravedad (m/s²)

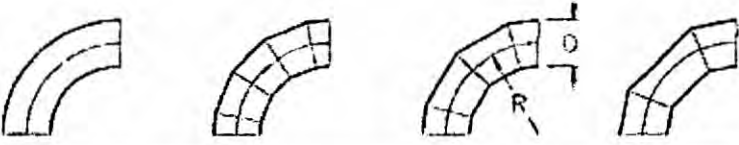
Los factores de pérdida para distintos accesorios se pueden hallar de las TABLA N° 2.4 TABLA N° 2.5.

Para el cálculo de las pérdidas en las entradas por las campanas extractoras se utilizará los siguientes valores:

Campana tipo Vitrina: n = 0.5

Campana Canopy: n = 0.25

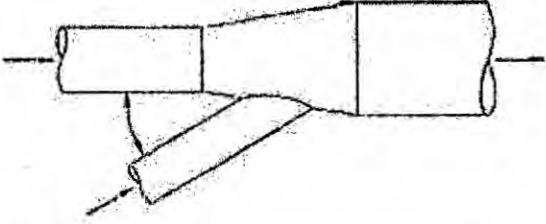
TABLA N° 2.4
FACTORES DE PÉRDIDA POR CODOS



Tipo	R/D					
	0.50	0.75	1.00	1.50	2.00	2.50
1 pieza	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12
5 piezas	-	0.46	0.33	0.24	0.19	0.17
4 piezas	-	0.50	0.37	0.27	0.24	0.23
3 piezas	0.90	0.54	0.42	0.34	0.33	0.33

Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

TABLA N° 2.5
FACTORES DE PÉRDIDA POR DERIVACIONES



Angulo θ	Factor de perdida en derivaciones
30	0.18
45	0.28
60	0.44
90	1

Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

Para el cálculo del sistema de tuberías se siguieron los criterios de diseño del "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice", donde se indica que todos los ramales que empiecen en distintas campanas y terminen en un mismo nudo, la caída de presión estática deberá ser siempre la misma.

Para las pérdidas en los ramales, la suma de las pérdidas constituye la altura de pérdida de presión estática total del tramo considerado.

$$\sum h = h_1 + h_2 + h_3 \tag{2-36}$$

Donde:

h_1 : Pérdidas de fricción en tramos rectos de conjuntos

h_2 : Pérdidas localizadas por accesorios

h_3 : Pérdidas por entrada

En el análisis del sistema de ductos se considera el equilibrio de presión estática en cada nudo, lo cual significa que la caída de presión estática es siempre la misma en dos ramales diferentes que terminan en un mismo nudo y para que esto suceda se siguió el Método de Equilibrio por Diseño, para lo cual se siguieron tres recomendaciones:

- ***Si se cumple que $\Delta \Sigma h \leq 5 \%$***

Se considerará que la pérdida de presión a lo largo de ambos tramos es la misma para los fines del diseño.

- ***Si se cumple que $5 \% \leq \Delta \Sigma h \leq 20 \%$***

Se recalculará el tramo que presenta la menor pérdida, aumentando el caudal que circula por él, hasta lograr que $\Delta \Sigma h \leq 5 \%$.

- ***Si se cumple que $\Delta \Sigma h \geq 20 \%$***

Se recalculará el tramo que presenta la menor pérdida de presión, manteniendo constante el caudal que circula por dicho conducto y disminuyendo el diámetro del mismo. Con este nuevo diámetro se recalcula la pérdida de presión del tramo que será comparada a la obtenida en el otro tramo que concurre al mismo nudo, siguiéndose luego las secuencias de cálculo

Donde:

$$\Delta \sum h (\%) = \frac{|\sum h_F - \sum h_V|}{\sum h_V} \times 100 \quad (2-37)$$

$\Delta \Sigma h_F$: Pérdida de presión estática total fija, es el mayor de los valores obtenidos de dos tramos diferentes que se conectan en un mismo nudo

$\Delta \Sigma h_V$: Pérdida de presión estática total variable, es el menor de los valores obtenidos de dos tramos diferentes que se conectan en un mismo nudo

i. Ventiladores

Mover aire a través de un sistema de ventilación exige aportar energía para compensar la energía consumida en forma de pérdida de carga. Esa energía, en la mayoría de los casos, se aporta mediante ventiladores, máquinas constituidas esencialmente por un rodete que impulsa el aire y que a su vez es movido por un motor eléctrico.

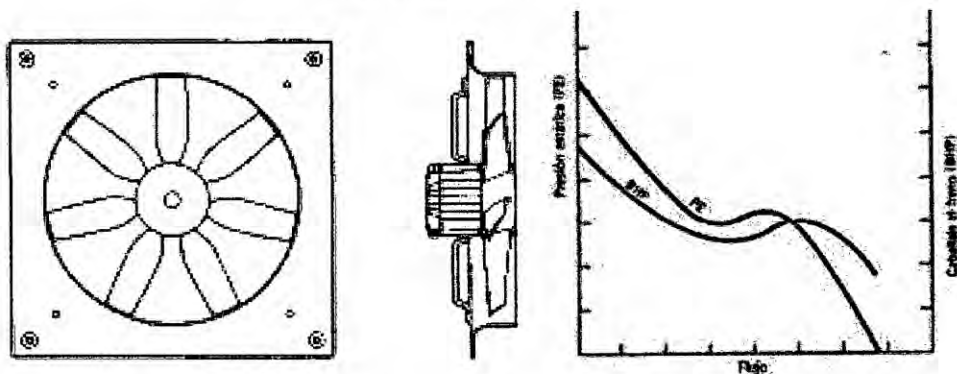
Un ventilador es una máquina diseñada para transferir energía al aire aumentando su presión e incrementando su movimiento.

Aunque los ventiladores pueden clasificarse atendiendo a muy distintos criterios, lo más habitual es clasificarlos en tres grandes grupos atendiendo a las características esenciales del flujo del aire en su interior: axiales, centrífugos y especiales. Como regla general, los ventiladores axiales se

utilizan cuando se requieren grandes caudales con poca pérdida de carga, y los centrífugos para caudales menores y pérdidas de carga elevadas¹

En los ventiladores axiales el aire entra y sale del ventilador moviéndose paralelamente al eje de giro del rodete (ver FIGURA N° 2-12); normalmente este tipo de ventiladores no es capaz de aumentar la presión más de 250 Pa.

FIGURA N° 2-12
VENTILADOR AXIAL



Fuente: "Compresores, selección uso y mantenimiento", Greene, Richard

En los ventiladores centrífugos las trayectorias del aire a la entrada y a la salida forman un ángulo, lo que permite rodetes que dan lugar a aumentos de presión mayores que en los ventiladores axiales (Ver FIGURA N° 2-13).

¹ CASTEJÓN VILELLA, EMILIO, " Extracción Localizada"

microorganismos, o la apariencia física. Algunas de las organizaciones que conciernen a la calidad del aire son la OMS, OSHAS, ACGIH y EPA, entre otras organizaciones las cuales recomiendan emisiones estándares para los contaminantes del aire que pueden tener efectos en la salud. Actualmente en el Perú se cuenta con leyes y estándares, los cuales nos sirven como punto de referencia para determinar la calidad del aire.

Los criterios para definir los parámetros de la calidad del aire están dados por dos tipos de instrumentos legales, estos son:

*Los **Estándares de Calidad Ambiental (ECA)***, los cuales proporcionan los criterios de calidad que se aplican al aire ambiental en su condición de cuerpo receptor de emisiones de contaminantes atmosféricos (emisiones gaseosas o material particulado).

Los ECA son referencia obligatoria en el diseño y aplicación de las políticas ambientales y de las políticas, planes y programas públicos en general. Ninguna autoridad judicial o administrativa podrá hacer uso de los estándares nacionales de calidad ambiental del aire, con el objeto de sancionar bajo forma alguna a personas jurídicas o naturales.

*Los **Límites Máximos Permisibles (LMP)***, los cuales proporcionan los criterios de calidad exigidos para las fuentes puntuales de emisión de contaminantes atmosféricos.

2.3. Normatividad

2.3.1. Decreto Supremo 074-2001-PCM: Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire

Los ECA se definen como aquellos "niveles de concentración máxima de contaminantes del aire que en su condición de cuerpo receptor es recomendable no exceder para evitar riesgo a la salud humana. Como estos estándares protegen la salud, son considerados estándares primarios"¹.

El valor correspondiente para la concentración del plomo fue establecido por Decreto Supremo 069-2003-PCM. En la TABLA N° 2.6 se muestran los parámetros regulados.

TABLA N° 2.6

ESTÁNDARES NACIONALES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA EL AIRE

Parámetro	Período	Criterio	
		Valor Límite (µg/Nm ³) ²	Observaciones
Dióxido de azufre (SO ₂)	anual	80	Media aritmética anual
	24 h	365	No debe excederse más de una vez al año
PM ₁₀	anual	50	Media aritmética anual
	24 h	150	No debe excederse más de 3 veces al año
Monóxido de carbono (CO)	8 h	10 000	Promedio móvil
	1 h	30 000	No debe excederse más de 1 vez al año
	anual	100	Promedio aritmético

¹ Art. 3° del D.S. 074-2001-PCM. El término "estándares primarios" hace referencia a la Ley del Aire Limpio de los Estados Unidos (Clean Air Act), la cual define los estándares primarios como aquellos establecidos para proteger la salud pública

² A condiciones estándar (0°C de temperatura y 1 atm de presión).

Parámetro	Período	Criterio	
		Valor Límite ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) ²	Observaciones
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 h	200	No debe excederse más de 24 veces al año
Ozono (O ₃)	8 h	120	No debe excederse más de 24 veces al año
Plomo (Pb)	anual	0.5	Promedio aritmético de los valores mensuales. En la fracción PM ₁₀ .
	mensual	1.5	No debe excederse más de 4 veces al año
Sulfuro de hidrógeno (H ₂ S)	24 h	-	(por definir en el futuro)
Valores Transitorios			
Dióxido de azufre (SO ₂)	anual	100	Promedio anual
PM ₁₀	anual	80	Promedio anual
	24 h	200	No debe excederse más de 3 veces al año
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	1 h	250	No debe excederse más de 24 veces al año
Ozono (O ₃)	8 h	160	No debe excederse más de 24 veces al año
Plomo (Pb)	anual	1	Anual

Fuente: D.S. N° 074-2001-PCM "Reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental del aire"

2.3.2. Resolución Ministerial 315-96-EM/VMM: "Niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas"

Estableció los estándares de calidad de aire ambiental aplicables en el área de influencia de las operaciones minero-metalúrgicas con carácter provisional, en tanto no se aprobaran los Estándares Nacionales de Calidad de Aire. Con la promulgación del Decreto Supremo 074-2001-PCM, se entiende que dichos estándares quedaron sin efecto. Sin embargo, la

Resolución Ministerial 315-96-EM/VMM introdujo un estándar para arsénico, el cual no ha sido recogido por el Decreto Supremo 074-2001-PCM. La tabla 2-7 muestra los estándares establecidos por la citada Resolución Ministerial.

TABLA N° 2.7
NIVELES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CALIDAD DE AIRE

Parámetro	Media Aritmética Diaria ¹ µg/Nm ³ (ppm)	Media Aritmética Anual µg/Nm ³ (ppm)	Media Geométrica Anual* Mg/Nm ³
Dióxido de azufre	572 (0,2) ^(a)	172 (0,06)	—
Material particulado (PTS)	350 ^(a)	--	150
Plomo ^(b)	—	0,5	—
Arsénico ^(c)	6	--	--

(a) No debe excederse más de una vez al año.

(b) Concentración mensual de plomo = 1,5 ug/Nm³.

(c) Concentración de arsénico para 30 minutos, no debe excederse más de una vez al año = 30 µg/m³.

Fuente: R.M. N° 315-96-EM-VMM

TABLA N° 2.8
EMISIONES MÁXIMAS PERMISIBLES PARA DIÓXIDO DE AZUFRE

Azufre que ingresa al Proceso (t/d)	Emisión Máxima Permissible para Dióxido de Azufre (t/d)
<10	20
12-15	25
16-20	30
21-30	40
31-40	50
41-50	60

¹ A condiciones estándar (0°C de temperatura y 1 atm de presión).

Azufre que ingresa al Proceso (t/d)	Emisión Máxima Permisible para Dióxido de Azufre (t/d)
51-70	66
71-90	72
91-120	81
121-150	90
151-180	99
181-210	108
211-240	117
241-270	126
271-300	135
301-400	155
401-500	175
501-600	195
601-900	201
901-1200	207
1201-1500	213
>1 500	0,142 (S)

Fuente: R.M. N° 315-96-EM-VMM

CAPITULO III: VARIABLES E HIPÓTESIS

3.1. Variables de la investigación

- Variable independiente

Sistema de neutralización de gases contaminantes

- Variable dependiente

Aire a condiciones permisibles

3.2. Operacionalización de las variables

VARIABLES	INDICADORES	DIMENSIONES
Variable Independiente: SISTEMA DE NEUTRALIZACIÓN DE GASES CONTAMINANTES	Propiedades de los gases contaminante	<ul style="list-style-type: none"> • Partículas en suspensión (ppm) • Gases cianuros • Gases ácidos
	Parámetros de los equipos de neutralización	<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro de la torre (m) • Altura de empaque (m) • Vida de filtros de carbón activado (m)
	Diseño del sistema de extracción localizada	<ul style="list-style-type: none"> • Ductos de extracción • Extractores centrífugos
Variable Dependiente: AIRE A CONDICIONES PERMISIBLES	Tecnologías de neutralización	<ul style="list-style-type: none"> • Absorción • Adsorción
	Emisión de gases contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Concentración de gases contaminantes
	Extracción de gases contaminantes	<ul style="list-style-type: none"> • Flujo de gases extraídos (m³/h)

3.3. Hipótesis

3.3.1. Hipótesis General

Si se diseña un sistema de neutralización de gases contaminantes, se obtendrá aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua.

3.3.2. Hipótesis Específicos

- Al analizar las propiedades de los gases contaminantes se podrá seleccionar la tecnología para la neutralización de gases.
- Al determinar los parámetros principales de los equipos de neutralización se reducirá la emisión de gases contaminantes a niveles dentro de los límites máximos permisibles.
- Al diseñar un sistema de extracción localizada para las salas operativas se asegurará la evacuación de los gases contaminantes.

CAPITULO IV: METODOLOGÍA

4.1. Tipo de la Investigación

La investigación será del tipo Tecnológica – Aplicada

4.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación es no experimental y el método es el inductivo.

4.2.1. Parámetros básicos de investigación

Los parámetros básicos utilizados son los siguientes:

- a. Concentración de gases contaminantes
- b. Flujo de gases emitidos

4.2.2. Etapas de la investigación

Para la presente tesis se seguirá las siguientes etapas:

- a. Determinación de condiciones de flujos (Concentraciones de gases y Flujos molares de gases)
- b. Cálculo de los parámetros principales de las torres de lavado (Diámetro, altura de empaque y caída de presión)
- c. Cálculo del tiempo de duración de los filtros de carbón activado del equipo de adsorción.
- d. Cálculo de los ductos de extracción
- e. Selección de extractores centrífugos

4.2.3. Detalles de la investigación

a. Diseño del Sistema de Neutralización para la Sala de Cianuros

Para la Sala de Cianuros se realizó el procedimiento de cálculo indicado anteriormente, obteniéndose los siguientes resultados:

Calculo del volumen captado

Para campanas de extracción tipo vitrina, se utilizó una velocidad de captura según se indica en el Anexo D; cuando son gases liberados a baja velocidad en aire con movimiento moderado, entonces la velocidad recomendada es 0.5m/s (100fpm).

Las campanas tipo vitrina tienen una longitud de 1.6m y una abertura de 0.8m lo cual nos da un área de 1.2m²

Entonces, de la ecuación (2-28):

$$G_{CE} = 1.2 \times 0.5 \times 3600$$

$$G_{CE} = 2195 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para dos campanas y un factor de seguridad de 1.2, entonces de la ecuación (2-1) obtenemos:

$$G_i = 5267 \text{ m}^3/\text{h}$$

Análisis de los gases

De los ensayos realizados (ver TABLA N°4.3, página 95) se obtuvieron las concentraciones peso por volumen para los gases, para este caso se obtuvo 84mg/m^3 y 534mg/m^3 para el gas cianuro (HCN) para un caudal total de $0.766\text{m}^3/\text{s}$ (2757.6 CFM).

Se tomó el más crítico (534mg/m^3) para trabajar en las dos campanas, entonces el nivel concentración total para el sistema actual

$$C'_{\text{HCN}} = 1068\text{mg/m}^3$$

$$G'_M = 1.532\text{m}^3/\text{s}$$

De la ecuación (2-3), la concentración peso por volumen para los nuevos caudales de extracción será:

$$C_{\text{HCN}} = \frac{1068(1.532 \times 3600)}{5270}$$

$$C_{\text{HCN}} = 279.4 \text{ mg/m}^3$$

Entonces, de la ecuación (2-4), el flujo de cianuro será:

$$F_{\text{HCN}} = 5270 \times (279.4/1000)$$

$$F_{\text{HCN}} = 1.473 \text{ Kg/h}$$

Para la mezcla aire/gas se consideró las condiciones del aire a las condiciones de sitio:

$$P_{\text{atm}} = 0.75 \text{ atm}$$

$$\rho = 0.89 \text{ Kg/m}^3$$

De la ecuación (2-5), se obtiene el flujo de la mezcla aire/gas total

$$F_M = \frac{5270}{0.89}$$

$$F_M = 4690.3 \text{ Kg/h}$$

Entonces el flujo de aire libre de contaminantes es la diferencia entre el flujo de aire total menos el de los gases contaminantes:

$$F_{\text{aire}} = 4690.3 - 1.473$$

$$F_{\text{aire}} = 4688.83 \text{ Kg/h}$$

Entonces de la ecuación (2-6) se obtiene la fracción molar del HCN

$$y_i = 3.360 \times 10^{-4} \text{ Kmol contaminante/Kmol gas total}$$

De la ecuación (2-7) se obtuvo el peso molecular de la mezcla aire/gas

$$M_M = 28.9$$

Determinación de las condiciones de los flujos de gas y líquido

Para las torres de lavado de gases se tuvieron los siguientes datos por parte del proveedor del equipo:

Líquido de lavado (solvente)	:	Agua
Caudal de Líquido de lavado	:	1.5m ³ /h
Altura de transferencia de masa (HOG)	:	0.31m
Factor de empaque (Fp)	:	36

Las propiedades del líquido de lavado son las del agua, las cuales a 15°C y 0.75 atm son las siguientes:

$$Ml=18g/mol$$

$$\rho_l=1000kg/m^3$$

$$\mu=1cp$$

Con estos datos determinamos las condiciones de los flujos de Gas y Líquido con la metodología expuesta anteriormente

La concentración del contaminante entrando al absorbedor en el flujo gaseoso, de la ecuación (2-8):

$$Y_i = \frac{3.360 \times 10^{-4}}{1 - 3.360 \times 10^{-4}}$$

$$Y_i = 3.362 \times 10^{-4} \text{ Kmol contaminante/Kmol aire libre de contaminante}$$

Considerando una eficiencia del 99%, se calculó la fracción molar saliendo del absorbedor, de la ecuación (2-9)

$$Y_o = 3.362 \times 10^{-4} (1 - 0.99)$$

$$Y_o = 3.362 \times 10^{-6} \text{ Kmol contaminante/Kmol aire libre de contaminante}$$

Y la fracción molar saliente

$$y_o = \frac{3.362 \times 10^{-6}}{1 + 3.362 \times 10^{-6}}$$

$$y_o = 3.362 \times 10^{-6} \text{ Kmol contaminante/Kmol gas total}$$

Con las condiciones de flujo gaseoso y la fracción molar entrando al absorbedor se obtuvo el flujo molar de gas libre, de la ecuación (2-11)

$$G_s = \frac{0.89 \times (5270/60)}{28.9 \times (1 + 3.362 \times 10^{-4})}$$

$$G_s = 2.704 \text{ Kmol/min}$$

Con este valor, se puede obtener el Flujo molar entrando al absorbedor

$$G_{\text{mol-i}} = 2.704(1 + 3.362 \times 10^{-4})$$

$$G_{\text{mol-i}} = 2.705 \text{ Kmol/min}$$

Ahora, de la ecuación (2-13) se calculó el flujo molar de solvente libre de contaminante

$$L_s = \frac{1000 (1.5/60)}{18}$$

$$L_s = 1.388 \text{ Kmol/min}$$

Con este valor, se puede obtener el Flujo molar entrando al absorbedor

$$L_{\text{mol-i}} = 1.388(1+0)$$

$$L_{\text{mol-i}} = 1.388 \text{ Kmol/min}$$

La concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo solvente la obtenemos de la ecuación (2-15)

$$X_o = \frac{3.362 \times 10^{-4} - 3.362 \times 10^{-6}}{1.388/2.704}$$

$$X_o = 6.483 \times 10^{-4} \text{ Kmol contaminante/Kmol solvente libre contaminante}$$

Y su fracción molar será igual a

$$x_o = \frac{6.483 \times 10^{-4}}{1 + 6.483 \times 10^{-4}}$$

$$x_o = 6.479 \times 10^{-4} \text{ Kmol contaminante/Kmol liquido total}$$

Determinación del diámetro de la torre

Se calculó el valor de la abscisa de la FIGURA N° 2-9 (ver página 49) según se indica en la ecuación (2-17), donde se obtuvo:

$$\text{Abscisa} = \left(\frac{1.388}{2.705} \right) \left(\frac{18}{28.9} \right) \sqrt{\frac{1000}{0.89}}$$

$$\text{Abscisa} = 0.01$$

La caída de presión usual en este tipo de equipos se encuentra en el rango de 1 a 1.5 pulg. de agua por pie de empaque. Para entrar a la FIGURA N° 2-9 (ver página 49) se ha considerado que la caída es de 1 pulg. de agua por pie de empaque además del valor de la abscisa calculado anteriormente, y se obtuvo el siguiente valor para la ordenada:

$$\text{Ordenada} = 0.011$$

De la ecuación (2-18), despejamos el valor de G_f

$$0.011 = \frac{G_f^2 \times 36 \times 0.001^{0.2}}{1000 \times 0.89 \times 9.8}$$

$$G_f = 10.45 \text{ Kg/m}^2 \cdot \text{s}$$

Se calculó el área de la sección transversal con la ecuación (2-19)

$$A = 0.125 \text{ m}^2$$

De la ecuación (2-20), el diámetro calculado es el siguiente:

$$D_{\text{calc}} = 398.4 \text{ mm}$$

Entonces, considerando un factor de seguridad de 1.2 y tomando el diámetro comercial inmediato superior, se obtuvo:

$$D = 500 \text{ mm}$$

Determinación de la Altura del empaque

Para el cálculo de la altura del empaque se calculó el número de transferencia de masa, de la ecuación (2-22)

$$\text{NOG} = \text{Ln} \left(\frac{3.360 \times 10^{-4}}{3.360 \times 10^{-6}} \right)$$

$$\text{NOG} = 4.6$$

Reemplazando en la ecuación (2-21) y con el factor de empaque para Tellerete (0.31), se obtuvo lo siguiente:

$$H_{\text{pack}} = 4.6 \times 0.31$$

$$H_{\text{pack}} = 1.4 \text{ m}$$

Determinación de la caída de presión

Para el cálculo de la caída de presión se reemplazo

$$\Delta P_{\text{Total}} = 1.4 \times (1 \times 25.4 / 1000)$$

$$\Delta P_{\text{Total}} = 119 \text{ mm.c.a}$$

Dimensionamiento de los ductos de extracción

Se realizó el cálculo de los diámetros de tuberías y las caídas de presión del sistema de ductos, de acuerdo a la distribución mostrada en el anexo F.2, obteniendo los siguientes resultados

$$PE_{\text{TOTAL}} = 184.74 \text{ mm.c.a}$$

Los resultados obtenidos tramo por tramo utilizando el método de la presión dinámica se muestran en la anexo G.2.

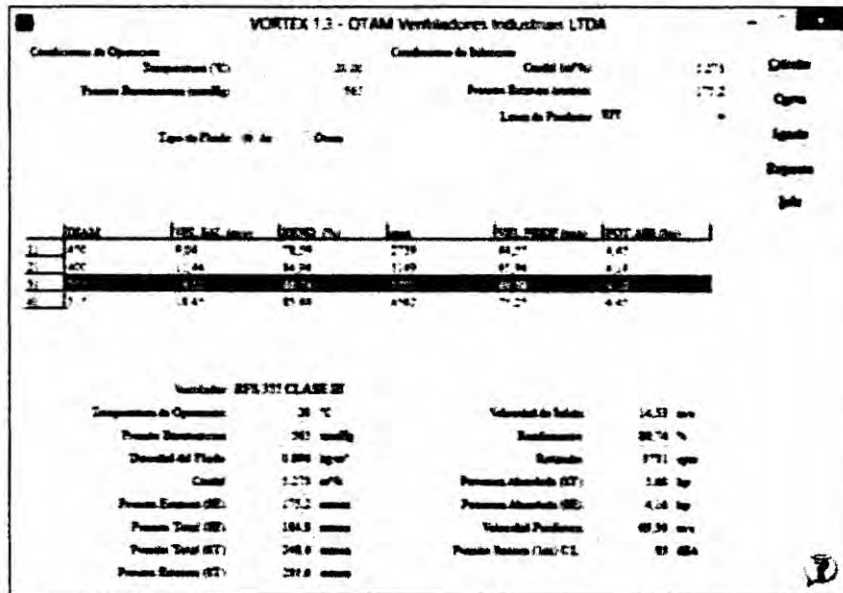
Selección de los ventiladores

El ventilador seleccionado para el trabajo a realizar es el centrífugo de alabes aerodinámicos (airfoil) curvos hacia atrás, los cuales son los más eficientes entre los de su tipo, además de mayor uso a nivel industrial para el tipo de aplicación.

Para la selección del ventilador se utilizó el software "VORTEX 1.3", donde se introdujo los datos de diseño del sistema, condiciones de trabajo y tipo de ventilador seleccionado como se aprecia en la FIGURA N° 4-1 (Ver página 85).

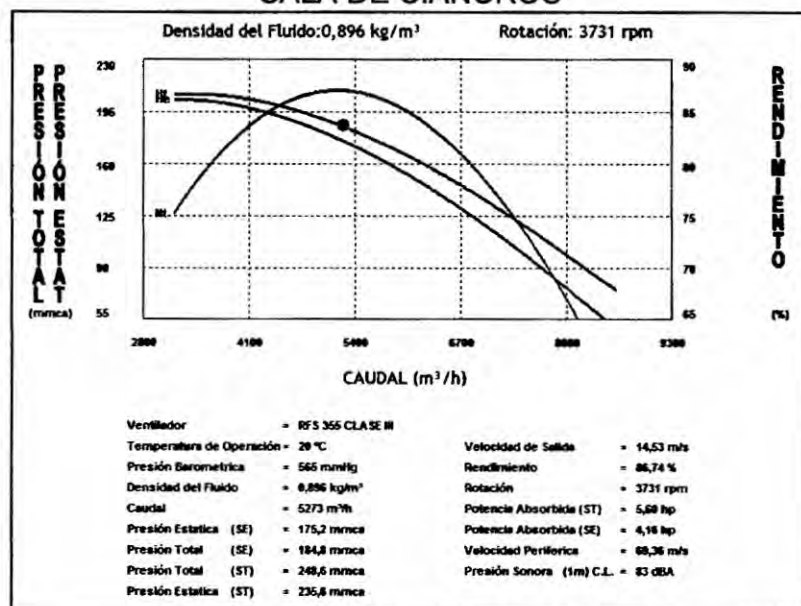
La curva característica y los resultados del ventilador seleccionado en el punto de operación obtenidos en el software se muestran en la Figura N° 4-2 (Ver página 85).

FIGURA N° 4-1
DATOS DE INGRESO – SOFTWARE VORTEX 1.3



Fuente: Elaboración propia

Figura N° 4-2
VENTILADOR SELECCIONADO DEL SOFTWARE "VORTEX 1.3" – SALA DE CIANUROS



Fuente: Elaboración propia

b. Diseño del Sistema de Neutralización para la Sala de Vía Húmeda

Para el diseño del Sistema de Neutralización se realizó un procedimiento similar al caso anterior, teniendo los siguientes datos de entrada:

Parámetros	Unidades	Datos
Datos de las campanas		
Tipo de campana	-	Vitrina
Cantidad de campanas	-	5
Longitud	m	1.6
Apertura	m	0.8
Velocidad recomendado	m/s	0.5
Datos de las torres empacadas		
Temperatura	°C	15
Gas a lavar	-	Cloro
Densidad de gas	Kg/m ³	0.89
Eficiencia de remoción	-	0.99
Peso molecular Gas	Kg/Kmol	28.91
Viscosidad del gas	Kg/m*s	0.000016
Solvente	-	Agua
Caudal de solvente entrante	gpm	6.6
Densidad de liquido	Kg/m ³	1000
Peso molecular Liquido	Kg/Kmol	18
Viscosidad del Liquido	Kg/m*s	0.001
Propiedades del empaque		
Tipo de empaque	-	Tellerete
Factor de empaque	-	36
Caída de presión asumida	Pulg.H ₂ O/Pie de empaque	1
HOG	m	0.31

Con los datos anteriores se obtuvieron las siguientes condiciones de los flujos:

Parámetros	Unidades	Resultado
Flujo por campana	m ³ /h	2633.5
Flujo de diseño total	m ³ /h	13170.0

Parámetros	Unidades	Resultado
Fracción molar del contaminante entrando al absorbedor en el gas	-	1.801×10^{-5}
Concentración del contaminante entrando al absorbedor en el gas	Kmol contaminante/K mol aire libre de contaminante	1.801×10^{-5}
Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el gas	Kmol contaminante/K mol aire libre de contaminante	1.801×10^{-7}
Fracción mol del contaminante saliendo al absorbedor en el gas	-	1.801×10^{-7}
Flujo molar del gas libre de contaminante	kmol/min	6.76
Flujo molar del gas entrando al absorbedor	kmol/min	6.76
Flujo molar del solvente libre de contaminante	kmol/min	1.39
Flujo molar del solvente entrando al absorbedor	kmol/min	1.39
Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el solvente	Kmol contaminante/K mol solvente libre contaminante	0.00009
Fracción molar del contaminante saliendo del absorbedor en el gaseoso	-	0.00009

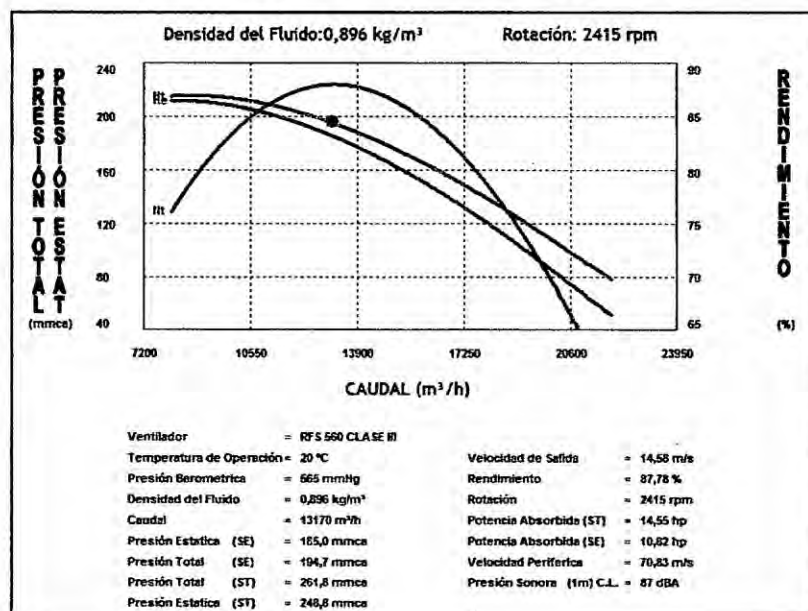
Los resultados de los parámetros de la torre empacada son los siguientes:

Parámetros	Unidades	Resultado
Flujo superficial de Gas a condiciones de inundación	Kg/m ² .s	9.19
Área de la sección transversal	m ²	0.35
Diámetro calculado	mm	671.7
Diámetro diseño	mm	800
Número de unidades de transferencia total	-	4.6
Altura del empaque	m	1.43
Caída de presión en el empaque	mmcda	118.96

Los cálculos de los ductos del sistema de extracción se muestran en la Anexo G.1

La curva obtenida del software VORTEX 1.3 para el ventilador de alabes hacia atrás tipo airfoil seleccionado se muestra en la FIGURA N° 4-3

FIGURA N° 4-3
VENTILADOR SELECCIONADO DEL SOFTWARE "VORTEX 1.3" – SALA DE VÍA HÚMEDA



Fuente: Elaboración propia

c. Cálculo y selección para la Sala de Absorción Atómica

Para calcular el caudal extraído por las campanas tipo canopy se utilizó un análisis análogo al de los casos anteriores, teniendo como entrada los siguientes datos:

Cantidad de campanas	:	3
Ancho x Profundidad de la campana	:	0.30 x 0.30m
Distancia al foco contaminante	:	0.10
Velocidad recomendada	:	1m/s (Ver anexo D)

De la ecuación (2-29) se obtuvo el caudal por campana

$$Q_{\text{calc}} = 860.8 \text{ m}^3/\text{h}$$

Y considerando las 3 campanas y un factor de seguridad se determinó el caudal de diseño

$$Q_{\text{diseño}} = 2585 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se deberá de considerar las propiedades de los filtros, propiedades de las muestras y el número de muestras a procesar.

Datos de los equipos de absorción atómica

- Volumen absorbido por el nebulizador de AAS (1-2 ml) : 2 ml
- Porcentaje de Volumen volatilizado en el quemador (3-5%) : 5%
- Lecturas instrumentales por solución : 5

Datos de los equipos de absorción atómica

- Concentración de ácidos en la solución : 20%
- Gravedad específica : 1

Datos de los equipos de absorción atómica

- Especificación de Filtros Vs Saturación : 345 gr/pie²
- Muestras por día en el laboratorio : 250
- Factor de eficiencia de filtros : 0.8
- Dimensiones de filtros : 2 pie x 2 pie
- Cantidad de filtros : 3
- Caída de presión : 1.2"wg

De la ecuación (2-24)

El peso de contaminante en la saturación de filtros es de 0.1 gr/muestra

De la ecuación (2-25)

La capacidad en peso por paquete de 3 filtros es de 4140 gr

De la ecuación (2-26)

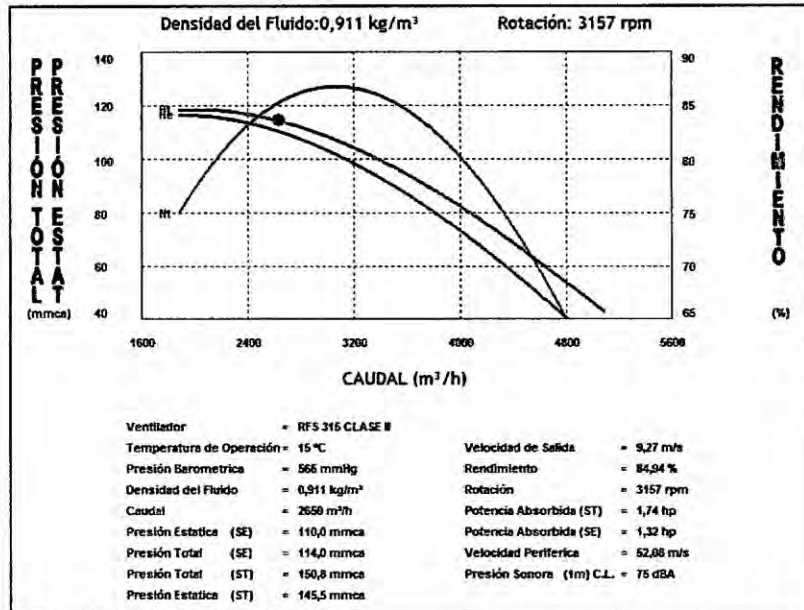
La cantidad de muestras por paquete de 3 filtros son 41400

De la ecuación (2-27)

Entonces, la duración del paquete de 3 filtros será de 132.5 días (4.4 meses), por lo que se recomienda hacer el cambio de filtros cada 4 o 5 meses.

Además, la caída de presión será de 91.4 mmcda.

FIGURA N° 4-4 VENTILADOR SELECCIONADO DEL SOFTWARE "VORTEX 1.3" – SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA



Fuente: Elaboración propia

4.3. Población y muestra

Para la presente investigación la población es el laboratorio químico de la unidad minera Cuajone y la muestra es una de las salas de analisis.

4.4. Técnicas e instrumentos de investigación

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
Observación	Cámara fotográfica Apuntes de campo
Mediciones convencionales	Cinta métrica (Wincha) Anemómetro digital
Documental	Informe de ensayos Condiciones de sitio

Los ensayos realizados por “Envirolab Peru” se usaron los métodos y equipos mencionados en la TABLA N° 4.1.

TABLA N° 4.1: MÉTODOS DE ENSAYO Y EQUIPOS UTILIZADOS.

PARÁMETROS	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO	EQUIPO
Partículas en suspensión PM-2.5 / PM-10	Método EPA IO-2.1 : "Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM-10 using High Volume (HV) Sampler" EPA/625/R-96/010a Revisión June 1999	Muestreador de Aire
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Determinación de Dióxido de Nitrógeno (Método Colorimétrico del Arsenito)	UV-VISIBLE
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	Determinación de Sulfuro de Hidrógeno (Método Colorimétrico de Jacobs)	
Ozono (O ₃)	Determinación de Ozono (Método Colorimétrico de Ki Neutro)	
Dióxido de Azufre (SO ₂)	EPA Part 50 Appendix A Reference Methods for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method) WAIS Document Retrieval (Code of Federal Regulations, Title 40, Volume 2). Revised as of July 1, 2004	

Fuente: Informe de Ensayos “Envirolab Perú S.A.C.”

4.5. Procedimiento de recolección de datos

4.5.1. Observación

Se realizaron las visitas a las instalaciones del Laboratorio Químico de la mina Cuajone donde se tomaron las fotografías de las salas operativas y los equipos existentes, el registro fotográfico se puede ver en el anexo H.

4.5.2. Mediciones convencionales

Se tomaron las dimensiones de las salas operativas, campanas extractoras y ductos existentes, además se midió la velocidad en la entrada a las campanas extractoras.

- Las campanas extractoras tipo vitrina ubicadas en las salas de Vía Húmeda y Cianuros tienen una abertura de 0.8m y una longitud de 1.6m
- Las campanas tipo Canopy ubicadas en la sala de Absorción Atómica tienen una apertura de 0.3m x 0.3m y se encuentra ubicada en 0.10m de los equipos.
- Los diámetros de los ductos de extracción son de 10" para las vitrinas y 4" para las de campanas tipo Canopy

4.5.3. Documental

Se revisaron los informes de los ensayos realizados a las velocidades de caras en las campanas extractoras de donde se concluyó lo siguiente:

- Las campanas tipo vitrina están operando con una velocidad de cara menor que lo especificado en las normas y estándares internacionales (ASHRAE 110), no cumpliendo la velocidad mínima en la cara de la campana de 0.5m/s (100 fpm).
- Respecto a las campanas de extracción de Absorción Atómica, dos de ellas cumplen las especificaciones, la campana sobre el equipo

Varian AA 280FS tiene una velocidad promedio de 0.33 m/s (64.17 fpm) no cumpliendo las normas y estándares de 1m/s (200 fpm).

Además se revisó las condiciones de sitio obtenidas del SENAMHI de donde se obtienen los siguientes datos:

- Altitud sobre el nivel del Mar : 3380 m
- Presión atmosférica : 0.75 bar
- Temperatura Ambiente Mínima : 10 °C
- Temperatura Ambiente Máxima : 25 °C
- Humedad relativa : 55%
- Densidad del aire : 0.89 Kg/m³

4.5.4. Análisis de los gases emitidos

Los datos de los gases emitidos por el laboratorio químico se obtuvieron del ensayo realizado por la empresa “Envirolab Perú” (Ver anexo B). Los resultados principales de los ensayos por cada sala son los siguientes:

**TABLA N°4.2
PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y MUESTREO – SALA DE VÍA HÚMEDA.**

Código de Laboratorio:	1109342-01	1109342-02	1109342-03
Descripción de Muestras:	E-01	E-02	E-03
Fecha de Muestreo:	16/09/11	15/09/11	16/09/11
Hora de Muestreo:	12:00	13:00	14:30
Análisis	Unidad	Resultados	

Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	µg/m³	29	N.D.	1268
Monóxido de Carbono (CO)	µg/m³	8085	12526	12765
Cloro (Cl₂)	mg/m³	98	N.D.	N.D.
Arsénico	µg/m³	1148.3	552.9	13.7
Flujo de gases	m³/s	1.47	0.192	0.279

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

TABLA N°4.3
PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y MUESTREO – SALA DE CIANUROS.

Código de Laboratorio:		1109342-07	1109342-10
Descripción de Muestras:		E-07	CCN
Fecha de Muestreo:		16/09/11	16/09/11
Hora de Muestreo:		9:00	9:00
Análisis	Unidad	Resultados	
Cianuro (HCN)	mg/m³	84	534
Flujo de gases	m³/s	0.766	0.766

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

TABLA N°4.4
PARÁMETROS DE MEDICIÓN Y MUESTREO – SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

Código de Laboratorio:		1109342-07	1109342-07	1109342-07
Descripción de Muestras:		E-04	E-05	E-06
Fecha de Muestreo:		15/09/11	15/09/11	16/09/11
Hora de Muestreo:		16:50	17:53	17:06
Análisis	Unidad	Resultados		
Partículas	mg/m³	0	572	667
Dióxido de Azufre (SO₂)	mg/m³	166	125	166.7
Monóxido de Carbono (CO)	mg/m³	3709.5	205	1025
Flujo de gases	m³/s	0.103	0.074	0.071

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

4.6. Procesamiento estadístico y análisis de datos

La investigación no amerita procesamiento estadístico, los datos se obtuvieron de los informes de los ensayos realizados, observaciones y medidas tomadas en las salas operativas del Laboratorio Químico; por lo cual tampoco requiere un análisis de datos.

CAPITULO V: RESULTADOS

A continuación se muestra la tabla de los resultados finales de los cálculos realizados.

Para la Sala de Cianuros y Vía Húmeda

Parámetro	Unidad	Sala de Cianuros	Sala de Vía Húmeda
CONDICIONES DE LOS FLUJOS DE GAS Y LIQUIDO			
Flujo por campana	m ³ /h	2633.5	2633.5
Flujo de diseño total	m ³ /h	5270.0	13170.0
Fracción mol del contaminante entrando al absorbedor en el gas		3.360E-04	1.130E-04
Concentración del contaminante entrando al absorbedor en el gas	Kmol contaminante/Kmol aire libre de contaminante	3.362E-04	1.131E-04
Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el gas	Kmol contaminante/Kmol aire libre de contaminante	3.362E-06	1.131E-06
Fracción mol del contaminante saliendo al absorbedor en el gas		3.362E-06	1.131E-06
Flujo molar del gas libre de contaminante	kmol/min	2.70	6.76
Flujo molar del gas entrando al absorbedor	kmol/min	2.70	6.76
Flujo molar del solvente libre de contaminante	kmol/min	1.39	1.39
Flujo molar del solvente entrando al absorbedor	kmol/min	1.39	1.39
Concentración del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo solvente	Kmol Gas/Kmol aire sin gas	0.00065	0.00054
Fracción mol del contaminante saliendo del absorbedor en el flujo gaseoso		0.00065	0.00054
DIÁMETRO DE LA TORRE			
Diámetro calculado	mm	398.40	671.71
Diámetro comercial de diseño	mm	500.00	800.00
PERDIDAS EN EL EMPAQUE			
Número de unidades de transferencia total		4.60	4.61
Altura del empaque	m	1.43	1.43
Perdida de presión en la torre	mmcda	119.0	119.0

Parámetro	Unidad	Sala de Cianuros	Sala de Vía Húmeda
PERDIDAS EN LOS DUCTOS			
Perdida de presión en ductos	mmcda	54.0	65.8
Perdida de presión total	mmcda	172.9	184.8

Para la Sala de Absorción Atómica

Parámetro	Unidad	Valor
Peso de contaminante en la saturación de filtros	gr	0.1
Área total x 3 filtros	ft2	12
Capacidad en peso por paquete de 3 filtros	gr	4140
Muestras por paquete de 3 filtros	muestras	41400
Duración del paquete de 3 filtros	dias	132.48
	meses	4.416

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contratación de la Hipótesis con los resultados

Los equipos para la neutralización de los gases contaminantes seleccionados de acuerdo son los siguientes:

- Sala de Cianuros Torre de lavado tipo empacada
- Sala de Vía Húmeda Torre de lavado tipo empacada
- Sala de absorción Atómica Adsorbedor de Filtros de carbón activado

De acuerdo a la tecnología seleccionada y con los cálculos realizados se logró la reducción de la concentración de gases a niveles inferiores a los Límites Máximos Permisibles (LMP).

Contaminantes	LMP	Resultados ensayos "Envirolab Peru" ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Resultados de los cálculos realizados ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
SALA DE CIANURO			
Cianuro ^(a)	11000	534000	2794
SALA DE VÍA HÚMEDA			
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	200	1268	1
Monóxido de Carbono (CO)	30 000	12765	10
Cloro ^(b)	300	98000	289
Arsénico	30	1148.3	5
SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA			
Dióxido de Azufre (SO ₂)	80	166000	48
Monóxido de Carbono (CO)	30000	3709500	1064

(a) R.D. No. 025-96-EM/DGAA "Guía Ambiental para el Manejo de Cianuro"

(b) Real Decreto 833/1975, España

6.2. Contrastación de los resultados con otros estudios similares

De otros estudios similares revisados, se puede comparar los resultados obtenidos. De la tesis ***“Diseño del sistema de extracción localizado para el banco de pruebas de combustión del proyecto Carbón”***, donde podemos observar lo siguientes puntos:

Los gases emitidos por el banco de pruebas, a diferencia de la investigación de la presente tesis, presenta material particulado por lo que se seleccionó una torre de lavado tipo venturi antecedido por un filtro de mangas. Esta opción es la más apropiada para el tipo de aplicación, a diferencia del presentado en la presente tesis, porque las características de los gases son distintas.

Para la captura de los humos generados se diseñó un sistema de extracción localizado, el cual se realiza a través de una campana canopy y son transportados por ductos rectangulares, con un ventilador de alabes hacia atrás. Este sistema es similar al usado en la presente investigación por ser el más utilizado en la industria para la captación de los gases y evitar su propagación.

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en el diseño del sistema de neutralización de los gases contaminantes, se asegura que el aire emitido por el laboratorio químico, sala de cianuros 5267 m³/h, sala de vía húmeda 13170 m³/h y sala de absorción atómica 2585 m³/h; se encuentra a las condiciones de Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad del Aire.
2. De acuerdo a las propiedades de los gases emitidos por las salas del laboratorio se ha seleccionado, para las salas de Vía Húmeda y de Cianuros, las torres de lavado tipo empacada, y para la sala de Absorción Atómica un equipo de adsorción con filtros intercambiables de carbón activado.
3. Con la determinación de los parámetros de los equipos de neutralización, como el diámetro, la altura de empaque y su caída de presión, se disminuye la cantidad de contaminantes por debajo de los Límites Máximos Permisibles definidos en la RM 315-96-EM/VMM y el DS 074-2001-PCM.
4. El sistema de extracción localizado ha sido diseñado de manera que los gases contaminantes son captados y desalojados antes que se propaguen dentro de las salas del laboratorio.

CAPITULO VIII: RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la implementación de un sistema de control, en el cual se pueda enlazar los sistemas de aire acondicionado, ventilación general.
- Se recomienda realizar el mantenimiento preventivo y correctivo a los equipos del sistema.
- Se recomienda elaborar un manual de operación y mantenimiento del Sistema, respetando las indicaciones de los fabricantes de los equipos y componentes del Sistema de Extracción.
- Se recomienda implementar un sistema de monitoreo de gases que brinde información sobre las condiciones de flujo y el desempeño del conjunto para confirmar los niveles de contaminación han bajado totalmente.

CAPITULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS. **Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice**, Ohio, 1998.
- ASHRAE, **ASHRAE Handbook-HVAC Applications**.ASHRAE. 2007.
- CÁRDENAS GONZALES, Beatriz. **Tratamiento biológico de compuestos orgánicos volátiles de fuentes fijas**. México: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT), 2003.
- CASTEJÓN VILELLA, Emilio. **Extracción Localizada**. Fundación para la Universitat Oberta de Catalunya, Cataluña.
- CRANE CO. **Flow of Fluids Through Valves, Fittings & Pipe TP-410 US**, CRANE CO. 2009.
- DEPARTMENTS OF THE ARMY AND THE AIR FORCE, TM 5-815-I/AFR 19-6, **Air pollution control systems for boilers and incinerators**. Washington, D.C., 1988.
- ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, U.S. (EPA). **EPA Air Pollution Control Cost Manual**. Sexta edición ed., U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2002.
- F. R. SPELLMAN y N. WHITING, **Environmental Engineer's Mathematics Handbook**. CRC Press, 2004.

- HESKETH, H. D. y SCHIFFTNER, K. C. **Wet Scrubbers**, Segunda edición. Lancaster: Technomic Publishing, 1996.
- INCHE, Jorge Luis. **Gestión de la calidad del aire: causas, efectos y soluciones**. Lima. Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial - UNMSM, 2004.
- MATAIX PLANA, Claudio. **Mecánica de fluidos y maquinas hidraulicas**, El castillo, 1986.
- PÉREZ LÓPEZ, Gabriel. **Ventilación por extracción localizada, VEL**. Murcia, 2009.
- SOLEIR & PALAU, **Catalogo Técnico "Manual Practico de Ventilación Salvador Escoda S.A."**, 2da. Edicion. Barcelona, 2004.
- VALIENTE BARDERAS, Antonio. **Absorción**, México D.F. Facultad de Química, UNAM, C.U. 2010.
- WARK, W y WARNER, C. F. **Contaminación del aire. Origen y Control**, México. Editorial Limusa, 1994.
- AIRTEC, **Metodo de selección con curvas**. Disponible en: <http://www.airtecv.com/metodo-de-seleccion-con-curvas/>.
- CEPIS - OPS, **Manual de autoinstrucción - Curso de orientación para el control de la contaminación del aire**. Disponible en: http://www.bvsde.paho.org/cursoa_orientacion/.

- **COMERCIAL ARALCO, Lavador de gases tipo Torre Empacada.**
Disponible en:
http://www.comercialaralco.com/pb/wp_e4cc1e86/wp_e4cc1e86.html.
- **COSEMAR OZONO, Lavado de gases: Tratamiento con Ozono por vía húmeda.** Disponible en:
http://www.cosemarozono.es/pdf/servicios_35.pdf.
- **INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 672: Extracción localizada en el laboratorio.**
Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/601a700/ntp_672.pdf.
- **INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 7: Soldadura. Prevención de Riesgos Higiénico.** Disponible en:
http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/001a100/ntp_007.pdf.
- **OREGON STATE UNIVERSITY, Fume Hood Types.** Disponible en:
<http://oregonstate.edu/ehs/LVSG-FH-type>.

ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Tipo
¿Cómo determinar un sistema de neutralización de gases que permita obtener aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua?	Diseñar un sistema de neutralización de gases mediante torres de lavado y filtros de carbón activado para obtener aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua.	Si se diseña un sistema de neutralización de gases contaminantes, se obtendrá aire a condiciones permisibles en el laboratorio químico de la mina Cuajone – Moquegua.	La investigación será del tipo Tecnología - Aplicada debido a que mediante la aplicación de un método se hace factible el diseño de un sistema de neutralización para los gases contaminantes
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Método
¿Cómo evaluar las propiedades de los gases contaminantes que permitan seleccionar los equipos de neutralización?	Analizar las propiedades de los gases contaminantes para seleccionar las tecnologías de neutralización más adecuadas..	Al analizar las propiedades de los gases contaminantes se podrá seleccionar los equipos de neutralización de gases.	El método que utilizaremos es inductivo.
¿Cómo determinar los principales parámetros de los equipos de neutralización que permitan reducir la emisión de gases contaminantes?	Determinar los principales parámetros de los equipos del sistema de neutralización para reducir la emisión de gases contaminantes a niveles dentro de los límites máximos permisibles.	Al determinar los parámetros principales de los equipos de neutralización se reducirá la emisión de gases contaminantes a niveles dentro de los límites máximos permisibles.	Diseño de la Investigación El diseño de la investigación es de tipo no experimental
¿Cómo determinar un sistema de extracción localizada que permita la evacuación de los gases contaminantes?	Diseñar un sistema de extracción localizado para la captación y desalojo de los gases contaminantes.	Al diseñar un sistema de extracción localizada para las salas operativas se asegurará la evacuación de los gases contaminantes.	

ANEXO B: RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE

ANEXO B.1: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LA SALA DE VÍA HÚMEDA (E-01, E-02, E-03, CVH y LAB) Y
 CIANUROS (E-07 y CCN)

Procesante de la Muestra: Laboratorio Químico - Cuzajone (Moquegua)
 Fecha de Ingreso: 2011-09-22
 Código ENVIROLAB PERU: 1109342
 Referencia: Cotización 10628

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE												
Código del Laboratorio	1109342-01		1109342-02		1109342-03		1109342-07		1109342-08		1109342-09	
Descripción de la muestra:	E-01		E-02		E-03		E-07		CVH		ABS	
Fecha de muestreo:	2011-09-16		2011-09-15		2011-09-16		2011-09-16		2011-09-16		2011-09-16	
Análisis	Método	Límite de Cuantificación	Unidad	Fecha de Análisis	Resultado							LAB
Dióxido de Azufre (SO ₂)	EPA CFR 40	13	µg/m ³	2011-09-24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	Envirolab 002	2	µg/m ³	2011-09-24	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	Envirolab 001	3	µg/m ³	2011-09-24	29	N.D.	1268	6	10	6	18 671	9
* Monóxido de Carbono (CO)	Método N° 43101-01-7TT-1972	2	µg/m ³	2011-09-28	8 085	12 516	12 765	84	15 638	18 671	534	17 038
Cianuro	...	...	mg/m ³	2011-09-22	98	N.D.	N.D.	N.D.	615	N.D.	N.D.	300
Flujo de Gases	...	...	m ³ /h	2011-09-22	1,47	0,192	0,279	0,766				

N.D. Significa No Detectable al nivel de cuantificación analizado.

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

ANEXO B.2: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LA SALA DE VÍA HÚMEDA (E-01, E-02, E-03, CVH y LAB) Y
 CIANUROS (E-07, ABS y CCN)

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE						
Análisis:	Arsénico	Método: EPA IO-3.4				
Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Límite de cuantificación	Resultado (ppm)	Fecha de Análisis	
1109342-01	E-01	2011-09-16	...	1146.3	2011-09-24	
1109342-02	E-02	2011-09-15	...	582.9	2011-09-24	
1109342-03	E-03	2011-09-16	...	13.7	2011-09-24	
1109342-08	CVH	2011-09-16	...	1674.9	2011-09-24	
1109342-09	ABS	2011-09-15	...	12.5	2011-09-24	
1109342-11	LAB	2011-09-17	...	23.7	2011-09-24	

RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE						
Análisis:	Plomo	Método: EPA IO-3.4				
Código de laboratorio	Descripción de muestra	Fecha de Muestreo	Límite de cuantificación	Resultado (ppm)	Fecha de Análisis	
1109342-01	E-01	2011-09-16	...	N.D.	2011-09-24	
1109342-03	E-02	2011-09-15	...	N.D.	2011-09-24	
1109342-03	E-03	2011-09-16	...	N.D.	2011-09-24	
1109342-08	CVH	2011-09-16	...	N.D.	2011-09-24	
1109342-09	ABS	2011-09-15	...	N.D.	2011-09-24	
1109342-11	LAB	2011-09-17	...	N.D.	2011-09-24	

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

ANEXO B.3: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LA SALA DE CIANUROS (E-04, E-05 y E-06)

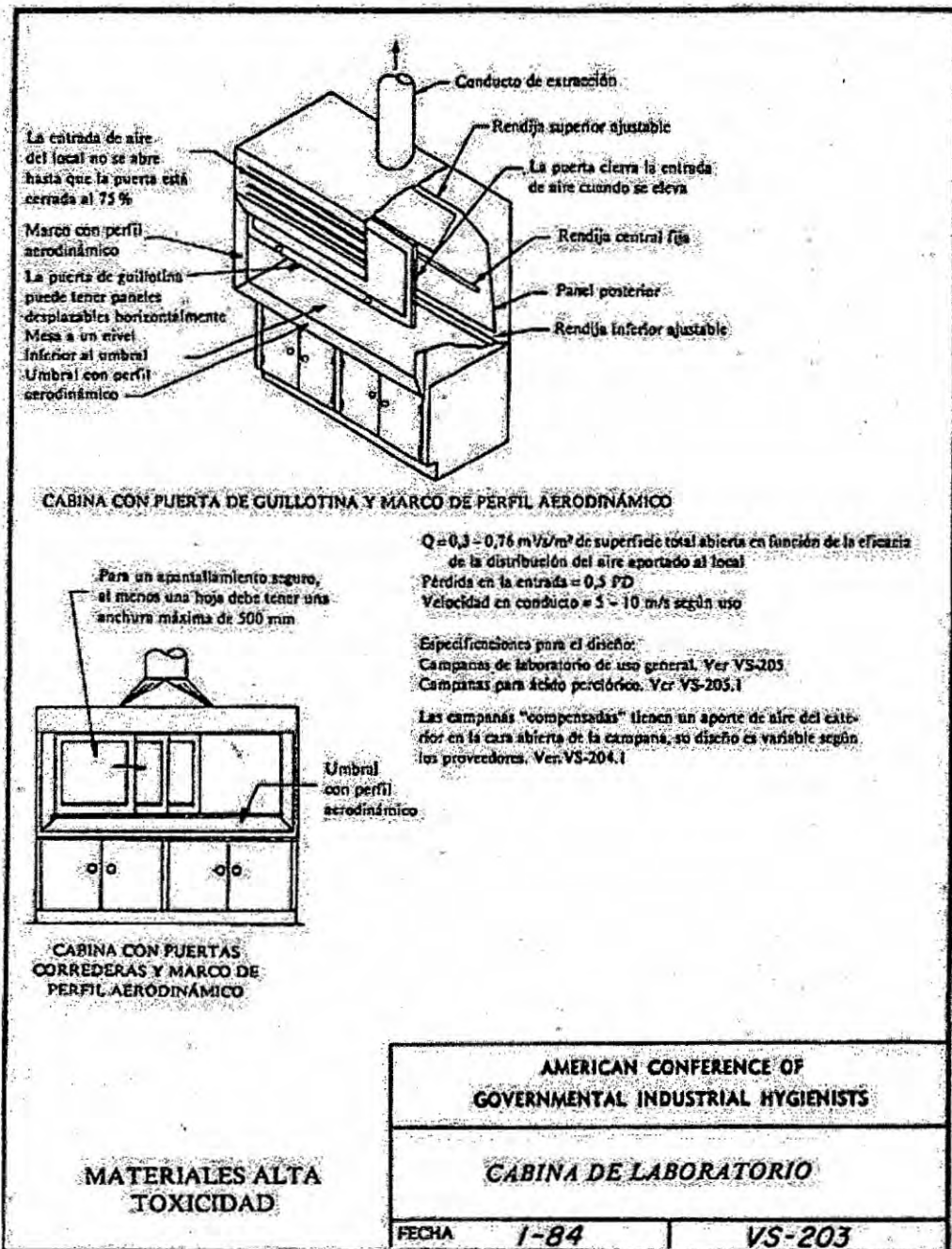
Procedencia de la Muestra: Laboratorio Químico - Cuzco (Moquegua)
 Fecha de Ingreso: 2011-09-22
 Código ENVIROLAB PERÚ: 1109342
 Referencia: Contracción 10628

Código de Laboratorio	Fuentes de Emisión N°/Nombre	Fecha de Muestreo	Hora de Muestreo	Tiempo de Emisión		Flujo y Velocidad de Gas		Flujo de Masa y Temp de Gas		Altura y Diámetro de Chimeneas		Análisis de las Emisiones (Completado en Base Seca)							
				Nivel	h/mes	m ³ /h	m/h	kg/h	°C	m	m	SO ₂ mg/Nm ³	CO mg/Nm ³	NO _x mg/Nm ³	HNM mg/Nm ³	CO ₂ %	Exceso Aire, %	Eficiencia, %	O ₂ %
1109342-04	E-04	2011-09-15	16:50	8	240	0.103	17.4	478	115.0	0.074	0.08	0	166.7	3709.5	0.0	0.4	34.8	0.0	20.3
Kilogramos Mensuales (kg)																			
1109342-05	E-05	2011-09-15	17:23	8	240	0.074	12.5	344	44.2	0.074	0.08	0	125.0	205.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9
Kilogramos Mensuales (kg)																			
1109342-06	E-06	2011-09-16	17:06	6	180	0.071	12.0	330	46.0	0.074	0.08	0	166.7	1025.0	0.0	0.0	0.0	0.0	20.9
Kilogramos Mensuales (kg)																			
												0	7.7	47.1	0.0	...	...	...	...

Fuente: Informe de Ensayos "Envirolab Perú S.A.C."

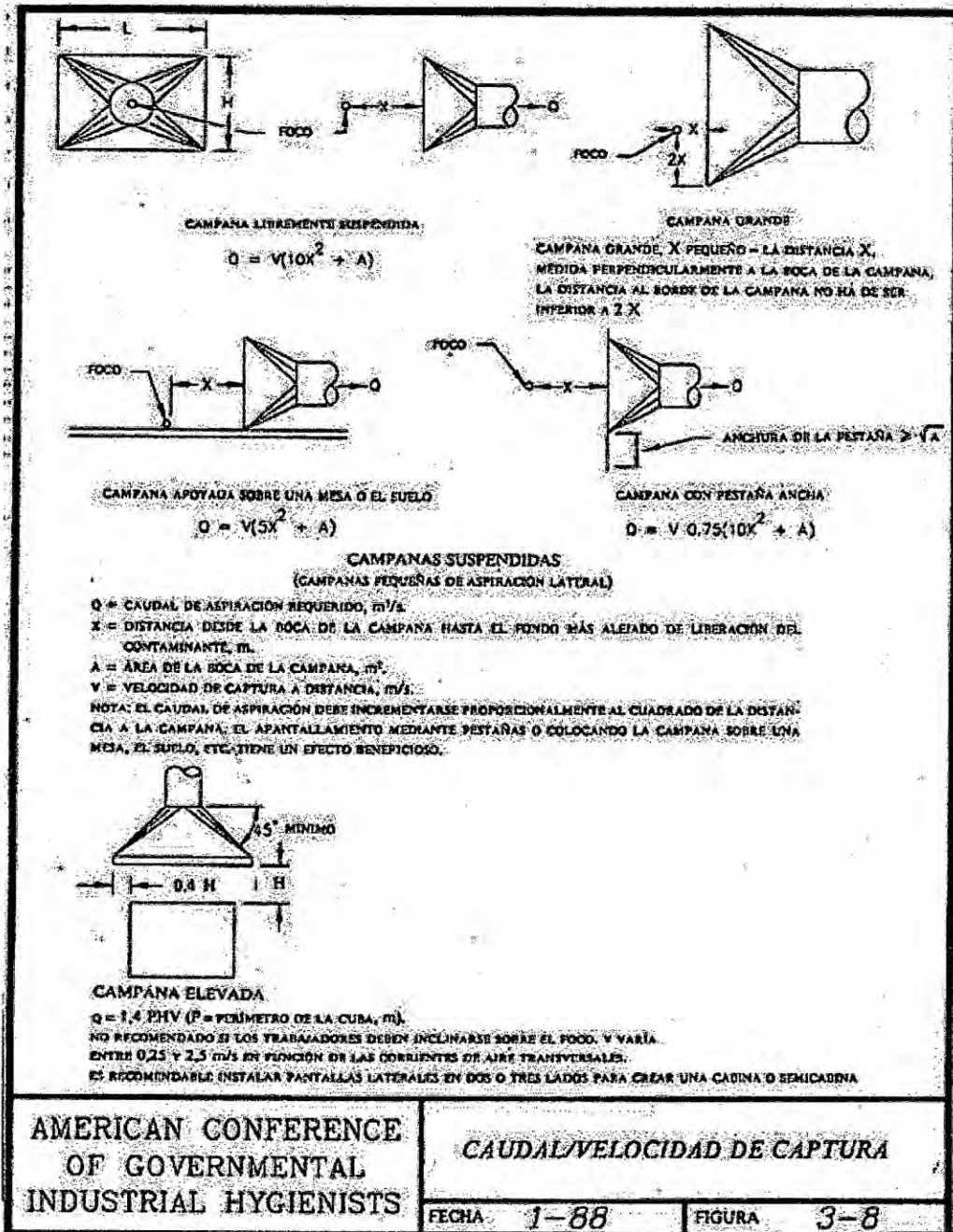
ANEXO C: CAMPANAS EXTRACTORAS

ANEXO C.1: CAMPANA DE EXTRACCIÓN TIPO VITRINA



Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

ANEXO C.2: CAMPANA DE EXTRACCIÓN SUSPENDIDAS (CANOPY)



AMERICAN CONFERENCE
 OF GOVERNMENTAL
 INDUSTRIAL HYGIENISTS

CAUDAL/VELOCIDAD DE CAPTURA

FECHA 1-88

FIGURA 3-8

Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

**ANEXO D: TABLA DE VELOCIDADES DE CAPTURA
RECOMENDADAS**

Condiciones de generación del contaminante	Ejemplos	Velocidad de captura (m/s)
Liberado prácticamente sin velocidad en aire tranquilo.	Evaporación desde depósitos, desengrase, etc.	0.25 - 0.5
Liberado a baja velocidad en aire con movimiento moderado.	Cabinas de pintura, llenado intermitente de recipientes, transferencia entre cintas transportadoras a baja velocidad, soldadura, recubrimientos superficiales, pasivado	0.5 - 1
Liberado con velocidad en aire con movimiento.	Cabinas de pintura poco profundas, llenado de barriles, carga de cintas transportadoras, machacadoras.	1 - 2.5
Liberado con alta velocidad inicial en una zona de movimiento muy rápido de aire.	Desbarbado, chorreado abrasivo con arena, desmoldeo en fundiciones.	2.5 - 10
En cada una de las categorías anteriores, se muestra un rango de velocidad de captura. La elección adecuada de los valores depende de varios factores:		
Límite inferior de rango	Límite superior de rango	
1. Las corrientes de aire de habitación mínima o favorable para capturar.	1. Las corrientes de aire de habitación inquietantes.	
2. Los contaminantes de baja toxicidad o de valor molestia solamente.	2. Los contaminantes de alta toxicidad.	
3. Intermitente, baja producción.	3. Alta producción, el uso pesado.	
4. Masa de aire grande-capilla grande en movimiento.	4. Control pequeña capilla local.	

Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

**ANEXO E: RANGOS DE VELOCIDAD MÍNIMA DE DISEÑO PARA
DUCTOS**

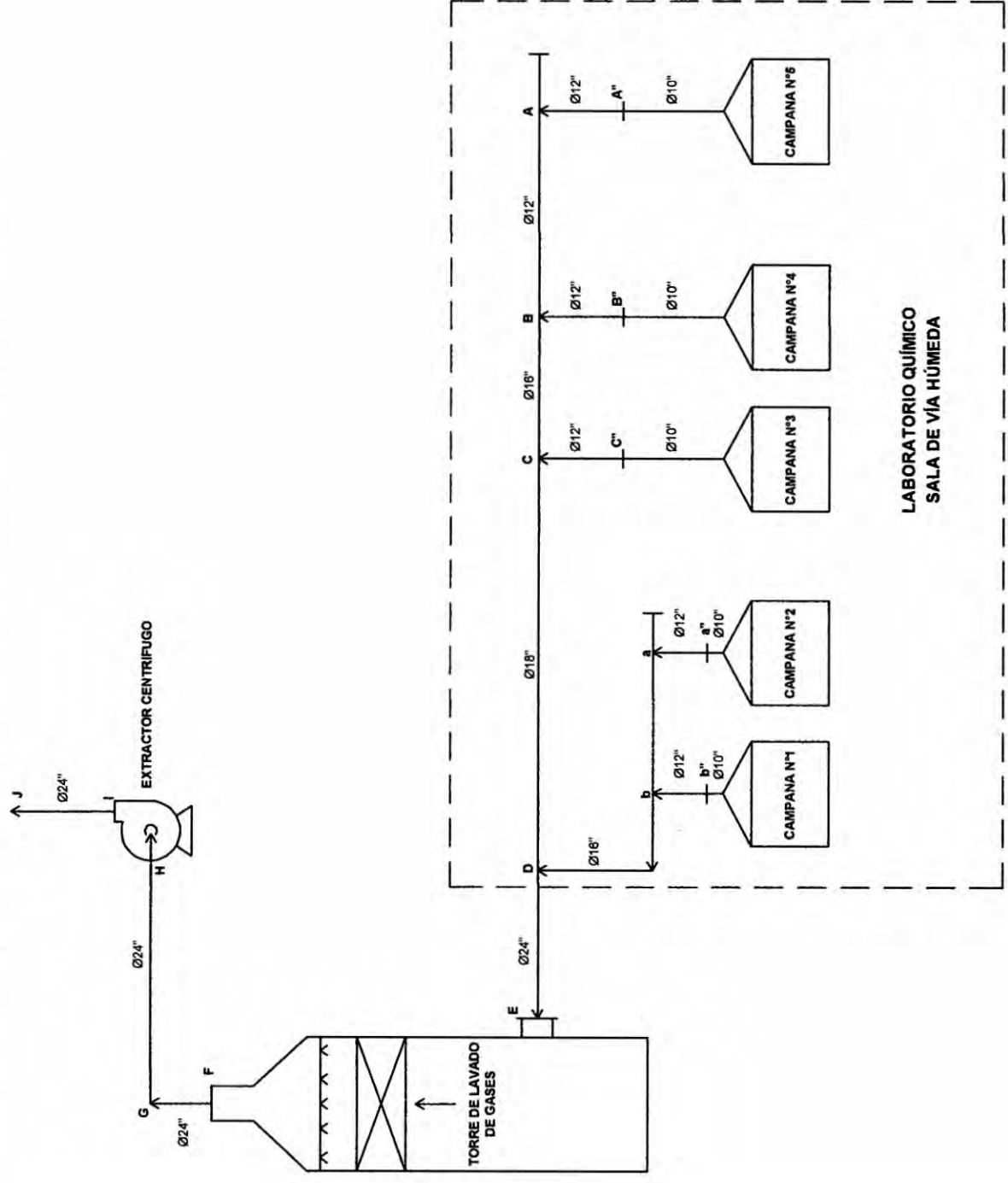
Naturaleza del contaminante	Ejemplos	Velocidad de diseño (m/s)
Vapores , gases y humos	Todos los vapores , gases y humos	Indiferente (la velocidad óptima económicamente suele encontrarse entre 5 - 10m/s)
Humos de soldadura	Soldadura	10 – 12.5
Polvo muy fino y ligero	Hilos de algodón, harina de madera, polvo de talco.	12.5 – 15
Polvos secos	Polvo fino de caucho, baquelita en polvo para moldeo, hilos de yute, polvo de algodón, virutas (ligeras), polvo de detergente, raspaduras de cuero.	15 – 20
Polvo ordinario	Polvo de desbarbado, hilos de muela de pulir (secos), polvo de lana de yute (residuos de sacudidor), polvo de granos de café, polvo de cuero, polvo de granito, harina de sílice, manejo de materiales pulverulentos en general, corte de ladrillos, polvo de arcilla, fundiciones (en general), polvo de caliza, polvo en el embalado y pesado de amianto en industrias textiles.	17.5 – 20
Polvos pesados	Polvo de aserrado (pesado y húmedo), viruta metálica, polvo de desmoldeo en fundiciones, polvo en el chorreado con arena, pedazos de madera, polvo de barrer, virutas de latón, polvo en el taladrado	20 – 22.5
Polvo pesado húmedo	Polvo de plomo con pequeños pedazos, polvo de cemento húmedo, polvo del corte de tubos de amianto-cemento, hilos de muela de pulir	Mayor a 22.5

Fuente: "Industrial Ventilation, A Manual of Recommended Practice" - ACGIH

ANEXO F: DISTRIBUCIÓN DE DUCTOS

ANEXO F.1

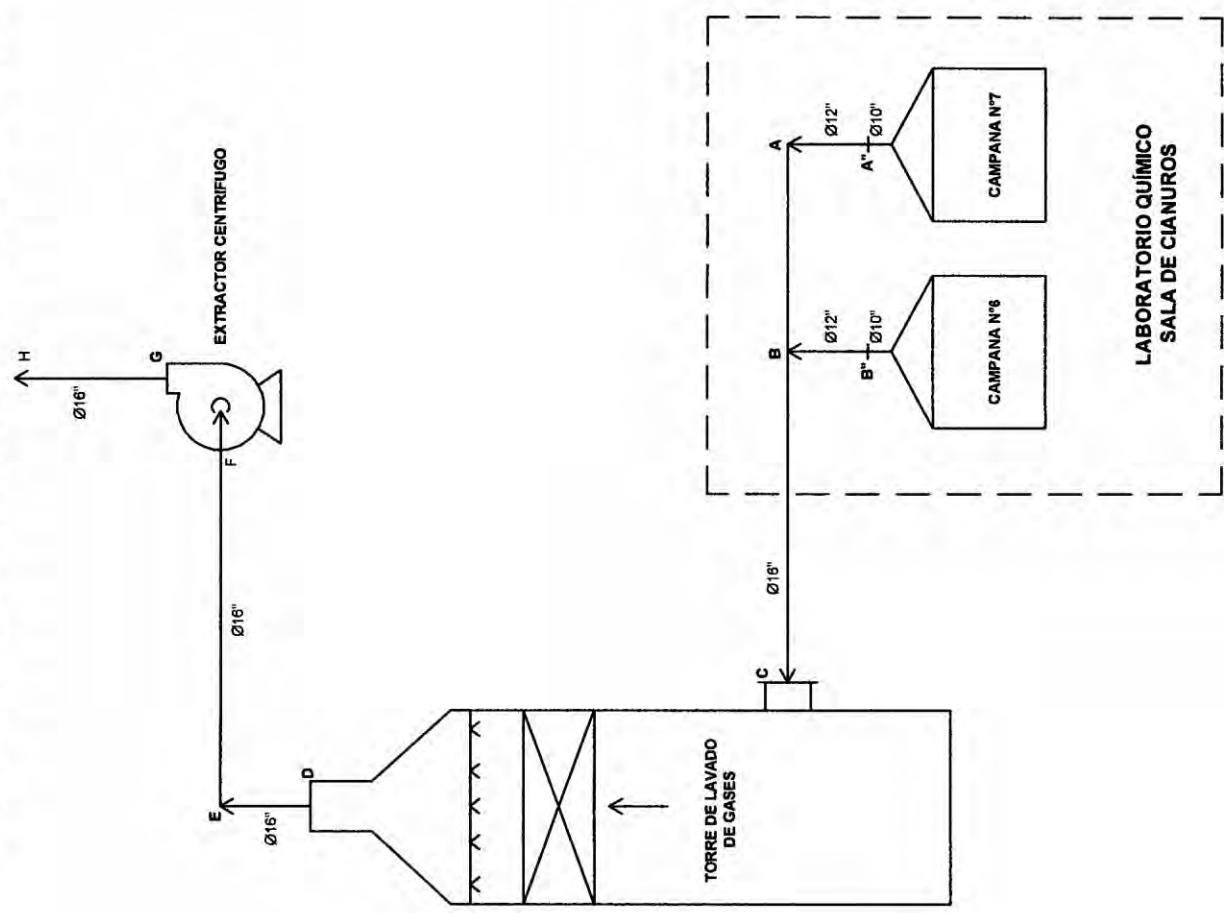
SISTEMA DE EXTRACCIÓN - SALA DE VÍA HÚMEDA



LABORATORIO QUÍMICO
SALA DE VÍA HÚMEDA

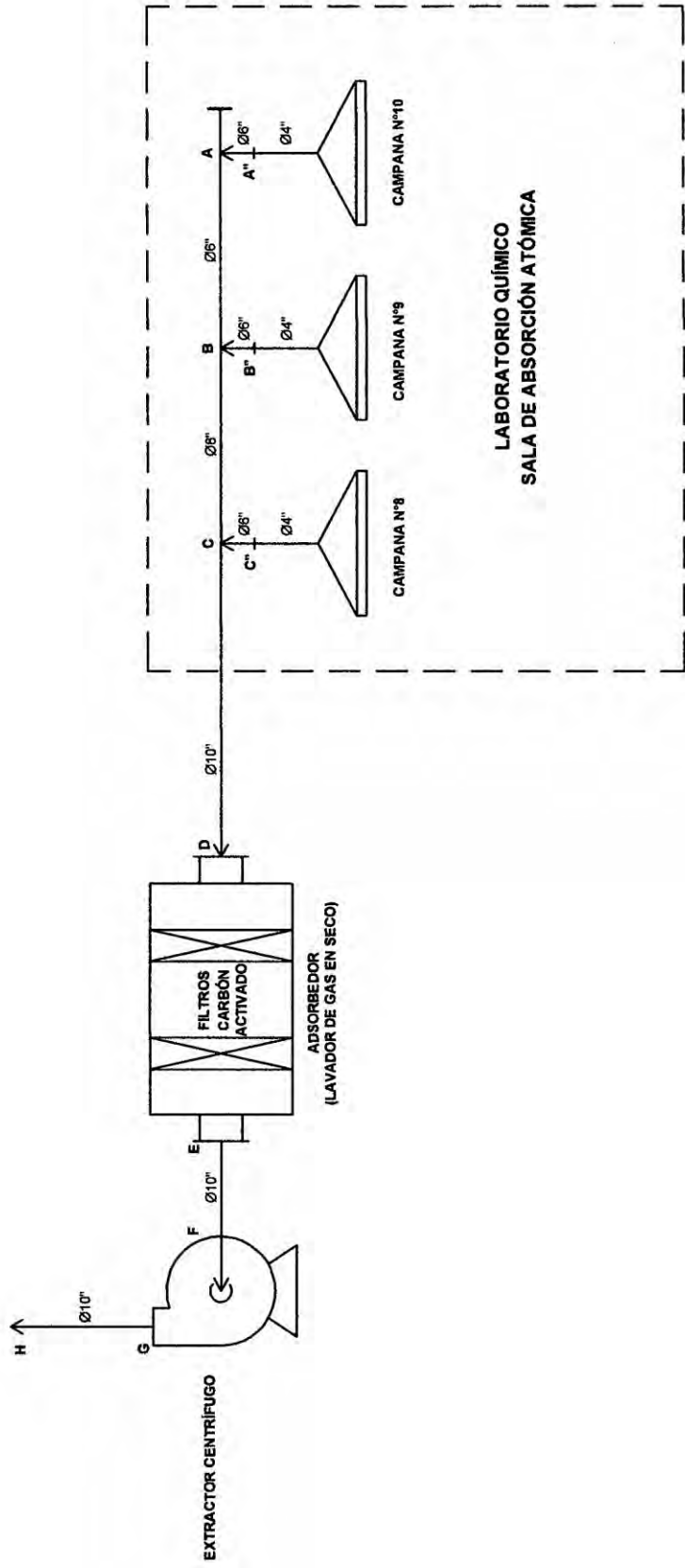
ANEXO F.2

SISTEMA DE EXTRACCIÓN - SALA DE CIANUROS



ANEXO F.3

SISTEMA DE EXTRACCIÓN - SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA



ANEXO G: HOJA DE CÁLCULO DE DUCTOS POR EL MÉTODO DE LA PRESIÓN DINÁMICA

ANEXO G.1: CÁLCULO DE DUCTOS – SALA DE CIANUROS

		A-A	A-B	006-B*	B*-B	B-C	C-D	D-E	E-F	G-H
1	Identificación del tramo del conducto									
2	Caudal	m3/s	0.73	0.73	0.75	0.75	1.48	1.48	1.48	1.48
3	Velocidad mínima de diseño	m/s	10	10	10	10	10	10	10	10
4	Díametro nominal	mm	12	12	10	12	16	16	16	16
5	Díametro interior del ducto	mm	302.6	302.6	240.2	302.6	384.2	384.2	384.2	384.2
6	Sección del ducto	m2	0.072	0.072	0.045	0.072	0.116	0.116	0.116	0.116
7	Velocidad real del ducto	m/s	10.2	10.2	16.5	10.4	12.7	12.7	12.7	12.7
8	Presión dinámica	mmcda	4.7	4.7	12.3	4.9	7.4	7.4	7.4	7.4
9	Área de la campana	m2								
10	Velocidad de la campana	m/s			10.0					
11	Presión dinámica en campana	mmcda			4.54					
12	Factor de pérdida en campana				0.5					
13	Factor de aceleración (if Vd>Vs: 0)	0 o 1			0					
14	Pérdidas totales (en PD)	mmcda			0.5					
15	Pérdida estática total	mmcda			2.27					
16	Factor de pérdida en entrada				0.50					
17	Factor de aceleración (if Vd>Vs: 1)	1 o 0			1					
18	Pérdida en entrada (PD)	mmcda			1.50					
19	Otras pérdidas	mmcda			18.4					
20	Presión estática en campana (SPh)	mmcda	0.0	0.0	20.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	Longitud de conducto recto	m	1.29	1.41	1.44	1.29	10.28	1.00	1.43	2.53
22	Reynolds		1.7E+05	1.7E+05	2.2E+05	1.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05	2.7E+05
23	Factor de fricción		0.0072	0.0072	0.0075	0.0072	0.0070	0.0070	0.0070	0.0070
24	Pérdidas por fricción en PD		0.024	0.024	0.031	0.024	0.018	0.018	0.018	0.018
25	Numero de Codos de 90°		0.031	0.034	0.045	0.031	0.187	0.018	0.026	0.046
26	Pérdida en codos en PD		1	0	0	1	0	3	0	0
27	Numero de uniones		0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
28	Pérdida en uniones en PD		1	0	0	1	0	0	0	0
29	Factor de pérdida de accesorios especiales		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
30	Pérdidas en el tramo en PD		0.551	0.554	0.965	0.551	0.707	0.538	0.546	0.666
31	Pérdidas en el tramo	mmcda	2.6	2.6	11.9	2.7	5.2	4.0	4.0	4.2
32	Pérdida de presión estática en tramo	mmcda	2.6	2.6	32.6	2.7	5.2	119.0	4.0	4.0
33	Presión estática acumulada	mmcda	34.0	36.6	35.3	41.9	160.8	164.7	168.7	172.9
34	Presión estática controlante	mmcda		36.581		35.264				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO G.2: CÁLCULO DE DUCTOS – SALA DE VÍA HÚMEDA

1	Identificación del tramo del conducto	005-A"	A"-A	A-B	004-B"	B"-B	B-C	003-C"	C"-C	C-D	001-A"	a"-a	a-b	002-b"	b"-b	b-D	D-E	E-F	F-G	G-H	I-J
2	Caudal	m3/s	0.73	0.73	0.73	0.76	1.48	0.80	0.80	2.30	0.77	0.77	0.77	0.80	0.80	1.57	3.87		3.87	3.87	3.87
3	Velocidad mínima de diseño	m/s	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10		10	10	10
4	Diámetro nominal	Pulg	10	12	12	10	16	10	12	18	10	12	12	10	12	16	24		24	24	24
5	Diámetro interior del ducto	mm	240	303	303	240	384	240	303	432	240	303	303	240	303	364	605		605	605	605
6	Sección del ducto	m2	0.045	0.072	0.072	0.045	0.116	0.045	0.072	0.147	0.045	0.072	0.072	0.045	0.072	0.116	0.268		0.268	0.268	0.268
7	Velocidad real del ducto	m/s	16.1	10.2	10.2	16.8	10.6	17.8	11.2	15.6	17.0	10.7	10.7	17.8	11.2	13.6	13.4		13.4	13.4	13.4
8	Presión dinámica	mmcda	11.8	4.7	4.7	12.8	5.1	14.3	5.7	11.1	13.0	5.2	5.2	14.3	5.7	8.3	8.2		8.2	8.2	8.2
9	Área de la campana	m2																			
10	Velocidad de la campana	m/s	10.0					10.0			10.0			10.0							
11	Presión dinámica en campana	mmcda	4.54					4.54			4.54			4.54							
12	Factor de pérdida en campana	0 o 1	0					0			0			0							
13	Factor de aceleración (if Vd>Vs; 0)		0					0			0			0							
14	Pérdidas totales (en PD)		0.5					0.5			0.5			0.5							
15	Pérdida estática total	mmcda	2.27					2.27			2.27			2.27							
16	Pérdida por pérdida en entrada		0.50					0.50			0.50			0.50							
17	Factor de aceleración (if Vd>Vs; 1)	1 o 0	1					1			1			1							
18	Pérdida en entrada (PD)	mmcda	1.50					1.50			1.50			1.50							
19	Pérdida en entrada en ducto	mmcda	17.7					21.5			19.5			21.5							
20	Otras pérdidas	mmcda																			
21	Presión estática en campana (SPH)	mmcda	20.0	0.0	0.0	21.4	0.0	23.7	0.0	0.0	21.8	0.0	0.0	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	Longitud de conducto recto	m	1.435	1.288	1.876	1.435	1.427	1.435	1.288	0.838	1.435	1.288	1.435	1.435	1.288	0	0	0	0	0	0
23	Reynolds		2.2E+05	1.7E+05	1.7E+05	2.2E+05	2.8E+05	2.4E+05	1.9E+05	3.8E+05	2.3E+05	1.8E+05	1.8E+05	2.4E+05	1.9E+05	2.9E+05	4.5E+05	4.5E+05	4.5E+05	4.5E+05	4.5E+05
24	Factor de fricción		0.0075	0.0072	0.0072	0.0075	0.0070	0.0075	0.0072	0.0069	0.0075	0.0072	0.0072	0.0075	0.0072	0.0070	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066	0.0066
25	Factor de fricción (Hf)		0.031	0.024	0.024	0.031	0.018	0.031	0.024	0.016	0.031	0.024	0.024	0.031	0.024	0.018	0.011	0.011	0.011	0.011	0.011
26	Pérdidas por fricción en PD		0.045	0.031	0.045	0.031	0.028	0.045	0.031	0.013	0.045	0.031	0.034	0.045	0.031	0.000	0.018	0.029	0.015	0.000	0.000
27	Número de Codos de 90°		0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	3	0	0	0
28	Pérdida en codos en PD		0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
29	Número de uniones		0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
30	Pérdida en uniones en PD		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
31	Factor de pérdida de accesorios especiales		0.4					0.4			0.4			0.4							
32	Pérdidas en el tramo en PD	mmcda	0.965	0.551	0.565	0.965	0.546	0.965	0.551	0.533	0.965	0.551	0.554	0.965	0.551	0.520	0.538	0.549	0.935	0.520	0.520
33	Pérdidas en el tramo	mmcda	11.4	2.6	2.7	12.3	2.8	13.8	3.1	5.9	12.6	2.8	2.9	13.8	3.1	4.3	4.4	4.5	7.7	4.3	4.3
34	Pérdida de presión estática en tramo	mmcda	31.4	2.6	2.7	33.8	2.8	37.5	3.1	5.9	34.4	2.8	2.9	37.5	3.1	4.3	4.4	119.0	4.5	7.7	4.3
35	Presión estática acumulada	mmcda	31.40	33.98	36.63	33.77	36.57	37.52	40.64	46.65	37.23	37.23	40.10	40.10	40.64	44.98	48.39	169.36	172.86	180.51	184.78
36	Presión estática controlante	mmcda			36.63		40.74		40.64	46.65			40.10		40.64	44.98	48.39				

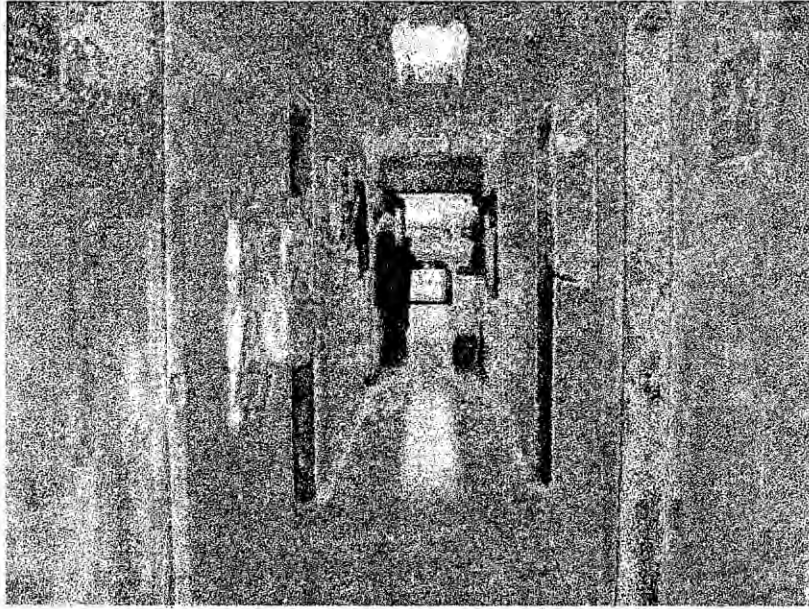
Fuente: Elaboración propia

ANEXO G.3: CÁLCULO DE DUCTOS – SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Identificación del tramo del conducto	010-A"	A"-A	A-B	009-B"	B"-B	B-C	008-C"	C"-C	C-D	D-E	E-F	G-H
Caudal	m ³ /s	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.25	0.25	0.74		0.74	0.74
Velocidad mínima de diseño	m/s	10	10	10	10	10	10	10	10		10	10
Diámetro nominal	Pulg											
Diámetro interior del ducto	mm	102	154	102	154	192	102	154	240		240	240
Sección del ducto	m ²	0.008	0.019	0.008	0.019	0.029	0.008	0.019	0.045		0.045	0.045
Velocidad real del ducto	m/s	29.5	12.9	29.9	13.1	16.6	31.3	13.7	16.2		16.2	16.2
Presión dinámica	mmca	39.5	7.6	40.6	7.8	12.5	44.3	8.5	11.9		11.9	11.9
Área de la campana	m ²											
Velocidad de la campana	m/s	10.0		10.0			10.0					
Presión dinámica en campana	mmca	4.54		4.54			4.54					
Factor de pérdida en campana		0.5		0.5			0.5					
Factor de aceleración (if Vd>Vs; 0)	0 o 1	0		0			0					
Pérdidas totales (en PD)		0.5		0.5			0.5					
Pérdida estática total	mmca	2.27		2.27			2.27					
Factor de pérdida en entrada		0.25		0.25			0.25					
Factor de aceleración (if Vd>Vs; 1)	1 o 0	1		1			1					
Pérdida en entrada (PD)		1.25		1.25			1.25					
Pérdida en entrada en ducto	mmca	49.3		50.8			55.4					
Otras pérdidas	mmca											
Presión estática en campana (SPH)	mmca	51.6	0.0	53.1	0.0	0.0	57.7	0.0	0.0		0.0	0.0
Longitud de conducto recto	m	1.435	1.288	1.876	1.288	1.427	1.435	1.288	0.838		1.288	1.435
Reynolds		1.7E+05	1.1E+05	1.7E+05	1.1E+05	1.8E+05	1.8E+05	1.2E+05	2.2E+05		2.2E+05	2.2E+05
Factor de fricción		0.0086	0.0080	0.0086	0.0080	0.0078	0.0086	0.0080	0.0075		0.0075	0.0075
Factor de fricción (Hf)		0.084	0.052	0.084	0.052	0.040	0.084	0.052	0.031		0.031	0.031
Pérdidas por fricción en PD		0.121	0.067	0.098	0.121	0.058	0.121	0.067	0.026		0.040	0.045
Numero de Codos de 90°		0	1	0	1	0	0	1	1		0	0
Pérdida en codos en PD		0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24		0.24	0.24
Numero de uniones		0	1	0	1	0	0	1	0		0	0
Pérdida en uniones en PD		0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28		0.28	0.28
Factor de pérdida de accesorios especiales		0.4		0.4			0.4		0.4		0.4	0
Pérdidas en el tramo en PD		1.041	0.597	1.041	0.587	0.578	1.041	0.587	0.946		0.960	0.565
Pérdidas en el tramo	mmca	41.1	4.4	4.7	42.3	4.6	46.2	5.0	11.3		11.5	6.7
Pérdida de presión estática en tramo	mmca	92.7	4.4	4.7	95.4	4.6	7.2	103.8	5.0		11.3	6.7
Presión estática acumulada	mmca	97.09	101.76	95.39	99.96	108.98	103.83	108.81	120.28		102.81	109.65
Presión estática controlante	mmca		101.76		108.98				120.28			

Fuente: Elaboración propia

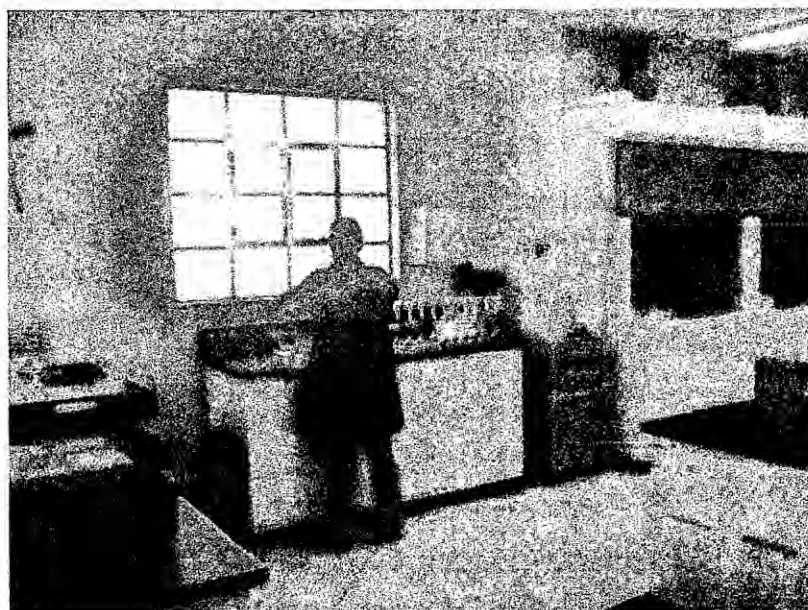
ANEXO H: REGISTRO FOTOGRÁFICO



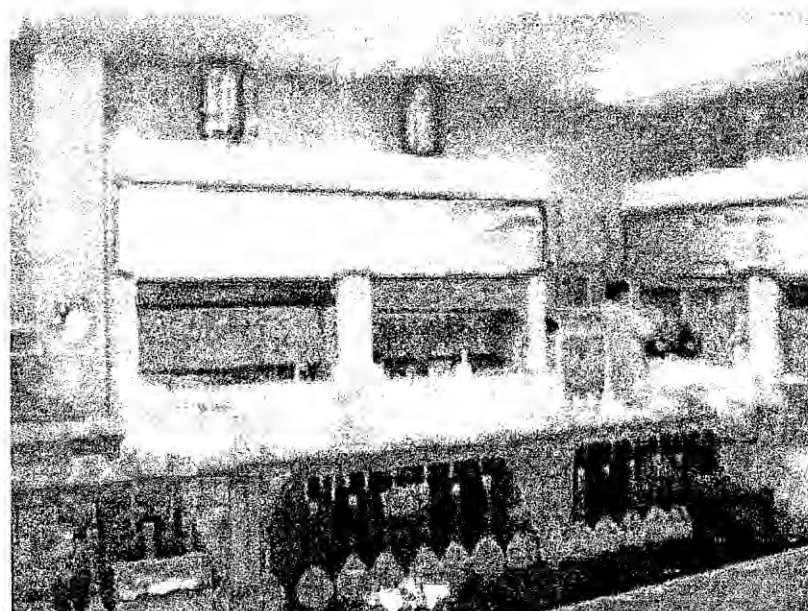
PASILLO DE INGRESO AL LABORATORIO



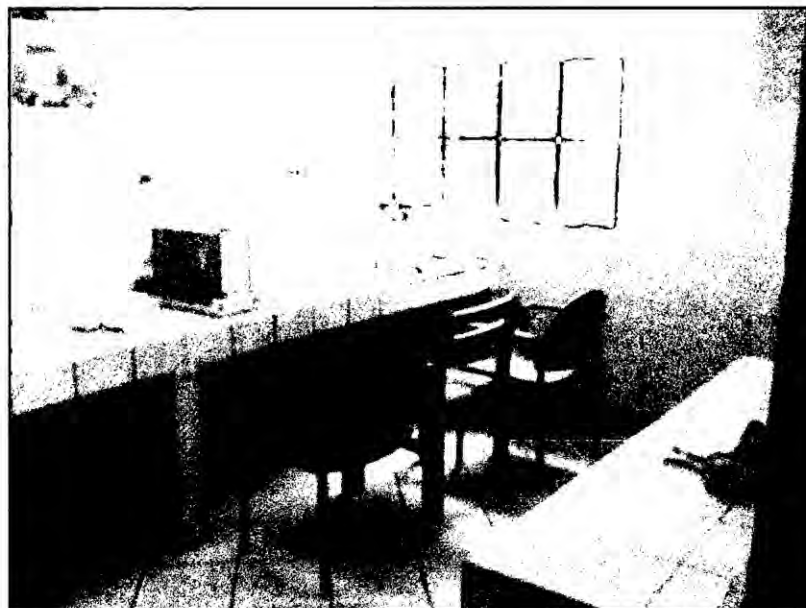
SALA DE VÍA HÚMEDA



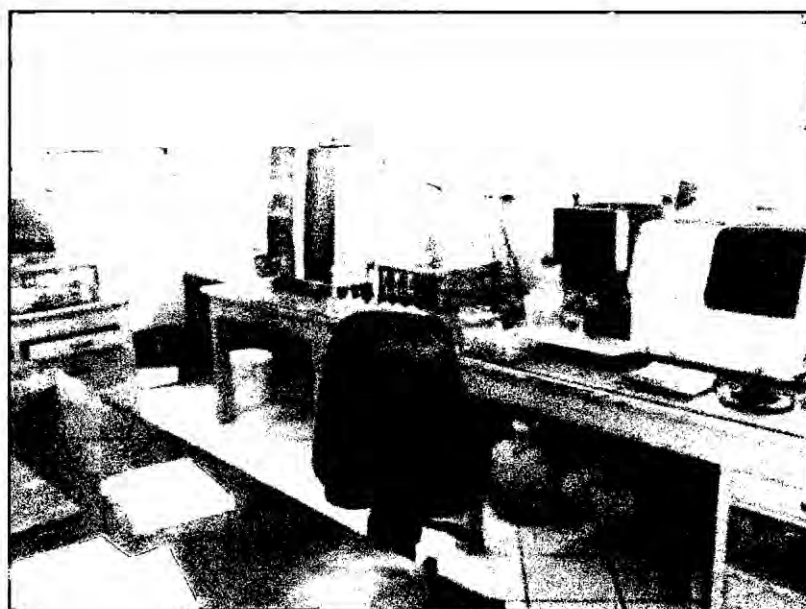
SALA DE VÍA HÚMEDA



SALA DE VÍA HÚMEDA



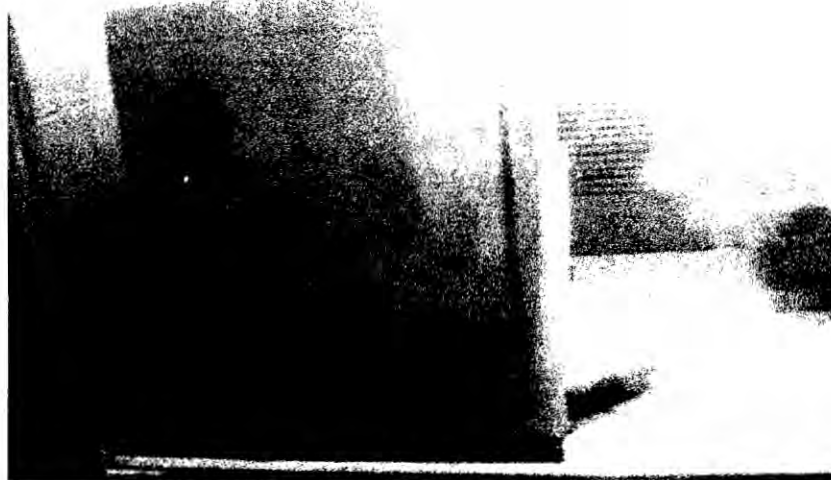
SALA DE BALANCE



SALA DE ABSORCIÓN ATÓMICA



SALA DE CIANURO



ANÁLISIS DE MICROONDA

ANEXO I: PRESUPUESTO

ITEM		DESCRIPCIÓN			Unid.	Cant	P.U.US\$	P.P.US\$
I. AREA VIA HUMEDA								
1.1	SCRUBBER O TORRE LAVADORA	TORRE DE EMPACADA- SISTEMA DE NEUTRALIZACION -SCRUBBER Dimensiones de torre : 0 32" x 136" Dimensiones del tanque neutralización : 55"x34"x35" Construido en integramente en PVC Manhole para mantenimiento con placas de resina translucidas Difusores interiores. Spiraljet -Spray Nozzles Tipo HHSJ procedencia americana Bomba Vertical , Marca SERFILCO (USA) potencia 1.5 Hp , especial para soluciones aciduladas y álcalis fuertes. Procedencia americana(USA) Anillos de relleno Tellerette (en polipropileno) Normado (USA) - Válvulas reguladoras de flujo. (El tablero fuerza del sistema eléctrico será proporcionado por Minera Southern).Esta serán instaladas cercanas a los equipos indicados			Unid	1	23 400.00	23 400.00
1.2	BOMBA VERTICAL	Marca Serfilco (Stand By) potencia 1.5 Hp , especial para soluciones aciduladas y álcalis fuertes. Procedencia americana (USA)			Unid	1	3 500.00	3 500.00
1.3	EXTRACTOR CENTRIFUGO- SISTEMA SCRUBBER	Rodete : Inclinado hacia atrás, Transmisión : Fajas y poleas Motor : 30.0 HP, Energía : 220V/380V/440V/Trifásico/60 Hz ALTA EFICIENCIA Características: Carcaza en plancha de acero de 4.5 mm de espesor Rodete en acero inoxidable AISI 304 balanceado estática y dinámicamente. Eje de transmisión en acero SAE 1045 Chumaceras de pie con rodamientos de bolas. Protegido con base anticorrosiva y acabado epoxico.			Unid	1	16 590.00	16 590.00
1.4	HEADER , TUBERIAS, DUCTOS ,ACOPLES ACCESORIOS	Fabricación de Manifold o Header complementario del sistema Scrubber en PVC, codos, ductos de transición, ductos de acoples, válvulas damper de regulación de flujo en material de PVC			Set	1	9 200.00	9 200.00
1.5	CONTROLADOR DE PH LECTURA DIGITAL	Controlador de PH, marca: IWAKIWALCHEM - USA Modelo: WPH 320 54N Especificaciones Técnicas: Rango de PH : 0 a 14 Precisión : ± 0.01 PH Rango de temperatura : 0 a 135 °C, para compensación automática y resolución de ± 0.05°C Suministro Eléctrico : 110-120V, 50/ 60HZ Display : Digital con luz de fondo Programación : Mediante Botonera de tacto. Cubierta : Según NEMA 4X Señales de entrada : Señal PH/ORP, ± 1500 mv Señal de temperatura PT 100 Señales de salida : 02 salidas proporcionales 02 salidas ON/OFF, 230VAC, 6A, 1/8 HP. 01 salida para alarma 01 salida de 4-20mA, proporcional al valor de pH, 01 salida para energización de preamplificador de pH, Calibración de PH : Reconocimiento automático de buffery manual con 01 punto o 2 puntos de calibración y aviso de período de calibración			Unid	1	2 210.00	2 210.00
1.6	ELECTRODO - SENSOR				Unid	1	1 290.00	1 290.00

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cant	P.U.US\$	P.P.US\$
	<p>ELECTRODO: Rango de PH : 0 a 14 ■ Rango de Temperatura: 10 a 70°C Presión de trabajo : Hasta 100PSI Materiales: Cuerpo de Electrodo en CPVC, electrodo de referencia en HDPE, electrodo de vidrio y O-rings de Viton. Sensor de Temperatura: PT100. CUBIERTA Y PREAMPLIFICADOR: Potencia : + 5vdc, suministrado por el controlador. Conexión: 1" NPT Materiales: Cubierta de CPVC, electrodo de referencia en Titanio y O-Ring de Viton</p>				
1.7	<p>SISTEMA CONTROL -MANOMETRO DIFERENCIAL</p> <p>SISTEMA CONTROL -MANOMETRO DIFERENCIAL RANGO 0 - 10' C.W. Marca DWYER- USA. Serie 2000. Magnehelic Pressure: tipo analógico. Exactitud : +/- 2% Medidas : 0 4, 3/4" x 2.3/16". Conexiones : 1/8" rosca hembra NPT Detalle : Resistencia vibraciones y golpes.</p>	Unid	1	550.00	550.00
1.8	<p>SISTEMA DE DOSIFICACION DE SODA AUTOMATICO</p> <p>Tanque auxiliar en PVC de 500 lt, Válvulas de control .Ductos flexibles .Sistema de agitación con eje y alabes de acero inoxidable AISI 316 L accionado con motor y transmisión faja y polea. Tablero de control con temporizador.</p>	Unid	1	5 300.00	5 300.00
1.9	<p>BOMBA DOSIFICADORA DE DIAFRAGMA</p> <p>Bomba dosificadora electrónica de diafragma con señal de entrada de 0/4-20mA, marca: IWAKI/WALCHEM de USA, Modelo: EH E55-E2-V Caudal máximo - 20 GPH (75.7 LPH) Rango de caudal 0 - 75.7 LPH Presión máxima 30 PSI Cabezal dosificador PVC Diafragma Teflonado Bolas check Cerámica Sellos EPDM Conexiones de succ. y desc. Con adaptadores para manguera de día.. Regulación de caudal: se obtiene un rango del 0 al 100% de caudal máximo, variando frecuencia de impulsos de 0 a 360 golpes por minuto mediante pulsador digital, señal externa de pulsos eléctricos o señal de 0/4 - 20 mA y carrera de diafragma de 0 a 100% mediante perilla. Accionamiento : Mediante bobina electromagnética, 48 watts, 220V, 60HZ. Display : Digital para lectura de pulsos / min y de modos de operación de la bomba. Programación: Mediante botonera de tacto</p>	Unid	1	3 650.00	3 650.00
II	SISTEMA DE EXTRACCION - AREA CIANUROS				
2.1	<p>SCRUBBER O TORRE LAVADORA</p> <p>TORRE DE EMPACADA- SISTEMA DE NEUTRALIZACION SCRUBBER Dimensiones de torre : 0 32" x 136" Dimensiones del tanque neutralización : 55"x34"x35" - Construido en integramente en PVC - Manhole para mantenimiento con placas de resina translúcidas - Difusores interiores. Spiral-jet -Spray Nozzles Tipo HHSJ procedencia americana(USA) Bomba Vertical, Marca SERFILCO (USA) potencia 1.5 Hp. especial para soluciones aciduladas y álcalis fuertes. Procedencia americana(USA) - Anillos de relleno Tellerette (en polipropileno) Normado (USA) - Válvulas reguladoras de flujo. (El tablero fuerza del sistema eléctrico será proporcionado por Minera Southern). Esta serán instaladas cercanas a los equipos indicados</p>	Unid	1	23 400.00	23 400.00
2.2	<p>BOMBA VERTICAL</p> <p>Marca Serfilco (Stand By) potencia 1.5 Hp . especial para soluciones aciduladas y álcalis fuertes. Procedencia americana(USA)</p>	un	cant	P.U.US\$	P.P.US\$
		Unid	1	3 500.00	3 500.00
2.3	<p>EXTRACTOR CENTRIFUGO- SISTEMA SCRUBBER</p>	Unid	1	10 050.00	10 050.00

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cant	P.U.U\$	P.P.US\$
	<p>EXTRACTOR CENTRIFUGO DEL SCRUBBER Caudal : 7,000 CFM Presión : 6.0" CW Rodete : Inclinado hacia atrás, Transmisión : Fajas y poleas Motor : 15.0 HP, Energía : 220V/380V/440V/Trifásico/60 Hz ALTA EFICIENCIA</p> <p>Características: Carcaza en plancha de acero de 4.5 mm espesor Rodete en acero inoxidable AISI 304 balanceado estática y dinámicamente. Eje de transmisión en acero SAE 1045 Chumaceras de pie con rodamientos de bolas. Protegido con base anticorrosiva y acabado epoxico.</p>				
2.4	<p>HEADER, TUBERIAS, DUCTOS ,ACOPLES ACCESORIOS</p> <p>Fabricación de Manifold o Header complementario del sistema Scrubber en PVC, codos, ductos de transición, ductos de acoples, válvulas damper de regulación de flujo en material de PVC</p>	tub	1	7 800.00	7 800.00
2.5	<p>CONTROLADOR DE PH LECTURA DIGITAL</p> <p>Controlador de PH, marca: IWAKI WALCHEM - USA Modelo: WPH 320 54N Especificaciones Técnicas: Rango de PH : 0 a 14 Precisión : ± 0.01 PH Rango de temperatura : 0 a 135 °C, para compensación automática y resolución de ± 0.05°C Suministro Eléctrico : 110-120V, 50/60HZ Display : Digital con luz de fondo Programación : Mediante Botonera de tacto. Cubierta : Según NEMA 4X Señales de entrada : 1. Señal PH/ORP, ± 1500 mv 2. Señal de temperatura PT 100 Señales de salida : 1. 02 salidas proporcionales 2. 02 salidas ON/OFF. 230VAC, 6A, 1/8 HP. 3. 01 salida para alarma 4. 01 salida de 4-20mA, proporcional al valor de PH. 5. 01 salida para energización de preamplificador de pH. Calibración de PH : Reconocimiento automático de buffery manual con 01 punto o 2 puntos de calibración y aviso de periodo de calibración</p>	Unid	1	2 210.00	2 210.00
2.6	<p>ELECTRODO - SENSOR</p> <p>ELECTRODO: Rango de PH : 0 a 14 Rango de Temperatura: 10 a 70°C Presión de trabajo : Hasta 100PSI Materiales: Cuerpo de Electrodo en CPVC, electrodo de referencia en HDPE, electrodo de vidrio y O-rings de Viton. Sensor de Temperatura: PT100, CUBIERTA Y PREAMPLIFICADOR: Potencia : + 5vdc, suministrado por el controlador. Conexión : 1" NPT Materiales: Cubierta de CPVC, electrodo de referencia en Titanio y O-Ring de Viton</p>	Unid	1	1 290.00	1 290.00
2.7	<p>SISTEMA CONTROL -MANÓMETRO DIFERENCIAL</p> <p>SISTEMA CONTROL -MANOMETRO DIFERENCIAL RANGO 0 - 10" C.W. Marca DWYER-USA. Serie 2000. Magnehelic Pressure: tipo analógico. Exactitud : +/- 2% Medidas : 0 4, 3/4" x 2.3/16". Conexiones : 1/8" rosca hembra NPT Detalle : Resistencia vibraciones y golpes.</p>	Unid	1	550.00	550.00
2.8	<p>SISTEMA DE DOSIFICACION DE SODA AUTOMATICO</p> <p>Tanque auxiliar en PVC de 300 lt, válvulas de control .Ductos flexibles .Sistema de agitación con eje y alabes de acero inoxidable AISI 316 L accionado con motor y transmisión faja y polea. Tablero de control con temporizador.</p>	Unid	1	5 300.00	5 300.00
2.9	<p>BOMBA DOSIFICADORA DE DIAFRAGMA</p> <p>Bomba dosificadora electrónica de diafragma con señal de entrada de 0/4-20mA, marca: IWAKI WALCHEM de USA, Modelo: EH E55-E2-V Caudal máximo - 20 GPH (75.7 LPH) Rango de caudal 0 - 75.7 LPH Presión máxima 30 PSI Cabezal dosificador PVC Diafragma Teflonado Bolas check Cerámica Sellos EPDM Conexiones de succ. y desc. Con adaptadores para manguera de día.. Regulación de caudal: se obtiene un rango del 0 al 100% de caudal máximo, variando frecuencia de impulsos de 0 a 360 golpes por minuto mediante pulsador digital, señal externa de pulsos eléctricos o señal de 0/4 - 20 mA y carrera de diafragma de 0 a 100% mediante perilla. Accionamiento : Mediante bobina</p>	Unid	1	3 650.00	3 650.00

ITEM	DESCRIPCIÓN	Unid.	Cant	P.U.US\$	P.P.US\$
	electromagnética, 48 watts, 220V, 60HZ. Display : Digital para lectura de pulsos / min y de modos de operación de la bomba. Programación: Mediante botonera de tacto				
III	ÁREA ABSORCIÓN ATÓMICA				
3.1	<p>DRY SCRUBBER - HORIZONTAL FILTROS DE CARBON ACTIVADO</p> <p>Sistema Dry Scrubber en seco , desarrollado con kit de filtros de carbon activado de 2"x 24"x24 " de procedencia americana. El sistema Dry scrubber horizontal es fabricado integralmente de PVC equipado por un sistema de manometro diferencial de presion Magnehelic Instrumento de medicion para el intercambio de filtros del sistema</p>	Unid	1	8 200.00	8 200.00
3.2	<p>EXTRACTOR CENTRIFUGO</p> <p>Transmisión : fajas y poleas Motor : 1.5 Hp ALTA EFICIENCIA Energia : 220 V -380V-460V trifásico -60 Hz.</p>	Unid	1	4 410.00	4 410.00
3.3	<p>HEADER , TUBERIAS, DUCTOS ,ACOPLES ACCESORIOS</p> <p>Fabricación de Manifold o Header complementario del sistema para cada campana Scrubber en PVC, codos, ductos de transición, ductos de acoples ,válvulas damper de regulacion de flujo en material de PVC</p>	Unid	1	3 700.00	3 700.00
IV	MONTAJE E INSTALACION DE EQUIPOS				
4.1	<p>Ejecución de Montaje de los Sistemas de Extracción- Scrubbers</p> <p>Comprende el montaje e instalación de los equipos de extracción y ventilación del sistema .Comprende el montaje de los equipo críticos Scrubbers (Area de Analisis quimico , Area de Absorción Atómica, Areas complementarias) y sus componentes del manifold principal o header , derivaciones de tuberías, ductos, válvula damper, acoplamientos y accesorios. Arranque y Puesta en Operación del sistema Global Tiempo estimado de 4 semanas (28 dias calendarios), Supervisión permanente de un tecnico especialista que participa en la construcción de los sistemas. Supervisión de calidad con 2 visitas (2 dias x visita) de Ingeniero Arranque, pruebas y balanceo de los sistemas a cargo de Ingeniero especialista involucra el entrenamiento del personal que desarrollara las operaciones en el laboratorio y entrega de manuales de operación y mantenimiento.</p>	Gbl	1	12 000.00	12 000.00
	COSTO TOTAL EQUIPAMIENTO Y SUPERVISION			US \$	151 750.00

ANEXO J: PLANOS