



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**INSTALACION DE VENTILACION DE LABORATORIOS
CON EXTRACCION DE GASES**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico, que presenta el bachiller:

Allan Walter Flores Morales

ASESOR: Enrique Jose Barrantes Peña

Lima, julio del 2009

RESUMEN

INTALACION DE VENTILACION DE LABORATORIOS CON EXTRACCION DE GASES

La industria minera actual hace uso de diversos procesos químicos y mecánicos para la extracción y refinamiento del mineral explotado, por lo que es fundamental la investigación de este tipo de procesos en un laboratorio.

La gran mayoría de estos procesos originan desechos, tales como gases, humos, y vapores, etc., los cuales pueden ser peligrosos si son manejados de manera irresponsable, por lo que se hace necesario su tratamiento.

La Especialidad de Ingeniería de Minas se encuentra implementando dos nuevos laboratorios para uso tanto académico como de servicio; estos nuevos ambientes son: el Laboratorio de Hidrometalurgia y el Laboratorio de Pirometalurgia.

Estos nuevos laboratorios harán uso de diversos procedimientos metalúrgicos por lo que será necesario implementar un sistema de extracción de sustancias y desechos peligrosos, de tal manera que no se ponga en riesgo la salud de los operarios encargados de hacer los ensayos. Además será necesario tratar estas sustancias luego de ser extraídas de tal manera que puedan ser eliminadas al ambiente con el mínimo de contaminantes.

Para este propósito fue necesario investigar acerca de los procesos desarrollados en los laboratorios, los contaminantes emitidos, las posibles soluciones de diseño y los costos del equipo e instalación a utilizar para los fines antes mencionados.

Basándose en estas premisas se procedió a diseñar un sistema de extracción compuesto de ductos y accesorios de extracción, así como de 12 campanas de diversos tamaños (dependiendo de la fuente de contaminación), dos ventiladores de $1.37\text{m}^3/\text{s}$ con $439,7\text{Pa}$ y $1.16\text{m}^3/\text{s}$ con 416.87Pa y dos lavadores de gases tipo torre empacada de $\varnothing 1.6$ y $\varnothing 1.7$ de 5 metros de altura con empaque super italoX de 1" de plástico, con los cuales se lograría garantizar una eficiencia de 95% de absorción para la concentración de SO_2 presente en los gases extraídos.

El Costo de la instalación asciende a \$42,199 dolares americanos mas IGV, el cual incluye el diseño, los materiales y equipos, la instalación del sistema y la obra civil adicional propia del montaje



Agradecimientos

A mi familia y amigos.

INDICE

Nomenclatura	
Introducción	
Capítulo 1: Características y Requerimientos del proyecto	1
1.1 Descripción general	1
1.2 Laboratorio de Metalurgia: procesos y equipamiento	4
1.3 Laboratorio de análisis químico, biometalurgia, hidrometalurgia y electrometalurgia	7
1.3.1 Descripción	7
1.3.2 Ensayos y procedimientos	8
1.3.3 Equipos de laboratorio	18
1.3.4 Distribución arquitectónica	21
1.4 Laboratorio de Pirometalurgia	23
1.4.1 Descripción	23
1.4.2 Ensayos y procedimientos	24
1.4.3 Equipos de laboratorio	26
1.4.4 Distribución arquitectónica	28
1.5 Fuentes y emisiones generadas	30
Referencias del capítulo 1	37
Capítulo 2: Diseño del sistema	39
2.1 Generalidades	39
2.1.1 Fuentes de contaminación	40
2.1.2 Determinación de la velocidad de captura	40
2.1.3 Determinación de la velocidad de transporte	42
2.2 Secciones de extracción	43
2.3 Cálculos del sistema	68
2.3.1 Pérdidas primarias en ductos	68
2.3.2 Pérdidas secundarias en accesorios	72
2.3.3 Método de diseño del sistema	74
2.3.4 Memoria de Calculo	77
Referencias del capítulo 2	86
Capítulo 3: Presupuesto del Proyecto	88
3.1. Componentes y equipos considerados	88
3.2. Evaluación del proyecto	90
Conclusiones	92
Plano	
Bibliografía	
Anexos	

NOMENCLATURA

a = Ancho de salida del horno	m
A_f = Área de entrada	$m^2 (ft^2)$
Ar = Numero de Arquimedes	$Ar = \frac{g * d_e * (T - T_i)}{V^2 * T_i}$
b = Ancho de la campana	ft
ρ_x = Densidad del liquido	lb/ft^3
ρ_y = Densidad del gas	lb/ft^3
d_e = Diámetro hidraulico	m
D = Diámetro de tubería	$m (ft)$
ε = Rugosidad de la tubería	m
f = Coeficiente de fricción	
F_h = Coeficiente de pérdida de campana	
F_p = Factor de relleno	ft
g = Gravedad	$m / s^2 (32.174 \text{ pies-lb/lb}_f\text{-s}^2)$
G_x = Velocidad masica del liquido	$lb/ft^2\text{-s}$
G_y = Velocidad masica del gas	$lb/ft^2\text{-s}$
h_l = Caída de presión tuberías	$m.c.a$
h_{le} = Caída de presión long. equivalente	$m.c.a$
h_k = Caída de presión accesorios	$m.c.a$
h_e = Factor de pérdida de campana	
K = Coeficiente de caída de presión en accesorios	
L = Longitud de tubería	m
L_e = Longitud equivalente de tubería	m

l = Longitud de salida del horno		m
L_h = Largo de campana		ft
R_e = Numero de Reynolds		
r_o = Radio de la boquilla		m (ft)
S_o = Longitud de tramo inicial		m (ft)
SP= Presión estática o Static Pressure		Pa ($"wg$)
S = Distancia al polo		m (ft)
Δt = Diferencia de temperatura fuente y ambiente		$^{\circ}F$
T = Temperatura de la fuente		$^{\circ}C$
T_i = Temperatura ambiental		$^{\circ}C$
TP= Presión Total o Total Pressure		Pa ($"wg$)
X = Distancia a la boca de la campana		ft
\dot{V} = Caudal		m^3 / s (cfm)
V = Velocidad		m / s (fpm)
V_f = Velocidad de cara		m / s (fpm)
μ_x = Viscosidad del liquido		cP
VP= Presión dinámica o Velocity Pressure		Pa ($"wg$)
\dot{V}_t = Caudal total a extraer		cfm
x = Trayectoria en eje x	$d_e = \frac{2*(l*a)}{(l+a)}$	m
y = Trayectoria en eje y		m

INTRODUCCION

La industria minera moderna utiliza en la actualidad procesos muy complejos, los cuales implican el manejo de un gran número de procedimientos, sustancias y productos químicos peligrosos, tanto para el operario como para el medio ambiente, por lo que el monitoreo y tratamiento de los desechos producidos por estos es de gran importancia.

El presente trabajo consiste en el diseño e implementación de un sistema de extracción para tres laboratorios de la Especialidad de Ingeniería de Minas (Hidrometalurgia, Biomateriales y Pirometalurgia), los cuales realizan ensayos utilizando distintos tipos de procesos que involucran la emanación de sustancias químicas en forma de humos, gases y vapores, los cuales deberán ser extraídos y tratados posteriormente de tal manera que se garantice el cumplimiento de las normas de salud e higiene ocupacional (D.S. N°258-75-SA^I y R.M.510-2005/MINSA^{II}), las normas de control de contaminación medio ambientales y de calidad de aire (Ley 28611^{III} y D.S. N°015-2005-SA^{IV})

Por ultimo es importante resaltar que los laboratorio de la Sección Minas al igual que muchos de los laboratorios de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), se encuentran reuniendo un conjunto de requisitos que les permita realizar ensayos y calibraciones acreditadas (NTP-ISO/IEC-17025^V), por lo que les es necesario añadir e implementar este tipo de sistemas a sus instalaciones para cumplir con los requisitos de acreditación.

^I D.S. N°258-75-SA Valores Limites Permisibles Para Agentes Químicos en el Ambiente De Trabajo

^{II} R.M. 510-2005/MINSA Manual de Salud Ocupacional

^{III} Ley 28611 Ley General del Ambiente

^{IV} D.S. N°015-2005-SA Reglamento sobre Valores Limite Permisibles en Ambientes de Trabajo

^V NTP-ISO/IEC 17025 Requisitos Generales Para La Competencia de Laboratorios de Ensayo y Calibración

CAPITULO 1

CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACION

1.1 Descripción General

La Sección Ingeniería de Minas fue creada en 1970 siendo Rector el Rev. Padre Felipe Mac Gregor S.J. y Decano de la Facultad de Ciencias e Ingeniería el Ing. Fernando Giuffra Fontanés, quienes contaron con el invaluable apoyo del Ing. Alberto Benavides de la Quintana (Fundador de la Compañía Minera Buenaventura) y numerosas empresas mineras interesadas en desarrollar profesionales en la Ingeniería de Minas. La construcción del pabellón que alberga a la Sección se concluyó en Septiembre de 1974 siendo inaugurado junto con los laboratorios que la integran gracias a la donación del equipamiento por parte del gobierno Británico.

La especialidad contó en sus inicios con el apoyo de la Misión Minera Británica a cargo del Profesor John Philpott quienes dictaron los primeros cursos. Desde sus inicios, a través de la infraestructura de sus laboratorios y con el apoyo de su plana docente altamente calificada, la Sección Ingeniería de Minas ha venido desarrollando diversas actividades en el campo de formación de la Ingeniería de Minas mediante trabajos de investigación aplicados a las necesidades de la industria nacional y en la prestación de servicios al sector minero, metalúrgico y de construcción civil, colocando a esta especialidad a la vanguardia de la ingeniería minera en nuestro país (1)cuyo edificio de muestra en la figura 1.1



Figura 1.1 Sección Ingeniería de Minas

Es justamente esta iniciativa y dedicación de la Sección Ing. Minas la que la ha conducido a seguir organizando convenios con distintos países europeos. Tal es el caso del Proyecto Metalurgia (1998 – 2007), el cual es un Convenio de Cooperación entre la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y el Consejo Interuniversitario de la Comunidad Francófona de Bélgica dirigido a apoyar el área de Ingeniería Metalúrgica mediante la formación de profesionales peruanos en universidades francófonas belgas, la organización de cursos internacionales de especialización y la implementación de laboratorios de metalurgia (2)

Siendo este último punto el que incluyó la construcción y el equipamiento casi total de los laboratorios de Hidrometalurgia y Electrometalurgia en el año 1999, de Pirometalurgia en el año 2004, de Biomateriales en el año 2005 y de Análisis Químico en el año 2006 (3), quedando pendiente la implementación justamente de los sistemas de extracción de gases y polvos para todos los laboratorios mencionados. La figura 1.2. muestra la secuencia de las obras civiles realizadas en los laboratorios



Figura 1.2 Construcción de laboratorios de Hidrometalurgia y Pirometalurgia

La Sección Ingeniería de Minas consta de tres líneas de desarrollo con sus respectivos laboratorios, luego de la ampliación realizada en el área de metalurgia la sección quedó organizada tal como se muestra en la Tabla 1.1. Siendo la distribución arquitectónica la mostrada en el Plano 1

Tabla 1.1 Áreas de la Sección Ingeniería de Minas

• Área de Geología
▪ Laboratorio de Mineralogía y Petrográfica
• Área de Minas
▪ Laboratorio de Ingeniería Minera
▪ Laboratorio de Mecánica de Rocas
▪ Laboratorio de Informática Minera
• Área de Metalurgia
▪ Laboratorio de Análisis Químico de Minerales
▪ Laboratorio de Biometalurgia
▪ Laboratorio de Hidrometalurgia
▪ Laboratorio de Electrometalurgia
▪ Laboratorio de Pirometalurgia
▪ Laboratorio de Mineralurgia

El presente trabajo de tesis analizará cinco (05) de los laboratorios del Área de Metalurgia: Laboratorio de Análisis Químico de Minerales, Laboratorio de Biometalurgia, Laboratorio de Hidrometalurgia, Laboratorio de Electrometalurgia y el Laboratorio de Pirometalurgia. Si se observa la Figura 1.3 se notara que los laboratorios de Hidrometalurgia, Electrometalurgia, Biometalurgia y Análisis Químico ocupan el mismo recinto. Por lo que se puede simplificar el análisis a solo dos espacios confinados en lugar de cinco siendo la distribución de los espacios la mostrada en la Tabla 1.2.ⁱ

Tabla 1.2 Laboratorios metalurgia: ambientes nuevos

Laboratorio de Biometalurgia, Análisis Químico de Minerales, Hidrometalurgia y Electrometalurgia
Laboratorio de Pirometalurgia

ⁱ El laboratorio de Mineralurgia fue implementado con un sistema de extracción localizada en la época de su construcción en 1974.

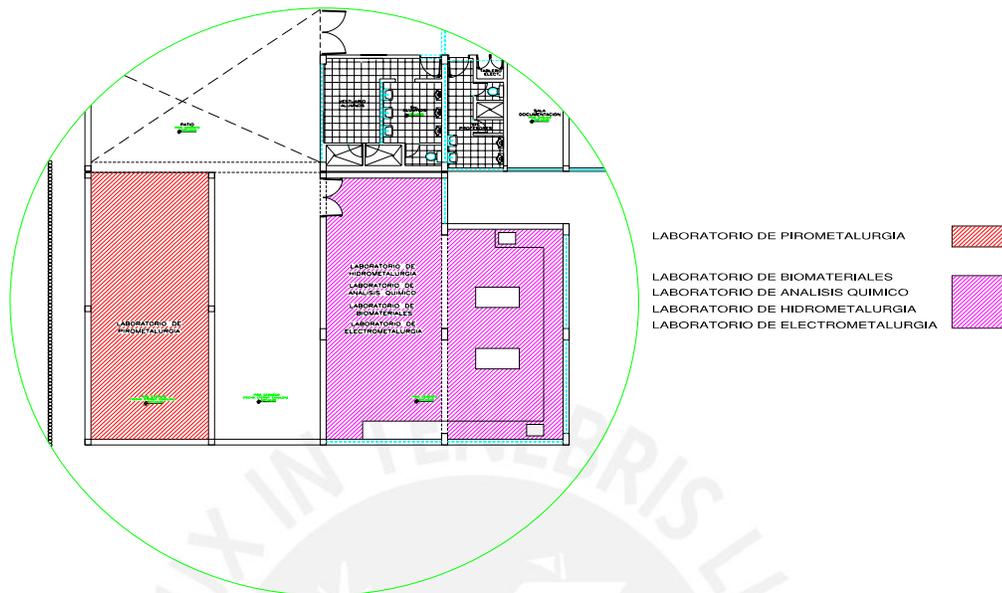


Figura 1.3 Laboratorios de Metalurgia

1.2 Laboratorios de Metalurgia – Procesos y Equipamiento

Los laboratorios del área de metalurgia cuentan con personal docente y técnico calificado encargado de proporcionar formación con calidad académica a los alumnos de la especialidad de Ing. de Minas y además, dada la capacidad instalada de los laboratorios, mostrada en la Tabla 1.3, es posible brindar servicios técnicos especializados a la Industria. Entre los servicios y ensayos realizados por los laboratorios de metalurgia se puede mencionar los mostrados en la Tabla 1.4. Muchos de estos procesos y ensayos producen desechos en tres estados (sólidos, líquidos y gaseosos)(4). Entre los sólidos se puede tener: sulfuros de arsénico (As_xS_x), restos de plomo (Pb), sulfuros de hierro (Fe_xS_x) y sílice (Si). Los efluentes líquidos pueden contener restos de metales tóxicos y cierta concentración de ácidos tales como: ácido sulfúrico (H_2SO_4) o ácido clorhídrico (HCl). Entre las emisiones gaseosas se puede mencionar: dióxido de azufre (SO_2), dióxido de carbono (CO_2) y dióxido de nitrógeno (NO_2), los mismos que pueden llegar a ser corrosivos e irritantes. El análisis realizado por el presente trabajo de tesis se ocupará del control y tratamiento adecuado de los desechos gaseosos, vapores y humos provenientes de los procesos efectuados dentro de los laboratorios de metalurgia indicados.

Tabla 1.3 Equipos de los laboratorios del Área de Metalurgia

#	Laboratorio	Equipos e Instrumentos
1	Laboratorio de Análisis Químico, Biometalurgia, Electrometalurgia e Hidrometalurgia	<ul style="list-style-type: none"> • Bomba Calorimétrica PARR 1241EF • Espectrofotómetros de absorción atómica <ul style="list-style-type: none"> ○ Perkin Elmer 403 ○ Varian AA240 • Microscopio de luz Axiostar Plus • Incubadora de 80°C. Banstead/Lab. Line Max 4000 • Destilador GFL 2004 • Balanzas <ul style="list-style-type: none"> ○ Sartorius CP225D ○ Mettler Toledo AB204-S • Galvanostato-Potenciostato VoltaLab PG201 • Medidores de PH <ul style="list-style-type: none"> ○ Mettler Toledo CG 842 ○ Schoot MP125 • Oxímetros <ul style="list-style-type: none"> ○ Mettler Toledo InPro6800 ○ Schoot OX1 • Conductímetros Mettler Toledo 126 Thornton 770MAX • Bombas Peristálticas Sercal -1 • Bomba de Vacío GFL - 200 • Estufas de Secado Heraeus UT6 • Estufas de esterilización de cultivos UT6 • Agitador Orbital GFL 3017 • Equipo desionizador de agua Sercal • Equipo para generación de agua destilada Sercal • Planchas de calentamiento y de agitación electromagnética <ul style="list-style-type: none"> ○ Thermolyne Nuova II ○ Gallenkamp HP77STR (2 Unidades) ○ Sercal • Agitadores eléctricos digitales Schoot SLR • Erlenmeyer Schoot • Fiolas Schoot • Probetas Schoot • Vasos de Precipitados Schoot
2	Laboratorio de Pirometalurgia	<ul style="list-style-type: none"> • Horno Rotatorio Carbolite HTR 11/75 • Horno Tubular Carbolite GHA 12 /300 • Mufas de diversos tamaños <ul style="list-style-type: none"> ○ Gallenkamp FR – 614 4115 SP (2 Unidades) ○ Gallenkamp Brit Pat 882942 ○ Carbolite LMF3 (3 Unidades) ○ Carbolite CWF 13/23 • Plancha de calentamiento Gallenkamp HP77STR

Tabla 1.4 Ensayos de los laboratorios del Área de Metalurgia

#	Laboratorio	Ensayos e Investigaciones
1	Laboratorio de Análisis Químico, Biometalurgia, Electrometalurgia e Hidrometalurgia	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de combustibles sólidos: <ul style="list-style-type: none"> ○ Determinación de análisis inmediato ○ Determinación de poder calorífico. • Análisis Químico Cuantitativo por espectrofotometría de absorción atómica. • Monitoreo de conductividad, pH y oxido disuelto. • Lixiviación <ul style="list-style-type: none"> ○ Agitación en sulfuros ○ Percolación en columnas con acido sulfúrico ○ Cianuración agitada • Recuperación por carbón activado • Ensayos de Cristalización y Cementación • Electrometalurgia: electrodeposición y electrorefinación • Análisis de muestras en el área de la bio-metalurgia.
2	Laboratorio de Pirometalurgia	<ul style="list-style-type: none"> • Secado • Tostación • Calcinación

Es importante señalar que la metalurgia extractiva se define como el estudio científico de la producción de metales y sus aleaciones a partir de minerales con propiedades diversas.

Las rocas minerales son generalmente mezclas de estos, pudiendo en muchas ocasiones contener suficiente de alguno, de tal manera que este pueda ser aprovechado; a esta concentración se le suele llamar mena (metal valioso), al mineral restante, cuya extracción no es rentable económicamente, se le suele llamar ganga. Es por ello que el análisis químico es tan importante.

Para poder extraer el metal valioso de la mena se suelen seguir tres etapas:

- Tratamiento preliminar, generalmente los minerales son reducidos de tamaño mediante un proceso mecánico de triturado y molienda, luego son concentrados mediante procesos gravimétricos de flotación, para que finalmente se logre extraer el metal valioso mediante procesos pirometalurgicos o hidrometalurgicos, como los de tostación oxidante o electrodeposición simple respectivamente.
- Reducción: si el metal precioso no se encuentra libre luego del tratamiento preliminar, se deberá continuar con procesos de separación más severos

tales como los de pirometalurgia (tostación reductora y fusión reductora) o hidrometalurgicos (electrodeposición completa o cementación)

- Refinación: Por ultimo, tal como su nombre lo indica, una vez extraído el metal este deberá ser afinado mediante procesos priometalúrgicos o hidrometalúrgicos de afinado de metal. (5)

Tal como se ha podido observar, los procesos que dominan la extracción y afinado del mineral son dos: la pirometalurgia y la hidrometalurgia pasando previamente por un análisis químico.

La pirometalurgia utiliza calor para separar los metales deseados de otros materiales; aprovechando los potenciales de oxidación, puntos de fusión, presiones de vapor, densidad y miscibilidad de los componentes. En cambio las tecnologías hidrometalurgicas son procesos que aprovecharán la diferencia de solubilidad y las propiedades electroquímicas de los componentes en solución acuosa. (6)

1.3 Laboratorio de Análisis Químico, Biometalurgia, Hidrometalurgia y Electrometalurgia

1.3.1 Descripción: Los laboratorios de Análisis Químico, Biometalurgia, Hidrometalurgia y Electrometalurgia ocupan el mismo espacio físico y en algunas ocasiones hacen uso de los mismos equipos y elementos siendo los procesos de análisis químico e hidrometalurgia los predominantes y más utilizados en dicho laboratorio.

- a. El análisis químico de muestras en la minería actual forma parte del primer paso en el proceso de explotación y refinamiento de mineral debido a que es imprescindible el análisis previo de las concentraciones de metales preciosos dentro de las muestras de mineral a explotar.
- b. Hidrometalurgia: La hidrometalurgia desarrollada en la sección ingeniería de minas tiene como objetivo realizar innovaciones y solucionar problemas en el refinamiento y extracción del mineral, haciendo uso de diferentes métodos y medios químicos y electroquímicos de separación del mismo.

- c. Biometalurgia: Esta área se dedica por el momento íntegramente a la investigación, uno de los proyectos concluidos por este laboratorio es el que lleva por título “Comportamiento de bacterias de tipo acidothiobacillus en la adaptación a iones Fe^{+2} y concentrados de ZnS ” elaborado por el Ing. Melina Estada Choque, el cual estudia la influencia de este tipo de bacterias en el refinamiento de mineral.
- d. Electrometalurgia: Se podría considerar como la parte final de los procesos hidrometalurgicos y se encuentra basada en los procesos electroquímicos de oxidación y reducción (intercambio de electrones)

1.3.2 Ensayos y procedimientos:

- a. **Análisis de combustibles sólidosⁱⁱ**: El laboratorio de análisis químico se encuentra en capacidad de analizar por completo las propiedades de cualquier combustible en estado sólido, como carbón o bosta; para ello muchas veces se recurre a los ensayos de análisis inmediato y al de poder caloríficoⁱⁱⁱ. El análisis inmediato consiste en determinar los porcentajes de humedad, cenizas y materia volátil de una sustancia para determinar sus propiedades sin recurrir a análisis químicos más exhaustivos, es un método rápido y fácil. Los equipos utilizados en este análisis son: una balanza marca Sartorius (0 – 100g x 0.1g) y un horno de temperatura regulable (Carbolite o Gallenkamp dependiendo de la disponibilidad). Una sustancia analizada continuamente mediante este método es el carbón; el procedimiento consiste en calentar la muestra hasta 105°C aprox. para deshumidificarla, para luego llevarla nuevamente hasta 950°C aprox. para obtener los *elementos* volátiles^{iv}, por último luego de haber eliminado la humedad y los volátiles de la muestra solo quedan las cenizas; por

ⁱⁱ Los ensayos de análisis inmediato son realizados en el ambiente del laboratorio de pirometalurgia debido a que se encuentra mejor acondicionado.

ⁱⁱⁱ La determinación del poder calorífico es el ensayo principal en el análisis de cualquier combustible sólido, en este ensayo se suele utilizar la bomba calorimétrica marca Parr (Adiabatic Calorimeter), la cual quema la muestra en un recinto enchaquetado “completamente” cerrado y adiabático dando como resultado el calor producido por unidad de masa (Poder Calorífico).

^{iv} Los laboratorios de minas no cuentan con un equipo analizador de volátiles, este análisis llamado elemental determina el contenido de carbono (C), hidrogeno (H), nitrógeno (N) y azufre (S) contenido en estos gases. Los procesos suelen tener una duración de 30 minutos cada uno.

lo que al restar todos estos obtenemos el valor de carbono fijo:
 $CarbonoFijo = 100 - Humedad - Volatiles - Cenizas$.

Los ensayos dentro del laboratorio se suelen hacer con muestras de carbón que no superan los 200 gramos; la USEPA (Unites States Environmental Protection Agency) indica que las emisiones de carbón dependerán de la composición de la muestra (7), debido a que no todas son similares, pudiendo ser las siguientes: Óxidos de Azufre^v (SO_x), Óxidos de nitrógeno (NO_x), Monóxido de Carbono (CO), Compuestos orgánicos diversos^{vi}, Vapores metálicos^{vii}, Ácidos gaseosos^{viii}, Gases de efecto invernadero^{ix} y Material Particulado (PM)^x

La USEPA indica diversos factores de emisión^{xi} para las emisiones provenientes de la quema de carbón y realiza una distinción entre el carbón bituminoso y el carbón antracítico.

Las tablas 1.5 y 1.6 presentan el grupo de emisiones producidas al quemar 200 gramos de una muestra de carbón bituminoso y otra de carbón antracítico.

Durante los sesenta minutos que duran los ensayos, las emisiones producidas predominantes son los Óxidos de azufre (SO_x): 3.9 gramos, los Óxidos de nitrógeno (NO_x): 1.1 gramos, el material particulado (PM): 6.6 gramos, el dióxido de carbono (CO₂): 625 gramos y los compuestos orgánicos que no superan 0.1 gramos. El tamaño de estas emisiones varía en un rango de 0.625 a 15 μm (8).

^v El óxido de azufre predominante en este tipo de proceso es el dióxido de azufre el cual es un gas incoloro no inflamable producido por múltiples procesos industriales y por la naturaleza (emitido por volcanes), es fácilmente distinguido por su típico olor a huevo podrido.

^{vi} Alcoholes, alcanos, bencenos siendo muchos de ellos aromáticos.

^{vii} Manganese berilio, cobalto, cromo

^{viii} Acido clorhídrico (HCl), Acido fluorhídrico (HF)

^{ix} Dióxido de Carbono (CO₂) y Metano (CH₄)

^x PM: Material particulado, en ingles Particulate Matter, la USEPA lista un conjunto de posibles contaminantes: arsenic, antimonio, bismuto, cadmio, plomo, selenio, magnesio, aluminio, cobalto, níquel oro, paladio y estaño. Todos ellos pueden estar presentes en la "nube" de material particulado

^{xi} Los factores de emisión son coeficientes que indican los kilogramos de contaminante producido por cada megagramo de materia procesada.

Tabla 1.5 Productos de la reacción de 200 gramos de carbón bituminoso (9)

SO _x (gr)	NO _x (gr)	CO (gr)	CO ₂ (gr)	PM (gr)	PM10 ^{xii} (gr)	PIC ^{xiii} (gr)	POC ^{xiv} (gr)
3.8	1.1	0.5	625	6.6	1.32	0.08	0.02
Arsénico (mg)		Antimonio (mg)		Berilio (mg)		Cadmio (mg)	
82		0.003		0.004		0.01	
Cromo (mg)		Manganeso (mg)		Magnesio (mg)		Plomo (mg)	
0.05		0.1		2.2		0.08	
Cobalto (mg)		Mercurio (mg)		Níquel (mg)		Selenio (mg)	
0.02		0.02		0.06		0.26	

Tabla 1.6 Productos de la reacción de 200 gramos de carbón antracítico

SO _x (gr)	NO _x (gr)	CO (gr)	CO ₂ (gr)	PM (gr)	TOC ^{xv} (gr)
3.9	0.3	0.06	568	1	0.03
Arsénico(mg)		Berilio(mg)		Cadmio(mg)	
0.04		0.06		0.01	
Manganeso(mg)		Mercurio(mg)		Níquel(mg)	
0.72		0.03		5.2	
				Selenio(mg)	
				0.26	

- b. Análisis de muestra Vía Húmeda:** Este análisis consiste en la identificación de la cantidad de elementos que componen un mineral, para ello muchas veces se hace uso de un espectrofotómetro de absorción atómica, el cual identifica a cada una de las longitudes de onda producidas por los diferentes componentes desintegrados al añadirles energía. Existen varios procedimientos de análisis, en el caso de los laboratorios de la sección de ingeniería de minas se suele utilizar la disgregación acida convencional, la cual consiste en atacar una cantidad conocida de la muestra con cierto volumen de ácido nítrico (HNO₃)^{xvi} y ácido clorhídrico (HCl)^{xvii} para luego ser calentada

^{xii} Material particulado cuyo tamaño no supera las 10µm

^{xiii} Partículas inorgánicas condensables

^{xiv} Partículas orgánicas condensables.

^{xv} Total organic compound (Compuestos orgánicos totales): Son bencenos, naftalenos, acetonas etc.

^{xvi} El ácido nítrico es un líquido corrosivo, tóxico, se suele usar para elaborar explosivos (nitroglicerina y trinitrotolueno), se comercializa en diversas concentraciones, siendo denominado como ácido nítrico fumante cuando sus concentraciones superan el 85%. Los vapores emanados suelen ser de color rojo o blanco.

^{xvii} El ácido clorhídrico, conocido comúnmente como ácido muriático, es corrosivo, no inflamable e irritante (fuerte olor). Los vapores emanados suelen ser de color amarillento.

sobre una plancha calefactora; una vez solubilizada la mezcla, se suele añadir agua destilada y mezclar todo en una fiola que luego será analizada por uno de los espectrofotómetros de absorción atómica, que finalmente dará la composición de la muestra. Es importante tomar en consideración que la solubilización con ácido nítrico (HNO₃), ácido clorhídrico (HCl)^{xviii} causan desechos en forma de vapores tóxicos, corrosivos y contaminantes tales como óxido nítrico (NO)^{xix}, dióxido de nitrógeno (NO₂)^{xx} y diferentes variedades de elementos fumantes^{xxi}. Es importante resaltar que para metales preciosos como la plata, el oro y el platino, es común que la disgregación ácida sea realizada utilizando la mezcla de ácido nítrico (HNO₃) y ácido clorhídrico (HCl) denominada agua regia produciendo los mismos vapores tóxicos mencionados anteriormente. Las reacciones realizadas en las prácticas de laboratorio son hechas con muestras de 10 gramos de mineral pudiendo ser Zinc (Zn), Cobre (Cu), Plata (Ag) u Oro (Au), las cuales no son completamente puras, es decir contienen ciertos elementos desconocidos hasta el final del análisis. Asumiendo que las muestras del laboratorio se encuentran puras las reacciones se pueden presentar de la forma mostrada en las Tablas 1.7, 1.8, 1.9 y 1.10.

Tabla 1.7 Productos y reacción química del zinc con ácido nítrico

Zinc + Acido Nítrico	
Reacción	$Zn + 4HNO_3 \longrightarrow Zn(NO_3)_2 + 2H_2O + 2NO_2$
Productos	
$r_{\frac{NO_2}{Zn}} = \frac{2 * 14 + 2 * 32}{65.37} = \frac{92kgNO_2}{65.37kgZn}$	$\longrightarrow \frac{14grNO_2}{10grZn}$
$r_{\frac{H_2O}{Zn}} = \frac{2 * 2 + 2 * 16}{65.37} = \frac{36kgH_2O}{65.37kgZn}$	$\xrightarrow{\text{produce}} \frac{5.5grH_2O}{10grZn}$

^{xviii} La mezcla de ácido nítrico, ácido clorhídrico y agua forma un reactivo llamado “agua regia” capaz de disolver metales preciosos permitiendo su extracción y refinamiento.

^{xix} El óxido nítrico es una molécula inestable en presencia de oxígeno, uniéndose rápidamente con este y convirtiéndose en dióxido de nitrógeno el mismo que a su vez disuelto en agua puede pasar a ser ácido nítrico HNO₃

^{xx} El dióxido de nitrógeno es un gas tóxico e irritante, es de color marrón amarillento, su exposición a corto plazo puede causar graves daños en el tejido pulmonar si es respirado. Es muy soluble en agua por lo que puede generar ácido nítrico (HNO₃) que al condensarse contribuye al fenómeno llamado “lluvia ácida”

^{xxi} Fumante: Dícese de una sustancia que a temperatura ambiente emite vapores.

Tabla 1.8 Productos y reacción química del cobre con ácido nítrico

Cobre + Acido Nítrico	
Reacción	$Cu + 2HNO_3 \longrightarrow CuNO_3 + H_2O + NO_2$
Productos	
$r_{\frac{NO_2}{Cu}} = \frac{14 + 32}{63.53} = \frac{46kgNO_2}{63.53kgCu} \longrightarrow \frac{7.2grNO_2}{10grCu}$	
$r_{\frac{H_2O}{Cu}} = \frac{2 + 16}{63.53} = \frac{18kgH_2O}{63.53kgCu} \longrightarrow \frac{2.8grH_2O}{10grCu}$	

Tabla 1.9 Productos y reacción química del plata con ácido nítrico

Plata + Acido nítrico	
Reacción	$Ag + 2HNO_3 \longrightarrow AgNO_3 + H_2O + NO_2$
Productos	
$r_{\frac{NO_2}{Ag}} = \frac{14 + 32}{107.87} = \frac{46kgNO_2}{107.87kgAg} \longrightarrow \frac{4.3grNO_2}{10grAg}$	
$r_{\frac{H_2O}{Ag}} = \frac{2 + 16}{107.87} = \frac{18kgH_2O}{107.87kgAg} \longrightarrow \frac{1.6grH_2O}{10grAg}$	

Tabla 1.10 Productos y reacción química del oro con ácido nítrico y ácido clorhídrico

Oro + Acido Nítrico + Acido Clorhídrico	
Reacción	$Au + 3HNO_3 + 4HCl \longrightarrow HAuCl_4 + 3H_2O + 3NO_2$
Productos	
$r_{\frac{NO_2}{Au}} = \frac{3 * 14 + 3 * 32}{196.9} = \frac{138kgNO_2}{196.9kgAu} \longrightarrow \frac{7grNO_2}{10grAu}$	
$r_{\frac{H_2O}{Au}} = \frac{3 * 2 + 3 * 16}{196.9} = \frac{54kgH_2O}{196.9kgAu} \longrightarrow \frac{2.7grH_2O}{10grAu}$	

Considerando que las muestras analizadas son de 10 gramos se puede afirmar que el producto tóxico más frecuente producido es el dióxido de nitrógeno (NO₂) siendo la cantidad máxima de 14 gramos producido al hacer reaccionar Zinc (Zn) con ácido nítrico (HNO₃) en un tiempo aproximado de reacción de

treinta (30) minutos; en ese mismo tiempo se producen 5.5 gramos de vapor de agua (H₂O).

La USEPA indica que las emisiones de los fumantes pueden ser despreciables(10,11,12) en este tipo de proceso siendo el contaminante de mayor predominio el dióxido de nitrógeno (NO₂)^{xxii}.

Una vez solubilizada la mezcla por completo y convertida en una solución acuosa es analizada en alguno de los dos espectrofotómetros disponibles en el laboratorio, añadiéndoseles calor. La USEPA (13,14,15) indica que las emisiones para la quema de este tipo de soluciones son CO₂, SO₂, Plomo^{xxiii}, material particulado junto con volátiles metálicos pudiendo llegar a ser 0.22 gramos, 3 gramos, 1.3 miligramos y 3 gramos respectivamente durante los 15 minutos que dura el proceso.

c. Monitoreo de conductividad, pH y oxígeno disuelto en procesos hidrometalúrgicos: Estos ensayos forman parte complementaria de los procesos hidrometalúrgicos de lixiviación.

- i. Conductividad: Es la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica, la importancia de medir conductividad se encuentra relacionada con el grado de concentración de las soluciones.
- ii. Determinación de pH: El medidor de pH es un equipo utilizado para medir el grado de acidez de las soluciones.
- iii. Oxígeno disuelto: Su medición resulta importante ya que puede retardar o acelerar las reacciones de solubilización.

^{xxii} La USEPA indica que un balance de masa es suficiente para estimar un factor de emisión específico La AP42 (Factores de emisión) enlista solo los mas importantes y significativos a nivel industrial.

^{xxiii} Las muestras utilizadas en el laboratorio suelen contener un 10% de sulfuro de plomo en promedio, dicho elemento suele volatilizarse muy por debajo de su punto de fusión (820°C) emitiendo de esta manera plomo.

d. Proceso Hidrometalúrgico de Lixiviación de productos de la oxidación de sulfuros (lixiviación por agitación): Muchas veces los procesos de extracción involucran procesos tanto pirometalúrgicos como hidrometalúrgicos, en el caso de la lixiviación por agitación, esta es realizada al producto proveniente de la pirometalurgia de oxidación de sulfuros (Tostación), siendo algunos de ellos la blenda (ZnS), la galena (PbS), covellina (CuS), pirita (FeS₂). La lixiviación consiste en la disolución de mineral mediante la añadidura de algún compuesto y posterior agitación. Los ensayos en el laboratorio se realizan con una muestra de 10 gramos de calcina (conglomerado de rocas) con gran porcentaje de covelina (CuS), a la cual se le realiza inicialmente una lixiviación con agua destilada para luego realizar una con ácido sulfúrico (H₂SO₄)^{xxiv} quedando una solución acuosa que luego será filtrada obteniéndose de esta manera cobre (Cu) de baja concentración y emitiendo ácido sulfhídrico (H₂S)^{xxv} y emisiones diversas desconocidas. En la industria se suele realizar el mismo procedimiento de manera macro denominada “lixiviación in situ”, el problema con ello es la gran cantidad de área ocupada. Las emisiones presentes en este procedimiento vienen dadas principalmente por la volatilización del ácido presente en la reacción, en el caso del laboratorio estas son menos significativas que las hechas en campo pero aun así se logra producir alrededor de 3.5 gramos de ácido sulfhídrico (H₂S) por cada 10 gramos de covelina (CuS), siguiendo la reacción mostrada en la tabla 1.11. La USEPA indica que existen un conjunto de emisiones adicionales a las del ácido sulfhídrico, las que son denominadas material particulado (PM^{xxvi}) que junto al dióxido de azufre (SO₂)¹⁶ llegan a sumar 1.5 gramos durante las dos (2) horas^{xxvii} de duración del ensayo^{xxviii}.

^{xxiv} El ácido sulfúrico, llamado antiguamente aceite de vitriolo debido a que se producía en base a ese mineral, es un compuesto altamente corrosivo que posee una reacción violenta cuando se mezcla con agua (exotérmica).

^{xxv} El ácido sulfhídrico es un gas inflamable, incoloro con un olor característico a huevos podridos.

^{xxvi} La USEPA lista un conjunto de posibles contaminantes: arsenic, antimonio, bismuto, cadmio, plomo, selenio, magnesio, aluminio, cobalto, níquel oro, paladio y estaño. Todos ellos pueden estar presentes en la “nube” de material particulado

^{xxvii} Dato promedio proporcionado por el personal del laboratorio

^{xxviii} La USEPA indica que un balance de masa es suficiente para estimar las emisiones en un caso específico. La AP42 - Factores de emisión indica que las emisiones en el primer tratamiento del cobre se encuentran compuestas en su mayoría de dióxido de azufre (SO₂).

Tabla 1.11 Productos y reacción química de la covelina con ácido sulfúrico

Covelina + Acido Sulfúrico	
Reacción	$CuS + H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + H_2S$
Productos	
$\frac{r_{H_2S}}{CuS} = \frac{2 * 1 + 32}{63.53 + 32} = \frac{34kgH_2S}{95.53kgCuS} \longrightarrow \frac{3.5grH_2S}{10grCuS}$	

e. Proceso hidrometalúrgico de lixiviación de minerales de óxidos de cobre (Percolación en columna con ácido sulfúrico):

Este proceso consiste en la solubilización del mineral de cobre mediante el uso de ácido sulfúrico (H₂SO₄) y de unas columnas de percolación^{xxix}. Este proceso es muy utilizado en minerales en los cuales el metal precioso se encuentra muy diseminado^{xxx}.

La muestra de mineral de cobre utilizada en las experiencias de laboratorio es de 1.5kg, su contenido es una mezcla de óxidos de cobre tales como la Cuprita (Cu₂O), Azurita (Cu(OH)₂(CO₃)₂), Malaquita (Cu₃(OH)₂CO₃), Crisocola (CuSiO₃.2H₂O) o Tenorita (CuO), el tiempo de reacción dura aproximadamente unas cuarenta y dos (42) horas y los productos resultantes son: sulfato de cobre (CuSO₄)^{xxxí}, agua (H₂O), Cobre (Cu), Oxido de de silicio (SiO₂)^{xxxii} y Dióxido de Carbono (CO₂), siendo este ultimo el único en estado gaseoso. La producción de monóxido dependerá básicamente de las proporciones de Azurita y Malaquita presentes en la muestra ensayada. La composición mas frecuente de cada una es de 20% en masa, por lo que se puede considerar unos 300 gramos por cada una, siendo la producción de dióxido de carbono (CO₂) de unos 84 gramos en las cuarenta y dos (42) horas que dura el proceso, tal como muestra la tabla 1.12.

En el proceso seguido existen emisiones a las que la USEPA denomina fugitivas, la cuales son material particulado cuyo tamaño es de 10 micras o

^{xxix} Infiltración

^{xxx} Recipientes en donde se deja reposar la solución junto al mineral. Es interesante anotar que los minerales de cobre (Cu) están divididos en dos grandes familias: los sulfuros y los óxidos por lo que la lixiviación con ácido sulfúrico en algunas clases de estos yacimientos pueden llegar a durar algunos días o a veces hasta algunos años.

^{xxxí} El sulfato de cobre es un compuesto con alto contenido de cobre, posee un color azul característico.

^{xxxii} El oxido de silicio o dióxido de silicio es usado para hacer vidrio, cerámicas y cemento, es uno de los componentes principales de la arena.

menor (PM10), las mismas que poseen un factor de emisión de 1.1 kg/Mg de materia procesada (17) dando como resultado 1.5 mg de material particulado por cada kilo y medio de materia procesada.

Tabla 1.12 Productos y reacción química de muestra de óxidos de cobre

Cuprita + Acido Sulfúrico	
$Cu_2O + H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + H_2O + Cu$	
Crisocola + Acido Sulfúrico	
$CuSiO_3 \cdot 2H_2O + H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + 3H_2O + SiO_2$	
Tenorita + Acido Sulfúrico	
$CuO + H_2SO_4 \longrightarrow CuSO_4 + H_2O$	
Azurita + Acido Sulfúrico	
$Cu_3(OH)_2(CO_3)_2 + 3H_2SO_4 \longrightarrow 3CuSO_4 + 4H_2O + 2CO_2$	
Productos	
$r \frac{CO_2}{Cu_3(OH)_2(CO_3)_2}$	$= \frac{12 + 32}{63.53(3) + 16(2) + 2 + 12(2) + 16(6)} = \frac{44kgCO_2}{344.59kgAzurita} \longrightarrow \frac{38grCO_2}{300grAzurita}$
Malaquita + Acido Sulfúrico	
$Cu_3(OH)_2(CO_3) + 2H_2SO_4 \longrightarrow 2CuSO_4 + 3H_2O + CO_2$	
Productos	
$r \frac{CO_2}{Cu_3(OH)_2(CO_3)}$	$= \frac{12 + 32}{63.53(3) + 16(2) + 2 + 12 + 16(3)} = \frac{44kgCO_2}{284.59kgMalaquita} \longrightarrow \frac{46grCO_2}{300grMalaquita}$

f. Proceso Hidrometalurgico de Lixiviación de mineral aurifero (Cianuración Agitada): La cianuración es un proceso electroquímico de disolución de oro y plata, el proceso se realiza agregando cianuro de sodio (NaCN)^{xxxiii} a la muestra previamente tostado; e incluye tres fases, la sólida (el metal precioso como tal), el liquido (agua y sales disueltas en cianuro) y gas (oxígeno). La reacción propiamente dicha no produce desechos gaseosos que deban ser tomados en cuenta, tal como se puede apreciar en la reacción mostrada en la tabla 1.13.; el problema surge con la descomposición de las sales de cianuro de sodio que no

^{xxxiii} El cianuro de sodio es un sólido fácil de hidrolizar con agua pudiendo reaccionar con algunos sulfuros para producir acido cianhídrico (HCN) altamente toxico.

llegan a reaccionar con el oro, las cuales producen cianuro de hidrogeno^{xxxiv}, el mismo que puede ser peligroso si llegara a concentrarse en la zona de trabajo. El laboratorio de minas trabaja con minerales cuya concentración puede llegar a tener hasta diez (10) gramos de oro puro por cada quinientos (500) gramos de mineral de oro, la muestra se distribuye en 28 frascos de plástico^{xxxv} de 100 ml, con 18 gramos de mineral de oro por cada uno y con 95ml de cianuro de sodio, que se agitan durante 24 horas, para luego filtrar la pulpa y así recuperar la “torta” de mineral que realmente contiene el metal precioso. La cantidad de cianuro de sodio que llega a reaccionar con los 10 gramos de oro resultantes es de solo 5 gramos, por lo que el resto reacciona con el agua contenida en el mineral, tal como lo muestra la tabla 1.13. Produciéndose 0.7 gramos de ácido cianhídrico (HCN) por cada 0.5 gramos de agua H₂O contenida en el mineral, durante las veinticuatro (24) horas que dura el proceso^{xxxvi}.

Tabla 1.13 Productos y reacción química de muestra de mineral de oro

Oro + Cianuro de sodio	
$4Au + 8NaCN + O_2 + 2H_2O \longrightarrow 4NaAu(CN)_2 + 4NaOH$	
Cianuro de sodio + Agua	
$NaCN + H_2O \longrightarrow HCN + NaOH$	
Productos	
$\frac{r_{NaCN}}{Au}$	$= \frac{8 * (23 + 12 + 14)}{4 * 197} = \frac{392kgNaCN}{788kgAu} \longrightarrow \frac{5grNaCN}{10grAu}$
$\frac{r_{HCN}}{H_2O}$	$= \frac{2 + 12 + 14}{2 + 16} = \frac{28kgHCN}{18kgH_2O} \longrightarrow \frac{0.7grHCN}{0.5grH_2O}$
$\frac{r_{H_2O}}{Au}$	$= \frac{2 * (2 + 16)}{4 * 197} = \frac{36kgH_2O}{788kgAu} \longrightarrow \frac{0.5grH_2O}{10grAu}$

- g. Proceso de Recuperación de oro con carbón activado:** El proceso de recuperación de oro con carbón activado se basa en la adsorción de este

^{xxxiv} El cianuro de hidrógeno o ácido cianhídrico es muy venenoso y altamente volátil (hierve a los 26°C) que tiene un ligero olor amargo a almendras.

^{xxxv} Capacidad del agitador

^{xxxvi} La USEPA indica que un balance de masa es suficiente para estimar las emisiones en un caso específico. Además no indica algún tipo de emisión adicional a la calculada para este tipo de proceso.

elemento mediante un elemento soluble llamado adsorbato^{xxxvii} que logra adherirse a una superficie sólida o adsorbente (carbón activado). Este proceso es puramente físico, es decir depende de la capacidad de adsorción del material. Los desechos de este ensayo son sólidos^{xxxviii}.

- h. Proceso para recuperación de metales Cristalización y Cementación:** La cristalización se define como el proceso físico de separación de una sal en su forma cristalina de una solución acuosa. Los procesos de cristalización son muy utilizados en el ámbito industrial para la obtención de sales puras como cloruro de sodio (NaCl), bórax o borato de sodio ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)^{xxxix}, etc. La cementación es un proceso derivado de la reducción electroquímica; para ello un metal se reduce mientras el otro se oxida manteniendo al metal valioso descargando electrones. Por ejemplo el cobre es obtenido mediante la precipitación con chatarra de hierro. Las reacciones y los productos son líquidos y sólidos^{xl}.
- i. Proceso para recuperación de metales por medio de electrodeposición y electrorefinación:** Este proceso consiste en obtener metal en su estado elemental mediante una reacción de oxido-reducción inducida mediante el suministro de electrones externos por un rectificador de corriente. Los productos son básicamente sólidos^{xli}.

1.3.3 Equipos de laboratorio

Los diversos procesos mostrados emiten diferentes tipos de desechos gaseosos, los mismos que se encuentran asociados a diversos elementos, maquinas y equipos, las figuras 1.4, 1.5, 1.6, 1.7 y 1.8 muestran los equipos asociados a los procesos y la tabla 1.14 muestra a manera de resumen las emisiones.

^{xxxvii} La adsorción es la acumulación de partículas sobre una superficie. El adsorbato es la sustancia que se adsorbe sobre la superficie adsorbente. La absorción en cambio es la separación de dos gases por medio de un solvente líquido

^{xxxviii} Las emisiones gaseosas son inexistentes

^{xxxix} El borax es un cristal suave utilizado en detergentes, suavizantes, jabones etc.

^{xl} Las emisiones gaseosas son inexistentes

^{xli} Las emisiones gaseosas son inexistentes



Figura 1.4 Incubadora Banstead, Microscopio Axiostar y Bomba Peristálticas Sercal .



Figura 1.5 Destilador GFL. Galvanostato-Potenciostato y Agitador GFL.



Figura 1.6 Balanza Satorius Desionizador Sercal y Plancha de calentamiento Gallenkamp



Figura 1.7 Planchas de calentamiento Sercal. Medidor de pH y de oxígeno Mettler Toledo.

Tabla 1.14 Equipos y ensayos de Laboratorio de Análisis Químicos y Biometalurgia

Ensayo Realizados (Tiempo)	Equipos Involucrados	Emisiones
Análisis de Combustible Sólidos (60 minutos)	Mufla Carbolite CWF 13/23	3.8gr SO _x , 1.1gr NO _x , 0.5gr CO 625gr CO ₂ , 6.6gr PM, 1.32gr PM10, 1gr TOC, 0.003mg Antimonio, 0.06mg Berilio, 0.01mg Cádmió, 5.6mg Cromo, 7.2mg Manganeso, 0.03mg Mercurio, 5.2mg. Níquel, 0.26mg Selenio, 0.08mg. Plomo, 0.02mg Cobalto, 2.2mg. Magnesio.
	Calorímetro Adiabático Parr 1241EF	
	Balanza Sartorius CP225D	
Análisis de muestras por vía húmeda Solubilización: 30min Espectrofotometría: 15min	Espectrofotómetro Perkin Elmer 403	14gr NO ₂ , 5.5gr H ₂ O (solubilización) 0.22gr CO ₂ , 3gr SO ₂ , 1.3 mg Pb, 3gr PM (espectrofotometria)
	Espectrofotómetro Varian AA240	
	Fiolas, Erlenmeyers y Vasos Schoot	
Monitoreo de Conductividad	Conductímetro Mettler Toledo126	Nulas o mínimas
Monitoreos pH	Medidores de pH Schoot MP125	
	Medidores de pH Mettler Toledo CG842	
Monitoreo de Oxígeno	Oxímetros Schoot OX 1	
Lixiviación de sulfuros de cobre (2 horas)	Agitadores GFL 3017	3.5gr H ₂ S, 1.5 gr SO ₂ (Humos y Vapores Diversos)
	Erlenmeyer Schoot	
	Planchas Calefactores Gallenkemp HP77STR	
	Bombas de Vacío GFL – 200	
	Fiolas, Probetas y Vasos Schoot	
	Medidores de pH Schoot MP125	
	Oxímetros Schoot OX 1	

Tabla 1.14 Equipos y ensayos de Laboratorio de Análisis Químicos y Biometalurgia (continuación)

Lixiviación de óxidos de cobre (42 horas)	Agitadores GFL 3017	84gr CO ₂ , 1.5mg PM10 (Humos y Vapores Diversos)
	Erlenmeyer Schoot	
	Planchas Calefactores Gallenkemp HP77STR	
	Bombas de Vacío GFL – 200	
	Fiolas, Probetas y Vasos Schoot	
	Medidores de pH Schoot MP125	
	Oxímetros Schoot OX 1	
Lixiviación mineral de oro en soluciones acuosas (24 horas)	Agitadores GFL 3017	0.7gr HCN (Humos y Vapores Diversos)
	Erlenmeyer Schoot	
	Planchas Calefactores Gallenkemp HP77STR	
	Bombas de Vacío GFL – 200	
	Fiolas, Probetas y Vasos Schoot	
	Medidores de pH Schoot MP125	
	Oxímetros Schoot OX 1	
Recuperación de oro con carbón activado	Erlenmeyers y Vasos Schoot	Nulas o mínimas
	Planchas Calefactores Gallenkemp HP77STR	
	Fiolas Schoot	
Cristalización y Cementación	Planchas Agitadoras Thermolyne Nuova II	Nulas o mínimas
	Vasos Precipitados Schoot	
	Balanza Mettler Toledo AB204 - S	
Electrodeposición y electrorefinación	Galvanostato Potenciostato Volta Lab PG201	Nulas o mínimas
	Agitadores Eléctricos digitales Schoot SRL	

1.3.4 Distribución Arquitectónica

El Plano 2 muestra que cada proceso tiene una ubicación dentro del laboratorio, los procesos de monitoreo de conductividad, monitoreo de pH, monitoreo de oxígeno, recuperación de oro con carbón activado, cristalización, cementación, electrodeposición y electrorefinación emiten un volumen mínimo de vapores y humos, por lo que se suele realizar en una zona bien ventilada y no necesariamente dentro de una campana; dicha zona es la indicada como A en el Plano 2., cuya vista se muestra en la figura 1.8.

La lixiviación de sulfuros, óxidos y minerales en soluciones acuosas y ácidas suele realizarse en la zona designada como B de la Plano 2, la cual es una campana cerrada tipo gabinete vista en la figura 1.9

El análisis de muestra por vía húmeda requiere de la utilización de la zona B para el paso inicial: ataque con ácidos, y de las zonas C y D, siendo estas últimas campanas abiertas situadas sobre los espectrofotómetros Perkin Elmer 403 y Varian AA240. los cuales son mostrados en la figura 1.9

El análisis de combustible sólidos es el único ensayo de análisis químico realizado fuera del laboratorio debido a que el laboratorio de pirometalurgia se encuentra mejor acondicionado para dicho fin.



Figura 1.8 Distribución Zona A: emisiones mínimas



Figura 1.9 Distribución Zona B: Campana tipo gabinete y Distribución Zona C y D: Espectrofotómetros Varian AA240 y Perkin Elmer 403

Tomando como referencia la Plano 2 y los tiempos mostrados en tabla 1.14 se puede distribuir por minuto las emisiones máximas presentes en el ambiente del Laboratorio de Análisis Químico, Hidrometalurgia, Electrometalurgia y Biomateriales, tal como lo muestra la tabla 1.15.

Tabla 1.15 Distribución de emisiones por campana

Zona	Campana	Procesos	Emisiones			
A	No requiere	Monitoreo de Conductividad, Monitoreos pH, Monitoreo de Oxígeno	-----			
B	Tipo Gabinete	Análisis de muestras por vía húmeda (solubilización)	Elem.	Flujo Masico	Duracion	Veces ^{xliii}
			NO ₂	0.47gr/min	30min	20
		Lixiviación de sulfuros de cobre	H ₂ S	0.03gr/min	120min	20
			SO ₂	0.01gr/min	120min	20
		Lixiviación de óxidos de cobre	CO ₂	0.03gr/min	2520min	20
			PM	0.0006mg/min	2520min	20
Lixiviación de mineral de oro en soluciones acuosas	HCN	0.48mgr/min	1440min	20		
		Recuperación con carbón activado, Cristalización y Cementación, Electrodeposición y electrorefinación				
C,D	Rectangular Abierta	Análisis de muestras por vía húmeda (espectrofotometría)	CO ₂	0.01gr/min	15min	20
			SO ₂	0.2 gr/min	15min	20
			Pb:	0.09 mg/min	15min	20
			PM	0.2 gr/min	15min	20

1.4 Laboratorio de Pirometalurgia

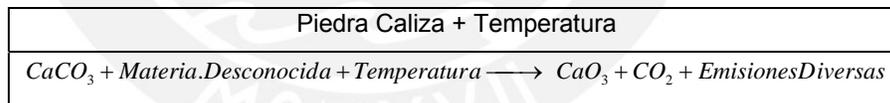
1.4.1 Descripción: El laboratorio de pirómetalurgia tiene como objetivo desarrollar innovaciones y soluciones en el refinado del mineral, para lo cual hace uso de diferentes medios mecánicos y físicos para la separación de este. Los procesos pirometalurgicos involucran el calentamiento de las muestras produciendo en la mayoría de los procesos un sólido mas puro y un gas o vapor como desecho.

^{xliii} El numero de laboratorios de metalurgia por semestre es de 10. Haciendo un total de 20 veces al año

1.4.2 Ensayos y procedimientos :

a. **Proceso pirometalúrgico de calcinación:** La calcinación se define como el proceso metalúrgico por el cual se somete un material sólido (sulfuro o carbonato) a altas temperaturas (descomposición térmica) obteniéndose el oxido correspondiente y una fase gaseosa. Los carbonatos de importancia metalúrgica son la caliza (CaCO_3)^{xliii}, la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$)^{xliiv} y la magnesita (MgCO_3)^{xliv}. Uno de los procesos mas frecuentes es la elaboración de cemento en el cual la caliza mezclada y calcinada (1350 – 1380°C) con dióxido de silicio (SiO_2)^{xlvi} y oxido de aluminio (Al_2O_3)^{xlvii} forma la mezcla de silicato de calcio y aluminio conocida como Clinker^{xlviii} de cemento (CaO). En el caso del laboratorio de minas, se suele calcinar una muestra de diez (10) gramos de piedra caliza (CaCO_3) durante cuarenta (40) minutos. La USEPA indica que la emisiones predominantes en este tipo de proceso¹⁸ son el CO_2 , el material particulado (PM) y un conjunto de emisiones compuestas de sustancias orgánicas e inorgánicas^{xlix} llegando a producir 9 gramos, 1.3 gramos y 50 miligramos respectivamente por cada 10 gramos de cemento. La tabla 1.16 muestra la reacción general y los productos resultantes, siendo la emisión predominante la de dióxido de carbono (CO_2).

Tabla 1.16 Reacción química de una muestra de caliza sometida a calcinación



^{xliii} La caliza es una roca porosa principalmente formada por carbonatos de calcio (CaCO_3), suele ser deposito de petróleo debido a su porosidad

^{xliiv} La dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) es un metal compuesto por carbonato de calcio y magnesio, es muy utilizado en la fabricación de refractarios. La calcinación de la dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) produce la magnesita (MgCO_3) y de esta última, la magnesia (MgO), que es un aislante muy utilizado y un agente de secado usado en deportes, tales como la gimnasia y la halterofilia.

^{xliv} El carbonato de magnesio o magnesita, es un mineral blanco suele utilizarse en compuestos a prueba de fuego y extintores, cosméticos y dentífricos.

^{xlvi} El dióxido de silicio o silica, encontrado en la naturaleza como arena o en su formas cristalinas tales como cuarzo, tridimita y cristobalita, es uno de los elementos mas abundantes sobre la tierra, suele utilizarse en la industria electrónica, en la fabricación de refractarios y en la de vidrio.

^{xlvii} El oxido de aluminio o alúmina (Al_2O_3) suele formarse sobre las superficies del aluminio, dicha capa es impermeable y detiene el proceso de oxidación.

^{xlviii} La mezcla produce un ruido similar a un “click” al ser procesado en los hornos rotatorios, derivando de esta manera el vocablo onomatopéyico de “clinker”.

^{xlix} Inorgánicos: plata, aluminio, arsénico, bario, berilio, calcio, cadmio, cloro, cromo, cobre, flúor, hierro, acido clorhídrico, mercurio, potasio, manganeso, amonio, amoniaco, nitratos, sodio, plomo, trióxido de azufre, sulfatos, selenio, talio, zinc. Orgánicos: bencenos, acetonas, naftalenos, metanos, cloro bencenos, etanos, formaldehido, metilenos, fenoles, toluenos.

b. Proceso pirometalúrgico de Tostación: La tostación se define como la oxidación de minerales de sulfuros. El proceso consiste en someter el mineral de sulfuroⁱ a temperaturas menores a la temperatura de fusión, este proceso es generalmente enriquecido mediante el uso de aire u oxígeno con la finalidad de conseguir diferentes grados de oxidación (parcial y sulfatante o total) obteniéndose como consecuencia un cambio químico que posibilita su tratamiento posterior. La oxidación parcial tiene como objetivo remover cierta cantidad de azufre, teniendo como producto un sulfuro de menor grado y el gas dióxido de azufre (SO₂). La oxidación a sulfatos tiene como finalidad convertir los sulfuros a sulfatos. El producto de este proceso es un sulfato y el gas SO₂. La remoción total del azufre o tostación a muerte consiste en la eliminación total de azufre, la reacción producida muchas veces suele ser exotérmica debido a los cambios sufridos por la sustanciaⁱⁱ. El producto suele ser un óxido y SO₂ⁱⁱⁱ. En el laboratorio de minas se suele utilizar una muestra de 5 gramos de mineral de sulfuro cuyo contenido es mayoritariamente pirita (FeS₂)ⁱⁱⁱⁱ, en su menor proporción blenda (ZnS)^{iv}, galena (PbS)^v, covelina (CuS)^{vi} y cuarzo (SiO₂) que vendría a ser la ganga (metal no valioso) de la muestra, las reacciones producidas son de la forma: $Solido.1 + Gas.1 \longrightarrow Solido.2 + Gas.2$, pudiendo ser de la siguiente manera:



La USEPA(19,20,21) mediante sus factores de emisión indica que las emisiones de este tipo de proceso dependerá de la composición de los metales en la muestras siendo las mayores y predominantes, el CO₂, el SO₂, el Plomo^{vii}, y el material particulado pudiendo llegar a ser 110 gramos, 1.5 gramos, 0.65 miligramos y 3 gramos respectivamente.

ⁱ Compuesto asociado con azufre (S)

ⁱⁱ El ensayo suele tener un rango de duración entre 40 y 60 minutos

ⁱⁱⁱ La piedra caliza y la magnesia tienen como propiedad absorber con mucha facilidad el gas dióxido de azufre (SO₂) generado en la tostación.

ⁱⁱⁱⁱ El sulfuro de hierro es llamado comúnmente el oro de los tontos, debido al aspecto brillante que le da su alto contenido de azufre (más de 50%)

^{iv} El sulfuro de zinc es la principal mena del zinc, el nombre proviene del alemán Blender que significa engañar, debido a que se le suele confundir con la galena (sulfuro de plomo)

^v El sulfuro de plomo es la principal mena del plomo, ha sido utilizado en cosméticos y como parte de los receptores de las radios en los inicios de esta.

^{vi} Es el producto derivado de la hidrometalurgia de los óxidos de cobre con ácido sulfúrico.

^{vii} Las muestras utilizadas en el laboratorio suelen contener un 10% de sulfuro de plomo en promedio, dicho elemento suele volatilizarse muy por debajo de su punto de fusión (820°C) emitiendo de esta manera plomo.

c. **Proceso pirometalúrgico de Secado:** El secado tiene como objetivo la eliminación de agua contenida mediante evaporación. El resultado de estos procesos son la eliminación de vapor de agua, gases como el dióxido de carbono (CO_2), dióxido de azufre (SO_2) y material particulado junto con compuestos orgánicos e inorgánicos^{lviii}. Considerando que las muestras trabajadas en el laboratorio de pirometalurgia no supera los 5 gramos y siguiendo los factores de emisión dados por la USEPA(22,23,24) las cantidades pueden llegar a ser 110 gramos de CO_2 , 1.5gramo de SO_2 y 3 gramos entre material particulado y compuesto orgánicos e inorgánicos durante los cuarenta (40) minutos^{lix} que dura el proceso.

En la industria, el proceso suele efectuarse mediante la utilización de hornos rotatorios conocidos comercialmente como cilindros de secado, en el laboratorio de pirometalurgia se utilizan las muflas Carbolite o Gallenkamp y un horno rotativo Carbolite.^{lx}.

1.4.3 Equipos de laboratorio de Pirometalurgia

Los procesos pirometalúrgicos se encuentran asociados a la utilización de hornos y muflas en los cuales se calienta la muestra transformándola y emitiendo diferentes tipos de desechos gaseosos, las figuras 1.10, 1.11, 1.12 muestran los equipos asociados a los procesos y la tabla 1.16 muestra un resumen de las emisiones.



Figura 1.10 Mufla Carbolite LMF3 (3 unid.) y Gallenkamp FR-614 4115 SP (2 unid.) Carbolite Type CWF 13/23

^{lviii} Inorgánicos: plata, aluminio, arsénico, bario, berilio, calcio, cadmio, cloro, cromo, cobre, flúor, hierro, ácido clorhídrico, mercurio, potasio, manganeso, amonio, amoniaco, nitratos, sodio, plomo, trióxido de azufre, sulfatos, selenio, talio, zinc. Orgánicos: bencenos, acetonas, naftalenos, metanos, cloro bencenos, etanos, formaldehído, metilenos, fenoles, toluenos.

^{lix} Dato de proporcionado por personal del laboratorio.

^{lx} El horno rotativo Carbolite combina el funcionamiento de un horno de lecho fluidizado (Inyección de gas) y un horno rotatorio, ofreciendo una atmósfera controlada con una agitación simultánea.



Figura 1.11 Mufla y Gallenkamp Brit Pat 882942, Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75 y Tubular GHA12/300



Figura 1.12 Balanza Mettler Toledo AB204-S y mesas para elementos calientes

Tabla 1.16 Equipos y ensayos de Laboratorio de Pirometurgia

Ensayo Realizado	Equipos Involucrados	Emisiones
Calcinación	Mufla Carbolite LMF3 (3 unidades)	9gr. CO ₂ , 1.3gr SO ₂ , 50mg PM (volátiles orgánicos e inorgánicos)
	Mufla Gallenkamp FR-614 4115 SP (2 unidades)	
	Mufla Gallenkamp Brit Pat 882942	
	Mufla Carbolite Type CWF 13/23	
	Balanza Mettler Toledo AB204-S	
Tostación	Horno Tubular Carbolite GHA12/300	110 gr CO ₂ , 1.5 gr SO ₂ , 0.65 mg Pb, 3 gr PM, volátiles orgánicos e inorgánicos
	Balanza Mettler Toledo AB204-S	
Secado	Mufla Carbolite LMF3 (3 unidades)	0.65 mg Pb, 3 gr PM (volátiles orgánico e inorgánicos)
	Mufla Gallenkamp FR-614 4115 SP (2 unidades)	
	Mufla Gallenkamp Brit Pat 882942	
	Mufla Carbolite Type CWF 13/23	
	Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75	
	Balanza Mettler Toledo AB204-S	

1.4.4 Distribución arquitectónica interior:

El Plano 3 muestra que los hornos y las muflas poseen una ubicación fija en el laboratorio, por lo que podemos dividir al laboratorio en 6 zonas:

- Zona E: Tres (3) muflas carbolite LMF3
- Zona F: Una (1) mufla Gallenkamp BritPat 882942
- Zona G: Dos (2) muflas Gallenkamp FR-614 4115 SP
- Zona H: Una (1) mufla Carbolite Type CWF 13/23
- Zona I: Un (1) horno rotativo Carbolite Type HTR 11/75
- Zona J: Un (1) horno tubular Carbolite Type GHA 12/300

Todos se encuentran ubicados sobre una plataforma de concreto en forma de ele de 1.2 metros de alto, tal como lo muestra la figura 1.13.

Dichos hornos son utilizados en los procesos de calcinación, tostación y secado, emitiendo distintos tipos de gases, vapores y humos.



Figura 1.13 Distribución de laboratorio de pirometalurgia

Tomando como referencia el Plano 3 y la tabla 1.16 se puede distribuir las emisiones presentes en el ambiente del Laboratorio de Pirometalurgia, tal como lo muestra la tabla 1.17.

Tabla 1.17 Distribución de emisiones por campana

Zona	Campanas	Proceso	Emisiones			
			Elem.	Flujo Masico	Duracion	Veces ^{lxi}
E, F, G, H	Rectangular abierta (7 unidades)	Quema de Comb. Sólidos	Elem.			
			SO _x	0.06 gr/min	60 min	20
			NO _x	0.01 gr/min	60 min	20
			CO	0.008 gr/min	60 min	20
			CO ₂	10.41 gr/min	60 min	20
			PM	0.11 gr/min	60 min	20
			PM-10	0.022 gr/min	60 min	20
			TOC	0.016 gr/min	60 min	20
			Sb	0.0001 mg/min	60 min	20
			Be	0.001 mg/min	60 min	20
			Cd	0.0002 mg/min	60 min	20
			Cr	0.09 mg/min	60 min	20
			Mn	0.12 mg/min	60 min	20
			Hg	0.0005 mg/min	60 min	20
			Ni	0.08 mg/min	60 min	20
			Se	0.004 mg/min	60 min	20
			Pb	0.001 mg/min	60 min	20
		Co	0.0003 mg/min	60 min	20	
		Mg	0.03 mg/min	60 min	20	
		Calcinación	CO ₂	0.23 gr/min	40 min	20
PM	0.03 gr/min		40 min	20		
Volátiles Orgánicos inorgánicos	1.25 mg/min		40 min	20		
Secado	Pb	0.02 mg/min	40 min	20		
	PM	0.08 gr/min	40min	20		
I	Rectangular abierta (1 unidad)	Secado	Pb	0.02 mg/min	40 min	20
			PM	0.08 gr/min	40min	20

^{lxi} El número de laboratorios de metalurgia por semestre es de 10. Haciendo un total de 20 veces al año

Tabla 1.17 Distribución de emisiones por campana (continuación)

J	Rectangular abierta (1 unidad)	Tostación	CO ₂	2.75 gr/min	40 min	20
			SO ₂	0.04 gr/min	40 min	20
			Pb	0.02 mg/min	40 min	20
			PM	0.08 gr/min	40 min	20

1.5 Fuentes y emisiones generadas.

Según estimaciones de la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) cada año se producen alrededor de 1.2 millones de enfermedades relacionadas con el trabajo ocupacional o también llamadas “profesionales” en todo el mundo. En el Perú, existe un grupo de enfermedades asociadas al trabajo ocupacional, los sectores económicos de mayor incidencia son el minero, el metalúrgico y el manufacturero, siendo la tendencia (estudio presentado en el Segundo congreso de Salud Ocupacional, Lima 1970) en porcentajes la mostrada en la tabla 1.18(25):

Tabla 1.18 Porcentaje de enfermedades “profesionales” según actividad económica.(26)

Minera: Trauma Acústico ^{lxii} 16.8%, Baritosis ^{lxiii} 12.2% Silicosis ^{lxiv} 3.8%
Minero Metalúrgico: Mercurialismo ^{lxv} 44%, Arsenismo ^{lxvi} 36.7% Saturnismo ^{lxvii} 16.2%
Manufacturera: Saturnismo 37% Trauma Acústico 8.2%
Otras: Trauma Acústico 3.8%

El Ministerio de Salud define enfermedad profesional como (27):

- Todo estado patológico permanente o temporal que sobrevenga como consecuencia obligada y directa de la clase o tipo de trabajo que

^{lxii}Trauma acústico: Lesión grave en el oído interno, disminuyendo de esta manera la capacidad de audición.

^{lxiii}Baritosis: Enfermedad pulmonar benigna causada por la acumulación de polvo de Bario en los pulmones (producto muy usado en la pinturas)

^{lxiv}Silicosis: Enfermedad pulmonar invalidante causada por la inhalación de compuestos de sílice.

^{lxv}Mercurialismo o Hidrargirismo: Intoxicación causada por vapores de mercurio, se presenta como alteraciones digestivas como vómitos y diarreas, afecta el sistema nervioso manifestándose en pérdidas de memoria y trastornos del sueño y además afecta seriamente el sistema renal.

^{lxvi}Arsenismo: intoxicación por arsénico, se manifiesta por decaimiento, dolores estomacales y caída del cabello.

desempeña el trabajador o del medio en que se ha visto obligado a trabajar.

- Es la enfermedad contraída como consecuencia directa del ejercicio de una determinada ocupación por la actuación lenta y persistente de un agente de riesgo inherente al trabajo realizado.
- Trastornos en la salud ocasionados por las condiciones de trabajo de riesgos derivados del ambiente laboral y de la organización del trabajo.

Existen por lo menos tres medios por los cuales pueden penetrar los distintos agentes al organismo de los trabajadores: inhalación, contacto cutáneo e ingestión (28), siendo el primero el que de importancia en el presente trabajo de tesis para lo cual es importante definir lo siguiente:

- Agente Químico es todo elemento o compuesto químico, por si solo o mezclado, tal como se presenta en su estado natural o producido que es utilizado o vertido como residuo en una actividad laboral(29)
- Puesto de trabajo: comprende tanto al conjunto de actividades que están encomendadas al trabajador, como el aspecto físico donde desarrolla su trabajo (30).
- Zona de respiración, es el espacio alrededor de la cara del trabajador del que toma el aire que respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0.3m (300mm) de radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe(31), tal como lo muestra la figura 1.14

^{lxvii} Saturnismo o Plumbosis: se denomina así al envenenamiento producido por plomo, la enfermedad produce alucinaciones agresivas y cólicos.

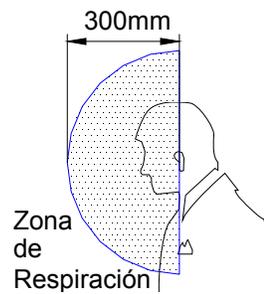


Figura 1.14 Zona de respiración

- Periodo de referencia, es un periodo establecido para el valor límite de un agente químico, el límite de tiempo para una larga duración es de 8 horas y para uno de corta es de 15 minutos (32).
- Limite de una sustancia, es la concentración en un ambiente de trabajo por debajo del cual existe una razonable seguridad de que un trabajador podrá desempeñar su labor indefinidamente, cumpliendo una jornada de 8 horas diarias y 40 horas por semana, sin sufrir molestias ni daño a la salud(33)

En el caso de los ambientes de laboratorio estudiados, como se muestra en la las tablas 1.16 y 1.17 las emisiones se encuentran identificadas por lo que es posible la extracción de las mismas sobre la fuente emisora, garantizando de esta manera que el ambiente de trabajo no presente en ningún momento algún tipo de concentración nociva, de tal manera que no se alcance algún valor limite permisible(34) (VLP)^{lxviii} o que la zona de respiración se encuentre expuesta a algún agente químico de alta concentración, tal como lo muestra la figura 1.15.

Esta ventilación localizada garantizará la salud de los trabajadores y un ambiente de trabajo libre de contaminantes pero crea otro problema, los gases son extraídos hacia el ambiente exterior por lo que resulta necesaria la limpieza de este antes de ser expulsado del laboratorio, por lo que se deben considerar los lineamientos dados por:

^{lxviii} Valor limite permisible(VLP), el termino es más conocido en ingles como TLV (Threshold limit Value)

- DS.N°074-2001-PCM - Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire
- DS 069-2003-PCM - Valor Anual de Concentración de Plomo
- RM 315-96-EM/VMM - Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas
- USEPA – Factores de emisión AP42, Procesos metalúrgicos, Productos mineros y emisión de sólidos combustibles.
- Guía para la evaluación de impactos en la calidad del aire por actividades minero metalúrgicas – Ministerio de energía y Minas – Dirección General de asuntos ambientales mineros.

Los cuales establecen los valores de concentración límite y permitidas a ser extraídas y liberadas al ambiente así como los procedimientos de evaluación y calculo.

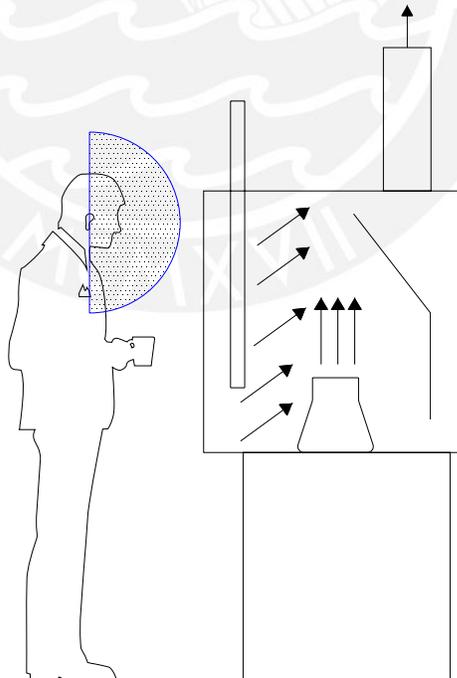


Figura 1.15 Zona de respiración protegida

La Resolución Ministerial N° 315-96-EM/VMM establece en los artículos 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 los niveles de emisiones máximas permisibles del Anhídrido Sulfuroso, PM, Plomo, Arsénico en la actividad minera, tal como lo muestra en el Anexo A1. La guía para la evaluación de impactos en la calidad de aire por actividades minero metalúrgicas sugiere que el resto de emisiones no reglamentadas por el estado peruano sean tomados de alguna entidad extranjera tal como la OMS (Organización Mundial de la Salud) o la Corporación Financiera Internacional - Grupo del Banco Mundial^{lxix}, las cuales mediante guías técnicas han establecido un listado de emisiones, cuyos límites son más rigurosos que los impuestos por el Estado Peruano⁽³⁵⁾ En el caso del laboratorio de minas tomando las tres fuentes como referencia podemos resumir los límites de emisiones a extraer en la tabla 1.19

Tabla 1.19 Límites máximos permisibles en la actividad minera metalúrgica.(36)

Emisión	Límite
Anhídrido Sulfuroso	13,8kg/min
Plomo	25mg/m ³
PM	100mg/m ³
SO ₂	1000mg/m ³
Nieblas Ácidas	50mg/m ³
Mercurio	0.05mg/m ³
NO ₂	100 – 300 mg/m ³

El conjunto de emisiones mostradas en las tablas 1.15 y 1.17 se manifiestan en forma de humos, vapores, nieblas metálicas y ácidas, dichas emisiones poseen un determinado tamaño dependiendo de su origen. La literatura técnica clasifica a las partículas en:

- Partículas naturales o bioaerosoles
- Partículas industriales o materiales⁽³⁷⁾

^{lxix} El Grupo del Banco Mundial es un conjunto de organismos especializados de las Naciones Unidas, responsables de proporcionar financiamiento y asesoramiento técnico a los países para propósitos de desarrollo económico y eliminación de la pobreza. Las organizaciones integrantes son:

- El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento (BIRF).
- La Asociación Internacional de Fomento (AIF).
- La Corporación Financiera Internacional (CFI).
- El Organismo Multilateral de Garantías de Inversiones (OMGI).
- El Centro Internacional de Arreglo de Diferencias Relativas a Inversiones (CIADI)

Siendo estas últimas consideradas contaminantes. Las partículas pueden clasificarse según el tamaño, procedencia y estado en: partículas naturales, polvos, humos, emanaciones o fumarolas, nieblas, vapores y gases tal como lo muestra la Tabla 1.20 (38) y el Anexo A2 (39)

Al analizar la tabla 1.20 y tomando como referencia la literatura dada por la USEPA (40) se puede deducir que las emisiones originadas por los laboratorios de metalurgia analizados caen dentro del rango de los humos, las nieblas y las emanaciones. En el ambiente comercial se suele denominar a todas estos contaminantes bajo el mismo término: fumarolas (*Fumes*)^{lxx}, siendo su rango de tamaño principalmente entre 0.1 μ m y 100 μ m. La figura 1.24 muestra los rangos de distintas sustancias, ubicando a los procesos que involucran manejo de minerales con un rango de tamaño entre 0.01 μ m y 100 μ m. Por lo que se puede considerar que la partícula de mayor tamaño será de unas 100 μ m aproximadamente y la de menor 0.01 μ m.

Teniendo las fuentes de contaminación más significativas identificadas las emisiones estimadas por cada proceso involucrado y el tamaño de partícula asociado dichas fuentes de contaminación es posible dar paso al diseño del sistema de extracción

Tabla 1.20 Clasificación de partículas según su estado y tamaño (41)

Contaminante	Definición	Rango de Tamaño	Procesos
Naturales o bioaerosoles	Virus	0.003 – 0.06 μ m	Naturales
	Bacterias	0.4 – 5 μ m	
	Esporas de hongos	2 – 10 μ m	
	Polen	10 – 100 μ m	
	Partículas cósmicas	0.25 – 147 μ m	
Polvo	Pequeña partícula sólida proveniente del quiebre de una partícula grande	0.25 μ m – 100 μ m	Molienda Esmerilado Taladrado Explosiones

^{lxx} La literatura en inglés denomina a las fumarolas como *fumes* y las define como pequeñas partículas formadas por la condensación de vapores, llegando a ser de 1 μ m y pudiendo formar aglomeraciones tan grandes como los polvos (*Dust*) de 100 μ m. Las campanas en el ambiente comercial suelen denominarse simplemente *Fume Hoods* incluyendo en su efecto a los gases y vapores.

Tabla 1.20 Clasificación de partículas según su estado y tamaño (continuación)

Contaminante	Definición	Rango de Tamaño	Procesos
Humos	Suspensión de particulado. Se aglomeran para formar hollín, manchan	Menores a 0.5 μm	Combustiones incompletas Aerosoles
Emanaciones o fumarolas	Condensación de vapores aglomeradas forman polvos	0.1 μm - 1 μm	Condensación Reacciones Químicas
Nieblas	Líquidos en suspensión (estado gaseoso)	0.25 μm – 100 μm	Pulverización Electrodeposición Condensación de Líquidos
Vapores	Sólidos o líquidos en suspensión (estado gaseoso)	Se expande, tamaño no definido, son pequeños, menores a 0.1 μm	Vapor de Agua Solventes Pegamentos
Gases	Fluido amorfo que suele estar e este estado	Se expande, tamaño no definido, son pequeños, menores a 0.1 μm	Gases en general



REFERENCIAS DEL CAPITULO 1

- ¹ PUCP1998 Sección Ingeniería de Minas – Introducción [en línea] Lima, Perú [Consultado 2007/03/03] <<http://www.pucp.edu.pe/acad/ciuf/metalurgia/introduccion.html>>
- ² Ibid. Introducción
- ³ Ibid. Laboratorio
- ⁴ ANGELES, Luis et al. *Manual de laboratorio de Metalurgia Extractiva 1* En su: Introducción. Lima - Perú Fondo Editorial PUCP, 2007. pp 5-6.
- ⁵ Ibid. pp 5-6.
- ⁶ ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO (OIT). *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*. En: *Metalurgia y Metalistería Industrias Manufactureras 2001* pp 82.2 – 82.3 [en línea] Disponible en <<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/tomo3.htm>>
- ⁷ USEPA 2009 *Emissions Factors & AP 42 –Bituminous and subbituminous coal combustion* [en línea] Washington , United States [consultado 03/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s01.pdf>>
- ⁸ USEPA 2009 *Emissions Factors & AP 42 –Bituminous and subbituminous coal combustion* [en línea] Washington , United States [consultado 03/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s01.pdf>>
- ⁹ Ibid. Tabla 1.1-3, 1-20
- ¹⁰ USEPA *Introduction* [en línea] Washington , United States [consultado 30/06/09] < <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>>
- ¹¹ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 – Primary Copper Smelting* [en línea] Washington , United States [consultado 01/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s03.pdf>>
- ¹² USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 – Secondary Copper Smelting* [en línea] Washington , United States [consultado 01/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s08.pdf>>
- ¹³ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 –Iron and steel production* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s05.pdf>>
- ¹⁴ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 –Zinc Smelting* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s07.pdf>>
- ¹⁵ USEPA *Primary Copper Smelting, op.cit*, Tabla 12.3-2
- ¹⁶ USEPA *Primary Copper Smelting, op.cit*, pp 5
- ¹⁷ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 – Secondary Copper Smelting* [en línea] Washington , United States [consultado 01/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s08.pdf>> Tabla 12.9-1
- ¹⁸ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 –Portland Cement Manufacturing* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c11s06.pdf>> Tabla 11.6-1, 6-19
- ¹⁹ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 –Iron and steel production* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s05.pdf>> Tabla 12.5-3, Tabla 12.5-1
- ²⁰ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 –Zinc Smelting* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s07.pdf>> Tabla 12.7-1
- ²¹ USEPA 2008 *Primary Copper Smelting, op.cit*, Tabla 12.3-2

- ²² USEPA 2008 *Iron and steel production, op.cit*, Tabla 12.5-3
- ²³ USEPA 2008 *Zinc Smelting, op.cit*, Tabla 12.7-1
- ²⁴ USEPA 2008 *Primary Copper Smelting, op.cit*, Tabla 12.3-2, 3-18
- ²⁵ MINISTERIO DE SALUD, *Manual de Salud Ocupacional* En: Diagnostico Situacional de la salud ocupacional, Lima – Perú Dirección General de Salud ambiental DIGESA, 2005 pp 18
- ²⁶ Ibid. pp 18
- ²⁷ Ibid. pp 20
- ²⁸ Ibid. pp20
- ²⁹ EL PERUANO, Decreto Supremo N° - 015-2005-AS *Reglamento sobre valores límite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo*, Lima – Perú Empresa Peruana de Servicios Editoriales S.A. 2005 pp 296135
- ³⁰ Ibid pp 296135
- ³¹ Ibid pp 296135
- ³² Ibid pp 296135
- ³³ DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL 1975 *Valores Límites permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo* [en línea] Lima, Perú [consultado 21/03/08] <http://www.digesa.sld.pe/normas_legales/Salud%20Ocupacional/258-75-SA.pdf>
- ³⁴ Ibid pp 5
- ³⁵ MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS – DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS 2007 *Guía para la evaluación de impactos en la calidad del aire por actividades minero metalúrgicas*. [en línea] Lima, Peru [consultado 17/07/09] <http://www.gtci-camisea.com.pe/webantiguo/archivos/dgaam/legislacion/guias/VXXI_Calidad_Aire.pdf>
- ³⁶ Ibid Tabla 2.7
- ³⁷ COZ PANCORBO, Andrés Federico. “Manual de Ventilación Industrial”. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2000 pp. 17-18
- ³⁸ Ibid pp. 19 - 20
- ³⁹ ASHRAE “*Fundamentals Handbook 2001 (SI)*”. Atlanta, USA. ASHRAE 2001 pp. 12.3
- ⁴⁰ USEPA 2008 *Emissions Factors & AP 42 – Generalized Particle Size Distributions* [en línea] Washington , United States [consultado 11/09/08] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appb-2.pdf>>
- ⁴¹ ALDEN, John L. “*Design of Industrial Ventilation Systems*” *Fifth Edition*. En su: Exhaust Hoods. New York , USA. Industrial Press Inc. 1982 pp 17-18

CAPITULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA

2.1 Generalidades

Tomando como referencia los procedimientos descritos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) y por la American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), se puede dividir el diseño de un sistema de ventilación industrial en los pasos presentados a continuación: definición de las fuentes de contaminación, y tamaño de la partícula contaminante para poder establecer una velocidad de captura y transporte a lo largo del sistema. Una vez halladas las velocidades será necesario establecer un caudal para cada fuente de contaminación, que dependerá de la geometría de la misma, para lo cual será necesario realizar un pequeño esquema preliminar del sistema. Dicho esquema estará compuesto de cuatro elementos básicos, presentes siempre en un sistema de extracción, campanas, ductos, equipos de tratamientos de contaminantes y ventiladores. Una vez establecido el sistema podremos realizar los cálculos de los diámetros de las tuberías y caídas de presión correspondientes a cada tramo. Por último, una vez definida la caída de presión y los caudales, será posible seleccionar calcular el ventilador y el sistema de tratamiento de aire correspondiente a cada tramo o tramos del sistema diseñado (1).

2.1.1 Fuentes de contaminación

Las fuentes de contaminación presentes en los laboratorios de metalurgia analizados se encuentran claramente identificadas, poseen un rango de tamaño de $0.01\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$ y dependen básicamente del proceso efectuado debajo de la campana, tal como se indica en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Fuentes de contaminación

Laboratorio de Análisis Químico, Electrometalurgia, Biomateriales e Hidrometalurgia		
Campanas Zonas BCD: # 1, 2, 3 (Análisis Químico y espectrofotómetros)	Contaminación	Diámetros
	Vapores, gases y humos fumarolas y nieblas	$0.01\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$
Laboratorio de Pirometalurgia		
Campanas Zonas EFGHIJ # 4,5,6,7,8,9,10,11,12 (Hornos y muflas)	Contaminación	Diámetros
	Vapores, gases y humos fumarolas y nieblas	$0.01\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$

Una vez definida la fuente de contaminación y el rango de tamaño de la misma resulta necesario saber la velocidad necesaria para capturar dicha partícula, para lo cual es necesario definir el concepto de Velocidad de Captura.

2.1.2 Determinación de la velocidad de captura

La velocidad de captura se define como la mínima velocidad necesaria para capturar y trasladar al contaminante dentro de una campana o extractor (2) Los rangos de velocidad dependerán del tipo de contaminante, los rangos sugeridos por la literatura técnica se encuentran detallados en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Rango de velocidad de captura. (3)

Clase de fuente contaminación	Aplicaciones Típicas	Velocidad de Captura (fpm)	Velocidad de Captura (m/s)
Corriente de aire quieta	Evaporación de vapores, aplicación de solventes desengrasantes	50 a 100	0.254 a 0.508
Corriente de aire moderada	Spray, soldadura, enchapados, reacciones químicas	100 a 200	0.508 a 1.016
Corriente de aire en movimiento violento	Pintado mecánico, prensado, suministro de productos.	200 a 500	1.016 a 2.54
Corriente de aire con un movimiento inicial alto	Lijados, amolados, arenados y limpieza metálica en general.	500 a 2000	2.54 a 10.16

La elección de los límites en el rango de velocidad de captura, dependerá de las condiciones presentes en el recinto en el cual se encuentra la instalación. Los límites inferiores son utilizados si las condiciones son óptimas para la captura, si la concentración de toxicidad es relativamente baja, si la producción de desechos se presenta de manera intermitente o si las campanas de extracción son relativamente grandes en comparación al área de emisión. Por otro lado, los límites máximos de velocidad de captura son utilizados si el recinto se encuentra sometido a corrientes de aire evidentes, si la toxicidad de la sustancia a manipular es alta y continua y por último si el área de emisión es relativamente grande en comparación con el elemento extractor. En el caso particular de los laboratorios de metalurgia analizados, las fuentes de emisión se encuentran ubicados en ambientes lejos de puertas o ventanas que pudieran afectar la captura de las emisiones, los ensayos realizados en los laboratorios no son continuos, son intermitentes, la toxicidad de algunas emisiones son peligrosas para la salud de los operarios siendo básicamente vapores y humos (fumarolas) por lo que se podría considerar de manera conservadora, tomando como referencia la tabla 2.2, a los laboratorios de metalurgia analizados ambientes de corriente quieta o moderada ubicando el rango de velocidad de captura entre 50 y 200 fpm (0.254 a 1.016 m/s) (4), siendo el valor promedio de dicha velocidad 100 fpm (0.508m/s).

2.1.3 Determinación de la velocidad de transporte

La velocidad de transporte se presenta en los ductos inmediatamente después de la campana de extracción, esta velocidad deberá ser tal que se minimice la fricción y se evite por todos los medios la acumulación de sólidos, si los hubiera, dentro del sistema (5). Asimismo es importante notar que si se esta transportando cualquier tipo de harina, grano, aserrín, metal o cualquier tipo de elemento que tenga efecto electrostático se deberá tomar las precauciones del caso debido a que se podría presentar algún incendio o explosión. También se deberá tomar en cuenta un recubrimiento y una velocidad adecuada si se esta transportando algún fluido de fácil adherencia o que pueda formar condensado, el que puede ser dependiendo del caso corrosivo y toxico en determinadas concentraciones.

En el caso particular del sistema de extracción de los laboratorios de metalurgia que se encuentran compuestos por vapores, gases, humos y nieblas y polvo fino, las velocidades de transporte pueden ser ubicadas en el rango de 1000 a 3000 fpm (5.08 a 15.24 m/s) tal como lo muestra la Tabla 2.3; además, tal como se indico en el capítulo 1 (Tabla 1.20), muchos de los procesos realizados en los laboratorios son de carácter tóxico y corrosivo por lo que se sugiere utilizar ductos de PVC o de acero inoxidable o revestido.

Tabla 2.3 Rango de velocidad de transporte. (6)

Contaminante	Ejemplos	Velocidad fpm	Velocidad m/s
Vapores, gases y humos	Todos los vapores, gases y humos	1000-2000	5.08-10.16
Fumarolas y Nieblas	Soldadura, reacciones químicas	2000- 2500	10.16-12.7
Ceniza Seca y Polvos	Hilachas de algodón, aserrín y polvos finos de proceso	2500-3000	12.7-15.24
Polvos Finos	Polvo plástico, polvo de bakelita, polvo de yute, polvo de algodón, residuos de corte de telas o cuero., polvo de jabón.	3000-4000	15.24-20.32
Polvo industrial promedio	Trabajo con amoladoras, residuos de piel, residuos de lana. Café, polvo de granito, arena, ladrillo, teja. Procesos de fundición en general, piedra caliza y procesos con asbestos.	3500-4000	17.78-20.32
Polvos Pesados	Polvos de corte en metal y madera, residuos de fundición, arenado trabajos en madera, trabajos de abrasión en madera y metal, trabajos de forja, trabajos en chapa.	4000-4500	20.32-22.86
Polvos Pesados Húmedos	Pequeñas astillas, polvo de cemento húmedo, residuos de asbestos, residuos húmedos en general.	4500 - mas	22.86 - mas

2.2 Secciones de extracción

Luego de haber definido el tipo y tamaño de las partículas contaminantes, la velocidad de captura y la velocidad de transporte, es posible iniciar el diseño del sistema de extracción propiamente dicho, para lo cual es necesario tomar en consideración la distribución arquitectónica mostrada en los Planos 1, 2 y 3, dicha distribución será la base para el diseño de los ductos y accesorios del sistema de extracción.

El primer elemento de cualquier sistema de extracción es una campana, la cual se encuentra asociada a una fuente de contaminación determinada, la cual a su vez se encuentra asociada a una velocidad de captura y transporte tal como lo muestra la tabla 2.4

Tabla 2.4 Rango de velocidad de transporte.

Ubicación	Campana	Sustancia	Velocidad de Captura	Velocidad de Transporte
Laboratorio de Análisis Químico e Hidrometalurgia	Campana # 1,2,3	Gases, vapores, fumarolas y nieblas diversas	100 a 200 fpm (0.508 a 1.016 m/s)	1500 a 3000 fpm (7.62 -15.24 m/s)
Laboratorio de Pirómetalurgia	Campana # 4,5,6,7,8,9,10,11,12	Gases, vapores, fumarolas y nieblas diversas	100 a 200 fpm (0.508 a 1.016 m/s)	1500 a 3000 fpm (7.62 -15.24 m/s)

La tabla 2.4 muestra que las velocidades de captura y transporte resultan similares para ambos laboratorios por lo que la diferencia radicará en la arquitectura y geometría presente, en el caudal particular de cada extracción, y en los requerimientos particulares en cada campana, los cuales serán tratados mas adelante. Las campanas poseen una nomenclatura particular, misma que puede ser ubicada en ella geoméricamente tal como lo muestra la figura 2.3; dicha nomenclatura se encontrará presente en todos los sistemas de extracción. Habiendo definido ya con anterioridad la velocidad de captura (*Capture Velocity*) y la velocidad de transporte (*Duct Velocity*), faltaría definir la velocidad de cara o boca (*Face Velocity*), que es la velocidad

promedio de la distribución de velocidades ubicadas en el eje central de la entrada de la campana. Tal como lo muestra la figura 2.4.

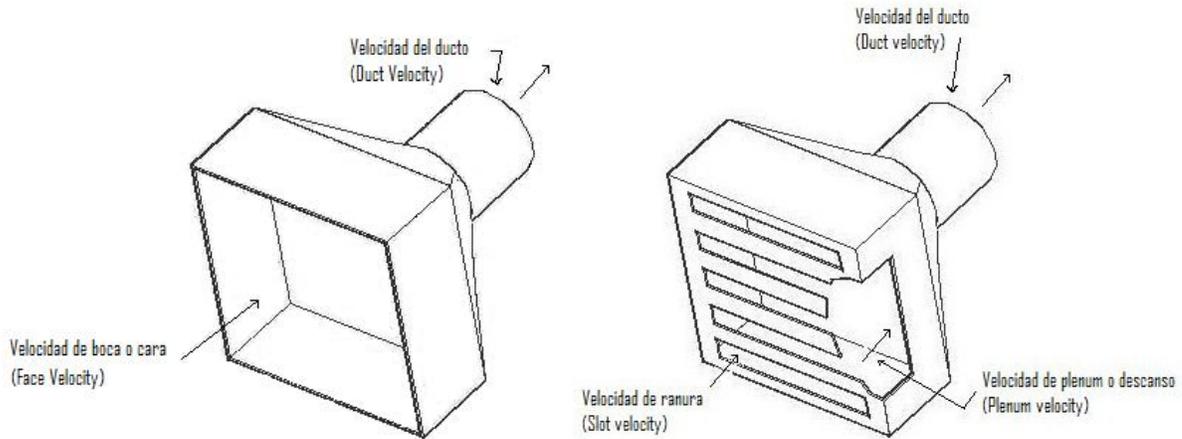


Figura 2.3 Nomenclatura de Campanas para aspiración localizada (7)

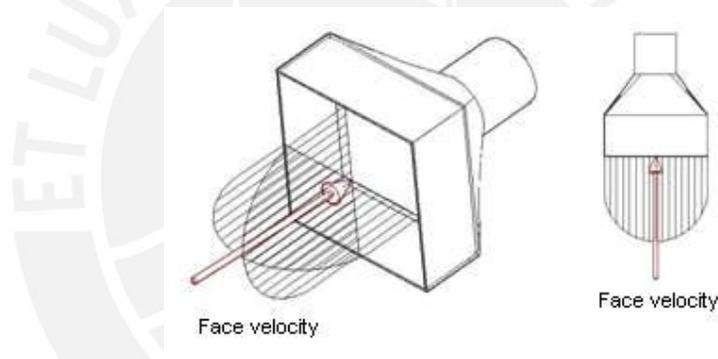


Figura 2.4 Velocidad de Cara o Boca (Face Velocity)

Campana 1: La campana uno, será utilizada para diversos ensayos de análisis químico, lixiviaciones y electrorefinación, Zona B (Fig. 1.12), siendo muchos de estos ensayos productores de residuos corrosivos y venenosos. Las campanas tipo gabinete o llamadas comúnmente campanas de laboratorio o de humos (*Fume Hood*) (8) en el entorno comercial son las preferidas por los diseñadores de sistemas de ventilación ya que garantizan que la sustancia contaminante siempre se encuentre contenida dentro de la campana (9). La literatura proporciona ciertas recomendaciones, de las que es importante mencionar las siguientes (10)

- A. La campana deberá ser capaz de proveer una distribución uniforme de corrientes de aire dentro de la misma, de tal manera que no se produzcan turbulencias dentro de ella que disminuyan su eficiencia.

- B. Es importante localizar las campanas de este tipo lejos del tráfico de personas, es decir deberá encontrarse lejos de las puertas y pasadizos de tal manera que el tráfico de personas sea controlado de modo que no se perturbe el proceso de extracción.
- C. Los materiales usados en la construcción de este tipo de campana deberá ser seleccionados acorde al uso es decir deberá resistir a la erosión y la corrosión generada por los elementos extraídos.
- D. Es importante tomar atención a los acabados de este tipo de campana ya que al encontrarse en contacto directo con el operario se deberán evitar esquinas y bordes agudos o filosos.

El estudio y el diseño de las campanas tipo gabinete se basan en la velocidad de boca o cara " V_f " (*Velocity Face*), siendo la relación con el caudal la mostrada a continuación:

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \text{Caudal} \\ V_f &= \text{Velocidad.de.Cara(Velocity.Face)} \\ A_f &= \text{Area.de.entrada} \end{aligned} \quad \dot{V} = V_f * A_f \quad [2.1]$$

Dicho caudal se mantendrá constante en la trayectoria siempre y cuando el sistema no presente fugas. Las campanas tipo gabinete poseen un conjunto de accesorios y formas geométricas que permitirán cumplir con las recomendaciones indicadas anteriormente. El estudio de este tipo de campanas tiene su origen en el análisis de un gabinete simple tal como lo muestra la figura 2.5, en el cual se puede observar que la extracción es producida por la parte superior de la campana, dando como consecuencia que la velocidad de cara (*Face Velocity*) posea una distribución de velocidades no uniforme (11), llevándola a ser ineficiente. La primera gran innovación en las campanas tipo gabinete fue la adición de una compuerta, con la cual era posible controlar la velocidad de cara (*Velocity Face*) (12), tal como lo muestra la figura 2.6, aumentando o disminuyendo esta al abrir o cerrar la compuerta (cambio de área). Esta compuerta suele ser transparente de tal manera que se pueda observar el proceso con toda seguridad, ante la posibilidad de alguna explosión o salpicadura proveniente del ensayo. El problema con esta compuerta es que aun con ella no se logra garantizar que el flujo en la entrada de la campana sea uniforme, de tal manera que la eficiencia del equipo aumente, por lo que surgió la idea de colocar una separación dentro del

gabinete de la campana de tal manera que se uniformice el flujo tanto en la parte superior como inferior, tal como lo muestra la figura 2.7. El problema con esta obstrucción es que algunas veces causa un retorno del flujo (figura 2.8), por lo que se implementó su movilidad para evitar este fenómeno. Por ultimo, algunas veces al cerrar la compuerta casi en su totalidad, la velocidad de cara (*Velocity Face*) tiende a aumentar excesivamente, debido a la disminución del área, pudiendo perturbar los procesos en los cuales se tiene una llama abierta dentro de la campana, por lo se agregaron unas ranuras en la parte superior de tal modo que se compense la velocidad de cara tal como lo muestra la figura 2.9ⁱ.

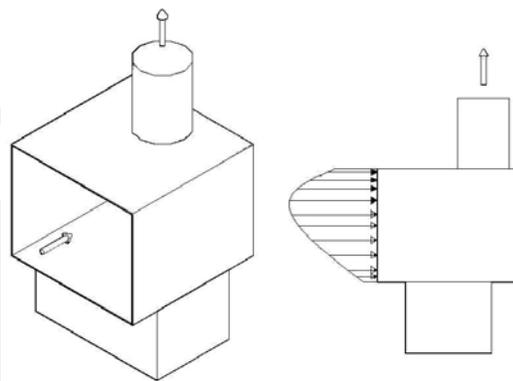


Figura 2.5 Campana Tipo Gabinete simple (13)

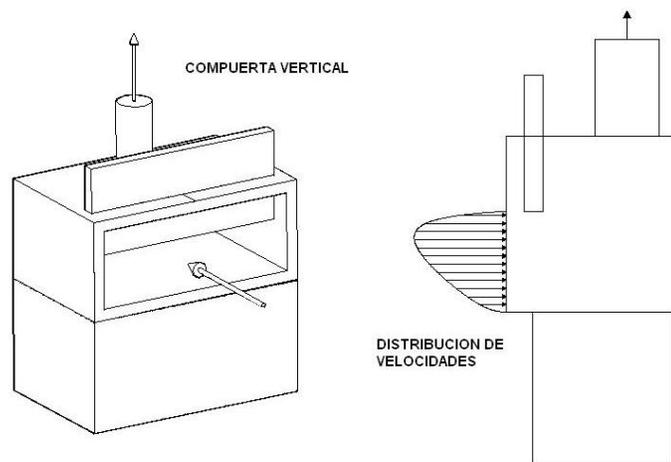


Figura 2.6 Campana Tipo Gabinete con compuerta (14)

ⁱ Se puede observar en la figura que la distribución de velocidades en la parte inferior de la campana es mucho menor que en la parte superior, pudiendo llegar a acarrear problemas cuando se trabajan con elementos de mayor densidad que el aire, siendo estos ultimo depositados en la parte inferior del equipos

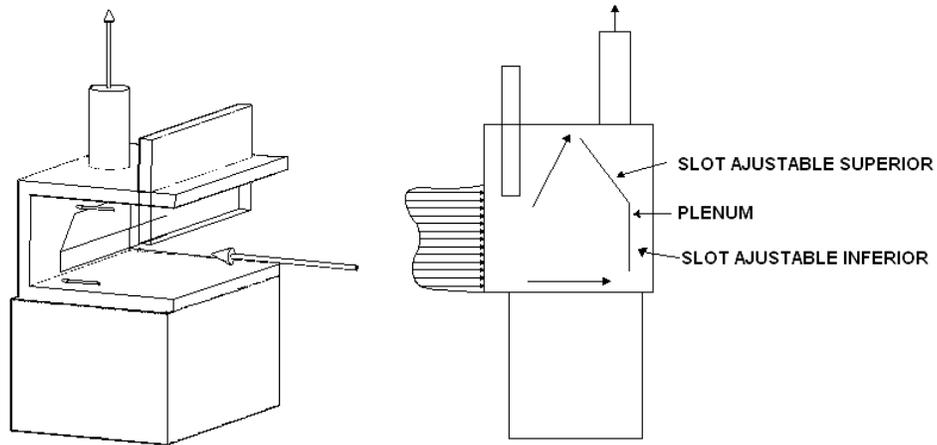


Figura 2.7 Campana tipo gabinete con compuerta y ordenadores de flujo (15)

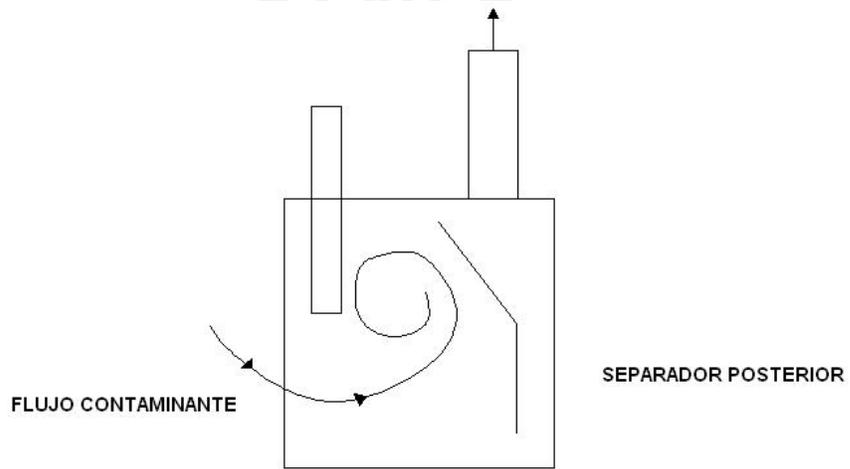


Figura 2.8 Remolinos causados por los separadores posteriores (16)

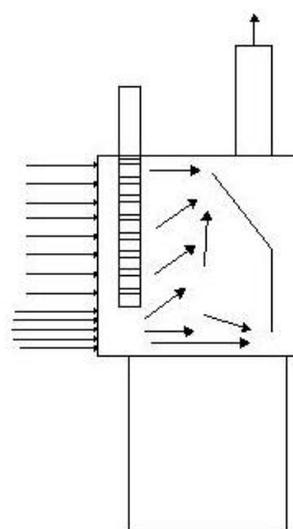


Figura 2.9 Campana Tipo Gabinete con compuerta y con ranuras superiores(17)

La ACGIH, brinda ciertas recomendaciones mostradas en el Anexo A3 en el que se enumeran las partes de una campana tipo gabinete, en ella se observa la compuerta corrediza (*Movable Sash*), la cubierta ajustable (*Adjustable Slot and Rear Baffle*), las ranuras en la parte superior, las cuales no deberán abrirse a menos que la compuerta se cierre dejando solo entre 25% y 30% de área en la cara libre de la campana, y el borne aerodinámico (*Air foil*) no filoso en la zona de trabajo.

Además la ACGIH recomienda para estas campanas caudales con valores entre 80 cfm/ft^2 ($0.4063 \text{ m}^3/\text{seg}\cdot\text{m}^2$) y 100 cfm/ft^2 ($0.5079 \text{ m}^3/\text{seg}\cdot\text{m}^2$) de área abierta, la elección de este valor dependerá de la distribución y la uniformidad del aire dentro de la campana (Método de ensayo ANSI/ASHRAE-110 para campanas de nieblas y humos), además recomienda considerar un factor de caída de presión o pérdida $h_e = 0.5VP_d$ (18), siendo este factor proveniente de la conversión de parte de la presión estática en presión dinámica, ya que el aire pasa por lo que se denomina vena contracta tal como lo muestra la figura 2.10¹⁹, el factor de caída de presión o pérdida h_e para campanas denominadas simples (*Velocity face < 1000fpm (5.08m/s)*)²⁰ se puede calcular aplicando una relación entre las presiones estáticas y dinámicas $SP_1 + VP_1 = SP_2 + VP_2$, en la cual el subíndice 1 hace referencia al recinto del cual se extrae el aire en donde la presión absoluta es la presión atmosférica, por lo que la $SP_1 = 0$, además la velocidad en el recinto puede considerarse quieta por lo que $VP_1 = 0$. Por lo tanto reemplazando los valores en la ecuación anterior, podríamos afirmar que $SP_2 = -VP_2$; esto sería cierto siempre y cuando no existieran pérdidas de presión en el ingreso, por lo que al corregir la igualdad anterior tendríamos $SP_2 = -(VP_2 + h_e)$; este factor de pérdida " h_e " es expresado comúnmente en función de dos variables: el coeficiente de pérdida F_h y la presión dinámica del ducto VP_d ($h_e = F_h * VP$) de tal manera que resulta sencilla la adición de esta pérdida en el sistema(21).

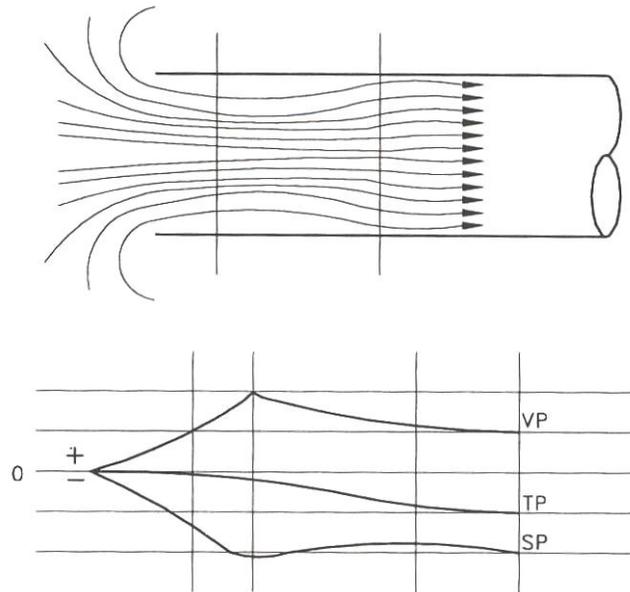


Figura 2.10 Flujo en la vena contracta (22)

Las dimensiones de la campana número 1 serán de 1000mm x 2000mm x 750mm (Altura, Ancho, Profundidad) de tal manera que se pueda introducir hasta tres planchas calefactoras tal como lo muestra la figura 2.11. Siendo el área abierta (*Face*) de 1800 x 800 (Ancho x Altura)ⁱⁱ originando un área de 1.44m² (15.5ft²), por lo tanto si se considera la zona de trabajo como un lugar con tránsito de moderado a alto, debido a la aglomeración de alumnos cerca de la campana al instante de hacer las experiencias (de 4 a 5 por grupo), para un caudal de 100cfm/ft² (0.5079 m³/seg-m²)ⁱⁱⁱ se puede obtener un valor de caudal de 1550cfm (0.73 m³/s) que representa una velocidad en la entrada de la campana de 100fpm (0.508m/s), siendo similar a la velocidad de captura necesaria presentada en la Tabla 2.2, con lo cual se garantiza la extracción de los contaminantes(23).

ⁱⁱ El rango de la altura de abertura suele ser de 26 – 36 inch (0.66-0.91m), siendo la altura estándar mas usada la de 30in (0.76m), algunos laboratorio, preocupados por el ahorro de energía, encontraron que una altura de 20in(0.51m) era aceptable.

ⁱⁱⁱ En un recinto, las puertas de 30in (0.76m) x 80in (2.03m) abiertas 90° en unos 2 segundos pueden producir una velocidad de 200fpm (1.02m/s) y llegan a desplazar 1200cfm (0.57m³/s). El viento originado en una ventana puede llegar a ser de 3 – 5 mph [300 – 450 fpm (1.52 – 2.29 m/s)] se recomienda tenerlas cerradas. Los peatones que caminan en frente de una campana pueden llegar a inducir entre 260-450fpm (1.34 – 2.29 m/s) con lo que puede haber una pérdida de contaminante por esa causa.

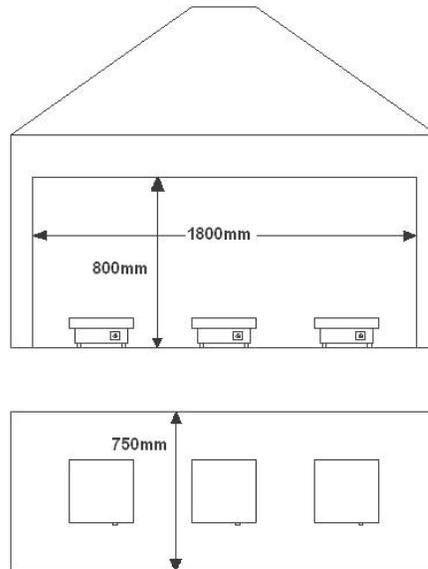


Figura 2.11 Campana 1 tipo gabinete

Campana 2 y 3: Las campanas dos y tres, serán utilizadas exclusivamente para los dos espectrofotómetros de gases mostrados en la Fig. 1.9: Perkin Elmer 403 y Varian AA240.

Las dimensiones de ambos equipos son las indicadas en las figuras 2.12 y 2.13 siendo las medidas generales de equipo Perkin Elmer de 590 x 1050 x 530 (Altura, Ancho y Profundidad) y teniendo una zona de emisión en forma de media luna de 340 x 170 (Ancho y radio) la cual deberá ser proyectada por la campana extractora de 304 x 404 (Ancho y Largo). Las dimensiones del equipo Varian son de 720 x 780 x 530 (Altura, Ancho y Profundidad) tendiendo una zona de emisión cuadrada de 220 x 220, tal como lo muestra la figura 2.14

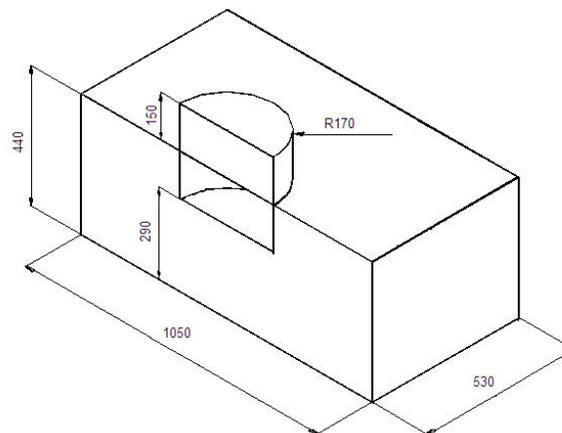


Figura 2.12 Dimensiones espectrofotómetro de Gases Perkin Elmer 403

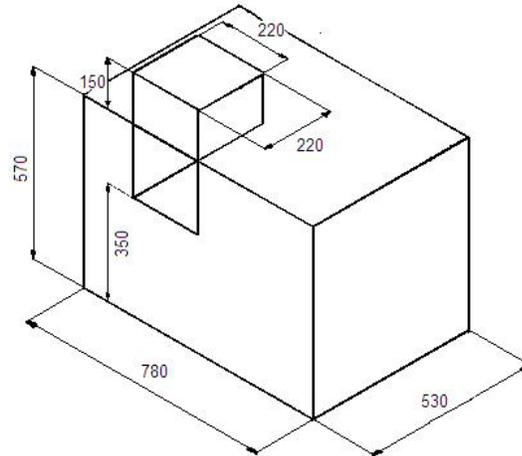


Figura 2.13 Dimensiones espectrofotómetro de Gases Varian AA240

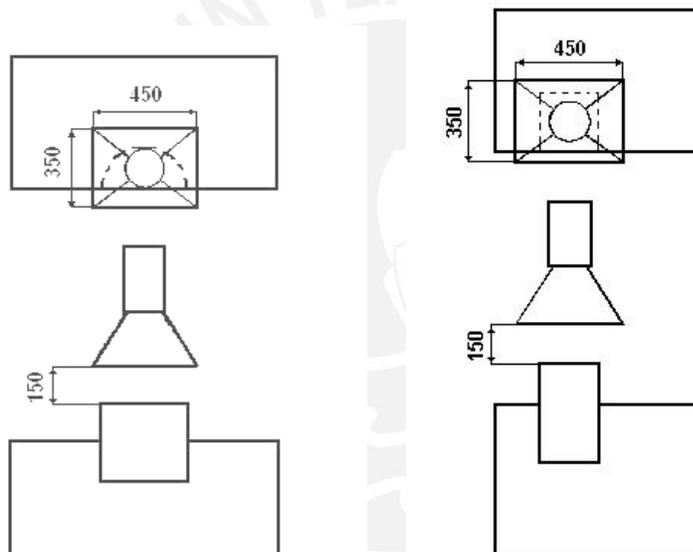


Figura 2.14 Proyección sobre espectrofotómetro Perkin Elmer 403 y Varian AA240

Los espectrofotómetros de gases analizan los elementos básicos de distintos componentes desintegrando estos mediante la adición de calor, pudiendo llegar a producir unos 3000°C (5432°F), por lo que el diseño de la campana deberá tener un criterio distinto a los planteados en procesos fríos. Los procesos calientes son analizados tomando en consideración la velocidad producida por las corrientes convectivas, las cuales pueden llegar a ser hasta de 400fpm (2m/s) (24); las experiencias de laboratorio dividen a las campanas en dos tipos, las altas y las bajas²⁵. Las primeras son aquellas en las cuales la distancia entre la fuente de calor y la campana superan los 3 pies (0.914m) (26), pudiendo llegar a producirse un cierto ángulo de abertura hacia la campana tal como lo muestra la figura 2.15.

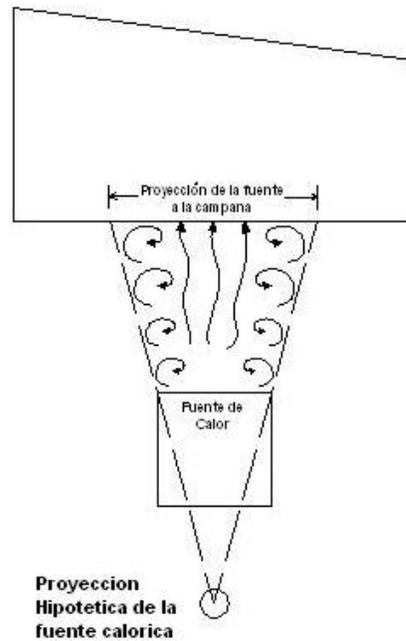


Figura 2.15 Efecto de cono invertido en la Campanas consideradas “Altas”

En cambio las campanas bajas son aquellas en la cuales la distancia entre la fuente y la campana no supera los 3 pies (0.9144m), por lo que el traslado de la fuente contaminante a la campana no llega a desarrollarse completamente en ángulo por lo que muchas veces se suele afirmar que sigue una trayectoria “casi vertical” tal como lo muestra la figura 2.16 (27)

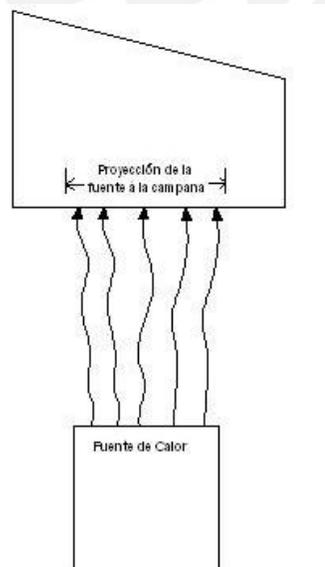


Figura 2.16 Efecto de cilindro en la Campanas consideradas “Bajas”

En los dos casos, los espectrofotómetros serán considerados fuentes calientes de campana baja, debido a que situaremos la campana a una distancia de la fuente que no supere los 3pies (0.9144m), por lo que el caudal necesario se podría calcular con la siguiente ecuación dada por Hemeon(28)

$$\frac{V_t}{L_h} = 6.2 * b^{1.33} * \Delta t^{0.42} \quad [2.2]$$

Siendo:

$V_t = \text{Caudal Total a extraer, cfm}$

$L_h = \text{Largo de la campana, ft}$

$b = \text{Ancho de la campana, ft}$

$\Delta t = \text{Diferencia de Temperatura entre la fuente de calor y el ambiente, } ^\circ F$

La distribución del chorro de contaminante emitido por los espectrofotómetros obedece ciertos principios básicos tales, como:

-El chorro se ensancha al salir del orificio. Su anchura aumenta proporcionalmente a la distancia de la abertura excepto en las cercanías del origen.

-La velocidad del chorro decrece gradualmente a medida que avanza, esto se debe a que la presión estática permanece casi constante a lo largo de la trayectoria, por lo que las pérdidas de energía se producen a expensas de la velocidad(29)

-El caudal de un chorro es variable y creciente debido a que va arrastrando cierta masa de fluido circundante a medida que este avanza (30).

En 1936 el profesor Abraimovic(31) realizó un conjunto de modelos matemáticos que analizaron con mayor detenimiento la naturaleza de los “chorros” dividiendo su accionar en dos zonas, la inicial o núcleo y la principal, tal como lo indica la figura 2.20, la primera zona posee ciertas características importantes detectadas por mediciones realizadas por Abraimovic, siendo la mas importante que la velocidad en esta zona permanecía casi constante e igual a la velocidad de salida del chorro; asimismo Abraimovic descubrió que el perfil de velocidades variaba muy poco y gradualmente hasta llegar a la zona del tramo principal(32). En esta zona el profesor Abraimovic se dio cuenta que la velocidad disminuía al alejarse del origen y que además los perfiles de velocidad resultaban semejantes para una determinada distancia pero ya era visible cierta deformación angular tal como la muestra la figura 2.17

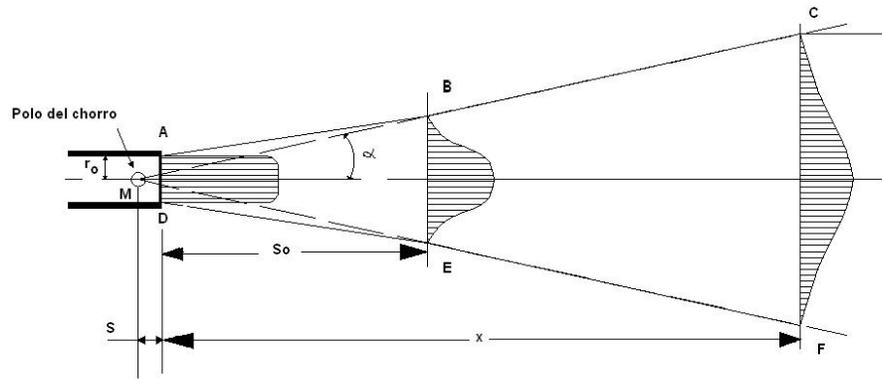


Figura 2.17 Chorro libre plano (33)

La figura 2.17, muestra de manera grafica como se extiende un chorro libre, inicialmente se muestra el tramo núcleo en el que se aprecia el avance ordenado y constante de la masa del chorro a medida que avanza el chorro va comunicando su cantidad de movimiento a las capas de aire estacionario de los alrededores que se empiezan a mover en el sentido del chorro, dando como resultado un aumento de la masa y de la amplitud del chorro mientras disminuye la velocidad del mismo (tramo principal). El núcleo o el tramo inicial esta representado por las letras ABDE y el tramo principal viene dado por las letras BECF a una distancia "x", el tamaño del tramo inicial esta dado por la distancia "S_o" la cual depende del radio "r_o" del difusor del chorro, siendo su relación considerando que el chorro es uniforme la siguiente(34):

$$\frac{S_o}{r_o} = 12.4 \quad [2.3]$$

Donde:

$S_o = \text{Longitud.del.tramo.inicial}$; $r_o = \text{Radio.de.la.boquilla}$

Además podemos afirmar que para un chorro uniforme el ángulo de apertura o de amplitud del chorro definido a partir del polo del chorro (Punto M), es de unos 12° 25' (35), adicionalmente podemos definir la ubicación de dicho polo mediante la formula siguiente:

$$\frac{S}{r_o} = 0.6 \quad [2.4]$$

Donde:

$S = \text{Dis tan cia.al.polo}$; $r_o = \text{Radio.de.la.boquilla}$

Dicho polo "M" puede definirse como el punto imaginario en el cual se abre el abanico del chorro; habiendo definido estas distancias podemos dimensionar nuestras campanas y establecer nuestros caudales. Los espectrofotómetros tienen un difusor cuya apertura rectangular es de 100mm x 0.8mm, tal como lo muestra la figura 2.18



Figura 2.18 Difusor de Espectrofotómetro Perkin Elmer 403 y Varian AA240

Dichas aberturas, al ser del mismo tamaño y forma; y siguiendo el modelo dado por Abramovic desarrollaran un chorro similar al que muestra la figura 2.19. Siendo la proyección máxima luego del tramo inicial de 286.2mm y teniendo una longitud del mismo de 620mm.

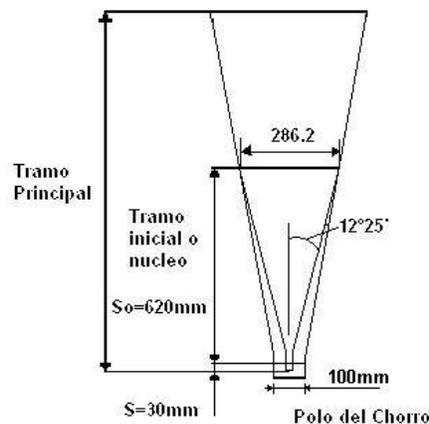
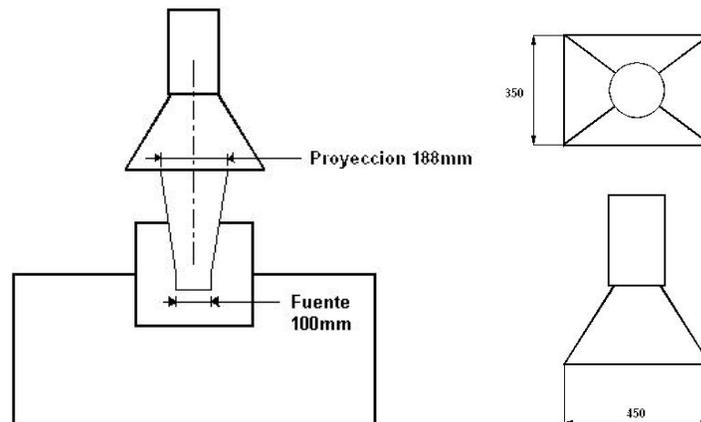
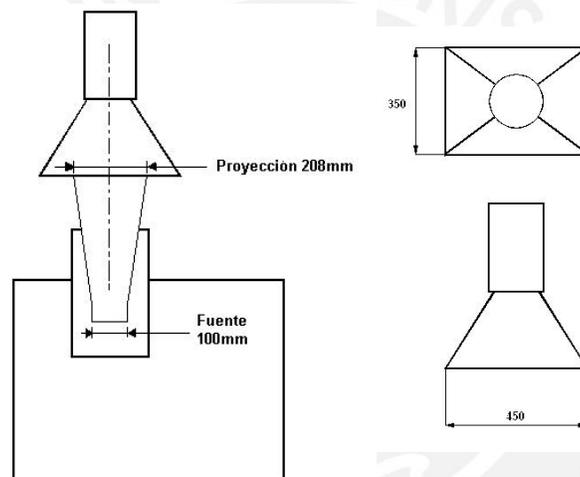


Figura 2.19 Proyección del chorro de los espectrofotómetros

Las campanas de los espectrofotómetros serán ubicadas a 150mm del tope superior, tal como lo indica la figura 2.14, considerando que las distancias de la fuente de calor son distintas para cada espectrofotómetro, la proyección sobre las mismas será diferente en cada caso: 188mm y 208mm para las campanas 2 y 3 respectivamente, tal como lo muestran las figuras 2.20 y 2.21.


Figura 2.20 Proyección Perkin Elmer 403

Figura 2.21 Proyección Varian AA240

Dichas proyecciones son menores que el tamaño de las campanas por lo que se estaría garantizando que las emisiones se encuentran contenidas dentro del área de succión considerada; la ACGIH afirma que para campanas consideradas bajas, se puede simplemente dimensionar la campana añadiéndole 1pie (304.8mm) (36) a la dimensión de la fuente calórica, siendo los valores mínimos de 404.8mm x 304.8mm (largo x ancho)^{iv}. Además afirma que es necesario considerar las relaciones entre el área de la campana, el caudal y la velocidad de captura para cada campana, expresadas en la ecuación 2.2 y en el modelo dado por Dalla Valle, mostrado en la ecuación 2.5(37)

^{iv} Largo: $100\text{mm} + 304.8\text{mm} = 404.8\text{mm}$; Ancho: $0.8\text{mm} + 304.8\text{mm} = 305.6\text{mm}$, siendo la fuente calórica de 100mm x 0.8mm (largo x ancho)

$$\dot{V} = V * (10X^2 + A) \quad [2.5]$$

Donde:

\dot{V} = Caudal.de.Succion, cfm

V = Velocidad.en.el.cetro.de.la.campana, fpm

X = Distancia.a.laboca.de.la.campana, ft (Valido.solo.a.1.5D)

A = Area.boca.de.la.campana, ft²

D = Diametro.de.la.campana.o.long.caracteristica, ft

Quedando los valores característicos de las campanas 2 y 3 tal como se muestran la tabla 2.5:

Tabla 2.5 Dimensiones y Caudal para las campanas 2 y 3

Campanas Espectrofotómetros						
Campanas	Largo	Ancho	Distancia a la boca	Área boca Campana	Velocidad de Captura	Caudal de aspiración
2 y 3	1.47ft	1.14ft	0.49ft	1.69ft ²	98.45fpm ^v	405.3cfm ^{vi}
	450mm	350mm	150mm	0.157m ²	0.5m/s	0.19m ³ /s

Es importante notar que: “Un foco de impurezas caliente produce una corriente ascendente que arrastra una determinada cantidad de aire de sus alrededores; por lo que es necesario para que el sistema trabaje eficazmente, que la cantidad de aire extraída no sea inferior al caudal del aire ascendente.” Baturin (38).

En el caso de los espectrofotómetros los gases son generados mediante la combustión de una muestra determinada con algunos gases tales como el Aire, Acetileno y Oxido Nitroso siendo las combinaciones más usadas las de Aire – Acetileno y Oxido Nitroso – Acetileno, los caudales suministrados por lo cilindros son los indicados en la tabla 2.6. siendo el caudal mayor y mas común la mezcla Aire – Acetileno cuya presión de mezcla es de unos 350mbar aproximadamente, dando como resultado un caudal de la mezcla de 6.1m³/min (211.88cfm)^{vii}, siendo menor al extraído

^v Rango de la velocidad de captura entre 50 y 200 fpm (Tabla 2.2)

$$Velocidad.Captura = \frac{405.3}{(10 * 0.49^2 + 1.69)} = 98.45 \text{ fpm}$$

$$^{vi} \text{ Caudal} = 6.2 * 1.14^{1.33} * (5432 - 68)^{0.42} * 1.47 = 405.3 \text{ cfm}$$

$$Temp.Amb. = 68^{\circ}F (20^{\circ}C)$$

$$Temp.Fuente = 5432^{\circ}F (3000^{\circ}C)$$

^{vii} Para la mezcla Aire – Acetileno tenemos los siguientes flujos masicos, considerando gases ideales a los elementos:

por nuestra campana (405.3cfm), con lo cual estaríamos cumpliendo con la condición dada por Baturin.

Tabla 2.6 Caudales de gases utilizados en el análisis con los espectrofotómetros (39) (40)

Gases de Suministro Espectrofotómetros			
Elemento	Caudal (l/m)	Presión de cilindro	Rango de Presión
Aire	20	350 kPa (50psi)	245 – 455 kPa (35 – 65 psi)
Oxido Nitroso	16	350 kPa (50psi)	245 – 455 kPa (35 – 65 psi)
Acetileno	10	75 kPa (11psi)	65 – 100 kPa (9.5 14.5 psi)

Campana 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12: Las campanas numeradas de la cuatro a la doce serán utilizadas en la extracción de gases humos y nieblas provenientes de nueve hornos eléctricos, mostradas en las figuras 1.10, 1.11 y 1.12, los cuales poseen las siguientes características:

Tabla 2.7 Dimensiones características de los hornos de Hidrometalurgia

Horno	Dimensiones Generales (Altura x Ancho x Profundidad) Dimensiones Puerta y Boca (Alto x ancho) Dimensiones chimenea (Altura x Ancho x Profundidad)	Temp. (°C)	Unid. #
Carbolite LMF3	530mm x 410mm x 430mm	1200°C	3
	130mm x 410mm		
	27mm x27mm x 30mm		
Gallenkamp FR-614 4115 SP	730mm x 480mm x 580mm	1000°C	2
	240mm x 270mm		
	Ø50mm x 50mm		

Aire: Presión 450kPa, Temperatura: 293K, R:0.287kJ/kg K, Caudal: 0.02m³/min, M=28.965kg/kmol

Utilizando la ley de los gases ideales: $pV = mRT$ obtenemos que la masa de aire es 0.083kg/min

Para esa masa a T=3273K y P=100kPa se tiene: Caudal 1m³/min = 35.31cfm

Acetileno: Presión 175kPa, Temperatura: 293K, R:0.3193kJ/kgK, Caudal: 0.01m³/min, M=26.04kg/kmol

Utilizando la ley de los gases ideales: $pV = mRT$ obtenemos que la masa de aire es 0.0187kg/min

Para esa masa a T=3273K y P=100kPa se tiene: Caudal 5.1m³/min = 176.57cfm

Obteniendose una mezcla de 6.1 m³/min = 211.88 cfm

Tabla 2.7 Dimensiones características de los hornos de Hidrometalurgia (continuación)

Horno	Dimensiones Generales (Altura x Ancho x Profundidad) Dimensiones Puerta y Boca (Alto x ancho) Dimensiones chimenea (Altura x Ancho x Profundidad)	Temp. (°C)	Unid. #
Mufla Carbolite Type CWF 13/23	700mm x 500mm x 670mm	1300°C	1
	430mm x 500mm		
	Ø32mm x 30mm		
Gallenkamp Brit Pat 882942	510mm x 495mm x 400mm	350°C	1
	370mm x 495mm		
	Ø42mm x 30mm		
Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75	480mm x 550mm x 1140mm	1100°C	1
	550mm x 500mm		

Horno Tubular Carbolite GHA12/300	670mm x 625mm x 360mm	1200°C	1
	Ø165mm		

Los hornos utilizados en el proceso de calcinación y secado de las muestras poseen una pequeña chimenea en la parte superior de la carcaza tal como lo muestran la figura 2.22, por lo que será necesaria la instalación de una campana sobre cada una de ellas; además cada horno posee una puerta que es deberá ser cubierta por la campana a emplear de tal manera que se tenga una extracción en ambos puntos del equipo tal como lo muestra la figura 2.22. La conferencia ACGIH, recomienda que la extracción de hornos y estufas sea realizada con una sola campana tal como lo muestran las figuras 2.22 que cubra por completo tanto la puerta de salida como la chimenea. El Anexo A4 muestra los detalles de las recomendaciones dadas por la ACGIH.

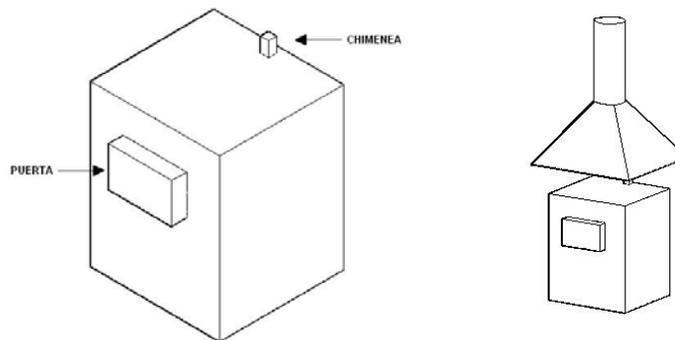


Figura 2.22 Configuración estándar de extracción para hornos y muflas.

Los hornos de pirometalurgia presentan tres tipos de configuraciones; las figuras 2.23, 2.24, 2.25, 2.26 muestran que los hornos de secado tienen una configuración similar, presentan una puerta y una chimenea por la que pueden emitir contaminación.

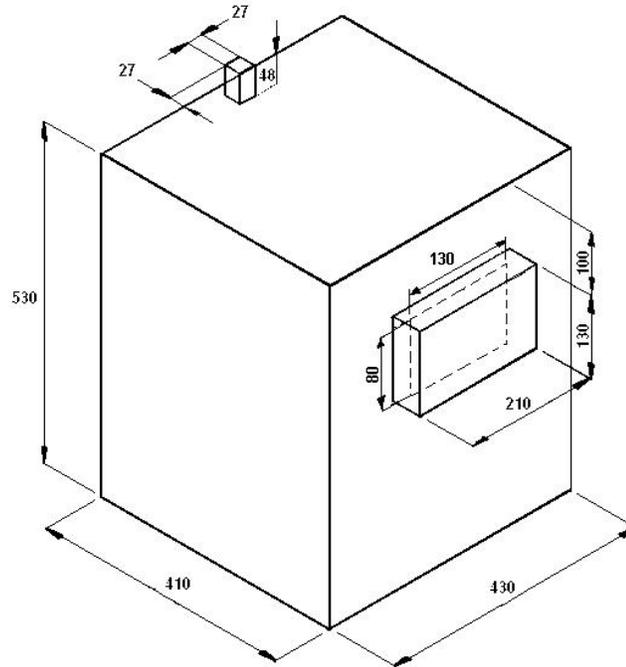


Figura 2.23 Horno Carbolite Modelo LMF (530 x 410 x 430)

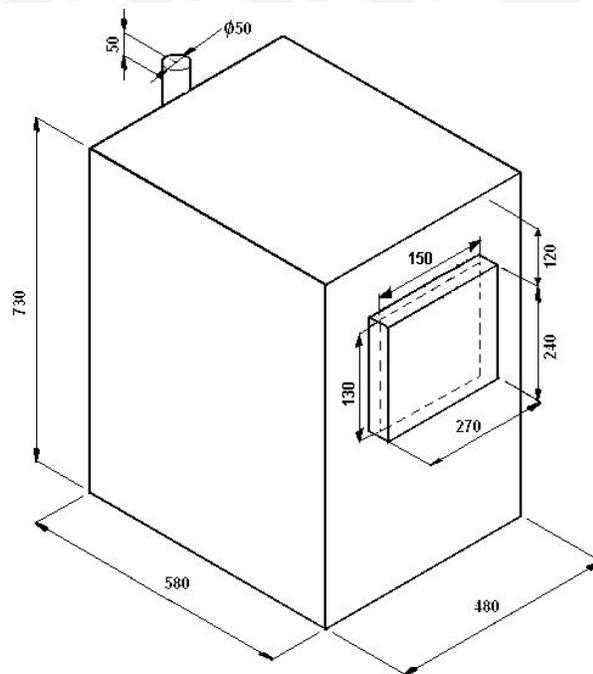


Figura 2.24 Horno Gallenkamp Modelo FR (730 x 480 x 580)

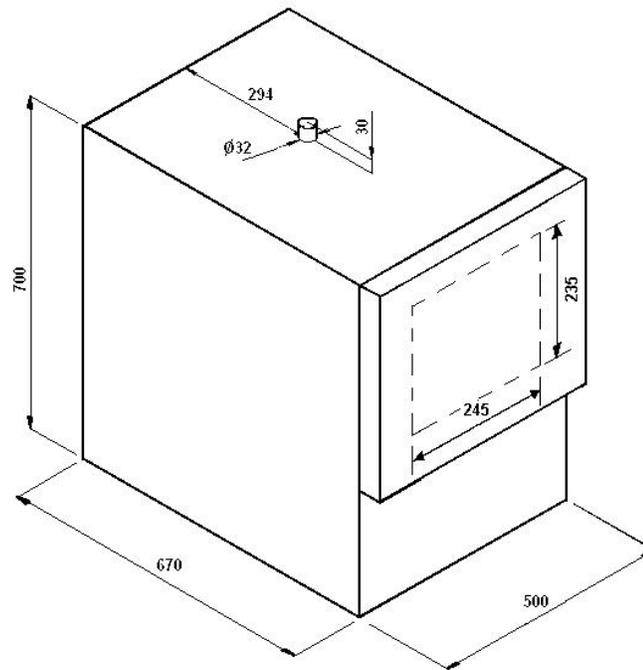


Figura 2.25 Horno Carbolite Modelo CWF (700 x 500 x 670)

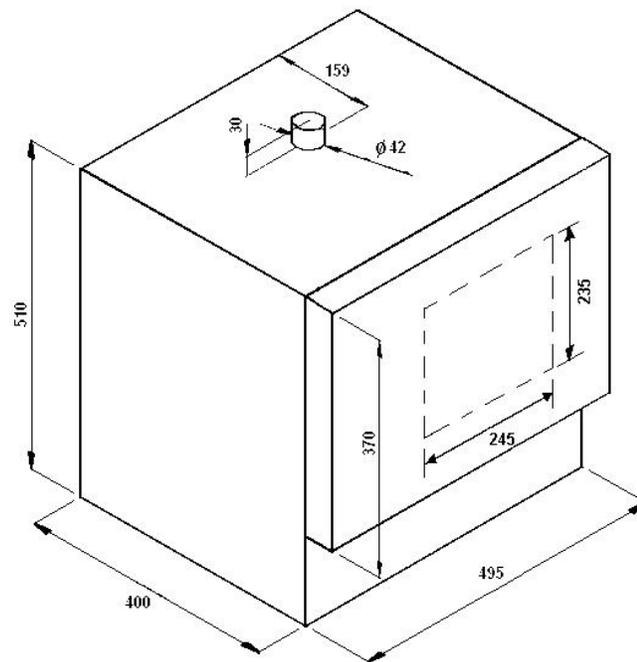


Figura 2.26 Horno Gallenkamp Modelo Brit (510 x 495 x 400)

Se tomara la configuración sugerida por la ACGHI, la cual indica que el caudal recomendado tiene un rango entre 200 – 400 cfm (0.094 – 0.188 m³/s), una velocidad de transporte con rango entre 1000 – 3000 fpm (5.08 – 15.24 m/s), un coeficiente de caída de presión, $h_e = 0.25VP$, una distancia máxima entre la parte superior del horno y la campana de 2" (50.8mm), una distancia entre la boca de la campana y el ducto de extracción de 12" (304.8mm) y un ancho y largo tal que garantice la captura de los contaminantes(41) tal como se indica en el Anexo A4. Baturin en este punto sugiere analizar la abertura de los hornos, la misma que posee un efecto de contaminación parabólico tal como lo muestra la figura 2.27 en la que se muestra que la trayectoria x, y de las partículas contaminantes depende de las dimensiones de la abertura, de la velocidad de la misma y de la temperatura de la fuente. Abraimovic(42) presenta un modelo matemático basado en el numero de Arquímedes^{viii}, tal como se muestra en las ecuaciones 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9; con este modelo se puede calcular la longitud mínima necesaria de la campana de tal manera que el contaminante quede dentro de la misma, tal como lo indica la tabla 2.8.

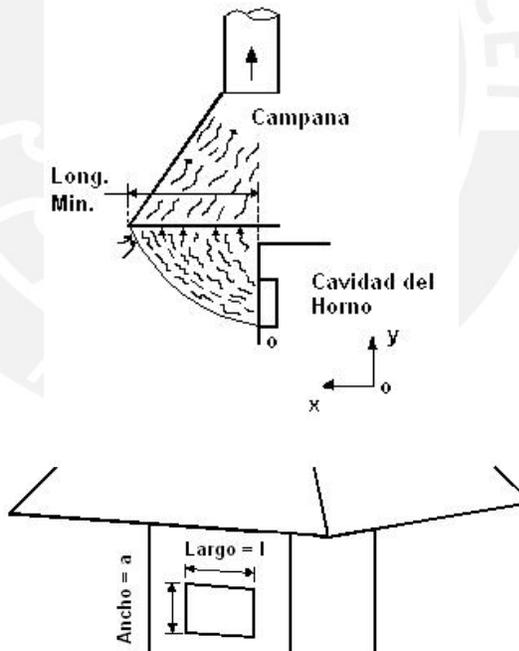


Figura 2.27 Extracción en cavidad de hornos con salida horizontal

^{viii} El numero de Arquímedes se define como un numero adimensional que relaciona el movimiento de los fluidos en base a su densidad.

$$\left(\frac{x}{d_e}\right)^5 = \left(\frac{\left(\frac{y}{d_e}\right)^2}{0.081 * Ar^2}\right) \quad [2.6]$$

$$Ar = \frac{g * d_e}{V^2} * \frac{T - T_i}{T_i} \quad [2.7]$$

$$d_e = \frac{2 * (l * a)}{(l + a)} \quad [2.8]$$

$$Larg\ o.\ min.\ campana > 0.48 * x + a \quad [2.9]$$

Donde:

$x =$ Trayectoria.en.eje.x

$y =$ Trayectoria.en.y

$d_e =$ Diametro.hidraulico

$Ar =$ Numero.de.Arquimedes

$g =$ Gravedad

$T =$ Temperatura.de.la.fuente

$T_i =$ Temperatura.ambiental

$l =$ Longitud.de.salida.del.horno

$a =$ Ancho.de.salida.del.horno

$V =$ Velocidad

Tabla 2.8 Caudal y distancia de contaminantes desde compuertas de hornos.

Horno	V_{horno} m/s ^{ix}	Largo "l" M	Ancho "a" m	Diámetro "de" m	Temp. Horno °K (°C)	Temp. Amb. °K (°C)	Ar	y m (mm.)	x m (mm.)	Long. Min. m (mm.)	\dot{V}_{horno} m ³ /s (cfm)
Carbolite LMF3	1	0.13	0.08	0.099	1473°K (1200°C)	293°K (20°C)	3.91	0.04 (40)	0.066 (66)	0.112 (111.2)	0.0104 (22.03)
Gallenkamp FR-614 4115 SP	1	0.15	0.13	0.139	1273°K (1000°C)	293°K (20°C)	4.57	0.065 (65)	0.092 (92)	0.174 (174.4)	0.0195 (41.31)
Carbolite Type CWF 13/23	1	0.245	0.235	0.239	1573°K (1300°C)	293°K (20°C)	10.28	0.1175 (117.5)	0.1173 (117.3)	0.291 (291.3)	0.057 (121.9)
Gallenkamp Brit Pat 882942	1	0.245	0.235	0.239	623°K (350°C)	293°K (20°C)	2.65	0.1175 (117.5)	0.2018 (201.8)	0.332 (331.9)	0.057 (121.9)

La tabla 2.8 muestra los flujos de contaminantes originados por las compuertas de los hornos pero será necesario sumar los flujos originados por las chimeneas también, la tabla 2.9 muestra los valores para cada chimenea basados en el área y en la velocidad de los contaminantes al salir.

^{ix} La velocidad de salida de los hornos fluctua entre 0.2m/s y 1m/s según datos medidos por un anemómetro de veleta EXTECH Data Logger Modelo 451126 rango 0.3 – 45 m/s

Tabla 2.9 Caudal de las chimeneas para hornos.

Horno	Dimensiones Chimenea m (mm)	V_{horno} m/s ^x	Caudal m ³ /s (cfm)
Carbolite LMF3	0.027 x 0.027 (27 x 27)	1	0.000729 (1.54)
Gallenkamp FR-614 4115 SP	Ø 0.05 (ø50)	1	0.0019635 (4.16)
Carbolite Type CWF 13/23	Ø 0.032 (ø32)	1	0.00080425 (1.7)
Gallenkamp Brit Pat 882942	Ø 0.042 (ø42)	1	0.001385 (2.93)

Sumando entonces los caudales de los contaminantes originadas tanto por las chimeneas y por las compuertas de los hornos podemos estimar un caudal adecuado para la extracción de los contaminantes sin olvidar el requerimiento de la velocidad de captura dado por Dalla Valle, tal como lo muestra la tabla 2.10.

Tabla 2.10 Caudales de extracción para hornos de secado.

Horno	Caudal total emitido m ³ /s (cfm)	Fuente	Largo Campana m (ft)	Ancho Campana m (ft)	Área m ² (ft ²)	Distancia fuente - campana ^{xi} m (ft)(43)	Velocidad de captura m/s (fpm)	Caudal extracción m ³ /s (cfm)
Carbolite LMF3 (3 Unid.)	0.01112 (23.58)	Chimenea	0.658 (2.159)	0.6 (1.968)	0.394 (4.249)	0.0028 (0.0091)	0.2988 (58.82)	0.1179 (250)
		Compuerta	0.658 (2.159)	0.6 (1.968)	0.394 (4.249)	0.0508 (0.166)	0.2805 (55.22)	
Gallenkamp FR-614 4115 SP (2 Unid.)	0.02146 (45.47)	Chimenea	0.952 (3.123)	0.610 (2.001)	0.58 (6.24)	0.0008 (0.0026)	0.2763 (54.40)	0.1604 (340)
		Compuerta	0.952 (3.123)	0.610 (2.001)	0.58 (6.24)	0.0508 (0.166)	0.2646 (52.08)	
Carbolite Type CWF 13/23 (1 Unid.)	0.05837 (123.69)	Chimenea	0.970 (3.183)	0.6 (1.968)	0.582 (6.264)	0.0208 (0.068)	0.2897 (57.03)	0.1699 (360)
		Compuerta	0.970 (3.183)	0.6 (1.968)	0.582 (6.264)	0.0508 (0.166)	0.2795 (55.02)	
Gallenkamp Brit Pat 882942 (1 Unid.)	0.05896 (124.93)	Chimenea	0.747 (2.450)	0.70 (2.297)	0.522 (5.62)	0.0088 (0.0288)	0.306 (60.33)	0.160 (340)
		Compuerta	0.747 (2.450)	0.70 (2.297)	0.522 (5.62)	0.0508 (0.166)	0.292 (57.57)	

^x La velocidad de salida de los hornos fluctua entre 0.2m/s y 1m/s según datos medidos por un anemómetro de veleta EXTECH Data Logger Modelo 451126 rango 0.3 – 45 m/s

^{xi} La distancia máxima es de 2" (50.8mm) según la sugerencia de la conferencia gubernamental de higiene industrial.

Es importante notar que el caudal de extracción calculado en la tabla 2.10 es mayor al caudal producido por los hornos, por lo que se estarían cumpliendo las condiciones dadas por Baturin: “el caudal de extracción debe ser mayor que el caudal producido por la fuente de contaminación” (44) y la dada por Dalla Valle: “velocidad de captura mayor a 50fpm (0.254m/s)”

El laboratorio de pirometalurgia posee dos tipos más de hornos, la figura 2.28 muestra la geometría del horno rotatorio en la que la fuente de contaminación se encuentra en la parte superior, el caudal de extracción es de 251.73cfm (0.1188 m3/s), calculado con la ecuación 2.2^{xii}, las dimensiones de la campana puede ser estimada según la recomendación para campanas bajas, dada por la ACGIH, la cual menciona que solo es necesario agregar 1pie (0.3048m) a las dimensiones de la fuente de emisión, con lo que se tendría una campana de 420mm x 355mm (1.37 ft x 1.16 ft) separada de la fuente unos 17cm (6.67”), además la proyección de los contaminantes sobre la campana pueden ser estimados con el modelo dado por Abraimovich siguiendo las ecuaciones 2.3 y 2.4, quedando con las dimensiones mostradas en las figuras 2.29 y 2.30. Con lo cual se estaría cumpliendo con las condiciones de caudal y velocidad de captura mencionadas anteriormente, tal como lo muestra la tabla 2.11.

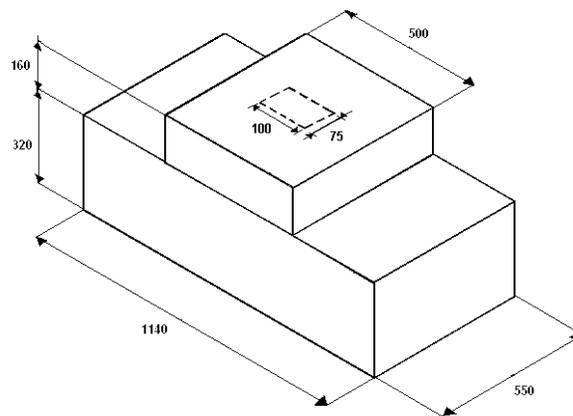


Figura 2.28 Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75 (480mm x 550mm x 1140mm)

^{xii} $Caudal = 6.2 * 1.16^{1.33} * (2012 - 68)^{0.42} * 1.38 = 251.73cfm$

Temp.Amb. = 68°F (20°C)

Temp.Fuente = 2012°F (1100°C)

Ancho = 1.16ft

Largo = 1.38ft

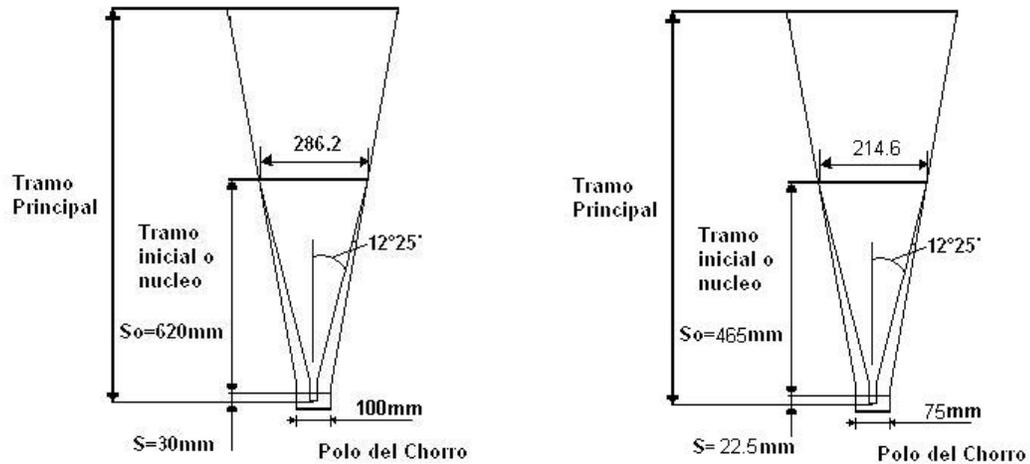


Figura 2.29 Proyeccion de chorro para Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75

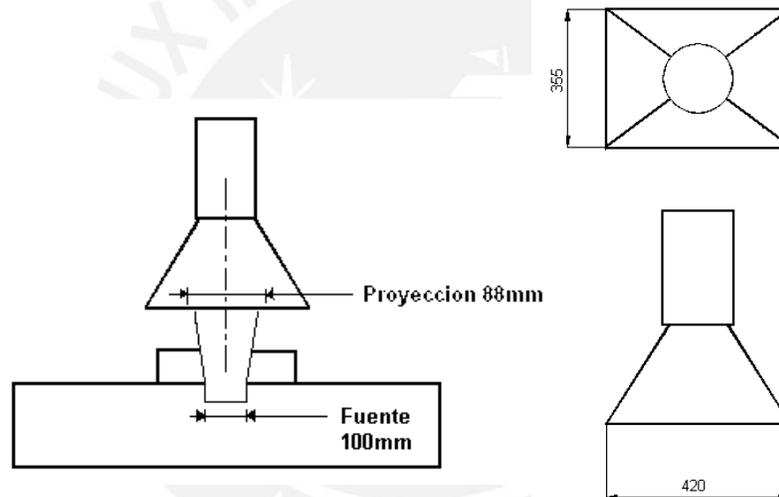


Figura 2.30 Proyeccion de chorro para Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75

Tabla 2.11 Caudales de extracción para horno rotatorio.

Horno	Caudal emitido ^{xiii} m ³ /s (cfm)	Largo Campana m (ft)	Ancho Campana m (ft)	Área m ² (ft ²)	Distancia fuente - campana m (ft)	Velocidad de captura m/s (fpm)	Caudal extracción m ³ /s (cfm)
Horno Rotativo Carbolite Type HTR 11/75	0.0075 (15.89)	0.42 (1.37)	0.355 (1.16)	0.149 (1.6)	0.17 (0.557)	0.271 (53.38)	0.1188 (251.7)

^{xiii} El caudal fue calculado considerando que la velocidad de salida fluctúa entre 0.2m/s y 1m/s con un area de 75mm x 100mm

La figura 2.31 muestra un horno tubular, el cual emite contaminantes por una abertura circular de Ø165mm ubicada a un costado del equipo. Los contaminantes siguen una trayectoria parabólica ascendente, por lo que se puede utilizar los modelos dados por Abrahimovich y por la ACGIH desarrollados por las ecuaciones 2.2, 2.6, 2.7, 2.8 y 2.9 y mostrados en la tabla 2.12; obteniendo un caudal de extracción de 324.6 cfm (0.153m³/s)^{xiv}, para un caudal de emisión de 45.3cfm (0.021m³/s) una dimensión de campana de 393mmx 393mm (1.28ft x 1.28ft), ubicada sobre la abertura circular tal como lo muestra la figura 2.32.

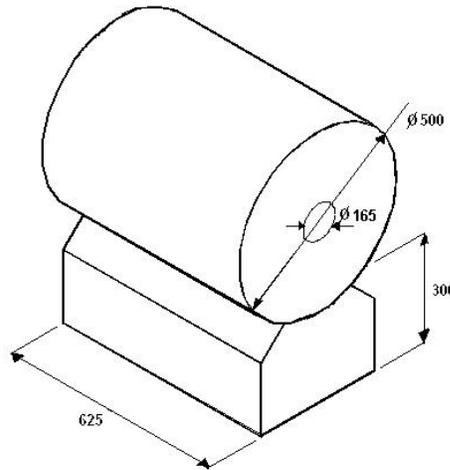


Figura 2.31 Horno Tubular Carbolite Modelo GHA 12/300CWF (670mm x 625mm x 360mm)

Tabla 2.12 Caudales de extracción para horno tubular.

Horno	Caudal emitido ^{xv} m ³ /s (cfm)	Largo Campana m (ft)	Ancho Campana m (ft)	Área m ² (ft ²)	Distancia fuente - campana m (ft)	Velocidad de captura m/s (fpm)	Caudal extracción m ³ /s (cfm)
Horno Tubular Carbolite Modelo GHA 12/300CWF	0.153 (45.3)	0.39 (1.28)	0.39 (1.28)	0.1544 (1.66)	0.167 (0.55)	0.352 (69.3)	0.153 (324.6)

^{xiv} $Caudal = 6.2 * 1.28^{1.33} * (3092 - 68)^{0.42} * 1.28 = 251.73cfm$
Temp.Amb. = 68°F (20°C)
Temp.Fuente = 3092°F (1700°C)
Ancho = 1.28 ft
Largo = 1.28 ft

^{xv} El caudal fue calculado considerando que la velocidad de salida fluctúa entre 0.2m/s y 1m/s con un área de 0.021m²

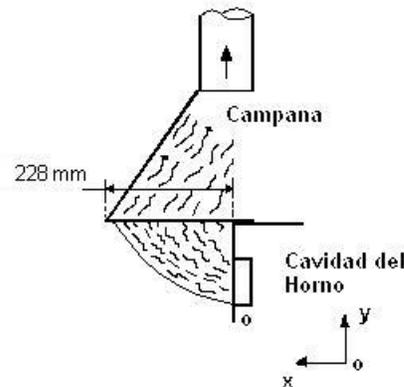


Figura 2.32 Proyección de 228mm sobre campana de horno tubular

2.3 Cálculos del sistema

Una instalación de ventilación se encuentra compuesta de ductos, conexiones y accesorios por las cuales fluye la sustancia de trabajo extraída. Esta sustancia sufre ciertas restricciones y cambios de dirección al trasladarse a lo largo del sistema, manifestándose en una diferencia de presión entre la entrada y la salida del mismo, esta diferencia es denominada por la literatura técnica como caída de presión o pérdida de carga^{xvi} la cual debe ser analizada y estimada para establecer un buen diseño

Las caídas de presión suele dividirse en dos tipos para facilitar el análisis (45).

- Pérdidas primarias en ductos por fricción
- Pérdidas secundarias en accesorios.

2.3.1 Pérdidas primarias en ductos.

Son las caídas o pérdidas de presión debido al contacto del fluido con la superficie del conducto que lo transporta. Esta disminución de presión depende de la velocidad del

^{xvi} La literatura en habla inglesa denomina este tipo de caída de presión como “Head loss” “Pérdida de carga” debido a que al realizar mediciones con manómetros de columna, los instrumentos muestran una semejanza con una línea de personas ubicadas en orden de altura, del más alto al más bajo, de mayor presión a menor presión.

fluido, del diámetro del conducto, de la densidad, de la viscosidad y de la rugosidad del conducto^{xvii}.

Las resistencia ejercida por un fluido dentro de tubería ha sido estudiado desde finales de 1700, Antoine Chezy (1718 – 1798) y Gaspard Riche de Prony (1755 - 1839) desarrollaron una ecuación no homogénea para describir la resistencia ejercida por un fluido dentro de una tubería. En 1845 Julius Weisbach^{xviii} (1806 – 1871) desarrollo la ecuación homogénea 2.10, siendo f un coeficiente de fricción que dependía del material y del diámetro de la tubería.

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad [2.10]$$

Donde
 f : Coeficiente de fricción D : Diametro de la tubería (m)
 h_f : Caidade presión (m.c.a) V : Velocidad del fluido (m/s)
 L : Longitud de la tubería (m) g : Gravedad (m/s²)

En 1857 Henry Darcy (1803 – 1858) estableció una nueva versión del trabajo dejado por Prony dejando confirmado que las variables principales de la caída de presión eran el diámetro y la rugosidad de la tubería. En 1877 John Fanning (1837 – 1911) fue el que aparentemente logro combinar el trabajo de Darcy y Weisbach en lo que fue denominado como el Coeficiente f de Fanning, el cual es solo $\frac{1}{4}$ del Factor dado por Darcy, una de las innovaciones de Fanning fue utilizar el denominado radio hidráulico, con el cual se pudieron trabajar áreas de diferentes formas. A inicios de 1900 y teniendo las herramientas dadas por Osborne Reynolds (1842 – 1912) el siglo anterior (1883) un grupo de trabajo liderado por Ludwig Prandtl (1875-1953) y sus estudiantes Theodor Von Kármán (1881-1963), Paul Richard Heinrich Blasius (1883-1970) y Johann Nikuradse (1894-1979) desarrollaron expresiones matemáticas en los tres regímenes, laminar, transitorio y turbulento. Los trabajos experimentales y los modelos matemáticos dados por este grupo de intelectuales son la base de cualquier desarrollo en la mecánica de fluidos moderna. En 1937 C.F. Colebrook y C.M. White, tomando como referencia los datos experimentales obtenidos por Nikuradse desarrollaron una expresión matemática implícita, la cual relaciona el coeficiente de fricción, el diámetro, la rugosidad y el numero de Reynolds (ecuación 2.11)

^{xvii} La velocidad, el diámetro del conducto, la densidad y la viscosidad se encuentran relacionadas en el numero de Reynolds (Re) $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$ donde: $v =$ velocidad ,

$d =$ diametro , $\mu =$ viscosidad , $\rho =$ densidad

^{xviii} Julius Weisbach baso su propuesta en los trabajos de Claude Couplet (1642 – 1722), Charles Bossut (1755 – 1839), Pierre Du Buat (1734 – 1809), Gaspard Riche de Prony (1755 – 1839) y Johan Eytelwein (1764 – 1848)

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7D_h} + \frac{2.51}{\text{Re}\sqrt{f}} \right) \quad [2.11]$$

Donde:

ε : Rugosidad de la tubería

D_h : Diámetro de la tubería

Re: Numero de Reynolds

f : Coeficiente de Fricción

En 1942 Hunter Rouse (1906 - 1996) compila los modelos matemáticos realizados hasta ese momento y los grafica en un diagrama logrando hacer que el ingreso al diagrama y los cálculos en este se hagan de manera directa, es decir sin necesidad de iteraciones. En 1944 Lewis Moody (1880 - 1953), propone un diagrama diferente, y al parecer mas practico desarrollando de esta manera su famoso diagrama de Moody; en él se logra hallar el factor de fricción, conociendo el numero de Reynolds, la rugosidad y el diámetro de la tubería.

El uso de diagramas facilita la realización de los cálculos debido a que son una herramienta útil debido a la gran cantidad de variables involucradas, pero el uso inadecuado de estos podría ocasionar errores de hasta un 15% según afirma Frank M. White^{xix} (46). En la actualidad existen muchos grupos de trabajo involucrados en el tema, entre los representantes modernos del estudio de perdidas en tuberías podemos mencionar a A.D. Altshul (1975), P.K. Swamee y A.K Jain (1976), S.W. Churchill (1977), J.J. Loeffler (1980) y por ultimo R.J. Tsal (1987) los cuales basándose en las correlaciones existentes han logrado desarrollar nuevas o algunas veces han creado ecuaciones para fluidos específicos, como es el caso de S.W. Churchill y J.J. Loeffler, los cuales basándose en la idea de D.K. Wright^{xx} (1945) han desarrollado ecuaciones para el aire exclusivamente.

Tal como se ha mencionado existen muchas maneras de hallar la caída de presión, se pueden usar diagramas como el de Moody mostrado en el Anexo 5 (47), o diagramas como el mostrado en la Anexo 6 dibujado en base a las ecuaciones de Wright (48), o ecuaciones exclusivas para un fluido específico como las mostradas en la tabla 2.12 o

^{xix} Frank M. White ha sido editor de ASME journal of fluids engineering y autor de múltiples títulos y artículos

^{xx} Las formulas de D.K Wright (1945), han sido utilizadas durante años para el diseño de sistemas de ventilación, muchos de los ábacos encontrados en los libros de texto de fluidos utilizan sus formulas en la elaboración de estos.

simplificadas de tal manera que sea fácil hallar los valores de los coeficientes de rugosidad y por consiguiente la caída de presión, como las mostradas en la tabla 2.13. Todas estas ecuaciones poseen un margen de error respecto a los valores experimentales siendo el aceptado en el diseño en ingeniería de hasta un 7%. Los modelos matemáticos mas certeros son los de Blasius, Von Karman – Prandtl y Colebrook-White (Tabla 2.14), que pueden llegar a tener una aproximación de 5% respecto a las valores experimentales (49). La tabla 2.14 muestra las ecuaciones.

Tabla 2.12 Ecuaciones exclusivamente para aire

Condiciones	Formula	Autor																				
Donde: h_i : Caída de presión V : Velocidad en fpm D : diámetro en pulgadas	$h_i = 2.74 \frac{\left(\frac{V}{1000}\right)^{1.9}}{D^{1.22}} \quad (2.17)^{xxi}$	Wright (1945)(50)																				
$A = \left\{ -2.457 \left[\left(\frac{7}{Re}\right)^{0.9} + \left(\frac{\varepsilon}{3.7d}\right) \right] \right\}^{16}, B = \left(\frac{37530}{Re}\right)^{16}$ Donde: Re : Numero de Reynolds ε : rugosidad del material en pulgadas D : diámetro en pulgadas	$f = 8 \left[\left(\frac{8}{Re}\right)^{12} + (A + B)^{-3/2} \right]^{1/12} \quad (2.18)$	Churchill(1977) ^{xxii}																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Material</th> <th>ε, ft</th> <th>a</th> <th>b</th> <th>C</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminio, Acero negro, acero inox</td> <td>0.00015</td> <td>0.0425</td> <td>0.465</td> <td>0.602</td> </tr> <tr> <td>Acero Galvanizado</td> <td>0.0005</td> <td>0.0307</td> <td>0.533</td> <td>0.612</td> </tr> <tr> <td>Ductos flexibles</td> <td>0.003</td> <td>0.0311</td> <td>0.604</td> <td>0.639</td> </tr> </tbody> </table> Donde: V : Velocidad en fpm ε : rugosidad del material en pulgadas Q : Caudal en cfm	Material	ε , ft	a	b	C	Aluminio, Acero negro, acero inox	0.00015	0.0425	0.465	0.602	Acero Galvanizado	0.0005	0.0307	0.533	0.612	Ductos flexibles	0.003	0.0311	0.604	0.639	$h_i = \frac{aV^b}{Q^c} \quad (2.19)$	Loeffler (1980) ^{xxiii} (51)
Material	ε , ft	a	b	C																		
Aluminio, Acero negro, acero inox	0.00015	0.0425	0.465	0.602																		
Acero Galvanizado	0.0005	0.0307	0.533	0.612																		
Ductos flexibles	0.003	0.0311	0.604	0.639																		

^{xxi} La ecuación se encuentra basada en aire estándar, es decir que el aire posee una densidad de 0.075 lb/ft³, una temperatura de 70°F (21.11°C) y se encuentra a una presión de 14.7psi (1atm) y además circula de manera limpia a través de una tubería circular de acero galvanizado con una rugosidad k de 0,0005ft (0.1524mm)

^{xxii} La ecuación de Churchill muestra resultados en todos los regímenes (laminar, transitorio y turbulento), todo en una sola ecuación, por lo que la aproximación es aceptable solo en casos prácticos y no muy rigurosos. Una vez hallado el factor de fricción, la caída de presión puede ser hallada con la ecuación 2.10

^{xxiii} Posee un error menor al 5% respecto al diagrama de Moody

Tabla 2.13 Ecuaciones modernas

Régimen	Formula	Autor
Si: $f' \geq 0.018 \rightarrow f = f'$ $f' < 0.018 \rightarrow f = 0.85f' + 0.0028$	$f' = 0.11 \left(\frac{\varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25}$ (2.20)	Altshul – Tsal (1975) ^{xxiv} (52)
$10^6 < \frac{k}{D} < 10^2$ $3000 < Re < 3E^8$	$h_i = 1.07 \frac{\dot{V}^2 L}{gd} \left\{ \ln \left[\frac{\varepsilon}{3.7d} \right] + 4.62 \left(\frac{VD}{\dot{V}} \right)^{0.9} \right\}^{-2}$ (2.21)	Swamee y Jain (1976) ^{xxv} (53)
$Re > 2000$	$\dot{V} = -0.965 \left(\frac{gd^5 h_i}{L} \right)^{0.5} \ln \left[\frac{k}{3.7D} + \left(\frac{3.17V^2 L}{gd^3 h_i} \right)^{0.5} \right]$ (2.22)	Swamee y Jain (1976)
$10^{-60} < \frac{k}{D} < 10^{-2}$ $5000 < Re < 3E^8$	$D = 0.66 \left[\varepsilon^{1.25} \left(\frac{L\dot{V}^2}{gh_i} \right)^{4.75} + V\dot{V}^{9.4} \left(\frac{L}{gh_i} \right)^{5.2} \right]^{0.04}$ (2.23)	Swamee y Jain (1976)

Tabla 2.14 Coeficiente para regímenes laminares y turbulentos (54)

Tuberías	Régimen	Formula	Autor
Lisas y rugosas	Laminar $Re < 2000$	$f = \frac{64}{Re}$ (2.12)	Poiseuille
Lisas	Transitorio $2000 < Re < 100000$	$f = \frac{0.316}{Re^{1/4}}$ (2.13)	Blasius
Lisas	Turbulento $100000 < Re$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} (Re \sqrt{f}) - 0.8$ (2.14)	1era. Karman-Prandtl
Rugosas	Turbulento $100000 < Re$	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log_{10} \frac{D}{2k} + 1.74$ (2.15)	2da. Karman-Prandtl
Rugosas	Turbulento ($2000 < Re$)	$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right)$ (2.11)	Colebrook - White (1938 – 1939)

2.3.2 Pérdidas secundarias en accesorios

Estas pérdidas se deben básicamente a los estrechamientos, expansiones, cambios de dirección y obstrucciones causadas por los accesorios tales como codos, tees, válvulas, dampers y dispositivos especiales dispuestos a lo largo de la instalación. Existen dos métodos con los cuales se pueden calcular las pérdidas en los accesorios.

- El método del coeficiente de “Pérdidas”
- El método de la longitud equivalente “ L_e ”

^{xxiv} Posee un error menor al 1.6% respecto de la formula de Colebrook

^{xxv} Posee un error de 2% respecto al diagrama de Moody.

El método del coeficiente de “Perdidas” se basa en la ecuación 2.24, en ella se multiplica el factor por la presión dinámica obteniéndose de esta manera la caída de presión en cada accesorio del sistema

$$h_k = K \frac{V^2}{2g} \quad [2.24]$$

Donde :

h_k : Caída .de.presion .(m.c.a)

V : Velocidad .del.fluido .(m / s)

g : Gravedad .(m / s²)

El factor K cambia a medida que el Reynolds cambia, volviéndose constante para valores de numero de Reynolds a partir de 10000 (55)^{xxvi}

El método de longitud equivalente consiste en transformar la caída de presión del accesorio en una porción de tubería, de tal manera que el cálculo se reduzca simplemente a un cálculo de caída de presión en un gran tramo de tubo. El cálculo se realiza utilizando la ecuación 2.25

$$h_{l_e} = f \frac{L_e V^2}{D 2g} \quad [2.25]$$

Donde :

h_{l_e} : Caída .de.presion .(m.c.a)

L_e : Longitud .de.la.tuberia .(m)

D : Diametro .de.la.tuberia .(m)

V : Velocidad .del.fluido .(m / s)

g : Gravedad .(m / s²)

Ambos métodos son validos, obteniendo valores similares de caída de presión para las mismas condiciones de flujo, geometría y fluido (56) siendo el factor K y el termino longitud equivalente, coeficiente de fricción y diámetro iguales, tal como lo muestra la ecuación 2.26

$$K = \left(f \frac{L_e}{D} \right) \quad [2.26]$$

Tanto el factor K como el de longitud equivalente L_e son valores experimentales, los cuales han sido obtenidos para ciertas condiciones y distancias, tal es el caso que muchos de estos valores son validos siempre y cuando se tenga una porción de tubería de seis (6) veces el diámetro antes del accesorio a evaluar (57). En la actualidad existen muchas discusiones acerca de la credibilidad de muchos de los valores de K y L_e presentados en la literatura técnica, fue por ello que el 26 de Junio

^{xxvi} Los estudios realizados por I.E. Idelchik y compilados en el Handbook of Hydraulic Resistance (1992) muestran valores de K para distintos accesorios, Idelchik se preocupo en mostrar tablas, graficas y ecuaciones que describieran los distintos comportamientos del K en función al numero de Reynolds y la geometría de los accesorios. Los codos, tees y distintos accesorios son constantes a partir de un numero de Reynolds de 10⁵ (100000)

de 1983 en la reunión anual de miembros ASHRAE en Washington se discuto un protocolo para la evaluación experimental para la determinación de caída de presión en accesorios, de tal manera que se pueda actualizar y estandarizar los datos presentados en las tablas de ASHRAE (fittings loss coefficients – fundamentals handbook(58) , las razones principales para la evaluación fueron(59):

- Algunos de los coeficientes presentados en las tablas y diagramas datan de casi 50 años atrás.
- Muchos no presentan la información completa y existen variaciones de $\pm 50\%$ respecto a otras literaturas. La razón principal de la diferencia es la forma constructiva de los accesorios, no todos presentan la misma geometría.

Muchos de los datos presentados por ASHRAE provienen de la compilación y los estudios realizados por I.E. Idelchik, los valores han sido actualizados en la versiones modernas de los Handbooks ASHRAE y serán justamente estos los valores los utilizados en el presente trabajo^{xxvii}.

2.3.3 Métodos de diseño del sistema.

Existen dos métodos para el diseño de un sistema de extracción, el primero es el método del Balance^{xxviii}, el cual consiste en igualar la presión estática (SP^{xxix}) en cada derivación o ramal, trayendo como consecuencia un aumento en el flujo y una reducción o ampliación de los diámetros presentes en cada derivación. El segundo llamado método de la compuerta^{xxx} consiste en instalar compuertas en cada ramal, las cuales serán ajustadas después de terminada la instalación de tal manera que se logre obtener el valor de caudal deseado en cada derivación (60).

El método del balance es el preferido para instalaciones de alta toxicidad y para ambientes explosivos, debido a que las compuertas pueden ocasionar acumulaciones

^{xxvii} Muchos diseñadores asumen que las perdidas de presión provenientes de los accesorios no pasan del 10% de las perdidas provenientes de los ductos y es por ello que no las calculan. Las tendencias de ahorro de energía están forzando a los diseñadores a tomar en cuenta hasta el mas mínimo valor de perdida.

^{xxviii} La literatura en ingles suele denominarlo: “Balance by design method” o “Static pressure balance method”

^{xxix} La nomenclatura de la presión estatica suele ser SP debido a su denominación en ingles static pressure

^{xxx} La literatura en ingles suele denominarlo: “Blast gate method”

peligrosas de dichas sustancias, para ello es necesario calcular la presión estática originada en cada ramal y compararla, si la relación entre ellas es menor a 0.8 será necesario recalcular el diámetro del ramal considerando una relación mayor a 0.8^{xxxii}. Si la relación obtenida supera este valor, será necesario corregir el flujo circulante de tal manera que las presiones estáticas resultantes en los dos ramales sean iguales, por lo que será necesario utilizar la Ecuación 2.27 (61). Si la relación es cercana a uno la corrección puede ser ignorada^{xxxii}.

$$Q_{\text{corregido}} = Q_{\text{diseño}} \sqrt{\frac{SP_{\text{governanteUnion}}}{SP_{\text{menor}}}} \quad [2.27]$$

Las uniones entre ramales principales y secundarios merecen una atención especial, y muchas veces requieren de correcciones. Una diferencia mayor a 0.1"wg (2.54mmca o 24.9Pa) entre las presiones dinámica (VP^{xxxiii}) de los mismos deberán ser evaluada. La evaluación requiere calcular una presión dinámica resultante (VP_r^{xxxiv}) siguiendo la ecuación 2.28, si dicha presión es mayor a la presión dinámica del ramal principal (VP_3), ha ocurrido una aceleración en el flujo resultante por lo que la presión estática en el ramal principal (SP_3) deberá ser calculado siguiendo la ecuación 2.29. Si la presión dinámica resultante es menor a la presión dinámica en el ramal principal no sería necesaria una corrección. La figura 2.33 muestra el esquema de un ramal principal y uno secundario(62).

$$VP_r = \left(\frac{Q_1}{Q_3}\right)VP_1 + \left(\frac{Q_2}{Q_3}\right)VP_2 \quad [2.28]$$

$$SP_3 = SP_1 - (VP_3 - VP_r) \quad [2.29]$$

Donde:

VP_r : Presión dinámica resultante

Si $VP_r > VP_3$ corrección

Si $VP_r < VP_3$ no corrección

Q_1 : Caudal de ramal 1

Q_2 : Caudal de ramal 2

Q_3 : Caudal de ramal principal 3

^{xxxii} Si $\frac{SP_{\text{menor}}}{SP_{\text{governanteUnion}}} < 0.8$ es necesario rediseñar el ramal.

^{xxxiii} Mayor de 0.95 o igual a 1

^{xxxiii} La nomenclatura de la presión dinámica suele ser VP debido a su denominación en inglés velocity pressure

^{xxxiv} Tomando conservación de la energía en la unión de las dos tuberías:

$Q(TP) = Q(SP + VP)$, por la primera ley de la termodinámica tendríamos que

$Q_1(VP_1 + SP_1) + Q_2(VP_2 + SP_2) = Q_3(VP_3 + SP_3) + \text{Perdidas}$

Debido a que el sistema se encuentra balanceado las presiones estáticas en los ramales son iguales, $SP_1 = SP_2$, además $Q_1 + Q_2 = Q_3$,

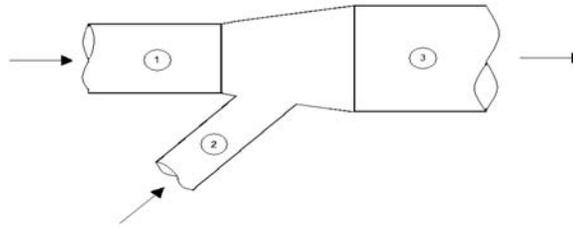


Figura 2.33 Unión entre ramal principal y secundario (63)

El método de la compuerta no requiere ninguna corrección durante el cálculo, el diseño se realiza aplicando la ecuación 2.1, seleccionando los ductos en base a los diámetros hallados, tomando en consideración que los cálculos parten de la tubería mas alejada del ventilador (la de mayor longitud). Dicha corrección puede originar un incremento en los valores de la presión estática del ventilador trayendo como consecuencia un aumento de la potencia de este y por consiguiente un aumento económico.

La ACGIH sugiere seguir el siguiente procedimiento para la realización de un diseño de un sistema de extracción (64):

- Elaborar un esquema de la instalación a diseñar, no será necesario realizarlo minuciosamente, bastara con un unifilar que muestre las longitudes, las elevaciones y la ubicación de las fuentes de contaminación, del ventilador y accesorios del sistema de extracción (Planos 4 y 5)
- Definir la fuente de extracción:
 - Tipo de fuente y ubicación.(Tablas 1.14 y 1.16)
 - Tipo de contaminación, tamaño de partícula, toxicidad, características químicas y detalles de la operación (Tablas 1.15 y 1.17)
 - Caudal de diseño (Tablas 2.5, 2.10, 2.11 y 2.12)
- Definir parámetros de extracción
 - Establecimiento de velocidad de captura (Tabla 2.4)
 - Establecimiento de velocidad de transporte (Tabla 2.4)
- Definir tamaño del ducto dividiendo el caudal de diseño entre la velocidad de transporte mínima. Las dimensiones de los ductos deberán ser seleccionados de los tamaños ofrecidos comercialmente (65). Una vez seleccionada el diámetro comercial, se deberá recalcular la velocidad de transporte. Es importante notar que a menor diámetro, menor área por lo tanto la velocidad de transporte siempre será mayor a la requerida por el diseño.

- Utilizando el unifilar elaborado, se deberá proceder a definir las dimensiones de las tuberías y el número de accesorios necesarios para un buen desempeño del sistema de extracción. Las dimensiones deberán ser tomadas desde el eje central de las tuberías y accesorios.
- Una vez identificadas las dimensiones, los accesorios y los requerimientos de caudal y velocidad, se deberá proceder a calcular la caída de presión en cada ramal, tomando en consideración que en cada intersección o unión se deberá balancear el sistema, utilizando la ecuación 2.27. Es importante notar que el caudal corregido será mayor que el de diseño (en el ramal con menor presión estática) de tal manera que las caídas de presión sean iguales en ambos ramales.
- Una vez calculadas todas las presiones estáticas del sistema se procederá a seleccionar un equipo de tratamiento de aire y un ventilador, tomando como consideraciones, el flujo, la temperatura, la humedad, la toxicidad y las propiedades químicas de las sustancias a extraer.
- Por último una vez seleccionados todos los elementos se procederá a verificar el espacio disponible para la instalación de los equipos, para proceder finalmente a la instalación del sistema.

2.3.4 Memoria de Calculo :

La tabla 2.15 muestra los requerimientos necesarios para el cálculo del sistema de extracción.

Tabla 2.15: Condiciones de operación del sistema de extracción

Laboratorio de Hidrometalurgia y análisis químico				
#	Campana	Caudal	Velocidad de Transporte	Coefficiente de perdida de la campana (h_c)
1	Campana tipo gabinete	1550 cfm (0.73 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.5VP
2	Campana Varian	406 cfm (0.19 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP ^{xxxv}
3	Campana Elmer Perkins	406 cfm (0.19 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP

^{xxxv} Las campanas son rectangulares y con un ángulo θ de 60°

Tabla 2.15: Condiciones de operación del sistema de extracción (continuación)

Laboratorio de Pirometalurgia				
4	Campana LMF3	250 cfm (0.1179 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
5	Campana LMF3	250 cfm (0.1179m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
6	Campana LMF3	250 cfm (0.1179 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
7	Campana Carbolite CWF	360 cfm (0.1699 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
8	Campana Gallenkamp FR	340 cfm (0.1604 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
9	Campana Gallenkamp FR	340 cfm (0.1604 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
10	Campana Gallenkamp Brit	340 cfm (0.1604 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
11	Horno Rotatorio	252 cfm (0.1188 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP
12	Horno Tubular	325 cfm (0.153 m ³ /s)	1500 – 3000 fpm (7.62 – 15.24 m/s)	0.17VP

El dimensionamiento del sistema mostrado en el plano 4, será calculado por los métodos del balance, debido a que es el más económico. Para el cálculo será necesario hallar las caídas de presión en las tuberías mediante las formulas de Coolebrok (ecuación 2.11); la disminución de presión derivada de los accesorios será calculado utilizando los valores de coeficientes de perdidas en accesorios dados por ASHRAE(66) y por la ACGIH(67), el sistema de tratamiento de aire será seleccionado tomando las sugerencias dadas por la ACGIH(68) en base al tamaño de partícula extraída mostrada en el Anexo A5 (Wet scrubber). El detalle de los cálculos de caída de presión es mostrada en la tabla anexa del plano 4.

La Tabla 2.16 muestra las diferencias de presión alcanzadas por el sistema de extracción mostrado en el plano 4.

Tabla 2.16: Resumen de cálculo del sistema

Ramales de extracción Hidrometalurgia - Punto 1 al punto E			
Ramal	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión (Pa)
1-A	300	1589	-105.72
2-A	150	406	-105.72
A-B	315	2072	-143.06
3-B	140	406	-143.91
B-C	355	2470	-229.73
Ventilador			
C-D	355	2470	26.08
Lavador	1560	2470	144.86
D-E	300	2470	269.34

Tabla 2.16: Resumen de cálculo del sistema (continuación)

Ramales de extracción Pirometalurgia Sección – Punto 4 al punto M			
Ramal	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión de Succión (Pa)
4-F	125	260	-93.62
5-F	125	760	-93.62
F-G	180	500	-97.93
6-G	125	260	-97.93
G-H	200	760	-129.63
7-H	140	387	-129.63
H-I	250	1254	-159.05
8-I	125	340	-159.05
I-J	315	1594	-161.9
9-J	125	343	-161.9
J-K	315	1938	-185.07
10-K	125	355	-185.07
K-M	315	2292	-226.36
Ramales de extracción Pirometalurgia Sección – Punto 11 al punto M			
Ramal	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión de Succión (Pa)
11-L	125	252	-104.05
12-L	140	341	-104.95
L-M	160	608	-226.35
Ramales de extracción Pirometalurgia Sección – Punto M al punto P			
Ramal	Diámetro (mm)	Caudal (m ³ /s)	Presión de Succión (Pa)
M-N	355	2900	-319.25
Ventilador			
N-O	355	2900	35.62
Lavador	1690	2900	154.40
O-P	355	2900	233.49

Las tablas 1.15, 1.17 muestran los flujos máxicos de las emisiones producidas por los procesos llevados a cabo en cada laboratorio. Dadas las condiciones de velocidad de captura y transporte (Tabla 2.16), el cociente entre los flujos masicos emitidos (tablas 1.15 y 1.17) y el caudal extraído (Tabla 2.15) en cada campana se puede hallar la concentración de contaminante por metro cubico de aire, tal como se muestran las tablas 2.17 y 2.18

Comparando los resultados de las tablas 2.17 y 2.18 obtenidos, con la normativa existente, mostrada en la tabla 1.19, se puede apreciar que los valores emitidos se encuentran por debajo de los valores máxicos restringíos por la ley, por lo que se

podría prescindir de la instalación de un equipo de tratamiento de aire, descargando los gases directamente al ambiente. Ya que la sección ingeniería de minas es una entidad educativa que requiere dar el ejemplo a los futuros profesionales en minera, se decidió considerar el equipo de tratamiento de aire en el diseño del sistema de extracción, siendo diseñado con una eficiencia del 95% tomando como patrón y referencia al gas: dióxido de azufre, debido a que es emitido con mayor frecuencia en los procesos mineros.

Tabla 2.17: Emisión de contaminantes por metro cubico de aire extraído

#	Campana	Emisiones	
1	Tipo Gabinete	NO ₂	10.73mgr/m ³
		H ₂ S	0.68mgr/m ³
		SO ₂	0.22mgr/m ³
		CO ₂	0.68mgr/m ³
		PM	1.36e-5mgr/m ³
		HCN	1.1e-5mgr/m ³
2-3	Rectangular Abierta	CO ₂	0.87mgr/m ³
		SO ₂	17.54mgr/m ³
		Pb	0.0079mgr/m ³
		PM	17.54mgr/m ³

Tabla 2.18: Emisión de contaminantes por metro cubico

#	Campana	Emisiones	
4	Tipo Gabinete	SO ₂	8.47mgr/m ³
5		NO ₂	1.41mgr/m ³
6		CO	1.12mgr/m ³
7		CO ₂	1.47gr/m ³
8		PM	15.53mgr/m ³
9		PM-10	3mgr/m ³
10		TOC	2.25mgr/m ³

Tabla 2.18: Emisión de contaminantes por metro cubico (continuación)

#	Campana	Emisiones	
4 5 6 7 8 9 10	Tipo Gabinete	Sb	1.41e-5mgr/m ³
		Be	1.41e-4mgr/m ³
		Cd	2.82e-5mgr/m ³
		Cr	1.27e-2mgr/m ³
		Mn	1.69e-2mgr/m ³
		Hg	7.06e-5mgr/m ³
		Ni	1.12e-2mg/m ³
		Se	5.64e-4mgr/m ³
		Pb	1.41e-4mgr/m ³
		Co	4.23e-5mgr/m ³
		Mg	4.23e-3mgr/m ³
		CO ₂	32.48mgr/m ³
		PM	4.23mgr/m ³
		Volátiles orgánicos inorgánicos	0.17mgr/m ³
11	Rectangular Abierta	Pb	2.8e-3mgr/m ³
		PM	11.22mgr/m ³
12	Rectangular Abierta	CO ₂	0.29gr/m ³
		SO ₂	4.35mgr/m ³
		Pb	2.17e-3mgr/m ³
		PM	8.71mgr/m ³

La ACGIH recomienda utilizar un lavador de gases tipo torre empacada para el tipo de contaminante producido por los laboratorios de minas, el diseño de la torre se basa en dos parámetros: La caída de presión, relacionada directamente con el diámetro y con el tipo de empaque; y la eficiencia de absorción, relacionada con la altura del empaque y con los coeficientes de transferencia de masa ($K_G a$), tanto de gas como de liquido.

Debido al espacio disponible fuera de las instalaciones de la sección ingeniería de minas será necesario el cálculo de dos lavadores de gases tipo torre empacada. Las torres de relleno a diseñar tendrá dos flujos a contra corriente, el gas ingresara por la parte inferior y el liquido será rociado por la parte superior, bañando al empaque. Existen varios tipos de empaque, tal como se muestra en los Anexos A6 y A7, cada uno posee un tipo de geometría que restringirá más o menos el flujo de gas para una determinada cantidad de agua. Dicha restricción ha sido denominada “Estado de inundación”, el cual es el instante en el que el espacio entre los intersticios del empaque ha quedado tan restringido que ya no es posible aumentar el flujo de gas circulante. Cada empaque posee un coeficiente de caída de presión distinto por lo que deberá ser evaluado para ver su conveniencia, tal como lo muestran los Anexos A6 y A7. McCabe recomienda utilizar valores menores al estado de inundación (69).

Los pasos para el diseño del lavador son los siguientes:

- Cálculo del diámetro del lavador: Siguiendo las recomendaciones dadas por ASHRAE⁷⁰ se deberá elegir una de las tres velocidades recomendadas: 120 fpm (0.6m/s) o 240fpm(1.2m/s) o 360fpm(1.8m/s), luego utilizando la ecuación 2.1 en unidades inglesas se deberá hallar la sección transversal y el diámetro del lavador.
- Cálculo de caída de presión en pulgadas de agua por pies de empaque: Será hallado mediante el gráfico generalizado desarrollado por Eckert (71) para unidades inglesas, mostrado en la figura 2.34. McCabe, recomienda para lavadores tipo torre empacada que la relación entre el flujo masico de gas por pie cuadrado(G_x) y el flujo de liquido por pie cuadrado (G_y) sea uno ($G_x/G_y=1$), en este tipo de lavador. Debido a que existen diferentes tipos de empaque será necesario evaluar la relación de caída de presión hallada utilizando la grafica dada por Eckert para los diferentes tipos de empaque.
- Cálculo de la altura del empaque del lavador: Siguiendo las recomendaciones dadas por ASHRAE, se deberá utilizar los gráficos de control de contaminación para la velocidad que cumpla con la eficiencia requerida en función al cociente de transferencia de masa K_{Ga} . En el caso del lavador a diseñar, el gas a absorber será el dióxido de azufre (SO_2), que posee un coeficiente de transferencia de masa de liquido $K_{Ga} = 2.96 \text{ lb.mol/h ft}^3\text{atm}$, y para la cual se desea tener una eficiencia de absorción del 90%, tal como lo muestra la figura

2.35. La altura del lavador será la intersección entre estos tres parámetros. Una vez hallada la altura se podrá multiplicar el valor por la caída de presión en pulgadas de agua por pies de altura de relleno.

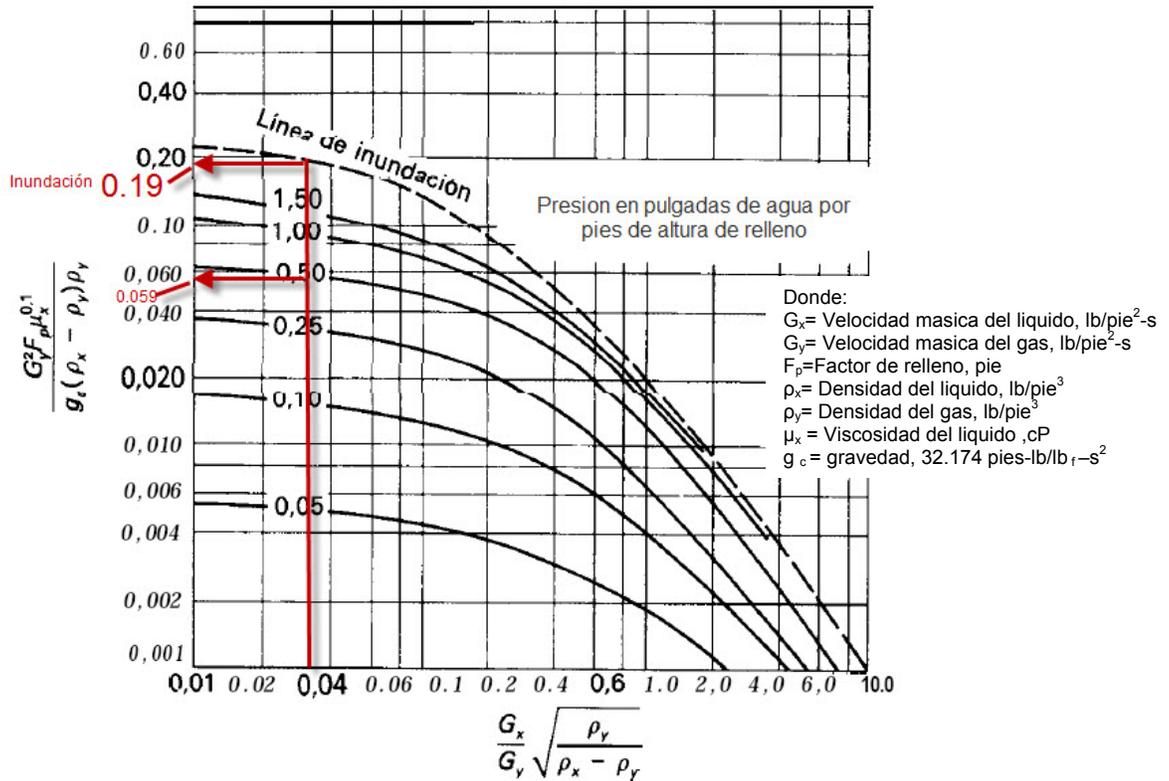


Figura 2.34 Unión entre ramal principal y secundario (72)

Los Anexos A6 y A7 muestran la evaluación de los distintos tipos de empaque para los dos sistemas de extracción diseñados, entre ellos se ha elegido el tipo Super ItaloX de plástico cuyo diámetro nominal es una pulgada, debido a que combina bien la relación altura caída de presión, 2.91 metros y 118.78Pa. La línea roja sobre el gráfico de la figura 2.39 indica el desarrollo para el cálculo de la caída de presión para este tipo de empaque. Las líneas rojas sobre la figura 2.40 indica el desarrollo para el cálculo de la altura del mismo. Los diámetros de las torres serán 1.56m (5.13pies) y 1.69m (5.54pies) para los 1.16m³/s (2478cfm) y 1.36m³/s (2895cfm) respectivamente.

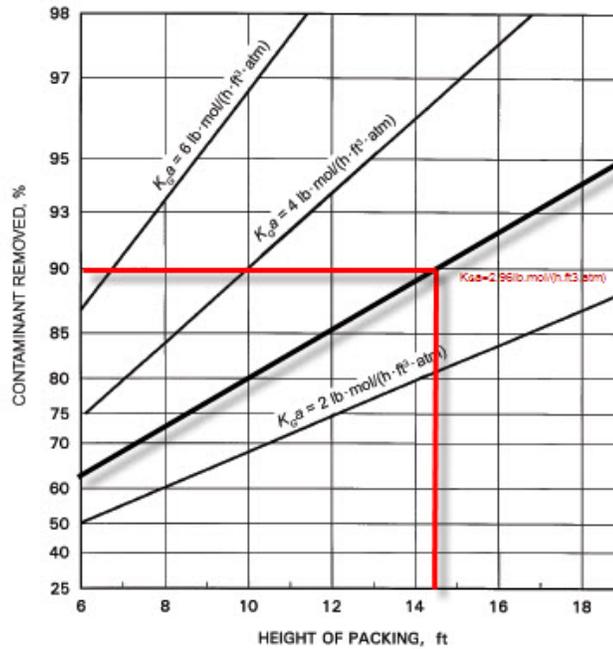


Figura 2.35 Eficiencia de absorcion versus Altura de empaque para 120fpm(0.6m/s) (73)

Una vez extraídos y lavados los contaminantes del laboratorio, es necesario expulsar el aire puro hacia el ambiente exterior, La USEPA (74) recomienda para el cálculo de chimeneas tomar en consideración los siguientes parámetros:

- Velocidad de salida de los gases de la chimenea: se recomienda como mínimo 13.5m/s (2600fpm), las velocidades de salida de los sistemas diseñados es 13.8m/s y 16.5m/s
- Velocidad y dirección de viento: para el caso de los laboratorios de metalurgia, la velocidad del viento se encuentra entre 20 y 30 km/h (5.55 y 8.33m/s) y la dirección predominante es SO (Sur-Oeste) y SSO (Sur-Sur-Oeste), tal como lo indica y esquematizan los Anexos A9 y A10. Los gases extraídos son expulsados hacia la parte posterior del edificio de minas.
- La altura de la chimenea será calculada en base a la formula 2.30 (75).

$$H_s = H_b + 1.5H_{SB} \quad [2.30]$$

Donde

H_s = Altura de la chimenea

H_b = Altura del edificio aledaño

H_{SB} =Altura del edificio más pequeño ubicado cerca de la instalación

En el caso del laboratorio de minas, los edificios mas cercanos tienen una altura de 4.5 metros, por lo que el tamaño de la chimenea deberá ser de 11.25 metros como mínimo. La misma que será ubicada sobre el lavador de gases, el cual ya posee una altura de 5 metros por lo que el tubo final tendrá una longitud de 6.25 metros. Los gases expulsados por la chimenea se abrirán en un ángulo de 11.3 grados ($\tan \theta = 1/5$) en la dirección de viento. Un segundo después de ser expulsados, los gases de las chimeneas habrán alcanzado una altura aproximada de 13.8 metros y 16.5 metros a partir de esta, es decir 25 metros y 27.75 metros desde el suelo, es importante resaltar que el edificio de la facultad de minas posee una altura de 13.5 metros (3 pisos de 4.5m), por lo que no se vería afectada si el viento cambiara de dirección hacia ella. Además, en este tiempo los gases recorren una distancia horizontal de 5.5 metros y poseen una apertura en forma de abanico de 2 metros.

Con los valores de presión de succión y caudal es posible estimar la potencia de los ventiladores requeridos para las instalaciones. Asumiendo una eficiencia mínima del 70%, se puede estimar que los ventiladores deberán ser de 0.8HP y 0.64HP para los con caudales y presiones de $1.37 \text{ m}^3/\text{s}$ (2900cfm), 439.74Pa (1.76"wg) y $1.16 \text{ m}^3/\text{s}$ (2470cfm), 416.87Pa (0.64"wg) respectivamente. El Anexo A10 muestra las graficas de selección de un modelo de ventilador marca GreenHeck SWB 213 SERIE 200 con recubrimiento epoxico movido por faja.

Por ultimo, los lavadores de gases requieren de agua para llevar a cabo su trabajo, por lo que será necesario seleccionar dos bombas que cumplan con los requerimientos de caudal hallados en los anexos A6 y A7, por lo que se deberá seleccionar dos bombas capaces de suministrar 5 y $5.9 \text{ m}^3/\text{h}$. El Anexo A11 muestra las graficas de selección de una bomba Lowara modelo Lowara HMS 4HM46 de 0.6HP de acero inoxidable 316.

REFERENCIAS DEL CAPITULO 2

- ¹ ACGIH 21st edition “*Industrial Ventilation*” En su: Exhaust System Design Procedure. Cincinnati USA 1992 pp 5.1-5.2
- ² Ibid pp 3.2 - 3.6
- ³ Ibid pp 3.6, Table 3-1
- ⁴ Ibid pp 3.6
- ⁵ ALDEN, John L. “*Design of Industrial Ventilation Systems*” Fifth Edition. En su: Pipe Resistance. New York, USA. Industrial Press Inc. 1982 pp 89
- ⁶ ACGIH *op.cit*, pp 3.18
- ⁷ ACGIH *op.cit*, pp 3.3
- ⁸ ACGIH *op.cit*, pp 10.39
- ⁹ BURGESS, William ELLENBECKER, Michael, TREITMAN, Robert 2nd edition “Ventilation for Control of The Work Environment” En su: Hood Design. New Jersey, USA Jhon Wiley & Sons, Inc. 2004 pp 109
- ¹⁰ ACGIH *op.cit*, pp 10.39
- ¹¹ BURGESS, William *op.cit*, pp 205
- ¹² BURGESS, William *op.cit*, pp 205
- ¹³ BURGESS, William *op.cit*, pp 205
- ¹⁴ BURGESS, William *op.cit*, pp 206
- ¹⁵ BURGESS, William *op.cit*, pp 206
- ¹⁶ BURGESS, William *op.cit*, pp 207
- ¹⁷ BURGESS, William *op.cit*, pp 208
- ¹⁸ ACGIH *op.cit*, pp 10.39
- ¹⁹ ACGIH *op.cit*, pp 3.16
- ²⁰ ACGIH *op.cit*, pp 3.15
- ²¹ ACGIH *op.cit*, pp 1.6
- ²² ACGIH *op.cit*, pp 3.15
- ²³ BURGESS, William *op.cit*, pp 214 -222
- ²⁴ ACGIH *op.cit*, pp 3.19
- ²⁵ ACGIH *op.cit*, pp 3.20
- ²⁶ ACGIH *op.cit*, pp 3.20
- ²⁷ ACGIH *op.cit*, pp 3.20
- ²⁸ ACGIH *op.cit*, pp 3.20
- ²⁹ BATURIN V.V. 1era edición “Fundamentos de Ventilación Industrial” En su: Chorro de Aire Barcelona 1976 pp 113
- ³⁰ Ibid pp 114
- ³¹ Ibid pp 119
- ³² Ibid pp 114
- ³³ Ibid pp 123 fig 4.11
- ³⁴ Ibid pp 124
- ³⁵ Ibid pp 124
- ³⁶ ACGIH *op.cit*, pp 3.20
- ³⁷ ACGIH *op.cit*, pp 3.16
- ³⁸ BATURIN V.V. *op.cit*, pp 124
- ³⁹ PERKIN ELMER, “Service Data Bulletin” [en línea]
Disponible en:
<http://las.perkinelmer.com/Content/RelatedMaterials/Pre-InstallationFiles/PRE_AA400.pdf>
[Consulta 10 de abril de 2008]

- ⁴⁰VARIAN, "Varian AA systems" [en línea]
 Disponible en:
 <<http://www.varianinc.com/image/vimage/docs/products/spectr/aa/ordering/techpubs/1193.pdf>>
 [Consulta 10 de abril de 2008]
- ⁴¹ ACGIH op cit, pp 10.38
- ⁴² BATURIN V.V. "Fundamentos de Ventilacion Industrial" op cit, pp 543
- ⁴³ ACGIH op cit, pp 10.49
- ⁴⁴ BATURIN V.V. op cit, pp 124
- ⁴⁵ MATAIX CLAUDIO, 2da edición. "Mecanica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas" En su: Perdida primarias en conductos cerrados o tuberías. Mexico D.F. Mexico. 1982 pp. 203
- ⁴⁶ WHITE, FRANK M., Third edition "Fluids Mechanics" En su: Flow in a circular pipe, United States of America 1994 pp 317
- ⁴⁷ MOODY, Lewis F. "Friction Factors for Pipe Flow" Transactions of the ASME November 1944, Vol 66 pp 671-678
- ⁴⁸ ASHRAE SI edition "Fundamentals 2001", En su: Duct Design. Atlanta USA 2001 pp 34.9
- ⁴⁹ POTTER C., Merle, WIGGERT C., David 1th edition "Mechanics of Fluids" En su: Internal Flows, New Jersey USA pp. 281
- ⁵⁰ ACGIH op cit, pp 1.7
- ⁵¹ ACGIH op cit, pp 1.8
- ⁵² ASHRAE op cit, pp 34.1
- ⁵³ POTTER C., op cit, pp. 281
- ⁵⁴ MATAIX CLAUDIO, op cit, pp. 217
- ⁵⁵ IDELCHIK, I. E. 3-е издание "Справочник по гидравлического сопротивления" En su: Сопротивление при течении с изменением направлени́я потока (коэффициенты сопротивления изогнутых участков колен, отводов поворотов), Москва Rusia 1992 pp6-1
- ⁵⁶ CRANE Co. "Technical Paper No 410M" En su: Flow of fluids through valves and fittings New York USA 1982 pp 2.8
- ⁵⁷ ASHRAE op cit, pp 34.11
- ⁵⁸ ASHRAE op cit, pp 34.29
- ⁵⁹ ASHRAE, "RP-551- Laboratory study to determine flow resistance of HVAC duct fittings" [en línea]
 Disponible en:
 <https://eweb.ashrae.org/eweb/DynamicPage.aspx?webCode=ProductDescr&prc_prd_key=245e1202-a2e4-41da-b4be-08c51179957a>
- ⁶⁰ ACGIH op cit, pp 5.6
- ⁶¹ ACGIH op cit, pp 5.9
- ⁶² ACGIH op cit, pp 5.11
- ⁶³ ACGIH op cit, pp 5.11
- ⁶⁴ ACGIH op cit, pp 5.2
- ⁶⁵ ACGIH op cit, pp 21.20
- ⁶⁶ ACGIH op cit, pp 21.26
- ⁶⁷ ACGIH op cit, pp 5.6
- ⁶⁸ ASHRAE "HVAC Systems and Equipment 2008". En su: Industrial Gas Cleaning and Air Pollution Control Atlanta USA 2008 pp 29.21
- ⁶⁹ McCABE Warren SMITH, Julian HARRIOTT Peter 4ta Edición. "Operaciones unitarias en ingeniería química" En su: Absorción de gases, Madrid ESPAÑA pp 717
- ⁷⁰ ASHRAE "HVAC Systems and Equipment 2008". op cit, pp 29.21
- ⁷¹ McCABE Warren op cit, pp 722
- ⁷² McCABE Warren op cit, pp 722
- ⁷³ ASHRAE "HVAC Systems and Equipment 2008". op cit, pp 29.30
- ⁷⁴ USEPA 2008 Section 2 Generic Equipment an Devices [en línea] Washington , United States [consultado 01/08/09]
 < <http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs2ch1.pdf>>
- ⁷⁵ USEPA 2008 Section 2 Generic Equipment an Devices op cit, Chimeneas

CAPITULO 3

PRESUPUESTO DEL PROYECTO

A continuación se presenta el presupuesto del Proyecto, inicialmente el listado de equipos, campanas, ductos y accesorios; posteriormente se hace una evaluación de las propuestas de implementación del proyecto encargado en su ejecución a JKM S.A.C y Certilab S.A, ambas de procedencia local y con experiencia en la implementación de sistemas de extracción de gases.

3.1 Componentes y equipos considerados

Las Tablas 3.1 y 3.2 presentan las listas de componentes a presupuestar, detallando características de material, marcas y modelos.

Tabla 3.1 Lista de equipos y campanas

Equipo	Cant.	Características	Obs.	Recomendación
Ventilador Centrifugo	1	1.37m ³ /s (2900cfm) - 439,7Pa (1.76"wg)	Recubrimiento epóxico	GreenHeck SWB 213 serie 200 (2680cfm, 2"wg, epoxico sobre acero)
Ventilador Centrifugo	1	1.16m ³ /s (2470cfm) - 416.87Pa (1.67"wg)	Recubrimiento epoxico	GreenHeck SWB 213 serie 200 (2960cfm, 2"wg, epoxico sobre acero)
Bomba Centrifuga	1	5.0m ³ /h, Delta sistema 0.6mH ₂ O	Acero inoxidable 316	Lowara HMS 4HM36, 0.6HP
Bomba Centrifuga	1	5.9m ³ /h, Delta sistema 0.6mH ₂ O	Acero inoxidable 316	Lowara HMS 4HM36, 0.6HP
Lavador Tipo torre empacada	1	Ø 1.6, 3m de empaque SUPER ITALOX PLASTIC 1" 2900cfm	Acero con recubrimiento epoxico	Teblick, Hygrade, Bete, son hechos a medida.
Lavador Tipo torre empacada	1	Ø 1.7, 3m de empaque SUPER ITALOX PLASTIC 1" 2470cfm	Acero con recubrimiento epoxico	Teblick, Hygrade, Bete, son hechos a medida.

Tabla 3.1 Lista de equipos y campanas (continuación)

Equipo	Cant.	Características	Obs.	Recomendación
Campana tipo Gabinete	1	1550cfm, 1800mmx800mm, 750mm profundidad	Acero al carbono cubierto con epoxico	Resistente a ácidos y a agentes corrosivos
Campana abierta	2	405cfm, 450mmx350mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	3	250cfm, 700mmx600mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	2	340cfm, 1000mmx610mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	1	360cfm, 1000mmx600mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	1	340cfm, 750mmx700mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	1	250cfm, 420mmx355mm	Acero inoxidable 316	
Campana abierta	1	325cfm, 390mmx390mm	Acero inoxidable 316	

Tabla 3.2 Lista de Ductos y accesorios

Ductos y Accesorios	Cant.	Características	Obs.	Recomendación
Tubería	25.7m	Ø 125mm	Tubería PVC - U	Resistente a ácidos y a agentes corrosivos
Tubería	10.4m	Ø 140mm		
Tubería	3.4m	Ø 150mm		
Tubería	1.3m	Ø 160mm		
Tubería	0.8m	Ø 180mm		
Tubería	1.2m	Ø 200mm		
Tubería	0.7m	Ø 250mm		
Tubería	11.6m	Ø 300mm		
Tubería	6.77m	Ø 315mm		
Tubería	23.2m	Ø 355mm		
Damper	7	Ø 125mm		
Damper	3	Ø 140mm		
Damper	1	Ø 150mm		
Damper	1	Ø 300mm		
Codo 90°	7	Ø 125mm		
Codo 90°	3	Ø 140mm		
Codo 90°	1	Ø 150mm		
Codo 90°	1	Ø 160mm		
Codo 90°	1	Ø 300mm		
Codo 90°	4	Ø 355mm		
Codo 45°	2	Ø 125mm		
Codo 45°	1	Ø 300mm		
Yee	1	Ø 125 - 180		
Yee Ø 125-200	1	Ø 125-200		
Yee Ø 140-250	1	Ø 140-250		
Yee Ø 125-315	1	Ø 125-315		
Yee Ø 125-315	2	Ø 125-315		
Yee Ø 140-160	1	Ø 140-160		
Yee Ø 160-355	1	Ø 160-355		
Yee Ø 150 - 315	1	Ø 150 - 315		
Yee Ø 140-355	1	Ø 140-355		
Transición	2	Ø 355mm a 14"x14"	Acero con recubrimiento epoxico	
Ductos Entrada ventilador	2	Ø 355mm		
Ductos Salida ventilador	2	14"x14"		

Las características de los equipo como ventiladores y bombas son mostradas en los Anexos A10 y A11.

3.2 Evaluación del proyecto

Dada la importancia en la implementación del diseño propuesto para la Sección Ingeniería de Minas, se evaluaron empresas contratistas que tuvieran experiencia y capacidad técnica para la implementación del proyecto, quedando pre-seleccionadas las empresas JKM S.A.C y Certilab S.A

Los presupuestos fueron elaborados para ambos ambientes, tanto para el laboratorio de Biometalurgia - Análisis Químico de Minerales - Hidrometalurgia - Electrometalurgia como para el de Pirometalurgia. Tal como se muestra en los Anexos A12, A13 y 14. La tabla 3.2 muestra la evaluación de las propuestas mediante un ponderado del uno al cinco, siendo 1 malo, 2 regular, 3 aceptable, 4 bueno y 5 muy bueno.

Tabla 3.2 Evaluación de propuestas

	Certilab	Puntaje	JKM	Puntaje
Campanas				
Material	Inoxidable 304	5	Galvanizado con recubrimiento epoxico	3
Accesorios	Incluidos	4	No especifica	1
Ventiladores				
Material	Fierro	3	Fibra de vidrio reforzada	4
Recubrimiento	Epoxico	4	Fibra de vidrio	4
Lavador				
Material	PVC	3	Fibra de vidrio	5
Informacion Tecnica	No Incluida	1	No incluida	1
Accesorios propios del sistema	Incluidos	4	Incluidos	4
Instalación				
Mano de obra	Incluida	5	Incluida	5
Obra civil	Incluida	5	No Incluida	1
Sistema Electrico	Incluido	4	No incluido	1
Sistema de control	No especifica	3	Incluida	4
Precio				
Forma de Pago	Factura a 30 dias	4	60% de adelanto, saldo contraentrega	2
Tiempo de entrega	6 semanas	3	4 semanas	4
Costo	\$42199 + IGV	3	\$41759.1 + IGV	3
Total	\$50216.81	3	\$49693.21	3
Puntaje Total		54		45

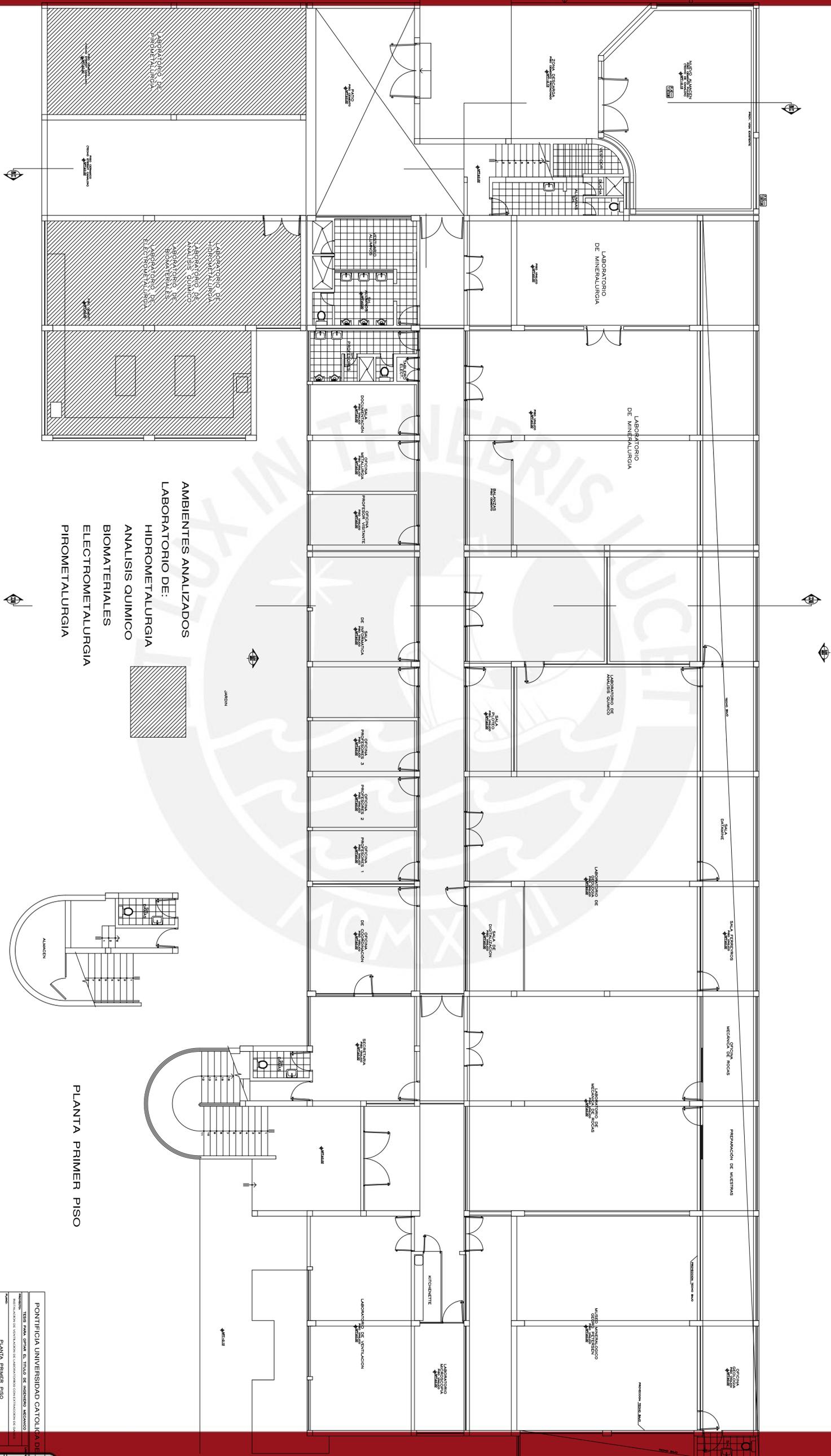
Los resultados mostrados en la tabla 3.2 dan como ganador a la empresa Certilab, debido a que incluye elementos como el sistema eléctrico y la obra civil que JKM no ofrece, el resto de elementos evaluados son muy similares.

En conclusión, el costo del proyecto de implementación de un sistema de extracción con lavado de gases para los laboratorios de hidrometalurgia y pirometalurgia es de \$50216.81 dólares americanos incluido IGV.



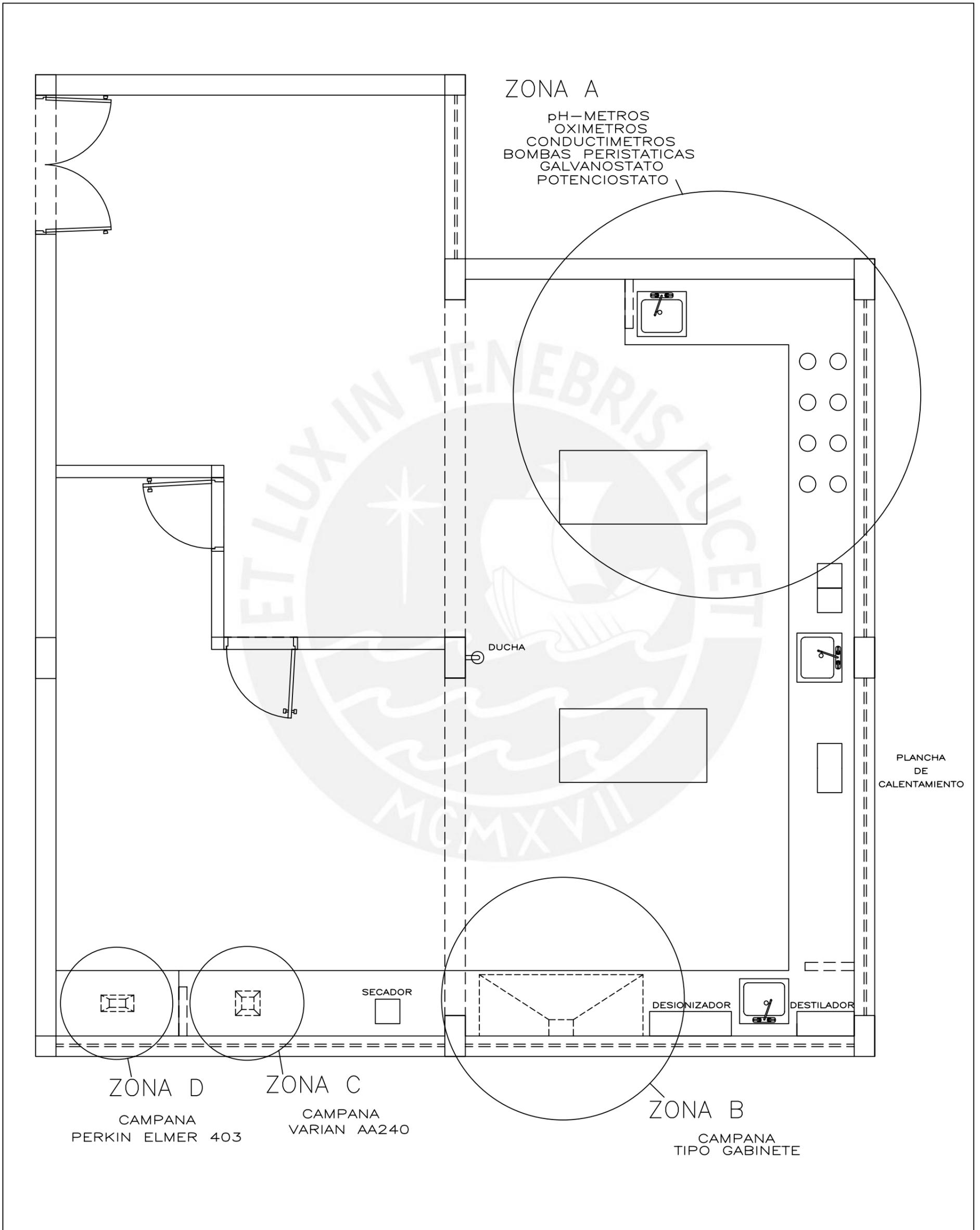
CONCLUSIONES

1. El sistema diseñado garantizara una adecuada extracción de los contaminantes emitidos por los procesos realizados en ambos laboratorios, resolviendo el problema de acumulación de estos dentro de los ambientes.
2. La cantidad de contaminantes emitidos al exterior por los laboratorio analizados resultaron menores a los impuestos por las normativas nacionales e internacionales. Esto no significa que los valores de las normativas sean altos, sino mas bien que el tipo de emisión producida por los laboratorios es relativamente baja. Lo cual no implica que no sea necesaria su extracción y tratamiento, tal como se indica en el presente trabajo.
3. La implementación del sistema de ventilación completo, tanto la extracción como el tratamiento posterior garantizaran un puntaje significativo dentro de la evaluación realizada para la futura acreditación de la sección minas, en el área de infraestructura educativa.
4. La implementación del sistema de extracción con lavado de gases asciende a 42199 dólares mas IGV, el cual es un monto elevado, por lo cual también el diseño ha considerado la ejecución del proyecto en tres etapas: en la etapa inicial se debe hacer la implementación de las campanas de Hidrometalurgia, en la segunda etapa la implementación en Pirometalurgia y la última etapa la instalación de los lavadores de gases.



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU	
TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO MECANICO	
AUTOR: [Nombre del Autor]	
TITULO: PLANTA PRIMER PISO	
FECHA: 2/5	FECHA: 2003
HOJA: 8	HOJA: 8

PLANTA PRIMER PISO



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU		
TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO MECANICO		
PROYECTO:	INSTALACION DE VENTILACION DE LABORATORIOS CON EXTRACCION DE GASES	
PLANO:	DISTRIBUCION ARQUITECTONICA HIDROMETALURGIA	
ESCALA:	FECHA:	DIBUJO:
S/E	JULIO 2009	A. F. M.

Zona E
Mufla
Carbolite LMF3
(3 unid.)

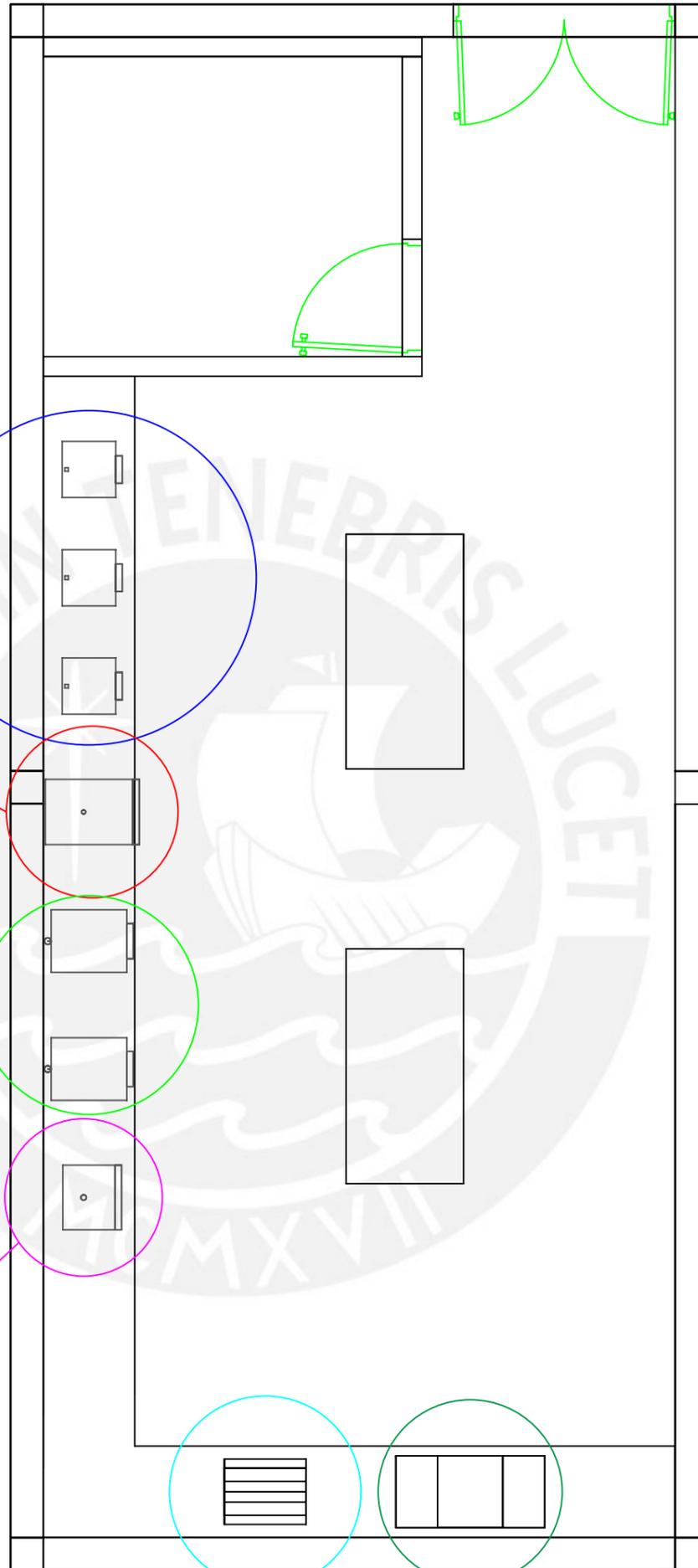
Zona F
Mufla
Gallenkamp
Brit Pat 882942

Zona G
Mufla
Gallenkamp
FR-6144115SP
(2 unid.)

Zona H
Mufla
Carbolite
Type CWF13/23

Zona I
Horno
Rotativo
Carbolite
Type
HTR11/75

Zona J
Horno
Tubular
Carbolite
Type
GHA12/300



BIBLIOGRAFIA

- ALDEN, John L. *“Design of Industrial Ventilation Systems” Fifth Edition*. En su: Exhaust Hoods. New York , USA. Industrial Press Inc. 1982
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS 21st edition *“Industrial Ventilation”* Cincinnati USA 1992
- AMERICAN SOCIETY HEATING REFRIGERATION AIR CONDITION ENGINEERS *“Fundamentals Handbook 2001 (SI)”*. Atlanta, USA. ASHRAE 2001
- AMERICAN SOCIETY HEATING REFRIGERATION AIR CONDITION ENGINEERS *“HVAC Systems and Equipment 2008”*. Atlanta USA ASHRAE 2008
- AMERICAN SOCIETY HEATING REFRIGERATION AIR CONDITION ENGINEERS *“HVAC Applications 2007”*. Atlanta USA ASHRAE 2007
- ANGELES, Luis et al. *“Manual de laboratorio de Metalurgia Extractiva 1”* Lima - Perú Fondo Editorial PUCP, 2007.
- ASHRAE, *“RP-551- Laboratory study to determine flow resistance of HVAC duct fittings”* [en línea] Disponible en:
<https://eweb.ashrae.org/eweb/DynamicPage.aspx?webCode=ProductDescr&prc_prd_key=245e1202-a2e4-41da-b4be-08c51179957a>
- BATURIN V.V. 1era edición *“Fundamentos de Ventilación Industrial”* Barcelona 1976
- BURGESS, William ELLENBECKER, Michael, TREITMAN, Robert 2nd edition *“Ventilation for Control of The Work Environment”*. New Jersey, USA Jhon Wiley & Sons, Inc. 2004
- COZ PANCORBO, Andres Federico.. *“Manual de Ventilación Industrial”*. Lima, Perú. Pontificia Universidad Católica del Perú. 2000
- CRANE Co. *“Technical Paper No 410M”*, New York USA 1982
- DIRECCION GENERAL DE SALUD AMBIENTAL DIGESA 1975 *“Valores Limites permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo”* [en línea] Lima, Peru [consultado 21/03/08]
<http://www.digesa.sld.pe/normas_legales/Salud%20Ocupacional/258-75-SA.pdf>
- EL PERUANO, *“Decreto Supremo N° - 015-2005-AS Reglamento sobre valores limite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo”*, Lima – Peru Empresa Peruana de Servicios Editoriales S.A. 2005
- IDELCHIK, I. E. 3-е издание *“Справочник по гидравлического сопротивления”*, Mackba Rusia 1992
- McCABE Warren SMITH, Julian HARRIOTT Peter 4ta Edición. *“Operaciones unitarias en ingeniería química”* Madrid ESPAÑA 1994

MATAIX CLAUDIO, 2da edición. “*Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidraulicas*” En su: Perdida primarias en conductos cerrados o tuberías. Mexico D.F. Mexico. 1982

MINISTERIO DE ENERGIA Y MINAS – DIRECCION GENERAL DE ASUNTOS AMBIENTALES MINEROS 2007 “*Guia para la evaluacion de impactos en la calidad del aire por actividades minero metalúrgicas*”. [en línea] Lima, Peru [consultado 17/07/09] <http://www.gtci-camisea.com.pe/webantiguo/archivos/dgaam/legislacion/guias/VXXI_Calidad_Aire.pdf>

MINISTERIO DE SALUD, “*Manual de Salud Ocupacional*”, Lima – Perú Dirección General de Salud ambiental DIGESA, 2005

MOODY, Lewis F. “*Friction Factors for Pipe Flow*” Transactions of the ASME November 1944, Vol 66

ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO - OIT. 2*Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo* 20012 [en línea] [Consultado 2009/04/04] Disponible en: <<http://www.mtas.es/insht/EncOIT/tomo3.htm>>

PERKIN ELMER, “*Service Data Bulletin*” [en línea] Disponible en: <http://las.perkinelmer.com/Content/RelatedMaterials/Pre-InstallationFiles/PRE_AA400.pdf> [Consulta 10 de abril de 2008]

POTTER C., Merle, WIGGERT C., David 1th edition “*Mechanics of Fluids*”, New Jersey USA

REVISTA DEL INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERIA, METALURGICA Y GEOGRAFIA. UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, “*La importancia del carbón mineral en el desarrollo – Vol. 9 N°18 91-97*” (2006) [en línea] Lima, Peru [Consultado 2009/04/04] <http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v09_n18/contenido.htm>

TREYBAL, Robert E, “*Operaciones de Transferencia de Masa*” Cuauhtémoc MEXICO 1993

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2009 *Emissions Factors & AP 42 – “Bituminous and subbituminous coal combustion*” [en línea] Washington , United States [consultado 03/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch01/final/c01s01.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 – “Generalized Particle Size Distributions*” [en línea] Washington , United States [consultado 11/09/08] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/appendix/appb-2.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 “*Section 2 Generic Equipment an Devices*” [en línea] Washington , United States [consultado 01/08/09] <<http://www.epa.gov/ttn/catc/dir1/cs2ch1.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2009 "*Emissions Factors & AP 42 –Introduction*" [en línea] Washington , United States [consultado 30/06/09]
< <http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/c00s00.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 –"Iron and steel production"* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s05.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 –"Portland Cement Manufacturing"* [en línea] Washington, United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c11s06.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 – "Primary Copper Smelting"* [en línea] Washington , United States [consultado 01/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s03.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 – "Secondary Copper Smelting"* [en línea] Washington , United States [consultado 01/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s08.pdf>>

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2008 *Emissions Factors & AP 42 – "Zinc Smelting"* [en línea] Washington , United States [consultado 14/07/09] <<http://www.epa.gov/ttn/chief/ap42/ch12/final/c12s07.pdf>> Tabla 12.7-1

VARIAN, "*Varian AA systems*" [en línea]

Disponible en:

<<http://www.varianinc.com/image/vimage/docs/products/spectr/aa/ordering/techpubs/1193.pdf>> [Consulta 10 de abril de 2008]

WHITE, FRANK M., Third edition "*Fluids Mechanics*", United States of America 1994

Extracto de la Resolución Ministerial N°315-96-EM/VMM

Artículo 1º.- Se aprueban los Niveles Máximos Permisibles de elementos y compuestos presentes, Emisiones Gaseosas: Aprobar los Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso, Partículas, Plomo y Arsénico presentes en las emisiones gaseosas provenientes de las Unidades Minero - Metalúrgicas.

Artículo 2º.- Niveles Máximos Permisibles de Anhídrido Sulfuroso

Los Niveles Máximos Permisibles de Emisión de Anhídrido Sulfuroso a los cuales se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas están señalados en el Tabla A1, el cual forma parte de la presente Resolución Ministerial. La cantidad de anhídrido sulfuroso emitido será determinada en el punto o puntos de control y el ingreso de azufre al proceso será el de la carga del día.

Artículo 3º.- Nivel Máximo de Emisión de Partículas

El Nivel Máximo Permisible de Emisión de Partículas al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 100 mg/m³ medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

Artículo 4º.- Nivel Máximo Permisible de Emisión de Plomo

El Nivel Máximo Permisible de Emisión de Plomo al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 25 mg/m³ medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

Artículo 5º.- Nivel Máximo Permisible de Emisión de Arsénico

El Nivel Máximo Permisible de Emisión de Arsénico al cual se sujetarán las Unidades Minero - Metalúrgicas será de 25 mg/m³ medido en cualquier momento en el punto o puntos de control.

Artículo 6º.- Concentraciones de gases y partículas en zonas habitadas

Las concentraciones de Gases y Partículas presentes en el ambiente de zonas habitadas ubicadas dentro del área de influencia de la Unidad Minero - Metalúrgica, no deberán superar los Niveles de Calidad de Aire vigentes en el país, por efecto de las emisiones de dicha Unidad.

Artículo 7º.- Caso de parámetros no regulados

Los titulares mineros deberán asegurar que los parámetros no regulados por la presente Resolución Ministerial, no excedan los niveles máximos permisibles establecidos por las disposiciones legales vigentes sobre calidad de aire.

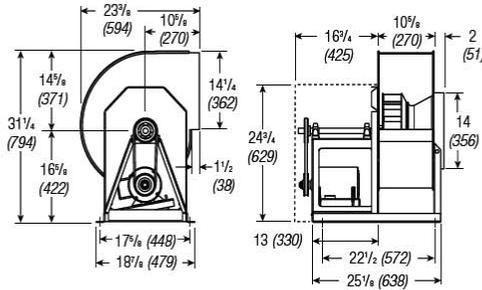
Tabla A1

**NIVELES MAXIMOS PERMISIBLES DE EMISION DE ANHIDRIDO
SULFUROSO
PARA LAS UNIDADES MINERO - METALURGICAS**

AZUFRE QUE INGRESA AL PROCESO (t/d)	EMISION MAXIMA PERMITIDA DE ANHIDRIDO SULFUROSO (t/d)
< 10	20
11 – 15	25
16 – 20	30
21 – 30	40
31 – 40	50
41 – 50	60
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
> 1500	0.142 (S)*

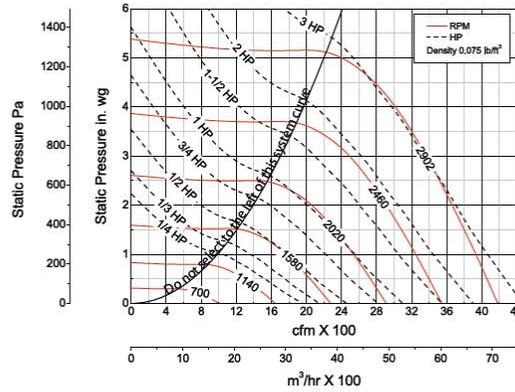
* (S) = Total de Azufre que ingresa al proceso.

SWB-213 - Belt Drive Series 200



Wheel Diameter = 13 1/2 (343)
Shaft Diameter = 1 (25)
Outlet Area = 1.03 ft² (0.10 m²)
^Approximate Unit Weight = 183 lb. (83 kg)

All dimensions in inches (millimeters).
For additional discharge positions see page 9.
^Weight shown is largest cataloged Open Drip Proof motor.

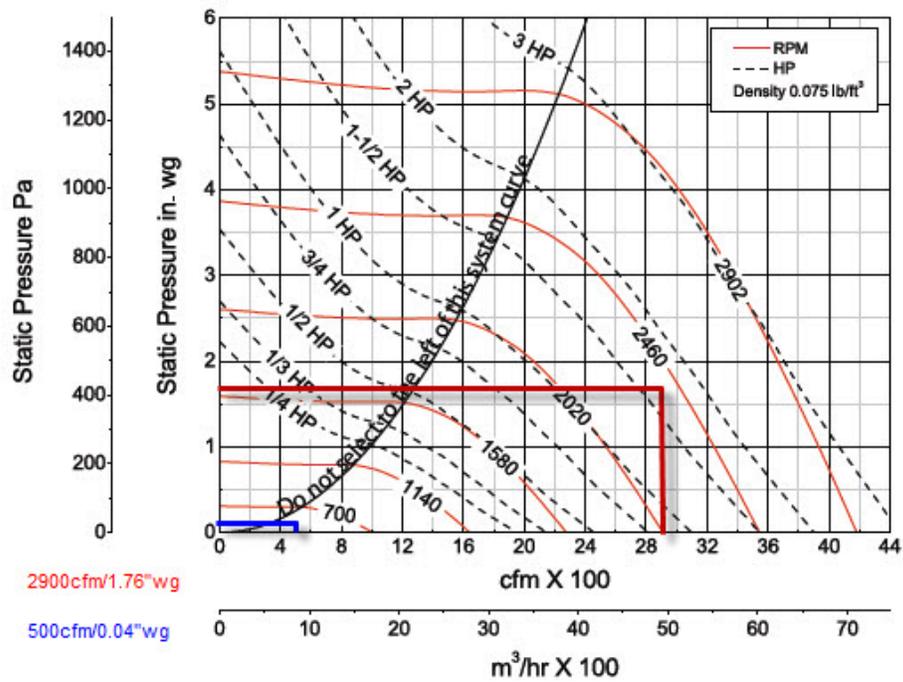
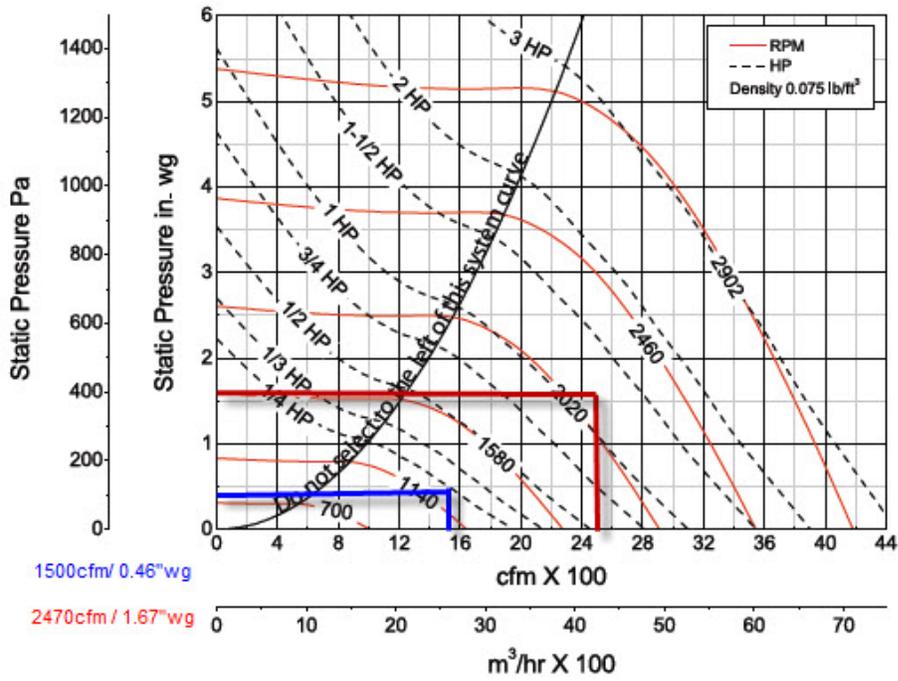


Model Number	Fan CFM	Static Pressure in Inches wg																			
		0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5										
SWB-213	1000	RPM	998	1144	1287																
		BHP	0.12	0.18	0.24																
		Sones	6.9	7.5	8.4																
	1280	RPM	1134	1248	1358	1585															
		BHP	0.18	0.24	0.31	0.46															
		Sones	8.2	8.7	9.2	11.0															
	1560	RPM	1290	1384	1478	1660	1850	2034													
		BHP	0.26	0.33	0.40	0.56	0.74	0.95													
		Sones	9.6	10.2	10.8	12.2	14.2	15.8													
	1840	RPM	1457	1540	1619	1778	1931	2093	2249												
		BHP	0.37	0.45	0.53	0.70	0.89	1.10	1.32												
		Sones	11.5	12.0	12.6	14.1	15.5	16.5	17.7												
	2120	RPM	1629	1703	1775	1913	2051	2181	2318	2462	2596	2730									
		BHP	0.51	0.59	0.69	0.87	1.08	1.29	1.52	1.77	2.03	2.31									
		Sones	13.7	14.2	15.0	16.3	17.1	17.9	18.8	19.8	21	23									
	2400	RPM	1807	1874	1938	2063	2184	2307	2423	2543	2665	2790									
		BHP	0.68	0.78	0.88	1.09	1.30	1.53	1.78	2.03	2.29	2.58									
		Sones	16.4	17.0	17.3	18.1	18.8	19.7	20	21	22	24									
	2680	RPM	1987	2048	2107	2222	2332	2440	2550	2656	2758	2869									
		BHP	0.89	1.01	1.12	1.34	1.58	1.81	2.07	2.34	2.62	2.90									
		Sones	18.8	19.0	19.3	20	21	22	22	23	24	25									
	2960	RPM	2170	2226	2280	2386	2489	2587	2685	2784	2884										
		BHP	1.14	1.27	1.40	1.64	1.89	2.16	2.42	2.69	2.99										
		Sones	21	21	21	22	23	24	25	26	27										
	3240	RPM	2355	2407	2457	2555	2650	2744	2832												
		BHP	1.44	1.58	1.72	1.99	2.26	2.54	2.83												
		Sones	23	23	24	25	25	26	27												
	3520	RPM	2541	2589	2636	2727	2816														
		BHP	1.79	1.94	2.10	2.40	2.68														
		Sones	26	26	27	27	28														
	3800	RPM	2729	2773	2817																
		BHP	2.19	2.36	2.53																
		Sones	29	30	30																

Performance certified is for installation Type B - free inlet, ducted outlet. Power rating (bhp) does not include transmission losses. Performance ratings do not include the effects of appurtenances (accessories). The AMCA Certified Ratings Seal applies to air performance ratings only.

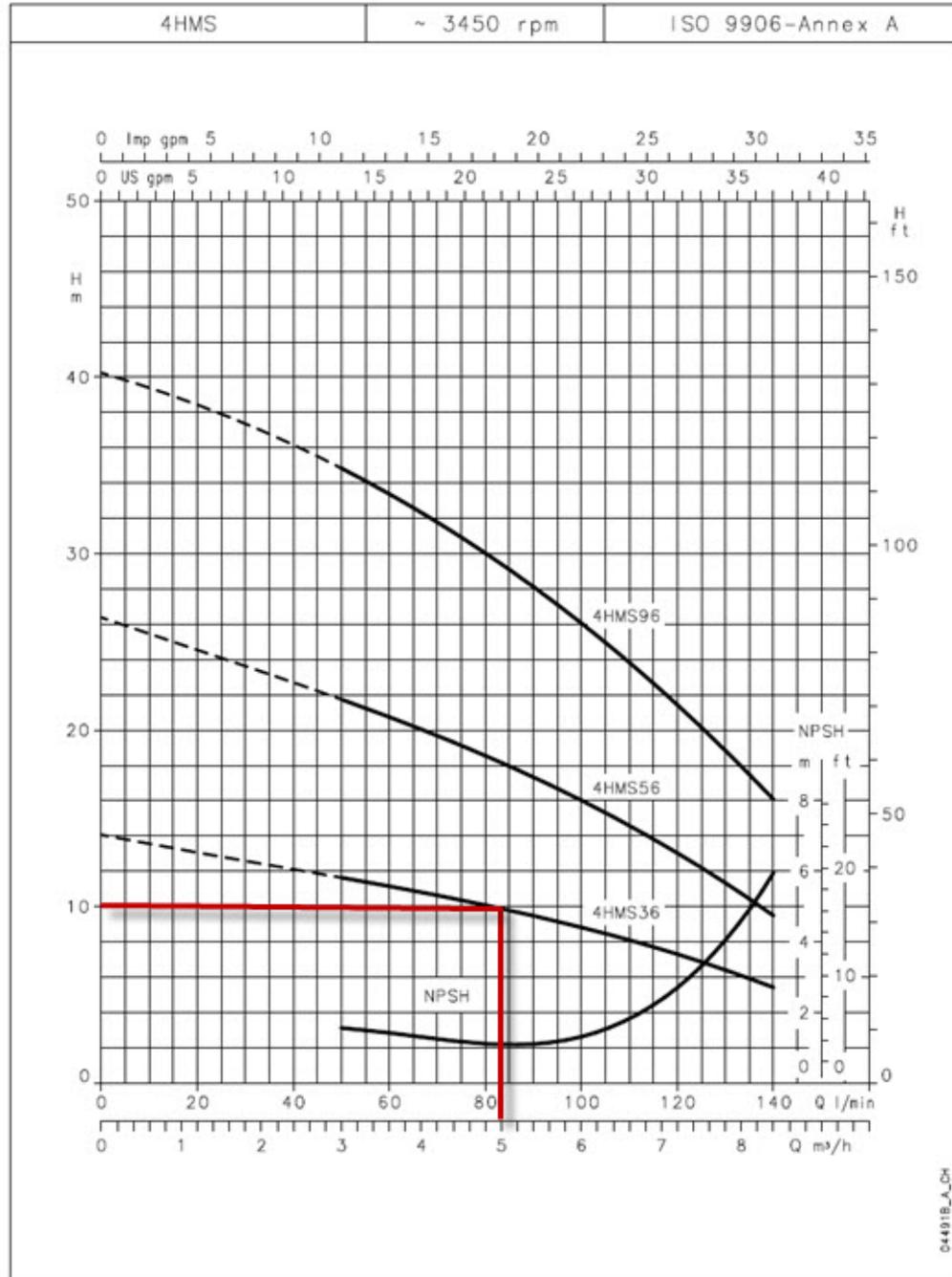
Hoja de selección para ventiladores del sistema

Curva de Ventilador: Roja, máximo caudal y presión del sistema, Azul, mínimo caudal y presión del sistema.





**4HMS SERIES
OPERATING CHARACTERISTICS AT 3450 rpm 60 Hz**



The performances are valid for liquids with density $\rho = 1.0 \text{ kg/m}^3$ and kinematic viscosity $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

Curvas de selección para bombas de lavadores de gases





FABRICACIÓN Y SERVICIOS DE:

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| - Hornos para Minería | - Balanzas Analíticas |
| - Hornos Cerámicos | - Bombas de Agua |
| - Hornos industriales | - Bombas de Vacío |
| - Muflas para Laboratorio | - Aire Acondicionado |
| - Estufas | - Baños María |
| - Destiladores | - Mantas y Planchas de Calentamiento |
| - Campanas Extractoras | - Autoclaves, etc. |
| - Microscopios | |



Lima, 23 de abril del 2007

Señores:

UNIVERSIDAD CATOLICA

Facultad de Ingeniería y Minas

Laboratorio de Pirometales

Presente.-**Atn: Dra. Delia Ho****Ref. : Fab. Campana extractora****Cotización N° 2267-07****Dpto. de logística**

Estimada doctora:

Tenemos el agrado de presentar a su consideración, nuestra siguiente cotización por LA INSTALACION DE UN SISTEMA DE EXTRACCION CON LAVADORES DE ACIDOS con las siguientes características:

CAMPANA EXTRACTORA DE FABRICACIÓN NACIONAL

- ◆ **MATERIAL.-** En Planchas en Acero Inoxidable C- 304 y Perfiles de Aluminio.
- ◆ **DIMENSIONES.-** Dos campanas de las siguientes medidas
- ◆ **Campana N° 1:** Ancho: 0.80mt x Largo 1.80 mt x Prof 0.75 mt
- ◆ **Campana N° 2,3:** Ancho: 0.45mt x Largo 0.35 mt
- ◆ **Campana N° 4,5,6:** Ancho: 0.70mt x Largo 0.60 mt
- ◆ **Campana N° 7,8:** Ancho: 1.00mt x Largo 0.61 mt
- ◆ **Campana N° 9:** Ancho: 1.00mt x Largo 0.60 mt
- ◆ **Campana N° 10:** Ancho: 0.75mt x Largo 0.70 mt
- ◆ **Campana N° 11:** Ancho: 0.42mt x Largo 0.35 mt
- ◆ **Campana N° 12:** Ancho: 0.39mt x Largo 0.39 mt
- ◆ **OTROS.-** Visores laterales de Vidrio con Marcos y Perfiles de Aluminio.
- ◆ **ILUMINACION INTERIOR.-** Con Pantallas Fluorescentes dobles.
- ◆ **DUCTOS DE EXTRACCION.-** En PVC hasta la Salida de Gases
- ◆ **BLOWER EXTRACTOR (2Unid) .-** Con Motor extractor de 1.5 Hp 220V, Caracol, Paletas Centrífugas en hierro con acabado en Pintura Epoxi y/o Under Cautin para evitar ataques químicos.
- ◆ **SISTEMA DE COMANDO.-** de Encendido y apagado de Motor a través de botoneras ubicado cerca de las campanas.

**FABRICACION Y SERVICIOS DE:**

- | | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| - Hornos para Minería | - Balanzas Analíticas |
| - Hornos Cerámicos | - Bombas de Agua |
| - Hornos industriales | - Bombas de Vacío |
| - Muflas para Laboratorio | - Aire Acondicionado |
| - Estufas | - Baños María |
| - Destiladores | - Mantas y Planchas de Calentamiento |
| - Campanas Extractoras | - Autoclaves, etc. |
| - Microscopios | |



PRECIO POR 12 CAMPANAS, DUCTOS, VENTILADORES SISTEMA DE COMANDOUS\$= 36959.00 DOLARES MAS IGV

OPCIONAL:

- ♦ **SISTEMA LAVADOR DE ACIDOS.-** (2 unidades) Fabricado en PVC el cual estará instalado en la parte de afuera del laboratorio, el mismo que será para las campanas de laboratorio de hidrometalurgia y pirometalurgia.

PRECIO UNITARIO.....US\$= 2,620.00 DOLARES MAS IGV

**PRECIO TOTAL POR VENTA DEL SISTEMA DE EXTRACCION CON
LAVADORES DE ACIDOS**

PRECIO A TODO COSTO US\$ 42,199.00 DOLARES MAS IGV

CONDICIONES DE VENTA

Forma de pago : Factura a 30 dias
Tiempo de entrega : 6 Semanas
Garantía : 12 Meses

Esperando vernos favorecidos con sus gratas ordenes, quedamos a su disposición.

Muy, atentamente

Gina Fernández V.
Dpto. Ventas

TITULO:
COTIZACION N° 037.07

CODIGO:
PUCP - 0194

J K M S. A. C.

**SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES
PARA EL LABORATORIO DE ANALISIS QUÍMICO**

CLIENTE: **PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA DEL PERU**
Ing. Juan Carlos Salas

FECHA: **27.02.07**

TITULO:
COTIZACION N° 037.07

CODIGO:
PUCP – 0194

De acuerdo al requerimiento del Ing. Juan Carlos Salas, se les plantea el presupuesto por la Fabricación, Instalación y puesta en marcha de un Sistema de Extracción para el Área de Análisis Químico.

La presente cotización no incluye ampliaciones de trabajos que pudiesen derivarse de modificaciones al sistema cotizado, cualquier requerimiento de variación al sistema descrito será materia de una nueva cotización.

El sistema de extracción contempla la extracción de gases de una cabina.

El sistema de extracción será implementado de la siguiente manera:

Se instalará un extractor centrífugo, un lavador de gases y una bomba centrífuga para la recirculación del fluido neutralizante.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA:

Se esta considerando que el sistema va a ser instalado sobre una losa al lado del Laboratorio Químico.

Para esta área se esta considerando instalar un extractor con la capacidad y presión necesaria para trabajar con el Sistema de Extracción de Gases.

El extractor centrífugo a instalar será fabricado en fibra de vidrio reforzado, resistente a los ácidos y álcalis.

Los ductos serán igualmente fabricados en fibra de vidrio resistente a los ácidos y álcalis.

El circuito de extracción estará implementado con válvulas para controlar el flujo de aire.

Se está considerando que para establecer un suministro de aire constante se deberán dejar las ventanas o la puerta del Laboratorio abiertas, en caso de no ser posible se deberá implementar un extractor que suministre aire al ambiente, el cual no forma parte de la presente cotización.

Equipo lavador de gases, se plantea ubicarlo a la salida de los gases del equipo extractor, el cual colectará los gases producidos en la cabina con el fin de evitar la contaminación, integrando los gases al sistema de lavado continuo.

Con el tanque y la bomba centrífuga se establece un flujo constante recirculando el fluido neutralizante.

Se proporcionará un juego de boquillas pulverizadoras para el lavado y en cantidad necesaria de acuerdo al diseño del equipo lavador de gases.

Se requerirá un suministro eléctrico en el lugar donde se instalarán los equipos, el mismo que será necesario para el funcionamiento de nuestras herramientas y equipos durante los trabajos de instalación. Además de un punto de alimentación de agua potable para abastecer al tanque de recirculación.

TITULO:
COTIZACION N° 037.07

CODIGO:
PUCP - 0194

Así también para la limpieza del tanque se dispondrá de un ducto de salida y válvula. En caso se cuente con un sistema de colección de efluentes, se deberá dejar un punto o registro al pie del Sistema para que el cliente realice el empalme respectivo.

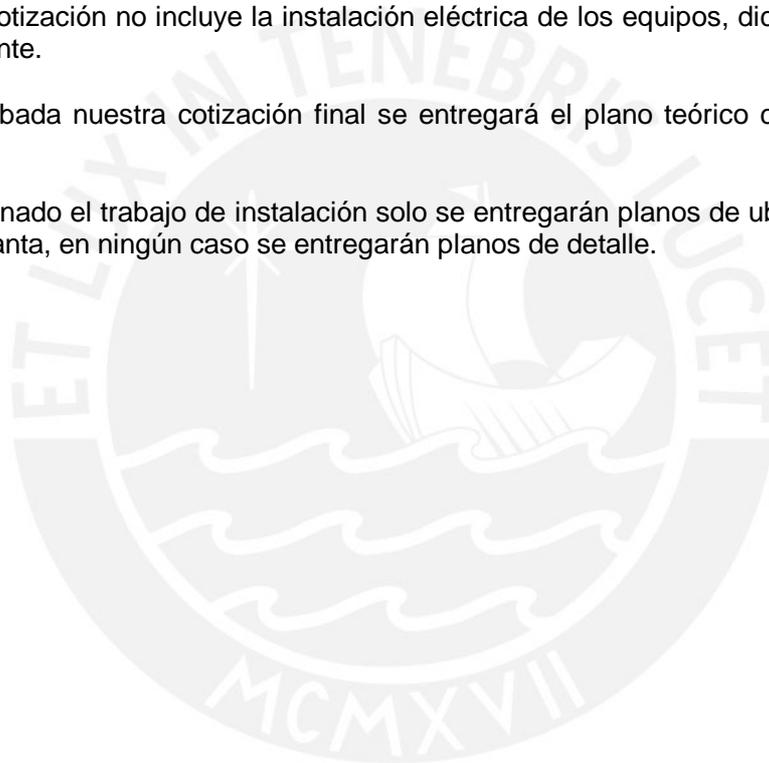
La presente cotización no incluye ningún tipo de Obras civiles para la cimentación, ubicación de equipos, perforación de paredes u otros trabajos necesarios para llevar a cabo la instalación. Este tipo de obras estarán a cargo del Cliente.

La presente cotización no incluye material eléctrico (tablero eléctrico, arrancador eléctrico, cables eléctricos, etc.), dichos materiales serán por cuenta del Cliente.

La presente cotización no incluye la instalación eléctrica de los equipos, dicha instalación estará a cargo del Cliente.

Una vez aprobada nuestra cotización final se entregará el plano teórico con la ubicación de los equipos.

Una vez terminado el trabajo de instalación solo se entregarán planos de ubicación de los equipos en vista de planta, en ningún caso se entregarán planos de detalle.



TITULO:
COTIZACION N° 037.07

 CODIGO:
PUCP - 0194

PRESUPUESTO

DESCRIPCION		
EQUIPOS Y ACCESORIOS, LABORATORIO DE ANALISIS QUIMICO (incluye instalación)	S/.	46,585.00

Nota: Estos valores no incluyen el impuesto General a las Ventas.

Tiempo de entrega:

Treinta (30) días calendarios.

Forma de Pago:

- 60 % con la Orden de Compra.
- Saldo Contra Entrega.

Validez de la Oferta:

Diez (10) días calendario.

Agradeciendo la atención a la presente y a la espera de sus noticias nos suscribimos de Ustedes,

Atentamente,

Raúl Aguilar
Gerente de Proyectos

TITULO:
COTIZACION N° 038.07

CODIGO:
PUCP - 0194

J K M S. A. C.

**SISTEMA DE EXTRACCIÓN DE GASES
PARA EL LABORATORIO DE PIRO METALURGIA**

CLIENTE: **PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATOLICA DEL PERU**
Ing. Juan Carlos Salas

FECHA: **27.02.07**

TITULO:
COTIZACION N° 038.07

CODIGO:
PUCP - 0194

De acuerdo al requerimiento del Ing. Juan Carlos Salas, se les plantea el presupuesto por la Fabricación, Instalación y puesta en marcha de un Sistema de Extracción para el Área de Piro metalurgia.

La presente cotización no incluye ampliaciones de trabajos que pudiesen derivarse de modificaciones al sistema cotizado, cualquier requerimiento de variación al sistema descrito será materia de una nueva cotización.

El sistema de extracción contempla la extracción de gases de los siguientes equipos y puntos de trabajo:

- ✍ 02 Hornos de eléctricos.
- ✍ 01 Mesa de trabajo para copelación.
- ✍ 01 Horno rotativo.
- ✍ 01 Horno tubular.

El sistema de extracción será implementado de la siguiente manera:

Se instalará una campana frontal y un ducto de extracción de gases en la parte posterior de cada uno de los hornos, una cabina para mesa de trabajo, un ducto de extracción para el horno rotativo y un ducto de extracción para el horno tubular.

Se instalarán además un extractor centrífugo y un Precipitador Húmedo.

DESCRIPCIÓN TÉCNICA:

Se esta considerando que el sistema va a ser instalado sobre una losa al lado del Laboratorio Químico.

Para esta zona se provee implementar un circuito de extracción para los gases que se producen en los hornos eléctricos, en el horno rotativo, en el horno tubular y en la mesa de trabajo para copelación, para este fin se conectarán todos los puntos de extracción a un ducto principal conectado al extractor centrífugo.

Se está considerando que la mesa de trabajo para copelas tiene las siguientes medidas: L=0.6m, P=0.6m, H=0.9m, cualquier requerimiento de variación a las medidas descritas tendrán que ser evaluadas.

Las campanas, cabinas y ductos serán fabricados según nuestra experiencia y criterio en plancha de fierro galvanizado de 1/40" de espesor con acabado de pintura epóxica autoimprimante, toda la ductería y accesorios estarán soportados adecuadamente al techo de la edificación o sus paredes laterales.

Las campanas, cabinas y ductos, también se pueden fabricar en planchas de fierro de mayor espesor si así lo desean, en tal caso se les hará llegar una nueva cotización.

El circuito de extracción estará implementado con válvulas para controlar el flujo en cada uno de los equipos.

TITULO:
COTIZACION N° 038.07

CODIGO:
PUCP – 0194

Para esta área se esta considerando instalar un extractor con la capacidad y presión necesaria para trabajar con el Sistema de Extracción de Gases.

Se está considerando que para establecer un suministro de aire constante se deberán dejar las ventanas o la puerta del Laboratorio abiertas, en caso de no ser posible se deberá implementar un extractor que suministre aire al ambiente, el cual no forma parte de la presente cotización.

Sistema Precipitador Húmedo, este sistema contará con un (01) ciclón, fabricado en plancha de fierro galvanizado de 1/40" de espesor, un precipitador húmedo fabricado en fibra de vidrio reforzado el cual incluye un tanque de recirculación, un decantador-separador de residuos además una Bomba centrífuga. Los ductos necesarios para la extracción de los gases calientes serán fabricados también en plancha de fierro galvanizado de 1/40" de espesor.

Los equipos y ductos, también se pueden fabricar en planchas de fierro de mayor espesor si así lo desean, en tal caso se les hará llegar una nueva cotización.

Se requerirá un suministro eléctrico en el lugar donde se instalarán los equipos, el mismo que será necesario para el funcionamiento de nuestras herramientas y equipos durante los trabajos de instalación. Además de un punto de alimentación de agua potable para abastecer al tanque de recirculación.

Así también para la limpieza del tanque se dispondrá de un ducto de salida y válvula. En caso se cuente con un sistema de colección de efluentes, se deberá dejar un punto o registro al pie del Sistema para que el cliente realice el empalme respectivo.

La presente cotización no incluye ningún tipo de Obras civiles para la cimentación, ubicación de equipos, perforación de paredes u otros trabajos necesarios para llevar a cabo la instalación. Este tipo de obras estarán a cargo del Cliente.

La presente cotización no incluye material eléctrico (tablero eléctrico, arrancador eléctrico, cables eléctricos, etc.), dichos materiales serán por cuenta del Cliente.

La presente cotización no incluye la instalación eléctrica de los equipos, dicha instalación estará a cargo del Cliente.

Una vez aprobada nuestra cotización final se entregará el plano teórico con la ubicación de los equipos.

Una vez terminado el trabajo de instalación solo se entregarán planos de ubicación de los equipos en vista de planta, en ningún caso se entregarán planos de detalle.

TITULO:
COTIZACION N° 038.07

 CODIGO:
PUCP - 0194

PRESUPUESTO

DESCRIPCION		
EQUIPOS Y ACCESORIOS, LABORATORIO DE PIRO METALURGIA (incluye instalación)	S/.	58,690.00

Nota: Estos valores no incluyen el impuesto General a las Ventas.

Tiempo de entrega:

Treinta (30) días calendarios.

Forma de Pago:

- 60 % con la Orden de Compra.
- Saldo Contra Entrega.

Validez de la Oferta:

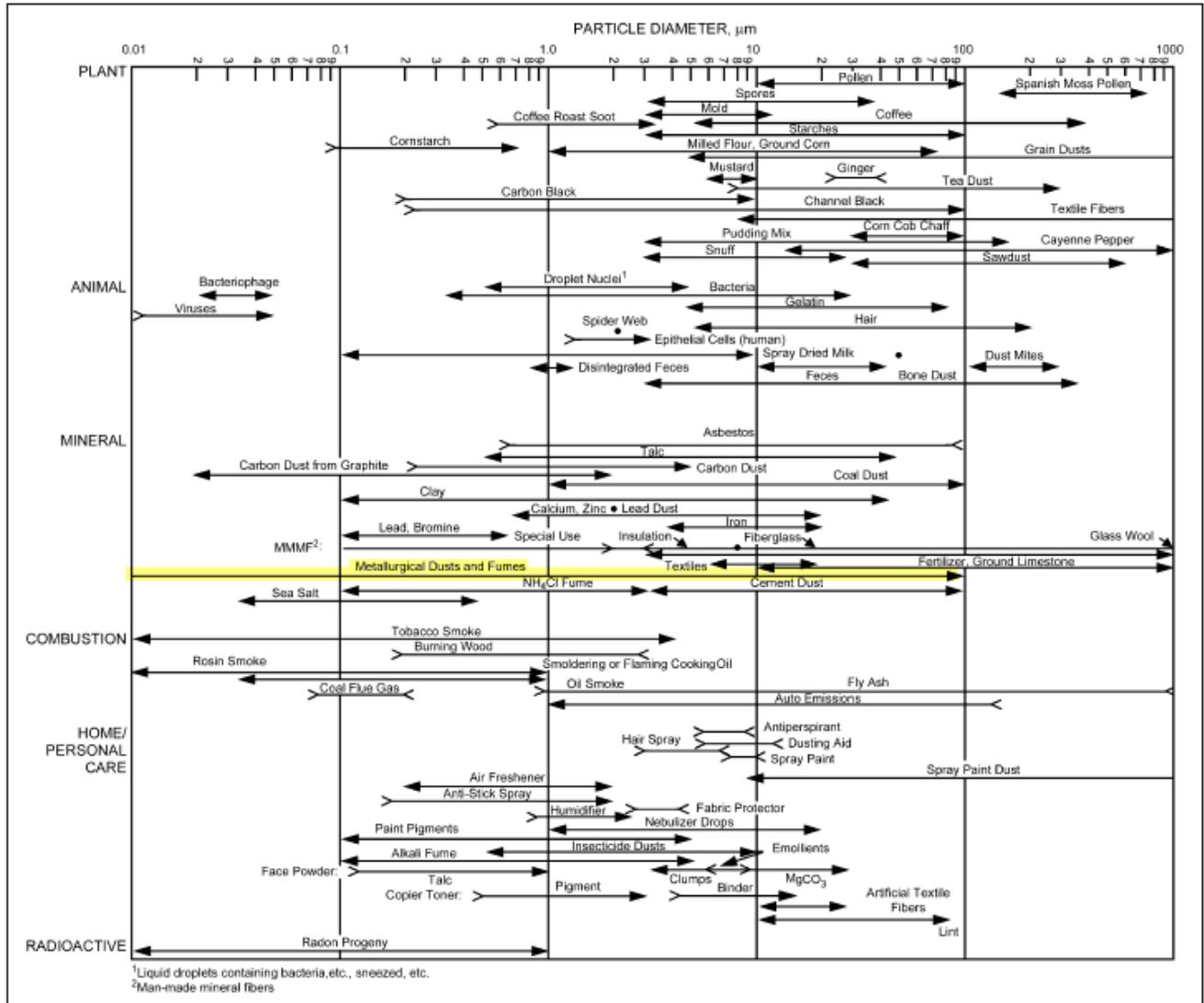
Diez (10) días calendario.

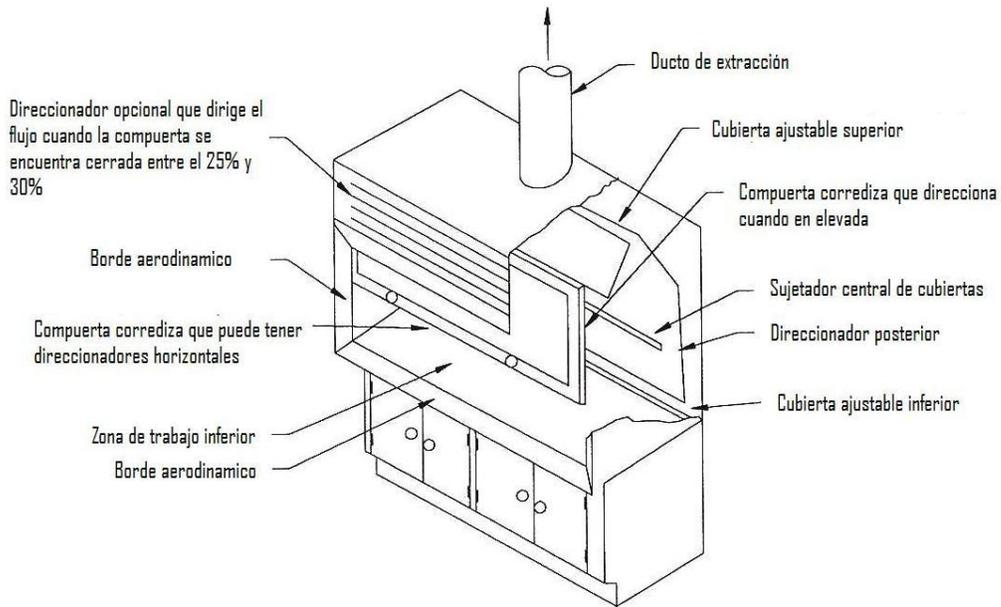
Agradeciendo la atención a la presente y a la espera de sus noticias nos suscribimos de Ustedes,

Atentamente,

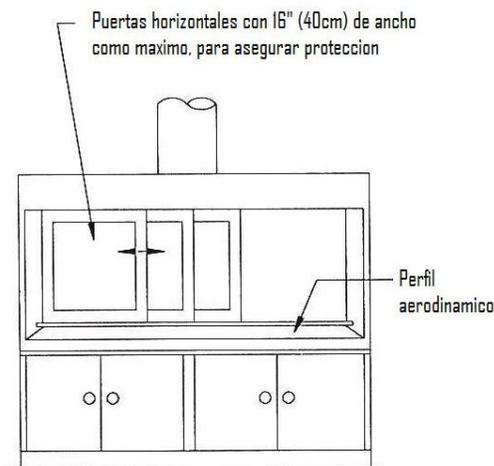
Raúl Aguilar
Gerente de Proyectos

Distribución de procesos por tamaño de partícula.





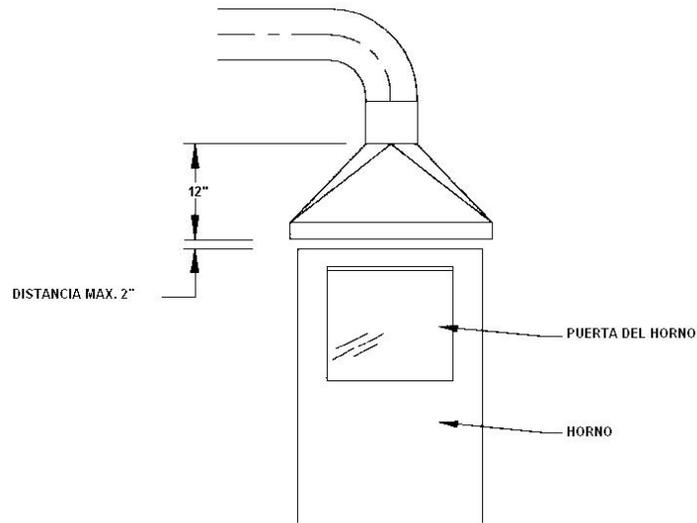
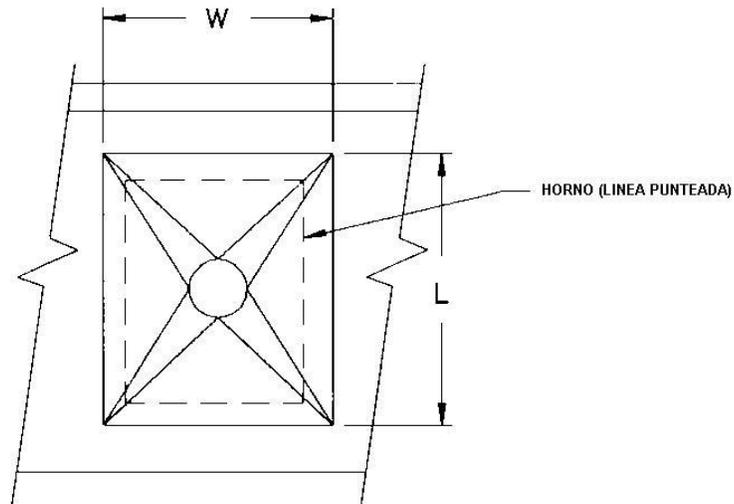
CAMPANA TIPO GABINETE CON PUERTAS VERTICALES



CAMPANA TIPO GABINETE CON PUERTAS HORIZONTALES

Campana típica de laboratorio – Tipo Gabinete ⁱ

ⁱ AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS 21st edition "Industrial Ventilation" En su: Specific Operations. Cincinnati USA 1992 pp 10.39 Figure VS-35-01



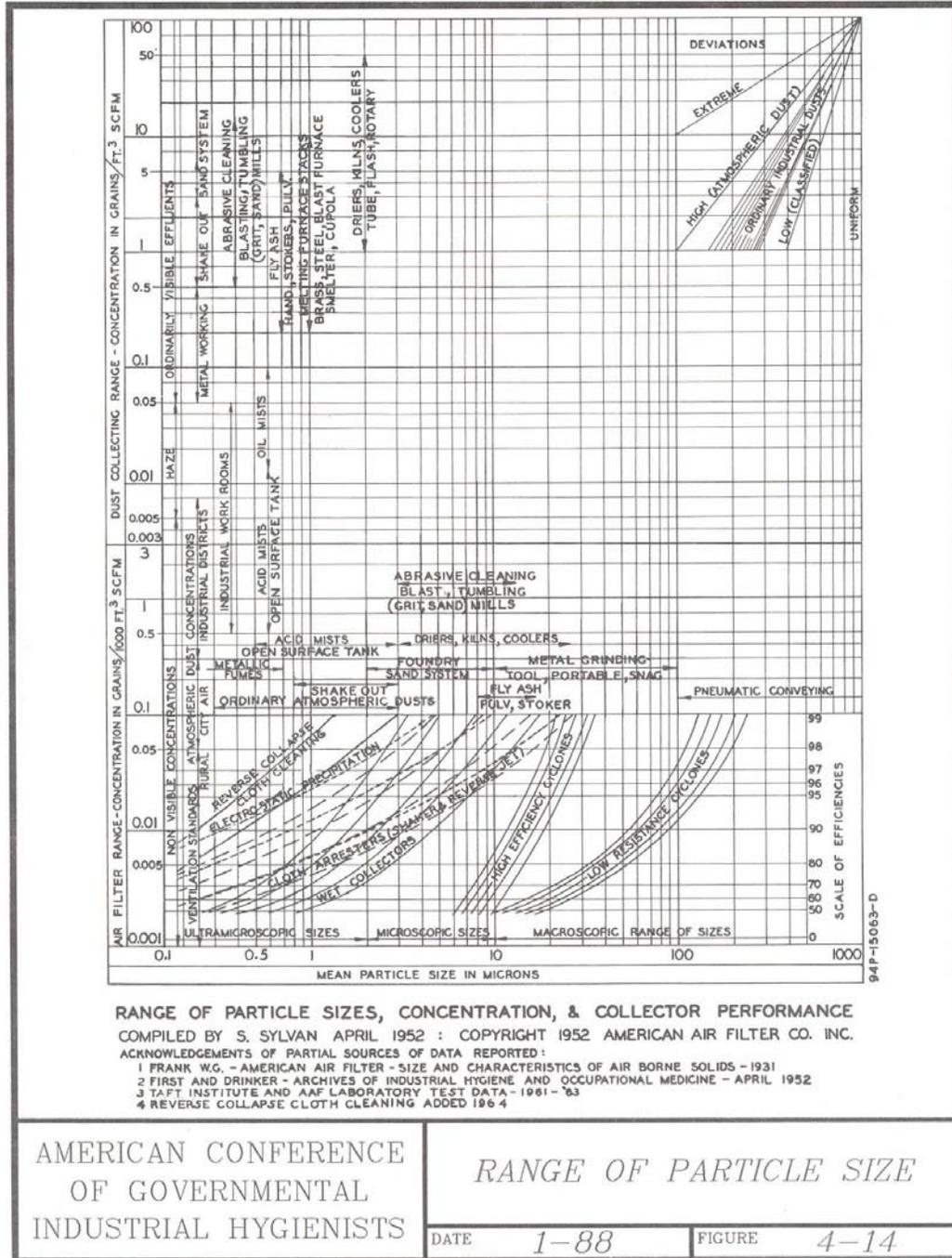
CAUDAL RECOMENDADO = 200 - 400 CFM

VELOCIDAD DE TRANSPORTE RECOMENDADA = 1000 - 3000 FPM

COEFICIENTE CAIDA DE PRESION EN CAMPANA, $h_e = 0.25 VP$

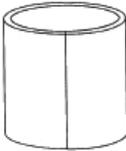
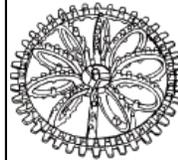
Extracción en hornos y mufasⁱ

ⁱ AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS 21st edition "Industrial Ventilation" En su: Specific Operations.. Cincinnati USA 1992 pp 10.49 Figure VS-35-41

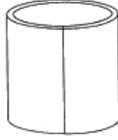
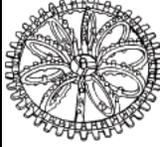
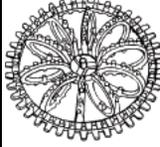


Sistema de tratamiento según el rango de tamaño de la partícula¹

¹ AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS 21st edition "Industrial Ventilation" En su: Specific Operations.. Cincinnati USA 1992 pp 10.49 Figure VS-35-41

																	
		SUPER ITALOX PLASTIC		SUPER ITALOX CERAMICO		RASCHING RINGS CERAMICO		HY-PACK METAL		PALL RINGS METAL		PALL RINGS PLASTIC		TELLERETTES PLASTIC		MASPAC PLASTIC	
		1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	2"	
Aire																	
Presion	kPa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Temperatura	C	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	
R	kJ/kgK	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	
Densidad	kg/m3	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	
Densidad	lb/ft3	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	
Flujo Volumetrico	cfm	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	2470	
Flujo Masico	lb/s	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	
Velocidad	fpm	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
Area	pie2	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	20.58	
Diametro	pie	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	5.12	
Diametro	m	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	156	
Gy	lb/ft2s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
Agua																	
Densidad	lb/ft3	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	
Viscosidad	cP	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Gravedad	pies/lb.ft.s	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	
Flujo Masico	lb/s	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	3.05	
Caudal	ft3/s	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	
Caudal	m3/s	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	
Caudal	m3/h	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	4.99	
Caudal	lpm	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	83.17	
Por Grafica de Eckert																	
Gx/Gy		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
A xisa		0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	
Por Diagrama, la inundacion		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
Factor F Pack		40	21	92	40	155	65	43	18	48	20	52	24	36	18	32	
Ordenada		0.0059	0.0031	0.0136	0.0059	0.0229	0.0096	0.0064	0.0027	0.0071	0.0030	0.0077	0.0036	0.0053	0.0027	0.0047	
ΔP en Pulg de H2O por pie de empaque		0.05	0.025	0.08	0.05	0.175	0.075	0.06	0.024	0.07	0.025	0.071	0.026	0.05	0.02	0.03	
Altura para 90% sin corregir		14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
KGA Empaque		2.19	144	196	144	173	121	2.2	169	2.32	162	198	146	2.19	198	144	
Altura corregida con KGA	pie	9.53	14.50	10.65	14.50	12.07	17.26	9.49	12.36	9.00	12.89	10.55	14.30	9.53	10.55	14.50	
Altura corregida con KGA	m	2.91	4.42	3.25	4.42	3.68	5.26	2.89	3.77	2.74	3.93	3.21	4.36	2.91	3.21	4.42	
ΔP en Pulg de H2O		0.48	0.36	0.85	0.73	2.11	129	0.57	0.30	0.63	0.32	0.75	0.37	0.48	0.21	0.44	
ΔP en mm de H2O		12.11	9.21	21.65	18.42	53.65	32.87	14.46	7.53	16.00	8.18	19.02	9.44	12.11	5.36	11.05	
ΔP en Pa		118.78	90.33	212.36	180.65	526.29	322.48	141.89	73.89	156.98	80.29	186.56	92.65	118.78	52.55	108.39	

Calculo de torre empacada para campanas #1 al #3, 1.16m³/s (2478cfm)

																	
		SUPER ITALOX PLASTIC		SUPER ITALOX CERAMICO		RASCHING RINGS CERAMICO		HY-PACK METAL		PALL RINGS METAL		PALL RINGS PLASTIC		TELLERETTES PLASTIC		MASPAC PLASTIC	
		1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	1"	2"	2"	
Aire																	
Presion	kPa	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Temperatura	C	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	293	
R	kJ/kgK	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	0.287	
Densidad	kg/m3	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	1.1892	
Densidad	lb/ft3	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	0.0741	
Flujo Volumetrico	cfm	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	2900	
Flujo Masico	lb/s	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	
Velocidad	fpm	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	
Area	pie2	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	24.17	
Diametro	pie	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	5.55	
Diametro	m	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	1.69	
Gy	lb/ft2s	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	
Agua																	
Densidad	lb/ft3	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	62.30	
Viscosidad	cP	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Gravedad	pies/lb.ft	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	32.17	
Flujo Masico	lb/s	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	3.58	
Caudal	ft3/s	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	
Caudal	m3/s	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	
Caudal	m3/h	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	5.86	
Caudal	lpm	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	97.65	
Por Grafica de Eckert																	
Gx/Gy		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Axisa		0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	0.0345	
Por Diagrama , la inundacion		0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	
Factor F Pack		40	21	92	40	65	65	43	18	48	20	52	24	36	18	32	
Ordenada		0.0059	0.0031	0.0136	0.0059	0.0229	0.0096	0.0064	0.0027	0.0071	0.0030	0.0077	0.0036	0.0053	0.0027	0.0047	
ΔP en Pulg de H2O por pie de empaque		0.05	0.025	0.08	0.05	0.175	0.075	0.06	0.024	0.07	0.025	0.071	0.026	0.05	0.02	0.03	
Altura para 90% sin corregir		14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	14.5	
KGA Empaque		2.19	144	196	144	173	121	2.2	169	2.32	162	198	146	2.19	198	144	
Altura corregida con KGA	pie	9.53	14.50	10.65	14.50	12.07	17.26	9.49	12.36	9.00	12.89	10.55	14.30	9.53	10.55	14.50	
Altura corregida con KGA	m	2.91	4.42	3.25	4.42	3.68	5.26	2.89	3.77	2.74	3.93	3.21	4.36	2.91	3.21	4.42	
ΔP en Pulg de H2O		0.48	0.36	0.85	0.73	2.11	1.29	0.57	0.30	0.63	0.32	0.75	0.37	0.48	0.21	0.44	
ΔP en mm de H2O		12.11	9.21	21.65	18.42	53.65	32.87	14.46	7.53	16.00	8.18	19.02	9.44	12.11	5.36	11.05	
ΔP en Pa		118.78	90.33	212.36	180.65	526.29	322.48	141.89	73.89	166.98	80.29	186.56	92.65	118.78	52.55	108.39	

Calculo de torre empacada para campanas #4 al #12, 1.36m³/s (2895cfm)



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS – FÍSICA

BOLETÍN CLIMATOLÓGICO
ESTACIÓN METEOROLÓGICA “HIPÓLITO UNANUE”

BOLETIN # 298

PANDO, JULIO 2009

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS REGISTRADAS
MES DE JUNIO 2009

ELEMENTOS	JUNIO 2009	JUNIO 2008	Normal 40 años	Pronóstico JULIO 2009
Presión Atmosf. (mb)	999.8	999.6	1004.6	1000.0 ± 1.0
Temp. Max. Media (°C)	19.8	18.9	19.6	19.4 ± 0.5
Temp. Min. Media (°C)	16.3	15.9	16.1	16.0 ± 0.5
Temp. Med. Diaria (°C)	18.0	17.4	17.8	17.7 ± 0.5
Hum. Rel. Max. Media (%)	93	93	93	95 ± 3
Hum. Rel. Min. Media (%)	76	79	76	77 ± 3
Hum. Rel. Med. Diaria (%)	84	86	85	86 ± 3
Promedio Brillo Solar (h. min.)	1.3	0.05	2.5	1.0 ± 1

Durante el mes de junio 2009, el comportamiento de temperaturas mostraron una tendencia descendente con relación al mes anterior (mayo) 2009 con -0.8°C ligeramente encima de lo normal.

La predicción como nos encontramos en distrito de San Miguel – Pueblo Libre, cercana al mar de donde origina alta humedad relativa con persistente denso de niebla, motivando mayor sensación de frío.

Durante el mes de junio del 2009, la temperatura más elevada alcanzó 22.3°C el día martes 30, la más baja 14.8 °C el día jueves 11, la temperatura más baja de máxima registró 18.2 °C el día martes 2, y la más alta de mínima 17.9 °C el día martes 30. El brillo solar registró un promedio de 1 hora 25 minutos diarios; dirección y velocidad del viento predominaron del SW y SSW de 20 y 25 km / h, respectivamente.

MISCELANEA

La Meteorología, la creación y su sistema de observación

Los avisos y las predicciones, las recientes observaciones que defina la situación de sistemas meteorológicas que constituye la principal herramienta de trabajo del meteorólogo. Este no puede predecir el modo en que evolución e intensidad actuales. Naturalmente, las observaciones que se utilizan para la predicción pueden compararse en la medida en que su valor para el predictor disminuye a medida que pase el tiempo. Por esta razón la meteorología posee un sistema mundial de comunicación muy perfeccionado. Este sistema se compone de numerosos circuitos por cable y radio, entre ellos algunos enlaces por satélite y tiene un elevado grado de automatización en ciertos segmentos. Basta decir que los frutos de los esfuerzos del observador meteorológico se intercambian en todo el mundo y esto puede dar al lector una idea de por qué el observador meteorológico es un miembro clave de la fraternidad meteorológica.

-----, -----

DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS – FÍSICA

BOLETÍN CLIMATOLÓGICO
ESTACIÓN METEOROLÓGICA “HIPÓLITO UNANUE”

BOLETIN # 297

PANDO, JUNIO 2009

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS REGISTRADAS
MES DE MAYO 2009

ELEMENTOS	MAYO 2009	MAYO 2008	Normal 40 años	Pronóstico JUNIO 2009
Presión Atmosf. (mb)	996.0	999.5	1004.0	999.8 ± 1.0
Temp. Max. Media (°C)	21.0	19.4	21.4	18.8 ± 0.5
Temp. Mín. Media (°C)	16.6	15.6	17.1	15.5 ± 0.5
Temp. Med. Diaria (°C)	18.8	17.5	19.2	17.2 ± 0.5
Hum. Rel. Max. Media (%)	95	95	93	97 ± 3
Hum. Rel. Mín. Media (%)	79	79	74	80 ± 3
Hum. Rel. Med. Diaria (%)	87	87	83	89 ± 3
Promedio Brillo Solar (h. min.)	4.1'	-	4.5'	2 h. 00'

Durante el mes de mayo 2009, el comportamiento de temperaturas mostraron una tendencia descendente con -2.7 °C de acuerdo a predicciones en el boletín del mes anterior (abril) 2009 con una media para el mes de mayo 18.8 °C.

Las predicciones para el mes de junio 2009, las temperaturas medias diarias continuará en descenso, estamos entrando a la temporada invierno con frío nocturno elevada humedad del aire y con neblina matutina.

Durante el mes de mayo del 2009, la temperatura más elevada alcanzó 24.4 °C el día miércoles 6, la más baja 15.6 °C el día viernes 15, la temperatura más baja de máxima registró 18.6 °C, el día sábado 30 y la más alta de mínima 18.3 °C el día miércoles 6. El brillo solar registró un promedio de 4 horas 0 minutos diarios; dirección y velocidad del viento predominaron del SW y SSW de 20 y 25 km / h. respectivamente.

MISCELANEA

La Meteorología, la creación y su sistema de observación

¿Por qué los meteorólogos son voraces en materia de observación? Es sabido que para estudiar una cuenca científica hay que comenzar por una fase de paciente observación y medición. Los descubrimientos o fenómenos de interés tienen que ser descritos y cuantificados con todo rigor, y esta es una premisa esencial para el proceso de investigación comprensión quizás aplicación. La meteorología no constituye ninguna excepción a esta regla si bien sus necesidades en materia de observación son muy distintas de las de la mayoría de las disciplinas.

El meteorólogo no se interesa simplemente por la recogida de datos sobre ciertas especies que luego pueden examinarse en laboratorio. Para algunos fines, su esfera de interés abarca toda la atmósfera mundial desde la superficie hasta una altura de quizás 30 Km y definir la situación de un espacio tan amplio requiere un enorme número de observaciones aunque la situación se describa de manera muy general. Para otros fines, puede necesitar datos en extremo detallados sobre una zona muy limitada.

Aquí vemos de nuevo que es casi inútil observar en detalle la atmósfera una sola vez para establecer la climatología de diferentes lugares y regiones (esto es, el tiempo medio, etc., complementado por una información que indique la variabilidad en el tiempo y en el espacio); es necesario disponer de un archivo histórico de observaciones realizadas durante muchos años.

Continuarán en el próximo Boletín junio 2009.....

Durante el mes de marzo del 2009, se realizó trabajos de pintado cerco de malla, casetas e equipos de instrumentación meteorológicos, por Servicios Generales S.H.A.

DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS – FÍSICA

BOLETÍN CLIMATOLÓGICO
ESTACIÓN METEOROLÓGICA “HIPÓLITO UNANUE”

BOLETIN # 296

PANDO, MAYO 2009

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS REGISTRADAS
MES DE ABRIL 2009

ELEMENTOS	ABRIL 2009	ABRIL 2008	Normal 40 años	Pronóstico MAYO 2009
Presión Atmosf. (mb)	996.0	995.0	1002.7	1003.0 ± 1.0
Temp. Max. Media (°C)	24.2	23.2	23.4	20.2 ± 0.5
Temp. Mín. Media (°C)	18.8	17.6	18.6	17.6 ± 0.5
Temp. Med. Diaria (°C)	21.5	20.4	21.0	18.9 ± 0.5
Hum. Rel. Max. Media (%)	90	91	91	92 ± 3
Hum. Rel. Mín. Media (%)	73	73	72	77 ± 3
Hum. Rel. Med. Diaria (%)	81	82	81	84 ± 3
Promedio Brillo Solar (H. min.)	8.10'	8.30'	4.00'	5.00 ± 1'

Durante el mes de abril 2009, el comportamiento de temperaturas mostraron una tendencia descendente de acuerdo a predicciones en el boletín del mes anterior (marzo) 2009 con una media de 21.3 °C a 21.5 °C.

Las predicciones para el mes de marzo 2009, las temperaturas medias diarias continuará en descenso pero manteniéndose encima de lo normal.

Durante el mes de abril del 2009, la temperatura más elevada alcanzó 28.8 °C el día miércoles 1° , la más baja 16.9 °C el día martes 28, la temperatura más baja de máxima registró 21.4 °C, el día lunes 27 y la más alta de mínima 21.3°C el día jueves 2. El brillo solar registró un promedio de 8 horas 10 minutos diarios; dirección y velocidad del viento predominaron del SW y SSW de 25 y 30 km / h. respectivamente.

MISCELANEA

La Meteorología La Creación y su sistema de observación

Terminada la Segunda Guerra Mundial, la OMI se reconstituyó en calidad de organismo especializada de las Naciones Unidas con la nueva denominación de Organización Meteorológica mundial (OMM) En lo que se refiere a las observaciones meteorológicas, el hecho más importante, que marcó un hito desde el comienzo de la labor de la OMM, que la adopción 1963 del concepto de vigilancia meteorológica mundial (VMM) y el Sistema Mundial de Telecomunicaciones (SMT).

Nada tiene de sorprendente que en esta era de alta tecnología en el sistema mundial de observaciones este incluido en espacial que utiliza los satélites geoestacionarias y de órbita polar dotados de telesensores para la observaciones de la atmosfera Los satélites son capaces de aportar una considerable y valiosa contribución a la constante vigilancia general de la atmósfera, siendo una de sus especiales ventajas su capacidad de recoger datos procedentes de zonas remotos (incluidas los océanos) en que las observaciones convencionales hechas a partir de la superficie son escasas. Pese a ello, los satélites proporcionan datos de distinta módulo que las obtenidas por el sistema de superficie, los dos tipos datos se complementan eficazmente pero no puede sustituirse uno por otro. ¡Los observadores meteorológicos no se quedarán sin trabajo! Su función sigue siendo esencial y sus observaciones constituyen la base de todo el sistema.

Continuarán.....

El día miércoles 2 de abril 2009, asistieron a la Estación Meteorológica los alumnos de Geografía y Medio Ambiente, para prácticas de operación de observaciones agro meteorológica, con la profesora Yamina Silva y Prof. H. Montes.

El día 16, 18 y 25 abril del 2009 asistieron 40 alumnos de letras del curso Introducción Experimental para Ciencias, con la Prof. Vanessa Teixeira.

DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN DELE DIFUSIÓN

Vista satelital de la sección minas, el viento se dirige hacia el Sur Oeste. Desde 5m/s a 8m/s

