



**DISEÑO DE SISTEMA DE INSONORIZACION DE RUIDO PARA
PLANTA ELECTRICA CATERPILLAR DE LA INDUSTRIA LICORERA
DE CALDAS**

**Trabajo Final
Especialización en Ingeniería Ambiental Área Sanitaria
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales**

Director. Ing JORGE ELIECER MARIN

LUÍS GONZALO PALÁCIO HENAO.

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Química
Manizales, Diciembre de 2007**



**DISEÑO DE SISTEMA DE INSONORIZACION DE RUIDO PARA
PLANTA ELECTRICA CATERPILLAR DE LA INDUSTRIA LICORERA
DE CALDAS**

**Trabajo Final
Especialización en Ingeniería Ambiental Área Sanitaria
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales**

LUÍS GONZALO PALÁCIO HENAO.

**Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Ingeniería Química
Manizales, Diciembre de 2007**

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

Manizales, diciembre de 2007

TABLA DE CONTENIDO

1. RESUMEN:	6
1.1 Abstrac	6
2. INTRODUCCION	7
3. OBJETIVOS:	9
3.1 General	9
3.2 Específicos	9
4. MARCO TEORICO	10
5. ANTECEDENTES	12
6. MATERIALES Y METODOS:	13
7. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA DEL TRABAJO	15
7.1 Características de la planta eléctrica	15
7.2 Medición de la presión sonora del lugar de influencia	15
7.3 Ubicación respecto a la planta:	16
7.4 Selección del Nivel de Reducción NR	19
7.5 Condiciones del lugar y consideraciones de medición	21
7.6 Dimensionamiento del encerramiento	21
7.7 Selección de materiales y cálculos	22
7.7.1 Primer Tanteo	22
7.7.2 Segundo Tanteo	24
7.7.3 Tercer Tanteo	25
7.8 Calculo de Puerta de Metal	26
7.8.1 Primer Tanteo	26
7.8.2 Segundo Tanteo (Diseño de Puerta doble)	27
7.8.3 Distancia entre láminas de la puerta de acero (Frecuencia resonancia).	28
7.9 Diseño de barrera	29
7.10 Perdidas de Presión por paso del aire por la barrera	31
7.11 Diseño de Silenciador	32
7.11.1 Configuración del diseño	33
7.11.2 Pérdidas de Presión por paso por el silenciador	34
8. PRESUPUESTO	34
9. CONCLUSIONES	35
10. ANEXOS (ESQUEMAS DISEÑO)	35
11. BIBLIOGRAFIA	41

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 (Muestreo ruido planta eléctrica ILC)	18
TABLA 2 (Nivel de presión sonora bandas de octava (dB))	20
TABLA 3 (Dimensiones de encerramiento)	21
TABLA 4 (Coeficientes de absorción de los materiales de encerramiento)	23

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 (Sonometro QUEST, Sound pro TL 2)	13
FIGURA 2 (Esquema ángulo de difracción)	30

1. RESUMEN:

Se desarrolla un diseño ingenieril en el cual se definen las características técnicas necesarias para la construcción de un sistema de insonorización que garantice reducción de presión sonora en el área de influencia de la planta eléctrica de la Industria Licorera de Caldas.

Las memorias de calculo que se desarrollan a lo largo del trabajo, se encuentran discriminadas según las diferentes unidades que comprenden el sistema global de insonorización (encerramiento, barrera, silenciador) señalando las expresiones numéricas necesarias en cada una de ellas para obtener los resultados esperados y asegurar un nivel de ruido tolerables y permisible, según políticas de seguridad industrial, ambiental y de salud ocupacional.

1.1 Abstract

An engineering design is developed in order to determine the technical characteristics for the construction of an noise reduction system that guarantees the minimization of sonorous pressure in the area of influence of the electrical plant of the Industria Licorera de Caldas.

The required calculations are developed throughout the paper. They are discriminated according to the different units included in the global system of noise reduction (isolation, wall and silencer). These calculations indicate the numerical expressions needed in each unit to obtain the awaited results and to assure a tolerable level of permissible noise. The design meets the policies from industrial, environmental security and of occupational health.

2. INTRODUCCION

El proceso de producción de alcohol, específicamente en el área de fermentación y destilación, requiere un suministro continuo de energía eléctrica, con el fin de garantizar el funcionamiento del proceso de destilación.

Específicamente el proceso de fermentación requiere un suministro ininterrumpido de energía eléctrica, puesto que se debe garantizar las condiciones ideales del medio para los microorganismos que realizan este proceso.

Por esta razón la ILC, como medida de prevención, adquirió una planta eléctrica de emergencia, la cual entra automáticamente en funcionamiento cuando el suministro de la empresa prestadora de servicio tiene problemas o en el caso de un daño en las líneas.

Al dar solución al problema de suministro de energía eléctrica en el caso de ausencia del mismo, se generó un problema de contaminación auditiva por los niveles de presión sonora emitidos por el equipo al estar encendido; los cuales superan los niveles seguros de salud ocupacional, convirtiéndose al mismo tiempo en una fuente potencial de contaminación ambiental para el sector de maltería, debido a que el sector cada vez está más influenciado por el crecimiento urbano que se ha venido dando en la ciudad y que a su vez se da de acuerdo al plan de Ordenamiento Territorial del municipio (POT).

En la actualidad la Industria Licorera de Caldas cuenta con certificación de su Sistema Integrado de Gestión, el cual contempla normas internacionales en el área ambiental y de salud Ocupacional y Seguridad Industrial. Estas normas obligan a la organización a velar por la protección del medio ambiente y entorno empresarial como también por la salud e integridad de los trabajadores. Es por esto que inicialmente se pretende hacer mediciones aledañas a la planta eléctrica con el fin de identificar los niveles de presión sonora críticos y así poder realizar un análisis de frecuencias confiable que genere datos reales para los parámetros de diseño necesarios para el diseño del sistema de insonorización de la planta.

De esta forma se estableció el nivel de ruido original de la planta y se planteo de acuerdo al mismo el nivel de reducción al que se quiere llegar. Es de anotar que este nivel de ruido al que se desea llegar es influenciado por muchos factores entre los cuales se encuentran los costos de los materiales acústicos y la disponibilidad de los mismos.

3. OBJETIVOS:

3.1 General

- Diseñar un sistema de aislamiento de ruido para la planta eléctrica de emergencia de La Industria Licorera de Caldas.

3.2 Específicos

- Identificar los niveles de presión sonora en las frecuencias de 125, 250, 500, 1000, 2000, y 4000. Hz
- Establecer la reducción del nivel de presión sonora final.
- Proponer los materiales mas adecuados para la perdida de transmisión necesaria según el nivel de presión final establecido.
- Definir los componentes necesarios para el sistema de aislamiento de la planta y efectuar su dimensionamiento.
- Realizar un presupuesto aproximado de la inversión.

4. MARCO TEORICO

El sonido se define físicamente como las variaciones de presión que se propagan a través de un medio físico. Para la Salud Ocupacional el medio más importante de propagación es el aire, el cual posee unas propiedades específicas de masa y elasticidad.

El sonido también se puede definir en forma subjetiva como una diferencial de presión captada por el oído y que produce una sensación auditiva en el cerebro. Este sonido puede ser considerado como agradable o desagradable por la persona que lo percibe y por tanto es subjetiva su apreciación.

Las principales razones por las cuales se presentan los mayores problemas de ruido en la comunidad, son la reducción de la comodidad para el descanso y/o interfiere para dormir y las dificultades o interferencias en la comunicación. Dos son los efectos fundamentales que se producen sobre las personas, uno el estrés causado por la interferencia en su vida diaria y dos que puede cambiar el valor de la propiedad. Es importante anotar que dependiendo de la densidad poblacional de un área, es el nivel de exigencia de condiciones de tranquilidad respecto al ruido o la presencia de cualquier contaminante. En general, todas las ciudades, que poseen aproximadamente más de 200.000 habitantes tiene problemas comunes, entre ellos, problemas con el tráfico automotor, industria ubicadas en el casco urbano, proximidad a aeropuertos, carencia de zonas de amortiguación sobre todo al pie de vías de alto flujo vehicular, áreas comerciales con negocios de entretenimiento (música, ruido de personas), etcétera, lo anterior a motivado a que la planificación de las ciudades no responde a su desarrollo funcional.

Para cualquier caso de estudio de ruido es muy importante saber seleccionar el tipo de medida a realizar según las condiciones del medio circundante; por ello el sitio seleccionado depende del propósito del estudio. Si el estudio es el impacto del ruido en una localización y en un tiempo específico, se acepta tal y como se presente. De otra manera los sitios deben ser determinados de acuerdo a como lo describen los estándares, con el fin de determinar el impacto sobre la comunidad. Una condición de muestreo común es la requerida para caracterizar un ruido de una fuente ubicada de manera lineal al receptor, en este caso se mide entre los dos sin que exista barrera o impedimentos que obstaculicen tal medición. Las evaluaciones se deben hacer entre 1.2 y 1.8 metros del piso. Cuando la fuente y el receptor se encuentran en alturas diferentes o cuando hay obstrucciones, en estos casos es necesario definir varios puntos de medida, de tal manera que se pueda determinar el impacto que produce la fuente en la comunidad.

Equipos de Medida: La selección de equipos de medida se debe hacer de manera que tengan capacidad para medir el nivel equivalente de presión sonora con ponderación frecuencia A, -LAeq -, directa o indirectamente; los instrumentos deben cumplir las especificaciones de sonómetros, Tipo 1 o mínimo Tipo 2 y los sonómetros integradores premediadores deben ser clase P.

LEGISLACION: La legislación colombiana regula el tema ruido en pro del bienestar de la comunidad.

Este tema es legislado por dos Ministerios; el ruido ambiental es competencia del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial quien mediante Resolución 627 del 7 de abril de 2006 establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental donde específicamente en el artículo 17 señala los valores máximos para el sector industrial en 75 dBA durante el día y en 70 dBA durante la noche. El ruido ocupacional es competencia del Ministerio de Trabajo Seguridad Social y Salud quien mediante Resolución 1792 de 1990 se adopta valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido donde en el artículo 1 se señalan como valores límites permisibles para exposición ocupacional al ruido los siguientes: Para exposición durante ocho (8) horas : 85 dBA. Para exposición durante cuatro (4) horas : 90 dBA. Para exposición durante dos (2) horas : 95 dBA. Para exposición durante una (1) hora : 100 dBA. Para exposición durante media (1/2) hora : 105 dBA. Para exposición durante un cuarto (1/4) de hora : 110 dBA. Para exposición durante un octavo (1/8) de hora : 115 dBA.

5. ANTECEDENTES

La Industria Licorera de Caldas Cuenta con una Planta eléctrica de emergencias con el fin de garantizar constantemente el fluido eléctrico el cual es vital para el proceso de producción de alcoholes y licores.

Dicha planta se ubica en el área de calderas donde laboran 3 operarios (uno por cada turno de 8 horas) los cuales monitorean constantemente la producción de vapor mediante el manejo de las calderas.

Dicha planta se ubico en esta área en el año 2005 sin realizarse previo análisis de posibles dificultades que se podrían generar en el campo de salud ocupacional y medio ambiente por las emisiones de ruido que se desprenden del funcionamiento de la misma. Desde el momento en que la planta entro en funcionamiento; los operarios de calderas sentaron quejas por el fuerte ruido que generaba y por las molestias que esta les causaba incluso al usar sus elementos de protección auditiva proveída por el área de seguridad industrial. Así mismo, no se conoce el verdadero aporte que genera la planta al ruido de fondo ambiental de la zona por lo cual mediante el diseño y futura construcción de un sistema de aislamiento acústico se buscara prevenir no solo lesiones irremediables a los trabajadores del área sino también posibles sanciones por contaminación de origen acústica.

Por otra parte cabe anota que en el año 2003 la empresa realizo análisis de ruido comunitario donde lo los niveles de presión sonora obtenidos estuvieron por debajo de los valores establecidos en la normatividad vigente en esa fecha, pero dichos análisis no contemplaron el aporte de la planta eléctrica puesto aun no se contaba con ella.

6. MATERIALES Y METODOS:

El presente trabajo utilizara la metodología propuesta en el texto” “Evaluación y control del ruido” Rigoberto Quinchia, Medellín 2006.

El proyecto se realizara en la zona de calderas de la Industria Licorera de Caldas, la cual se encuentra ubicada a una distancia lineal de 300 metros de la carretera panamericana de la ciudad de Manizales y demás asentamientos urbanos que circundan el sector.

Para garantizar que la medida de aislamiento acústico sea efectiva no solo en el campo de seguridad industrial y salud ocupacional sino también como una acción ambiental preventiva a futuras quejas de la comunidad, se deben utilizar los materiales necesarios para que las medidas sean confiables y el diseño del sistema seguro. Para establecer los análisis de frecuencias que son el punto de partida del diseño, se utilizo un sonómetro QUEST, model sound pro TL 2 (1/1, 1/3); con analizador de frecuencias, el cual consisten una serie de filtros de paso de bandas o espectros de rangos de frecuencia, con ocho convenirte (en octavas) que permiten definir las características de los diferentes tipos de ruido.

Este equipo se convierte en el punto de partida para la recolección de datos necesaria para dar inicio al diseño.



FIGURA 1 (Sonómetro QUEST, Sound Pro TL 2)

Los parámetros de medida y de dimensiones son el punto de partida para iniciar con las memorias de cálculos y selección de los materiales a utilizar.

Así mismo se establecerá los niveles de presión sonora en condiciones normales de funcionamiento del área de influencia como valor límite permisible en el diseño

Por último se requiere de las especificaciones de la planta eléctrica para terminar el diseño de insonorización según los requerimientos de aire que necesita el motor de la misma y así evitar sobrecalentamiento y posible colapso del mismo pudiendo ocasionar estragos en el proceso de producción de la empresa.

7. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA DEL TRABAJO

7.1 Características de la planta eléctrica

El trabajo inicia con el reconocimiento de las características de la planta eléctrica con el fin de establecer información importante requerida para el diseño.

Planta eléctrica Caterpillar



7.2 Medición de la presión sonora del lugar de influencia

Para asegurar el funcionamiento efectivo de la planta eléctrica de emergencia en el momento que las condiciones lo requieran, ya sea por un daño en el proceso o fallas en el suministro del servicio; el área eléctrica de la ILC establece cronogramas periódicos para encenderla, con el fin de mantener el equipo activo y disminuir las probabilidades de falla del mismo.

Es de aclarar que cuando se realizan estas actividades de “calentamiento del equipo” no se realiza a máxima carga, por lo cual se requirió realizar mediciones de presión sonora en estas condiciones de funcionamiento, en condiciones de máxima carga y en condiciones del área de trabajo sin planta eléctrica encendida, para determinar dos variables importantes:

1. Nivel de reducción de ruido: Basada en condiciones de presión sonora del área de influencia cuando la planta eléctrica se encuentra apagada.
2. Nivel crítico de ruido: El cual es el punto de partida para determinar la presión sonora total del equipo y el nivel de reducción necesaria para cumplir con lo requerido en el área afectada.

Las mediciones de presión sonora realizadas fueron en dB lineales.

7.3 Ubicación respecto a la planta:

Frente Ventilador:



Frente Derecho:



Atrás:



Frente Izquierdo:



Al realizar las mediciones en las tres condiciones anteriormente descritas (Planta apagada, Mínima carga y máxima Carga), contemplando cada uno de los 4 frentes de la misma se encontraron los siguientes datos:

MUESTREO RUIDO PLANTA ELECTRICA CALDERAS I.L.C									
CONDICION MINIMA CARGA									
POSICION DE MUESTREO	FRECUENCIAS								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Frente al ventilador	97	97,5	105	105	103	101	97,3	93	84,5
Frente Izquierdo	90	96	103	102,5	102	98	96	94,4	84
Atrás	81,8	92	100	99	95,5	93	88,5	85,1	75
Frente Derecho	89	95,5	101	102	100,1	98,5	95,5	93	83
MUESTREO RUIDO PLANTA ELECTRICA CALDERAS I.L.C									
CONDICION MAXIMA CARGA									
POSICION DE MUESTREO	FRECUENCIAS								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Frente al ventilador	99,5	100	112	111,5	108,1	105,8	101,4	97,4	88,9
Frente Izquierdo	96,6	99,4	105,1	106,6	106,3	105,7	102	98,2	90
Atrás	89,6	97,4	104,3	103,2	98,5	96,5	93,4	89,7	81,5
Frente Derecho	91,1	99	105,5	104,3	103	101,5	99	96,5	89
MUESTREO RUIDO AREA PLANTA ELECTRICA CALDERAS I.L.C									
CONDICION PLANTA APAGADA (Ruido de Fondo)									
POSICION DE MUESTREO	FRECUENCIAS								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Primera Corrida	87,5	85,5	85,7	80,5	81,4	76	72,8	70	61,7
Segunda Corrida	90	85,7	85	77,8	80,5	75,7	72,2	69,5	61,3
Promedio	88,75	85,6	85,35	79,15	80,95	75,85	72,5	69,75	61,5
Total	92,4								

TABLA 1 (Muestreo ruido planta eléctrica ILC)

Como principales conclusiones de las mediciones de la presión sonora mostradas en la anterior tabla se puede destacar:

- En el ambiente de trabajo del área de influencia de la planta eléctrica presenta un nivel de presión sonora alto. La sumatoria del mismo en las frecuencias de (31.5 – 8000) es igual 92.4 dB. Dato importante para la determinación del nivel máximo que puede generar la planta encendida con el sistema de insonorización.
- En todas las condiciones analizadas predomina que en el frente del ventilador se genera mayor presión sonora. Por lo cual se establece como condición crítica de emisión de ruido del equipo.
- Se estableció que el nivel de presión sonora encontrado en las condiciones de nivel mínimo de carga no difería considerablemente a las condiciones encontradas en la planta apagada. Pero que estas comparadas con las condiciones de máxima carga, si eran considerables por lo que se establece la medición a reducir la obtenida a máxima carga en frente al ventilador.

7.4 Selección del Nivel de Reducción NR

Para seleccionar el NR requerido, se decidió aplicar un factor de seguridad mediante la selección de un NR más alto del que verdaderamente se necesitaba. Esto debido a que las condiciones de presión sonora en condiciones de planta apagada y condiciones de máxima carga no son muy marcadas. Con lo anterior se obliga a que el diseño sea más estricto para cumplir con el nivel de insonorización deseada.

De la tabla que se muestra a continuación (Tabla 2.7, EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006). Se selecciono el NR de 60.

NR	Niveles de presión sonora en bandas de octava (dB)								
	Frecuencias centrales (Hz)								
	31,5	63	125	250	500	1.000	2.000	4.000	8.000
0	55,4	35,5	22,0	12,0	4,8	0	-3,5	-6,1	-8,0
5	58,8	39,4	26,3	16,6	9,7	5	1,6	-1,0	-2,8
10	62,2	43,4	30,7	21,3	14,5	10	6,6	4,2	2,3
15	65,6	47,3	35,0	25,9	19,4	15	11,7	9,3	7,4
20	69,0	51,3	39,4	30,6	24,3	20	16,8	14,4	12,6
25	72,4	55,2	43,7	35,2	29,2	25	21,9	19,5	17,7
30	75,8	59,2	48,1	39,9	34,0	30	26,9	24,7	22,9
35	79,2	63,1	52,4	44,5	38,9	35	32,0	29,8	28,0
40	82,6	67,1	56,8	49,2	43,8	40	37,1	34,9	33,2
45	86,0	71,0	61,1	53,6	48,6	45	42,2	40,0	38,3
50	92,9	75,0	65,5	58,5	53,5	50	47,2	45,2	43,5
55	89,4	78,9	69,8	63,1	58,4	55	52,3	50,3	48,6
60	96,6	82,9	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4	53,8
65	99,7	86,8	78,5	72,4	68,1	65	62,5	60,5	58,9
70	103,1	90,8	82,9	77,1	73,0	70	67,5	65,7	64,1
75	106,5	94,7	87,2	81,7	77,9	75	72,6	70,8	69,2
80	109,9	98,7	91,6	86,4	82,7	80	77,7	75,9	74,4
85	113,3	102,6	95,9	91,0	87,6	85	82,8	81,0	79,5
90	116,7	106,6	100,3	95,7	92,5	90	87,8	86,2	84,7
95	120,1	110,5	104,6	100,3	97,3	95	92,9	91,3	89,8
100	123,5	114,5	109,0	105,0	102,2	100	98,0	96,4	95,0
105	126,9	118,4	113,3	109,6	107,1	105	103,1	101,5	100,1
110	130,3	122,4	117,7	114,3	111,9	110	108,1	106,7	105,3
115	133,7	126,3	122,0	118,9	116,8	115	113,2	111,8	110,4
120	137,1	130,3	126,4	123,6	121,7	120	118,3	116,9	115,6
125	140,5	134,2	130,7	128,2	126,6	125	123,4	122,0	120,7
130	143,9	138,2	135,1	132,9	131,4	130	128,4	127,2	125,9

TABLA 2 (Nivel de presión sonora bandas de de octava (dB))

Con estos valores del NR de 60 en cada una de las frecuencias se pudo determinar el valor de presión sonora como se muestra a continuación:

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
NR 60	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4
Atenuación	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,1	1
dBa	58,1	59,2	60	60	58,5	56,4
Presión sonora total	66,65					

El cual es mucho menor que el valor encontrado en condiciones de planta apagada en el área de calderas (92.4 dB Lin) lo que indica que el NR se encuentra bien seleccionado y con un factor amplio de seguridad.

7.5 Condiciones del lugar y consideraciones de medición

Para hallar el factor de corrección “T” dependiente de las condiciones de presión y °T del lugar, necesario para encontrar el valor del Lp de encerramiento se utilizó la Figura 3.7 (EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006).

De acuerdo a la ubicación de la planta eléctrica sobre el plano se seleccionó el factor de direccionalidad Q teniendo en cuenta que la radiación del sonido es semiesférica. Figura 3.5 (EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006).

Y el valor de r es el equivalente a la distancia entre la planta eléctrica y el receptor.

r	1	m
r	3,28	Foot
Q	2	
T	-1,2	Figura 3.7 (B=595 mmHg y °T = 18°C)

7.6 Dimensionamiento del encerramiento

Las dimensiones de la planta son las siguientes:

Alto = 1.95 m

Ancho = 1.86 m

Largo = 4.85 m

De acuerdo a esto, se determinó que el encerramiento del equipo tendría las siguientes características:

Pared	Descripción	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Área (m²)
1	Pared Frente Ventilador	X	3	3,4	10,2
2	Pared Frente Izquierdo	6,3	3	X	18,9
3	Pared Frente Derecho	6,3	3	X	14,9
4	Pared Atrás	X	3	3,4	10,2
Techo	Techo	6,3	X	3,4	21,42
Piso	Piso	6,3	X	3,4	21,42
Puerta	Puerta	2	2	X	4

TABLA 3 (Dimensiones de encerramiento)

7.7 Selección de materiales y cálculos

Como material base para el encerramiento de paredes y techo se selecciono ladrillo debido a que tiene una masa alta por unidad de área. Este parámetro es clave para obtener un nivel de reducción considerable a lo necesitado.

Las características del bloque de ladrillo son las siguientes

Peso: 2.5 Kg.

Ancho: 0.2 m

Alto: 0.1 m

Largo: 0.4 m

Área del Ladrillo: $0.4m * 0.2m = 0.08m^2$

$$\text{Masa (Kg/m}^2\text{)} = \frac{2.5kg}{0.08m^2} = 31.25 \frac{Kg}{m^2}$$

7.7.1 Primer Tanteo

Lo primero que se realizo fue conocer el nivel de presión sonora reducida por el sistema de insonorización sin recubrimientos con material acústico.

Para esto se comenzó con la determinación de las áreas de cada uno de las estructuras que componen el sistema de insonorización, con su respectivo $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio” de acuerdo a cada una las frecuencias.

Para determinar dicho $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio” se sacaron los coeficientes de absorción de las Tablas 3.4 y 3.5, (EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006), de los materiales usados (Ladrillo sin pintar, Hormigón y Metal) y con las áreas de cada uno de los materiales se uso la siguiente expresión:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum \alpha_i * S_i}{\sum S_i}$$

Los resultados se muestran en la tabla 4:

Superficie	Área (m2)	Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
		125	250	500	1000	2000	4000
Pared 1 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 2 en ladrillo sin pintar	18,9	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 3 en ladrillo sin pintar	14,9	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 4 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Techo en Hormigón Sin Pintar	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Piso en Hormigón Sin Pintar	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta metálica	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Superficie total	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04
Alfa Promedio		0,015	0,015	0,025	0,030	0,036	0,040

TABLA 4 (Coeficientes de absorción de los materiales de encerramiento)

Teniendo el $\bar{\alpha}$ "Alfa promedio" se calcula la pérdida de transmisión del material escogido Vs la pérdida de transmisión necesaria para cumplir con los niveles de reducción deseados. Si la pérdida de transmisión del material es mayor que la pérdida deseada, el material es el adecuado para el encerramiento.

Para encontrar estas pérdidas de transmisión se utilizan las siguientes expresiones:

- Potencia sonora: $L_w = L_p + 20 \text{LOG}(r) - 2.3$
- Constante de Salón: $R = \frac{\bar{\alpha} * S}{1 - \bar{\alpha}}$
- Nivel de presión en encerramiento: $L_{enc} = L_w + 10 \text{LOG}\left(\frac{Q}{4 * \pi * r^2} + \frac{4}{R}\right) - T$
- Nivel de Reducción: $NR = L_{enc} - NR_{tabla} \quad 2,6 + 5$
NRtabla, se refiere al NR seleccionado en la tabla 2.6 del libro referenciado.
- Pérdida por transmisión requerida $TL_{req} = NR + 10 \text{LOG}(0.25)$
- Pérdida por transmisión del material: $TL_{material} = 20 \text{LOG}(MF) - 47$

(Donde M = masa del material y F= la frecuencia)

Desarrollando estas ecuaciones con los valores anteriormente señalados se compilo la siguiente tabla con los resultados:

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Lp dB	112	111,5	108,1	105,8	101,4	97,4
Lw	120,02	119,52	116,12	113,82	109,42	105,42
Alfa medio	0,015	0,015	0,025	0,030	0,036	0,040
R	1,58	1,58	2,59	3,16	3,74	4,20
Lp encerramiento	125,5	125,0	119,6	116,6	111,5	107,1
NR 60	74,20	67,80	63,20	60,00	57,40	55,40
NR	56,33	62,23	61,43	61,55	59,11	56,67
TL requerido	50,30	56,20	55,41	55,53	53,09	50,65
TL material (pared)	40,04	46,06	52,08	58,11	64,13	70,15

De acuerdo con los resultados encontrados en la tabla se evidencia claramente que el TL del Material solo es efectivo en las frecuencias 1000, 2000 y 4000 por lo que se debe realizar un recubrimiento, para asegurar el control en las frecuencias de 125, 250 y 500

7.7.2 Segundo Tanteo

Para realizar el segundo tanteo se opto por realizar un recubrimiento interno de la **pared 3** (Frente Derecho) con Lana Mineral de 2". Lo cual cambia el coeficiente de absorción de esta pared en todas las frecuencias de:

Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
125	250	500	1000	2000	4000
0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05

a,

Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
125	250	500	1000	2000	4000
0,5	0,85	0,95	1,1	1	1

En adelante se sigue el mismo procedimiento señalado en el primer tanteo y se obtienen los siguientes valores de $\bar{\alpha}$ "Alfa promedio":

Superficie	Área	Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
		125	250	500	1000	2000	4000
Pared 1 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 2 en ladrillo sin pintar	18,9	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 3 (Lana M de 2")	14,9	0,5	0,85	0,95	1,1	1	1
Pared 4 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Techo en Hormigón	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Piso en Hormigón	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta metálica	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Superficie total	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04
Alfa Promedio		0,086	0,138	0,161	0,187	0,176	0,180

Seguido a esto, se desarrollan las expresiones anteriormente señaladas con el nuevo $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio” y se determina la efectividad de la medida como se muestra a continuación:

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Lp dB	112	111,5	108,1	105,8	101,4	97,4
Lw	120,02	119,52	116,12	113,82	109,42	105,42
Alfa medio	0,086	0,138	0,161	0,187	0,176	0,180
R	9,52	16,14	19,34	23,19	21,55	22,18
Lp encerramiento	117,6	115,6	111,8	109,0	104,8	100,7
NR 60	74,20	67,80	63,20	60,00	57,40	55,40
NR	48,45	52,81	53,55	54,02	52,39	50,33
TL requerido	42,42	46,79	47,53	48,00	46,37	44,30
TL material (Lana M de 2")	40,04	46,06	52,08	58,11	64,13	70,15

De acuerdo a los resultados encontrados en la tabla se evidencia claramente que el TL del Material solo es efectivo en las frecuencias 500, 1000, 2000 y 4000, por lo que se debe realizar un recubrimiento, para asegurar el control en las frecuencias de 125, 250.

7.7.3 Tercer Tanteo

Para realizar el tercer tanteo se opto por realizar un recubrimiento interno adicional al realizado, con el mismo material (Lana mineral 2") en el techo de la estructura. Cambiando nuevamente el coeficiente de absorción $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio” y siguiendo el mismo procedimiento se obtuvieron los siguientes valores:

Superficie	AREA	Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
		125	250	500	1000	2000	4000
Pared 1 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 2 en ladrillo sin pintar	18,9	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 3 (Lana M de 2")	14,9	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
Pared 4 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Techo en Hormigón (Lana M de 2")	21,42	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
Piso en Hormigón	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta metálica	4	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Superficie total	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04
Alfa Promedio		0,190	0,316	0,358	0,416	0,419	0,386

A partir de este nuevo $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio” se desarrolló de igual manera las expresiones antes señaladas y se obtuvieron los siguientes datos:

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Lp dB	112	111,5	108,1	105,8	101,4	97,4
Lw	120,02	119,52	116,12	113,82	109,42	105,42
Alfa medio	0,190	0,316	0,358	0,416	0,419	0,386
R	28,06	49,69	61,86	72,34	68,99	38,97
Lp encerramiento	114,81	113,31	109,62	107,13	102,78	99,60
NR 60	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4
NR	45,61	50,51	51,42	52,13	50,38	49,20
TL requerido	39,59	44,49	45,40	46,11	44,36	43,18
TL material (Pared 3 y techo Lana. M)	40,04	46,06	52,08	58,11	64,13	70,15

De acuerdo con lo anterior el recubrimiento es efectivo para garantizar el control de emisión de ruido de la planta, puesto que el TL material es mayor en todas las frecuencias que el TL Requerido.

7.8 Calculo de Puerta de Metal

La masa por unida de área es un factor importante para aumentar el grado de reducción del sonido, existe una relación directamente proporcional. Como es sabido, es indispensable realizar una puerta con dimensiones aceptables para la entrada del personal a la planta y para la entrada o salida de repuestos en caso de daños del equipo.

La masa por unidad de área de puerta a instalar en el sistema de insonorización, es mucho menor que la del ladrillo, por esta razón se debe realizar un nuevo desarrollo de los cálculos contemplando la nueva masa de la puerta con material de metal hasta alcanzar los niveles de reducción deseados.

7.8.1 Primer Tanteo

Se selecciona para el sistema de insonorización una puerta de Acero galvanizado calibre 14” con una masa 15.7 Kg/m². y se realiza un recubrimiento de la misma con lana mineral de 2”.

Se realiza el mismo procedimiento que se ha desarrollada para encontrar el $\bar{\alpha}$ “Alfa promedio”, y se obtienen los siguientes datos:

Superficie	Área	Coeficiente de absorción de acuerdo a la frecuencia					
		125	250	500	1000	2000	4000
Pared 1 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 2 en ladrillo sin pintar	18,9	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Pared 3 con recubrimiento de Lana Mineral de 2"	14,9	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
Pared 4 en ladrillo sin pintar	10,2	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Techo con recubrimiento de Lana Mineral de 2"	21,42	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
Piso en Hormigón	21,42	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Puerta metálica con recubrimiento de Lana Mineral de 2"	4	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
Superficie total	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04	101,04
Alfa Promedio		0,209	0,349	0,395	0,459	0,463	0,425

Con este nuevo $\bar{\alpha}$ "Alfa promedio" se desarrollan de igual manera las expresiones antes señaladas, a excepción del TL material puesto que la masa utilizada en esta expresión ya no es la del ladrillo; sino la de la puerta de metal.

De acuerdo a lo anterior con una masa de 15.7 Kg/m² en la puerta se obtuvieron los siguientes valores:

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Lp dB	112	111,5	108,1	105,8	101,4	97,4
Lw	120,02	119,52	116,12	113,82	109,42	105,42
Alfa medio	0,209	0,349	0,395	0,459	0,463	0,425
R	32,51	58,30	73,74	86,26	81,28	42,93
Lp encerramiento	114,5	113,1	109,4	106,9	102,6	99,4
NR 60	74,20	67,80	63,20	60,00	57,40	55,40
NR	45,32	50,29	51,21	51,95	50,21	49,04
TL requerido	39,30	44,27	45,19	45,93	44,19	43,02
TL material	18,86	24,88	30,90	36,92	42,94	48,96

Teniendo en cuenta los valores de TL encontrados en el material y comparándolo contra el TL requerido Solo cumple para la frecuencia de 4000. Por lo cual es indicado diseñar una puerta doble con lámina de 14" y masa de 15,7 Kg/m².

7.8.2 Segundo Tanteo (Diseño de Puerta doble)

Al encontrar que una sola puerta no cumple con los niveles de reducción esperados para que el diseño cumpla con especificaciones requeridas, se opta por realizar una puerta doble utilizando la siguiente expresión:

$$TL_D = TL_1 + TL_2 - 10 \log\left(\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{4}\right)$$

Donde

TL1= Pérdida por transmisión del material en la puerta 1

TL2 = Pérdida por transmisión del material en la puerta 2

α = Coeficiente de absorción del material de la puerta

TLD = Pérdida por transmisión de la pared Doble.

Así mismo se recubre las dos caras de la puerta con lana mineral de 2" arrojando los siguientes resultados

Frecuencia	125	250	500	1000	2000	4000
Alfa Lana mineral	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
TL requerido	39,30	44,27	45,19	45,93	44,19	43,02
TL1	18,86	24,88	30,9	36,92	42,94	48,96
TL2	18,86	24,88	30,9	36,92	42,94	48,96
TLD	34,20	48,22	60,65	73,20	85,24	96,95

De acuerdo al TLD frente al TL requerido; la pared doble cubierta con lana mineral cumple para todas las frecuencias, a excepción de la frecuencia de 125, pero a criterio se decide dejar esta opción en primera medida por el factor de seguridad tenido en cuenta en la selección del NR y en segunda medida porque solo esta por encima de 5 decibeles de lo deseado.

7.8.3 Distancia entre láminas de la puerta de acero (Frecuencia resonancia).

Para dos paredes cuyo comportamiento mecánico es el de dos masas unidas mediante un muelle, se calcula la frecuencia de resonancia así:

$$F_0 = 60 * \frac{1}{d} \left(\frac{1}{M1} + \frac{1}{M2} \right)$$

F₀ = Frecuencia de resonancia entre las dos puertas

M1 = Masa de la puerta 1

M2 = Masa de la puerta 2

d = distancia entre paredes

M1 = 15.7 Kg

M2 = 15.7 Kg

d = 0.051m

F₀ = 74.9

Al ser F₀ menor que 75 Hz, el sistema se comporta como una pared simple M1 + M2. Adicionalmente este valor se encuentra suficientemente por debajo de la mínima frecuencia problema analizada para este caso 125 HZ, lo que demuestra que el "d" se encuentra bien seleccionado

7.9 Diseño de barrera

Los equipos como las plantas eléctricas de emergencia requieren aire para su funcionamiento. Este aire es utilizado como refrigerador para evitar sobrecalentamientos y para obtener la combustión óptima en el motor.

Este diseño requiere un cuidado particular porque se debe realizar una barrera con una abertura al encerramiento que garantice los niveles de reducción deseados y al mismo tiempo el caudal de aire necesario para que la planta funcione óptimamente y no se apague por ausencia o déficit del mismo.

Para hallar las dimensiones exactas de la entrada de aire al sistema, se determino en catalogo el caudal de aire requerido por el equipo y con la velocidad de succión de aire del mismo, se determino el área de entrada:

$$A = \frac{Q}{V}$$

Caudal de aire requerido por el equipo	2373	m3/minuto		
Velocidad Aire	457	m/minuto	1499,34	foot/m
Área	5.19	m2		

Al obtener un área de entrada en la barrera de 5.19 m², se decide establecer compartimientos o cajones dentro de la barrera recubiertos en sus cuatro caras con lana mineral de 2" a manera de silenciador. Esto con el fin de aumentar las pérdidas por transmisión de ruido mediante el contacto del mismo con las láminas internas.

Las dimensiones de estos cajones se deciden realizar como se muestra a continuación

DIMENSIONES REQUERIMIENTO POR CAJON	LARGO (M)	ANCHO (M)	AREA (M^2)	
Dimensiones requerimiento aire	0,197	1,53	0,30	Área requerida aire
Dimensiones recubrimiento	0,1016	0,1016	0,010	Área recubrimiento
Total Dimensiones internas cajón	0,2986	1,6316	0,49	Área total

Estableciéndose la siguiente configuración de diseño:

Dimensiones de Construcción Barrera		
No de Cajones	10	und
Longitud total barrera	3.4	m
Ancho total barrera	1.53	m
Espesor lamina superboard	0.0446	m
Numero de laminas separadoras	9	und
Distancia entre los extremos de la barrera y el final de la pared del encerramiento	0	m

Con el fin de obtener el nivel de reducción esperada; se debe calcular la altura efectiva de la barrera, la cual determinara el Angulo de difracción requerido para asegurar un control de la emisión de ruido hacia el receptor.

Ancho barrera	1.53	m
Longitud muro interno de Encerramiento	2,4	m
Longitud campo libre entre suelo y muro interno de encerramiento	0,6	m
Muro externo de encerramiento	5	m
Distancia (Fuente-Receptor)	5	m
Teta 1	45,00	Grados
Teta 2	32,52	Grados
Teta 3	57,48	Grados
Teta difracción	102,48	Grados
H efectiva	4,4	m
Velocidad	340	m/s

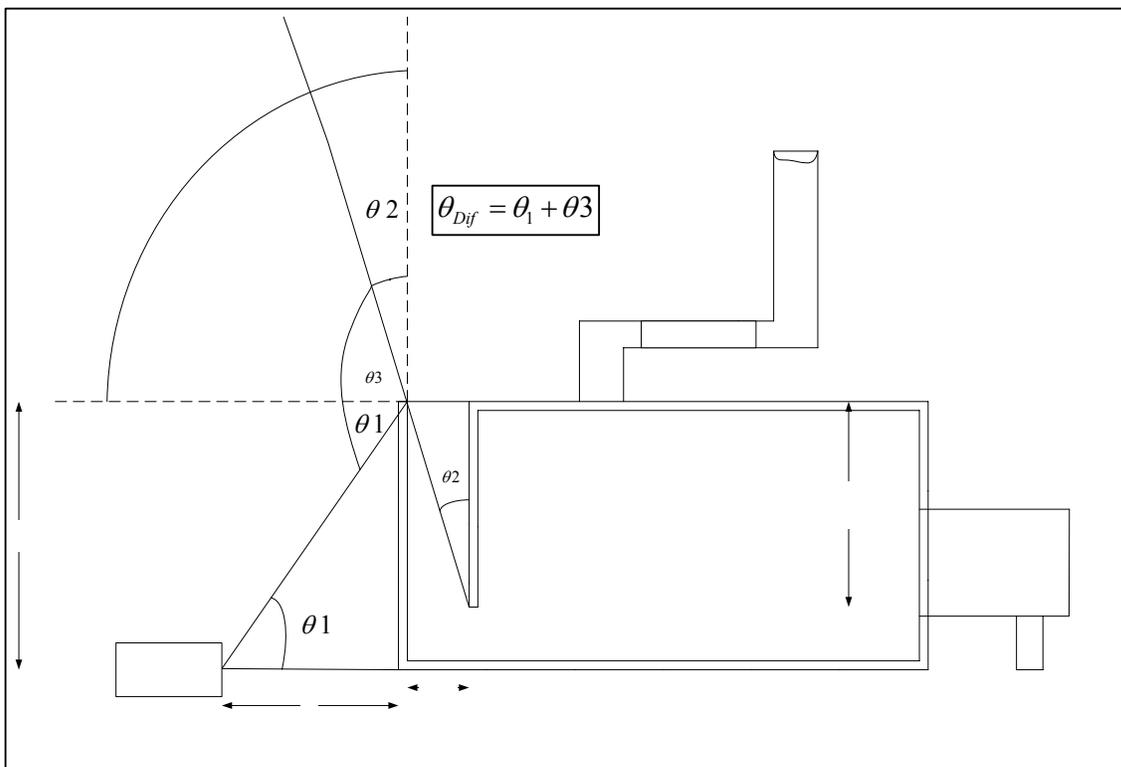


FIGURA 2 (Esquema ángulo de difracción)

Con las variables de velocidad, frecuencia y altura efectiva mostradas en la tabla anterior se desarrollan las siguientes expresiones:

	125	250	500	1000	2000	4000
$\lambda = \frac{\text{Velocidad}}{\text{Frecuencia}}$	2,720	1,360	0,680	0,340	0,170	0,085
$\frac{\text{Hefectiva}}{\lambda}$	1,6	3,2	6,5	12,9	25,9	51,8
Reduccion barrera (figura 3.14 Libro Bibliografia)	17	20	22	24	25	25
Reduccion barrera en maxima Carga	95	91,5	86,1	81,8	76,4	72,4
Condiciones planta Maxima carga con barrera	97,2	dB				
Condiciones planta apagagada	92,4	dB				

Con los valores de la relación $\frac{\text{Hefectiva}}{\lambda}$ y el ángulo de difracción se determina el

ruido atenuado por la barrera mediante el uso de la figura 3.14 del libro EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006).

Con esta reducción de presión sonora alcanzada por la barrera se logra el nivel promedio manejado en el área de calderas sin la planta eléctrica en funcionamiento; por lo cual se considera adecuado.

7.10 Perdidas de Presión por paso del aire por la barrera

Para establecer y evitar posibles fallas en el sistema, es necesario calcular la perdida de presión del paso del aire por los cajones dimensionados para la entrada de aire por la barrera. Esta perdida por ninguna razón y sobre todo para este tipo de equipos puede ser mayor a 0.5 inch de H2O.

Para realizar este cálculo se consideran los requerimientos de aire del equipo (foot³/m) y el área del total de cajones dimensionados para el paso del aire. De esta manera se obtiene la velocidad en foot/m pudiéndose aplicar así la siguiente expresión de pérdida de presión:

PERDIDA DE PRESION POR ENTRADA DE AIRE A LA BARRERA			
$PV = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$	PV = Perdida de presion por paso del aire a traves de cajon	0,14	inch H20
	V = Velocidad aire al pasar por cajon	1499,69	foot/min
	Area Cajon	5,59	Foot 2
	Q cajon	8379	Foot 3/min

Según esto se considera que la perdida de presión de 0.14 inch H20 es admisible puesto que es menor que 0.5.

7.11 Diseño de Silenciador

El aire después de ser utilizado por la planta eléctrica para su refrigeración, es expulsado por el ventilador ubicado en el frente de la misma. Este aire debe ser conducido al exterior del sistema de insonorización con el fin de que no circule y caliente el equipo hasta apagarlo.

Para poder garantizar la salida del aire se realizo un silenciador cuyas aberturas tuvieran las dimensiones necesarias para el caudal utilizado por la planta con las especificaciones requeridas para garantizar al mismo tiempo los niveles de reducción de ruido deseado.

Para el diseño del silenciador se requiere desarrollar las siguientes expresiones:

$$L_A = 12.4 * \left(\frac{Do}{S}\right) * \alpha^{1.4}$$

$$S = d * W$$

$$Do = (2 * W) + (2 * d)$$

Donde:

LA = Atenuación en dB/pie

Do = Perímetro de ducto recubierto con material absorbente

S = Área del ducto en pulgada cuadrada

α = Coeficiente de absorción del material absorbente

7.11.1 Configuración del diseño

Se realizan 6 Cajones de salida con el fin de atenuar el ruido. El ducto tendrá estructura lineal con el fin de mejorar la salida del aire y no causar turbulencia o sobre presión.

Aunque el caudal de aire que sale del sistema es menor que el caudal que entra, (parte se utiliza en la combustión), por factor de seguridad se decide tomar la misma área de entrada usada en la barrera para el silenciador.

S total	8045	pulg^2
Numero de Cajones	6	Und
S. Por cajón en el silenciador	1341	pulg^2

DESARROLLO EXPRESIONES						
VARIABLES	FRECUENCIAS					
	125	250	500	1000	2000	4000
Do (pulg). Perímetro de Silenciador	266	266	266	266	266	266
W (pulg). Ancho Silenciador	122	122	122	122	122	122
d (pulg). Alto por cada cajón de Silenciador	11	11	11	11	11	11
S (pulg^2). Área Transversal Silenciador	1342	1342	1342	1342	1342	1342
Alfa. Lana Mineral 2"	0,5	0,85	0,95	1,1	1,1	1
La (dB/pie). Atenuación	0,9	2,0	2,3	2,8	2,8	2,5
L (pies). Longitud crítica de Silenciador	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92	4,92
Reducción Total de Silenciador	4,6	9,6	11,3	13,8	13,8	12,1
SUMATORIA RUIDO DISIPADO	20					

Se toma igual área en cuanto a requerimientos de aire de la maquina para el silenciador como factor de seguridad, puesto que el volumen de aire que sale del equipo es menor debido al consumo del mismo para realizar la combustión con el ACPM

CALCULO DIMENSIONES DEL SILENCIADOR			m
Espesor material absorbente	2	pulg	0,0508
Espesor lamina superboard	0,5511	pulg	0,0139979
No de cajones	6	und	
Numero de laminas en el silenciador	5	und	
Altura requerida por cajón	15	pulg	0,381
W requerida por cajón	126	pulg	3,2004
DIMENSIONES TOTALES SILENCIADOR	Pulg	m	
W total requerida	126	3,2004	
Altura total requerido	93	2,3559897	
Longitud Plano X	29,5	0,749808	
Longitud Plano y	29,5	0,749808	

La atenuación generada por el silenciador cumple con los niveles de reducción de ruido requeridos y exigidos en el área de influencia del equipo.

7.11.2 Pérdidas de Presión por paso por el silenciador

El calculo de la perdida de presión en el silenciador es igual de importantes de calcular que las perdidas a la entrada de aire por la barrera. El criterio para este tipo de equipos tiene que ver con que la pérdida no sea mayor a 0.5 pulgadas de agua y se calcula mediante la siguiente expresión:

PERDIDA DE PRESION POR SALIDA DE AIRE DEL SISTEMA	
$PV = \left(\frac{V}{4005}\right)^2$	PV = Perdida de presión por paso del aire a través de cajon
	0,14 inch H2O
	V = Velocidad aire al pasar por cajon
	1499,45 foot/min
	Area Cajon
9,31 Foot 2	
Q cajon	13965 Foot 3 / m

Con 0.14 inch de H2O se establece que el dimensionamiento del silenciador no va a tener mayores problemas por perdidas de presión.

8. PRESUPUESTO

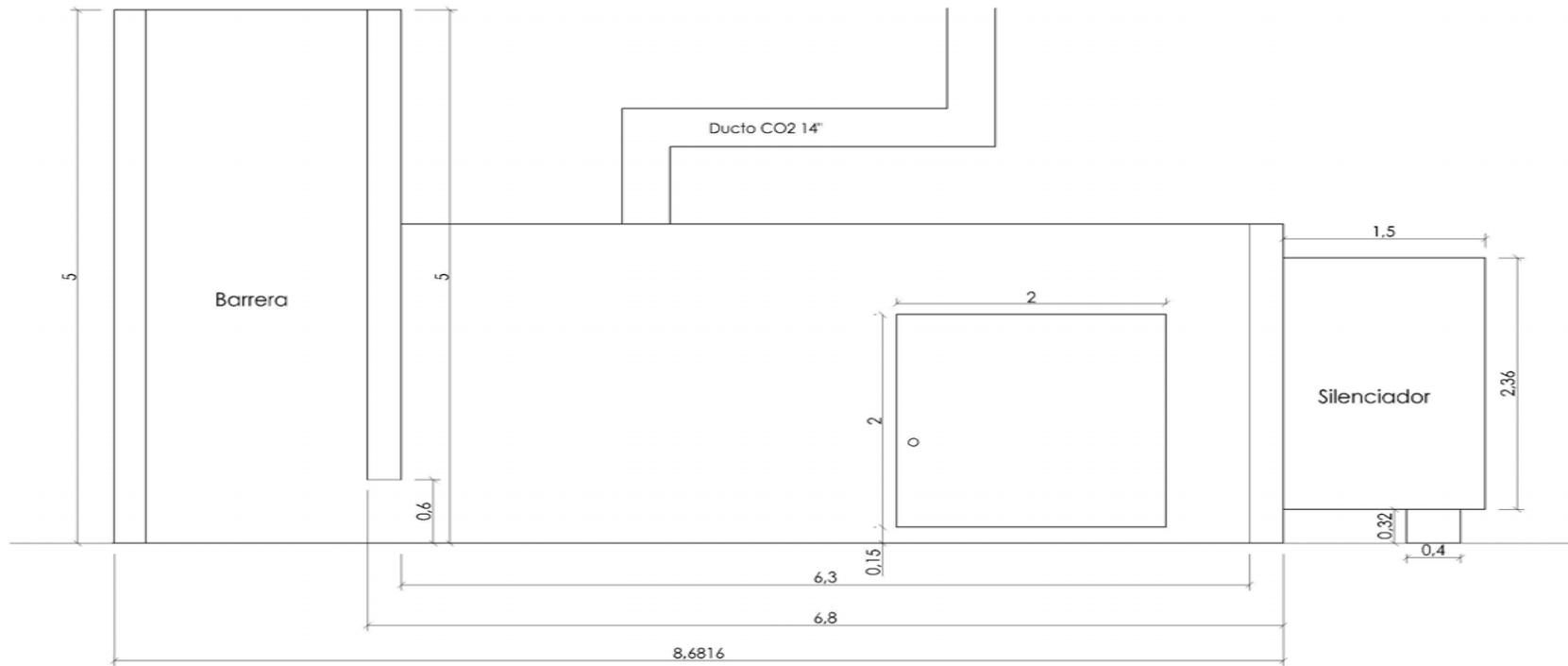
PRESUPUESTO				
Item	Unidad	\$ unidad	total unidad	Costo Total
Lana Mineral	m2	\$ 29.227	254,7	\$ 7.444.148
Puerta Acero Calibre 14"	m2	\$ 53.872	8	\$ 430.976
Laminas Superboard	m2	\$ 5.375	85	\$ 456.875
Cemento	bulto	\$ 17.000	46	\$ 782.000
Grava	m3	\$ 38.000	3	\$ 114.000
Arena	m3	\$ 32.000	6	\$ 192.000
Bloques	und	\$ 750	990	\$ 742.500
Hierro	kg	\$ 300	210	\$ 63.000
Mano de obra	oficial	\$ 900.000	1	\$ 900.000
	Ayudante	\$ 450.000	2	\$ 900.000
SUBTOTAL				\$ 12.025.499
ADMINISTRACION (10%)				\$ 1.202.550
IMPREVISTOS (5%)				\$ 601.275
UTILIDADES (5%)				\$ 601.275
TOTAL				\$ 14.430.599

9. CONCLUSIONES

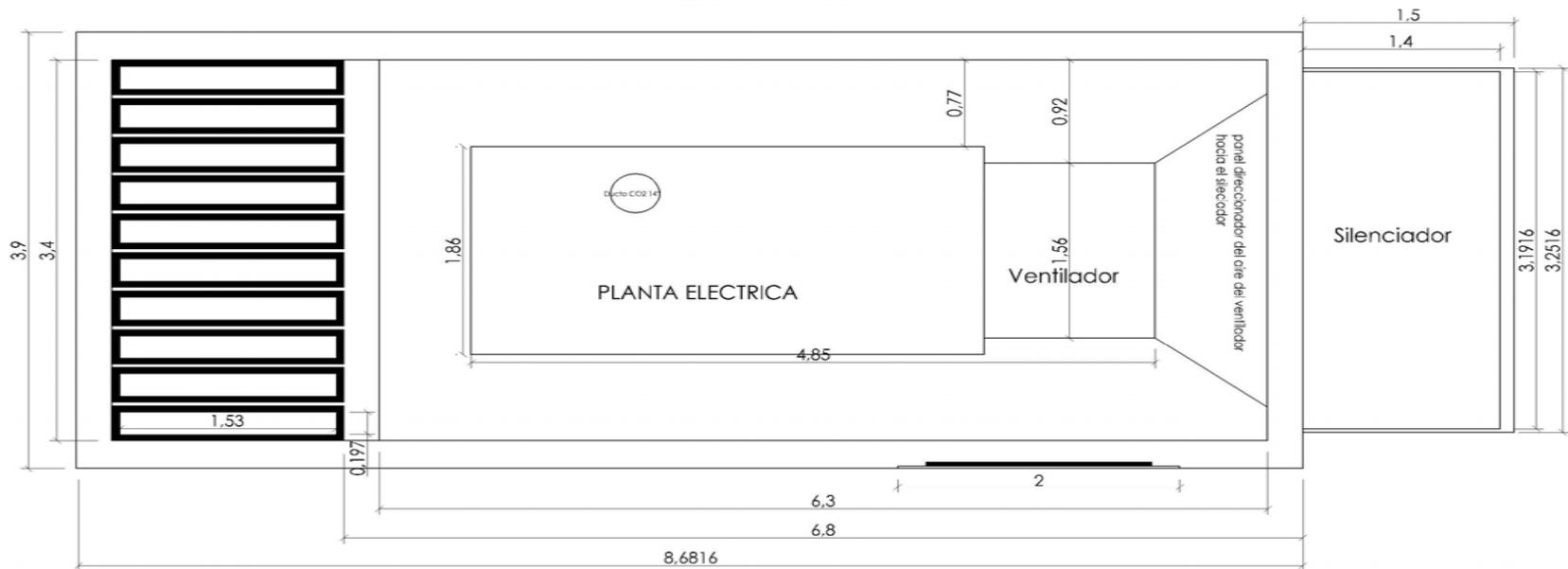
- El trabajo permitió conocer los valores de las frecuencias predominantes causadas por el incremento de la presión sonora en el área de calderas cuando la planta eléctrica se encuentra encendida.
- El diseño y materiales seleccionados para el sistema de insonorización de la planta eléctrica cumplen con los valores de reducción propuestos al inicio del trabajo; asegurando así un nivel de ruido acorde con las condiciones rutinarias de funcionamiento de las calderas y demás equipos del área.
- El costo aproximado de la inversión es bajo en comparación de los problemas que puede tener la empresa por demandas de tipo laboral y ambiental.
- Los materiales usados para el dimensionamiento del sistema de insonorización de la planta eléctrica fueron identificados fácilmente en el mercado nacional, lo que contribuye a facilitar y agilizar la construcción del mismo cuando la empresa así lo desee.
- Este trabajo realiza un primer aporte al tema de diseño de control de ruido en lo correspondiente a los estudios realizados en la universidad, favoreciendo a los estudiantes en la consecución de material bibliográfico importante para profundizar en este tema.

10. ANEXOS (ESQUEMAS DISEÑO)

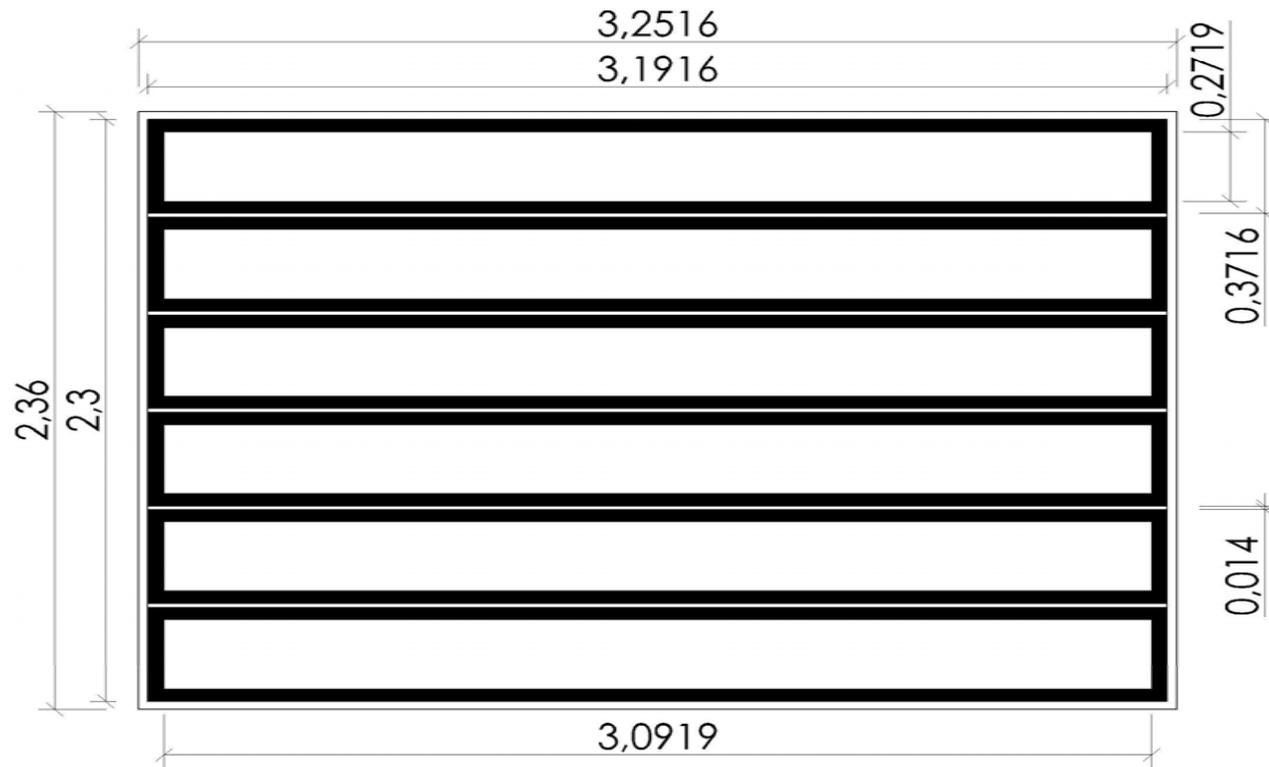
ALZADO

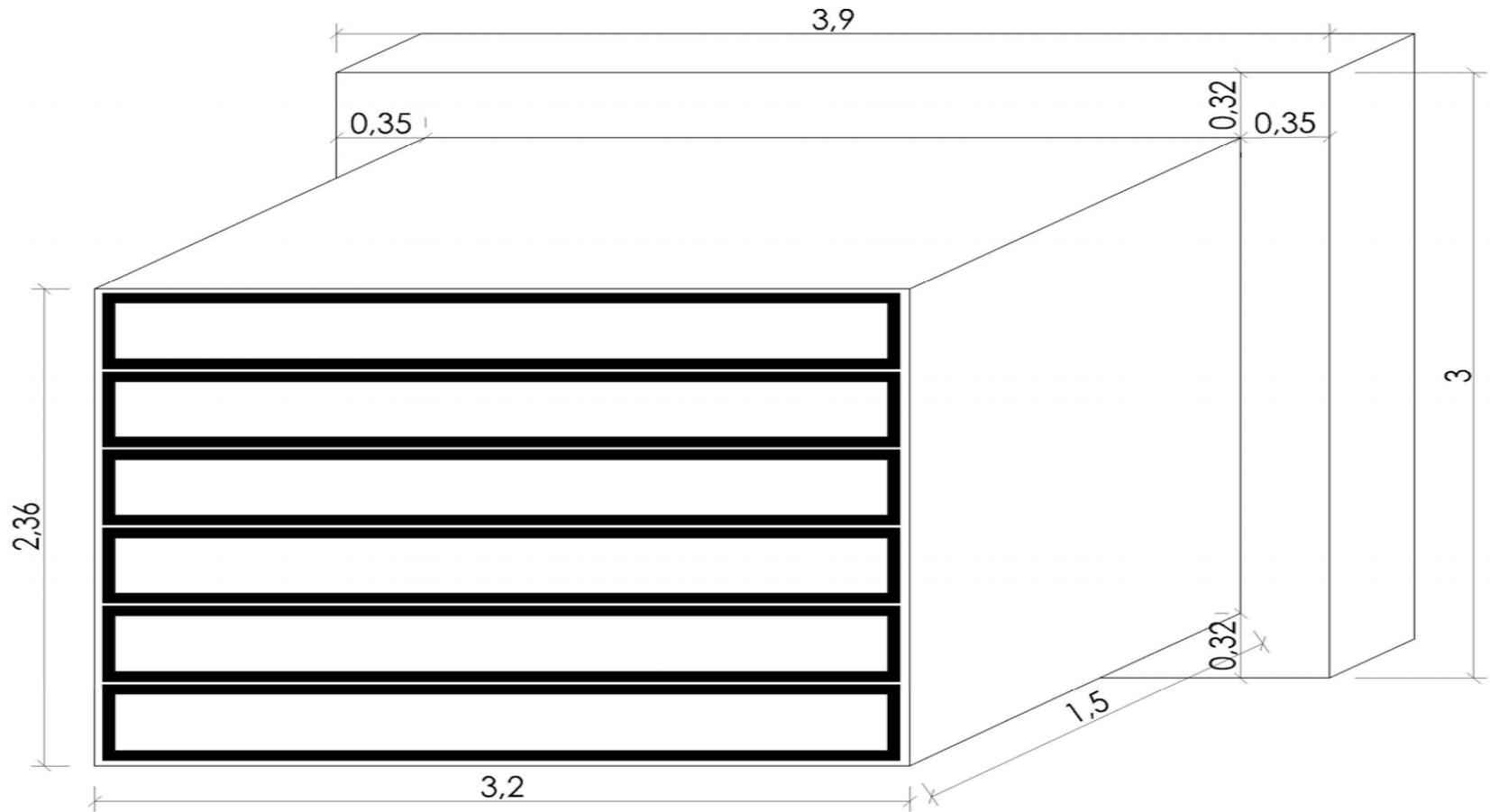


PLANTA

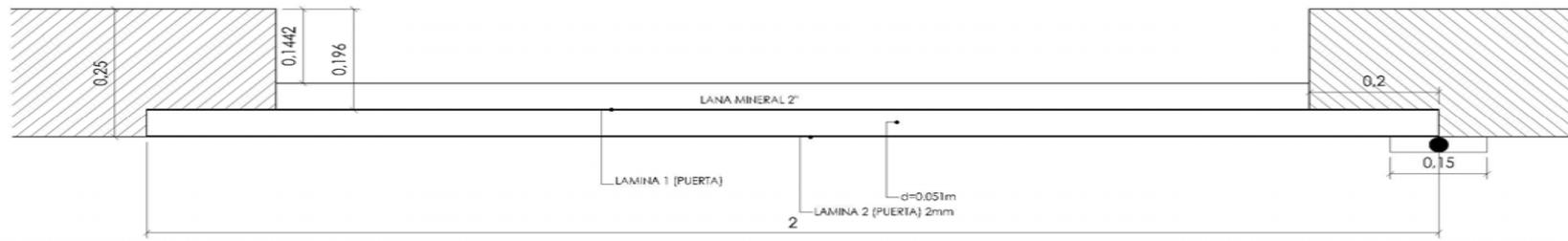


DETALLE SILENCIADOR





DETALLE PUERTA



11. BIBLIOGRAFIA

- EVALUACION Y CONTROL DE RUIDO. Quinchia Rigoberto, Medellín 2006.
- MANUAL DE MEDIDAS ACUSTICAS Y CONTROL DEL RUIDO. Harris Cyril M. Culumbia U.S.A 1995