



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
Facultad de Ciencias de la Ingeniería
Escuela de Ingeniería Acústica

Profesor Patrocinante:

Jorge Bravo Torres
Químico
Jefe Área Gestión Ambiental (s)
Codelco Chile División Salvador

Profesor Co-Patrocinante:

Jorge Sommerhoff Hyde
Ingeniero Acústico
Director Instituto De Acústica
Universidad Austral De Chile

Profesor Colaborador:

Carlos Troncoso Figueroa
Ingeniero Acústico
Consultor Medio Ambiental
Acústica Y Vibraciones Consultores

**Diseño y determinación de parámetros
acústicos de un material elaborado de caucho,
y su posible aplicación en un área de trabajo de
Codelco Chile División Salvador**

Tesis presentada como parte de los requisitos para
optar al grado de Licenciado en Acústica y al
Título Profesional de Ingeniero Acústico.

Bárbara Carolina Orellana Gatica
Valdivia Chile 2002

Dedico este trabajo,
a las personas que más quiero en este mundo...

A mis padres... Marisa y Sergio.

A mis hermanos... Sabrina, Tamara y Camilo

En forma muy especial dedico este trabajo
a quien me ha acompañado, día y noche,
durante estos últimos 7 meses...

A mi hijo... Benjamín.

INDICE

1.-	ABSTRACT	01
	RESUMEN	02
2.-	INTRODUCCIÓN	03
3.-	OBJETIVOS	05
	3.1.- Objetivos Generales	05
	3.2.- Objetivos Específicos	05
4.-	ANTECEDENTES GENERALES	06
	4.1.- Codelco Chile División Salvador	06
	4.2.- Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad	09
	4.3.- Política Ambiental	09
	4.4.- Estudio Reciclaje y Reutilización del Neumático	11
	4.5.- Efectos Dañinos del Ruido en el Hombre	14
	4.5.1.- Daños Auditivos que causa el Ruido	17
	4.5.2.- Daños No Auditivos que causa el Ruido	19
	4.6.- Decreto Supremo N°594	21
5.-	MARCO TEÓRICO	23
	5.1.- Criogenización	23
	5.2.- Materiales Acústicos	25

5.2.1.- Materiales Absorbentes	25
5.2.1.1.- Resonador de Helmholtz	26
5.2.2.- Materiales Aislantes	28
5.2.3.- Materiales Difusores	28
5.3.- Parámetros Acústicos	29
5.3.1.- Coeficiente de Reflexión Complejo	30
5.3.2.- Coeficiente de Absorción Sonora	31
6.- MATERIALES Y MÉTODOS	33
6.1.- Proceso de Corte	34
6.2.- Proceso de Trituración Criogénica	35
6.3.- Proceso de Tamizado	41
6.4.- Proceso de Elaboración del Material	42
6.5.- Medición de los Parámetros Acústicos del Material	43
7.- RESULTADOS OBTENIDOS	45
7.1.- Observaciones	49
8.- CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	51
8.1.- Conclusiones	51
8.2.- Sugerencias	52
9.- REFERENCIAS	54
10.- BIBLIOGRAFÍA	56

AGRADECIMIENTOS

1. ABSTRACT

The present thesis work, titled: **“Design and Determination of the Acoustic Parameters of a Elaborated Material of Rubber, and their Possible Application in an Area of Work of Codelco Chile Division Salvador”**, it was carried out under the supervision of the Environmental Area of the Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad.

With the purpose of giving a solution to the problem of the contamination produced by the storing of big quantities of tires in disuse, an investigation was made on the recycling and reusability of this material. In this investigation work, recycling methods and the diverse uses are pointed out granted to this recycled material, inside which it is the one of elaborating an acoustic material able to solve problems of noise.

With this intention, the thesis project, carried out in different stages and different areas from the Division sets out: in the first place all the information concerning the work of investigation was compiled on the recycling of the tires; later, the work with the tires began, which contemplated a cut process, of cryogenic crushing, a process of elaboration of the material, and finally the measurements of acoustic parameters

The results of these measurements, were the prospective ones inside that projected. That is to say, the elaborated material fulfills the expectations of absorbing sound. However, the behavior of the material, corresponds that of a resonator of Helmholtz.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis, titulado: **“Diseño y Determinación de Parámetros Acústicos de un Material Elaborado de Caucho, y su Posible Aplicación en un Área de Trabajo de Codelco Chile División Salvador”**, fue realizado bajo la supervisión del Área Ambiental de la Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad.

Con el fin de dar una solución al problema de la contaminación producida por el acopio de grandes cantidades de neumáticos en desuso, se realizó una investigación sobre el reciclaje y la reutilización de este material. Este trabajo de investigación, señala algunos métodos de reciclaje y los diversos usos otorgados a este material reciclado. Dentro de estos usos se encuentra el elaborar un material acústico capaz de solucionar problemas de ruido.

Con este propósito, se propone el proyecto de tesis, llevado a cabo en distintas etapas y en distintas áreas de la División: en primer lugar se recopiló toda la información concerniente al trabajo de investigación sobre el reciclaje de los neumáticos; posteriormente, se inició el trabajo con los neumáticos, el cual contemplaba un proceso de corte, de trituración criogénica, un proceso de elaboración del material, y finalmente las mediciones de parámetros acústicos.

Los resultados de dichas mediciones, fueron los esperados dentro de lo proyectado. Es decir, el material elaborado cumple con las expectativas de absorber sonido. Sin embargo, el comportamiento del material, corresponde al de un resonador de Helmholtz.

2. INTRODUCCIÓN

Al revisar un estudio de higiene industrial efectuado por la empresa contratista Knight Lakefield South America S. A. en Codelco Chile División Salvador, se detectaron ciertas áreas de trabajo que sobrepasaron los niveles de ruido permitidos por el Decreto Supremo N°745 “Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales en los Lugares de Trabajo”, el cual regía al momento de realizar dichas mediciones.

Dentro de los Aspectos Ambientales de la División, se encuentran los neumáticos de camionetas y camiones, que se desechan mensualmente, debido al deterioro que éstos sufren con el uso. Estos neumáticos se desechan sin tratamiento previo, desde los sectores productivos mina, concentradora y lixiviación de la División. Se almacenan en grandes cantidades, lo que significa no sólo el uso de un gran espacio físico, sino también la generación de contaminación ambiental.

En la Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad, existe un estudio sobre la reutilización del neumático, cuyo caucho se puede ocupar como relleno asfáltico para carreteras, recauchutado de neumáticos (el recauchutado es una renovación del neumático gastado), arrecifes artificiales, muros de contención, etc. Dentro de estos usos, también se cuenta la fabricación de materiales acústicos, que podrían servir para acondicionar recintos ruidosos.

Este trabajo pretende realizar esta última labor: elaborar un material acústico que sirva para acondicionar los lugares de trabajo de Codelco Chile División Salvador, de acuerdo a los Marcos Regulatorios vigentes.

Es de suma importancia disminuir el contaminante ruido, en el ambiente laboral, debido a que el daño que genera la exposición continua es acumulativo. Además de ser la causa principal de sordera, produce otros efectos como el estrés, la irritabilidad, trastornos de la digestión, fatiga, etc., lo que puede provocar un bajo rendimiento laboral del trabajador, en desmedro de la empresa.

Cumpliendo con la Política Ambiental de la División Salvador, esta tesis apunta a la idea de reciclar un material de desecho proveniente de la misma empresa (neumático), y a partir de esto, diseñar un material acústico que permita solucionar problemas de ruido dentro de Codelco Chile División Salvador.

Para lograr este fin, es fundamental indagar las normas internacionales que tengan relación con las mediciones que se aplican a los materiales para definir sus parámetros acústicos. De esta manera, enmarcar el trabajo de investigación dentro de los estándares de calidad definidos por la empresa.

3. OBJETIVOS

3.1.- Objetivos Generales

- ♦ Elaborar un material, pensando en que su función será mejorar las condiciones laborales de los trabajadores de la División Salvador en futuras aplicaciones. Para lo cual se:
 - ✓ Diseñará un material acústico (absortor o aislante), elaborado a partir del caucho de los neumáticos que desecha la División.
 - ✓ Determinará, a través de una norma internacional, los parámetros acústicos de dicho material.

3.2.- Objetivos Específicos

- ♦ Obtener grana de caucho de neumáticos de distintos tamaños, para diseñar materiales acústicos, de distintas características.
- ♦ Usar una metodología adecuada que permita diseñar distintos materiales, de distintos grosores y formas, que sean livianos, poco voluminosos y flexibles.
- ♦ Determinar las propiedades acústicas del material, basándose en alguna norma internacional.

4. ANTECEDENTES GENERALES

4.1.- Codelco Chile División Salvador

La misión de Codelco Chile División Salvador es: **“Desarrollar negocios mineros en forma competitiva y ambientalmente sustentable, para contribuir a maximizar la generación de excedentes corporativos, en una perspectiva de largo plazo”.**

El 28 de noviembre de 1959, una cinta tricolor estuvo tendida en el preciso lugar donde se inicia el desierto de Atacama y donde se encumbran las más altas cimas de la Cordillera de Los Andes, a la vera del Camino del Inca, esa gran obra vial construida varios siglos antes por el imperio del Tahuantisuyo. Lo que se inauguraba no era, desde luego, aquel espacio, el más seco del mundo, implacable y de fuertes colores dorados y ya remotamente vivo, sino un promisorio mineral: **El Salvador**.

En un lugar de la Cordillera de Domeyco, desierto, inhóspito y reseco, se encuentra Codelco Chile División Salvador, ubicada a 1.000 kilómetros de Santiago (vía Inca de Oro), a 122 kilómetros del puerto de Chañaral y Barquito (sitio de embarque del cobre producido), 48 kilómetros de Potrerillos (Fundición y Refinería Electrolítica) y a 198 kilómetros de Copiapó.

El Salvador está en la frontera norte de la Tercera Región de Atacama, a 2.600 metros sobre el nivel de mar. Se encuentra entre los 69 y 70 grados longitud oeste, y entre los 26 y 27 grados latitud sur.

Figura N°1. Mapa ubicación División Salvador.



La adquisición de las minas y establecimientos de la compañía Minera de Potrerillos fue realizada por parte del ciudadano Norteamericano William Braden en el año 1911, donde inició los trabajos de reconocimiento y resolvió vender sus derechos a la firma Anaconda Company, poco antes de 1916.

En ese año, la nueva propietaria organizó como empresa subsidiaria la firma Andes Copper Mining Company, que fue dueña de Potrerillos hasta fines del año 1969, quien comenzó su explotación subterránea a partir de Abril de 1959. En el año 1971 fue nacionalizada y posteriormente el 1 de Abril de 1976 fue fusionada bajo el nombre de **Corporación Nacional del Cobre de Chile, Codelco.**

Hoy día esta División de Codelco está conformada por dos campamentos principales (El Salvador y Potrerillos), que cobijan a 12.000 y 4.500 habitantes. El lugar posee un clima extremadamente seco, sólo interrumpido por algún nevazón o lluvia al año.

En la actualidad, los tres negocios principales del mineral son Minco (Mina Concentradora), Potrerillos (Fundición y Refinería) y Lixiviación (LIX/SX/EW).

Figura N°2. Vista aérea de la ciudad de El Salvador.



4.2.- Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad

La misión de la Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad de Codelco Chile División Salvador es: **“Proporcionar asesoría y soporte integral a la organización para que desarrolle una gestión de excelencia con calidad, seguridad y medio ambiente, que contribuya a la competitividad y sustentabilidad de la División Salvador”**.

Esta Gerencia se preocupa de llevar un control de los accidentes que ocurren al interior de la División, sean de empresas contratistas o de la misma empresa, de cuantificar el daño ocasionado e investigar las causales. Además se preocupa de los efectos que puedan ocasionar las actividades propias de la producción de la División sobre el medio ambiente. También se preocupa de buscar la manera óptima de ofrecer a los clientes un producto de calidad internacional.

4.3.- Política Ambiental

La siguiente es la declaración de la Política Ambiental de Codelco Chile División Salvador, elaborada en Junio del año 2001, bajo la Gerencia General de Don Fidel Báez

Núñez y ratificada en Junio del año 2002, por la nueva Gerencia General encabezada por Don Julio Cifuentes Vargas.

“División Salvador de CODELCO-CHILE, es una empresa minera productora de cobre y subproductos, cuyas faenas se ubican en la III Región de Atacama.

Su misión es “Desarrollar negocios mineros en forma competitiva y ambientalmente sustentable, para contribuir a maximizar la generación de excedentes corporativos, en una perspectiva de largo plazo”, la que está orientada a satisfacer sus necesidades, resguardando el patrimonio ambiental en su entorno.

Para este propósito, División Salvador ha comprometido sus esfuerzos en desarrollar y mantener un Sistema de Gestión Ambiental, basado en los siguientes principios:

- **Prevención de la Contaminación:** mediante el control de los aspectos ambientales que se puedan producir en sus actividades, productos, servicios y proyectos.
- **Cumplimiento del Marco Regulatorio:** el cual considera toda la normativa ambiental aplicable, más todos aquellos compromisos suscritos con la autoridad y otros compromisos formales.
- **Uso Eficiente de Recursos:** en especial el agua y la energía.
- **Mantener una Adecuada Comunicación:** con nuestros trabajadores, colaboradores, autoridades y comunidad, sobre la gestión ambiental de la organización.

En función de esta política, cada una de sus áreas realizará gradualmente las acciones necesarias para controlar los aspectos ambientales de sus operaciones, en forma integrada con calidad, seguridad y salud ocupacional, involucrando a sus colaboradores, en un proceso de mejora continua.

La Administración tiene la convicción que al conducirnos conforme a los principios definidos en esta política, estaremos asegurando la sustentabilidad ambiental del negocio y una mejor calidad de vida para todos nosotros y las futuras generaciones.”

4.4.- Estudio Reciclaje y Reutilización del Neumático

Los neumáticos en desuso constituyen uno de los aspectos ambientales de la División, clasificado como material NPNC (No Peligroso No Comercializable) dentro de la tipificación de los Residuos Sólidos (RISes) de Codelco Chile División Salvador.

Este residuo generado por la actividad minera, constituye una constante preocupación por parte de la Gerencia de Riesgo, Ambiente y Calidad, debido a que su almacenamiento sin tratamiento previo provoca un sinnúmero de problemas relacionados con la contaminación.

La masiva fabricación de neumáticos y las dificultades para hacerlos desaparecer una vez usados, constituye uno de los más graves problemas medioambientales de los últimos años en todo el mundo.

Un neumático necesita grandes cantidades de energía para ser fabricado y también provoca, si no es convenientemente reciclado, contaminación ambiental al formar parte generalmente de vertederos incontrolados.

Para eliminar estos residuos se usa con frecuencia la quema directa que provoca graves problemas medioambientales, ya que produce emisiones de gases que contienen partículas nocivas para el entorno. Las montañas de neumáticos forman arrecifes donde la proliferación de roedores, insectos y otros animales dañinos constituye un problema añadido. La reproducción de ciertos mosquitos, que transmiten fiebres y encefalitis por picaduras, llega a ser 4.000 veces mayor en el agua estancada de un neumático que en la naturaleza ^[1].

Por este motivo, esta Gerencia se propuso realizar un estudio sobre el reciclaje y la reutilización de los neumáticos. La recopilación de antecedentes e información, se efectuó durante los meses de Enero y Febrero del año del 2002. En el informe se propone básicamente, un sistema de reciclaje del neumático y se exponen los diversos usos que se le da a este material, una vez reciclado.

Los beneficios asociados al reciclaje de neumáticos, son ^[2]:

- Reducción del espacio ocupado por los desechos (neumáticos) en los vertederos.
- Reducción de suciedad, presencia de roedores y otros animales en los vertederos; y contaminación de zonas naturales.
- Reducción de riesgo de incendio, con la consiguiente emanación de gases tóxicos desde los lugares de acopio.

- Beneficios económicos derivados de la reutilización de los materiales obtenidos.
- Eliminación de un desecho no biodegradable y no compactable, de difícil manipulación y compleja disposición final.

Los usos que se le dan al neumático reciclado son diversos ^{[3][4]}. Los neumáticos enteros se utilizan en arrecifes artificiales, en muros de contención y en obras de refuerzos de taludes. También en superficies y pavimentos. Además el neumático reciclado, es usado para fabricar sandalias con suela de llanta. En Inglaterra, las llantas picadas colocadas en la pista de algunos hipódromos, sirven para amortiguar el golpe de las pezuñas de los caballos contra el suelo.

Los materiales que se obtienen tras el tratamiento de los residuos de neumáticos, una vez separados los restos aprovechables en la industria, el material resultante puede ser usado como parte de los componentes de las capas asfálticas que se usan en la construcción de carreteras, con lo que se consigue disminuir la extracción de áridos en canteras. Las carreteras que usan estos asfaltos son mejores y más seguras. Pueden usarse también en alfombras, aislante de vehículos o losetas de goma. Se han usado para materiales de fabricación de tejados, pasos a nivel, cubiertas, masillas, aislante de vibración. Otros usos son los deportivos, en campos de juego, suelos de atletismo o pistas de paseo y bicicleta. Las utilidades posibles son impresionantes y crecen cada día, como en cables de freno, compuestos de goma, suelas de zapato, bandas de retención de tráfico, compuestos para navegación o modificaciones del betún.

El Instituto de Acústica del CSIC ha desarrollado un proyecto para la utilización de estos materiales en el aislamiento acústico. El interés en la utilización de un material como el caucho procedente de los neumáticos de desecho para material absorbente acústico se centra en que requiere, en principio, sólo tratamientos mecánicos de mecanizado y molienda. Estos tratamientos conducen a un producto de granulometría y dosificación acorde con las características de absorción acústica de gran efectividad ^[5].

4.5.- Efectos Dañinos del Ruido en el Hombre

Para entender el término ruido como contaminante, es necesario conocer el significado de los siguientes conceptos:

- **Audición Normal:** capacidad de detectar sonido en la gama de frecuencias (16 Hz – 20 KHz), según patrones establecidos.
- **Umbral de Audición:** capacidad individual de detectar los sonidos.
- **Presbiacusia:** disminución de la sensibilidad auditiva, normalmente producto de la edad, y que progresa lentamente, debido al desgaste de las estructuras basales de la cóclea. Se observa empeoramiento en momentos de estrés fisiológico.

- **Nivel de Audición:** nivel de umbral audiométrico de uno o de un grupo de personas en relación con la forma normal de audiometría aceptada.
- **Trastorno Auditivo:** es el nivel de audición a partir del cual, los individuos comienzan a tener dificultad para llevar una vida normal, referido a la comprensión del habla.
- **Desplazamiento Temporal del Umbral de Audición (TTS):** cuando una persona ha permanecido cierto tiempo expuesta a un alto nivel de ruido, la estructura del oído se tensa como medio de defensa o protección. Por este motivo, el umbral de audición se desplaza temporalmente, es decir, la persona sufre una pérdida mensurable de la sensibilidad auditiva, la cual puede recobrar, al regresar a un ambiente más silencioso. Ejemplo: tinitus. La recuperación del umbral normal de audición, depende de la gravedad del desplazamiento, de la susceptibilidad individual y del tipo de exposición. Si la recuperación no es total antes de la siguiente exposición al ruido, existe la posibilidad que parte de la recuperación no sea efectiva.
- **Sonido:** se entiende como sonido a una vibración de un medio elástico. Cuando se refiere al sonido que es audible por el oído humano, se está hablando de la sensación detectada por el oído que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático lo entrega la presión atmosférica. La velocidad de propagación de las ondas sonoras en el aire, en condiciones normales, es de aproximadamente 340 m/s (1220 Km/hr aprox.).

El rango audible frecuencial, va desde los 16 Hz a los 20KHz, y el ser humano puede escuchar desde 0 dB (umbral de audición) hasta los 140 dB (umbral del dolor).

- **Ruido:** es un sonido no deseado, molesto y desagradable. De esta manera, el ruido es totalmente subjetivo, pues va a depender del receptor, de la situación y de la ocasión en que es percibido. Esto quiere decir, que un sonido puede ser agradable para un individuo, pero no para otro. Fisiológicamente, el ruido puede ser doloroso y físicamente dañino. Otro concepto de ruido es, aquel sonido que sobrepasa los límites máximos permitidos por la legislación vigente. Existen distintos tipos de ruido:
 - **Ruido estable:** de banda ancha y nivel prácticamente constante que presenta fluctuaciones (5 dB) durante el periodo de observación.
 - **Ruido intermitente fijo:** en el que se producen caídas bruscas hasta el nivel ambiental de forma intermitente, volviéndose a alcanzar el nivel superior fijo. El nivel superior debe mantenerse durante más de un segundo antes de producirse una nueva caída de nivel ambiental.
 - **Ruido intermitente variable:** está constituido por una sucesión de distintos niveles de ruidos estables.
 - **Ruido fluctuante:** durante la observación, este ruido varía continuamente sin apreciarse estabilidad.
 - **Ruido de impulso o ruido de impacto:** se caracteriza por una elevación brusca de ruido en un tiempo inferior a 35 milisegundos y una duración total de menos de 500 milisegundos, el tiempo transcurrido entre crestas ha de ser igual o superior a un segundo.

El ruido es uno de los contaminantes del medio ambiente, más difíciles de detectar, puesto que no tiene olor, sabor ni color, además, no deja residuos.

Es perjudicial a partir de niveles superiores a los 100 dB[A], por lo que se recomienda, siempre que sea posible, usar protectores para los oídos. Constituye un riesgo real y permanente para la salud de los trabajadores, siendo uno de los contaminantes que se encuentra con mayor frecuencia en las instalaciones industriales.

Los daños producidos en el oído por exposiciones a altos niveles de ruido son acumulativos e irreversibles, por lo que se deben extremar las precauciones. La exposición constante al ruido, causa severos daños a la salud. Estos daños se clasifican en daños auditivos y no auditivos.

4.5.1.- Daños Auditivos que causa el Ruido.

El riesgo fundamental que genera la exposición prolongada a altos niveles de presión sonora, es el desplazamiento del umbral de audición. Fundamentalmente existen cuatro factores que determinan el riesgo de pérdida auditiva, estos son:

- Nivel de presión sonora.
- Tipo de ruido.
- Tiempo de exposición al ruido.
- Edad.

La importancia del **nivel de presión sonora** es primordial, dado que se ha comprobado que cuanto mayor es el nivel de presión sonora, mayor es el daño auditivo o pérdida auditiva.

El **tipo de ruido** influye por una parte en cuanto al espectro de frecuencias en que se presenta, así como a su carácter anteriormente descrito. El **tiempo de exposición** es fundamental, dado que determinará la dosis de ruido diaria recibida por el individuo. Por otra parte, **la edad** del individuo es importante dado que se producen pérdidas auditivas en forma natural debido a la edad (Presbiacusia).

El daño más importante que genera el ruido es el de la disminución de la capacidad auditiva.

Algunos daños auditivos a considerar:

- **Trauma Acústico:** es un daño orgánico inmediato al oído. Un sonido de alta intensidad, como una explosión o un motor a reacción, puede deformar durante largo tiempo e incluso llegar a romper el tímpano, destruir las células sensoriales pilosas o causar un colapso en alguna sección del Órgano de Corti. Tal pérdida de la audición es súbita y siempre está relacionada con un evento ruidoso particular. Cuando se produce una deformación del tímpano, es posible que éste se recupere al cabo de un tiempo. Lamentablemente, cuando se rompe, la persona queda totalmente sorda.
- **Hipoacusia:** Es la disminución del nivel de audición de una persona por debajo de lo normal. Es reversible cuando es posible devolverle al paciente mediante algún tratamiento la capacidad auditiva. Es permanente cuando no se puede mediante tratamientos devolver dicha capacidad.

- **Desplazamiento Permanente del Umbral de Audición (PTS):** un individuo puede sufrir un desplazamiento temporal del umbral de audición, sin embargo, puede suceder que cuando su capacidad auditiva se está normalizando, tiene que volver a exponerse al mismo nivel de ruido que le había causado tal desplazamiento (en el caso típico de trabajadores con turnos), de esta manera el daño se vuelve permanente, puesto que el oído comienza a perder su capacidad para recuperarse de una pérdida temporal. La pérdida permanente de la audición es el resultado del deterioro de las células en el oído interno, las cuales no pueden ser reparadas ni reemplazadas.

4.5.2.- Daños No Auditivos que causa el Ruido.

También es necesario mencionar que el ruido puede afectar no sólo físicamente, sino también psicológicamente al ser humano, ya sea provocándole náuseas, dolores de cabeza, estrés, interferencia de la comunicación, perturbación del sueño, efectos en el rendimiento laboral, etc.

- **Efectos sobre el sueño:** el ruido puede provocar dificultades para conciliar el sueño y también despertar a quienes están ya dormidos. Se ha comprobado que sonidos del orden de los 60 dB[A], reducen la profundidad del sueño. Dicha disminución se acrecienta a medida que crece la amplitud de la banda de frecuencias, las cuales pueden llegar a despertar al individuo, dependiendo de la fase del sueño en que se encuentre. Los estímulos débiles inesperados, también pueden perturbar el sueño.

- **Efectos sobre la conducta:** la aparición súbita de un ruido, puede producir alteraciones en la conducta, que puede hacerse más agresiva o mostrar el sujeto un mayor grado de desinterés o irritabilidad. Las alteraciones conductuales que son pasajeras en la mayor parte de las ocasiones, se producen porque el ruido ha provocado inquietud, inseguridad, o miedo en unos casos, o bien, son causa de una mayor falta de iniciativa en otros.
- **Efectos en la memoria:** en tareas donde se utiliza la memoria, se observa un mejor rendimiento en los sujetos que no han estado sometidos al ruido, ya que con el ruido crece el nivel de activación del sujeto y esto, que en principio puede ser ventajoso, en relación con el rendimiento en cierto tipo de tareas, resulta que lo que en realidad produce es una sobreactivación que conlleva un descenso en el rendimiento.
- **Efectos en la atención:** el ruido repercute sobre la atención, focalizándola hacia los aspectos más importantes de la tarea, en perjuicio de aquellos otros aspectos considerados de menor relevancia.
- **Estrés:** parece probado que el ruido se integra como un elemento estresante fundamental. Y no sólo los ruidos de alta intensidad son dañinos. Ruidos incluso débiles, pero repetidos pueden entrañar perturbaciones neurofisiológicas aún más importantes que los ruidos intensos.
- **Efectos en el embarazo:** se ha observado que las madres embarazadas que han estado desde el principio en una zona muy ruidosa, tienen niños que no sufren alteraciones, pero si se han instalado en estos lugares después de los 5 meses de gestación (en ese periodo el oído se hace funcional), después del parto los niños no soportan el ruido, lloran cada vez que lo sienten, y al nacer su tamaño es inferior al normal.

- **Efectos sobre los niños:** el ruido es un factor de riesgo para la salud de los niños y repercute negativamente en su aprendizaje. Educados en un ambiente ruidoso se convierten en menos atentos a las señales acústicas y sufren perturbaciones en su capacidad de escuchar y un retraso en el aprendizaje de la lectura. Dificulta la comunicación verbal, favoreciendo el aislamiento y la poca sociabilidad. La exposición al ruido afecta al sistema respiratorio, disminuye la actividad de los órganos digestivos, acelerando el metabolismo y el ritmo respiratorio, provoca trastornos del sueño, irritabilidad, fatiga psíquica, etc.

4.6.- Decreto Supremo N°594

El Decreto Supremo N°594, “Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo”, publicado en el Diario Oficial el 5 de Julio del 2001, en su párrafo III se refiere a los Agentes Físicos, y al ruido laboral en sus artículos 70° al 82°.

El siguiente artículo señala los niveles máximos permisibles de ruido para un trabajador:

Artículo 74°.- La exposición ocupacional a ruido estable o fluctuante deberá ser controlada de modo que para una jornada de 8 horas diarias ningún trabajador podrá estar expuesto a un

nivel de presión sonora continuo equivalente superior a 85 dB[A] lento, medidos en la posición del oído del trabajador.

El Título VI del mencionado Decreto Supremo, señala Del Laboratorio Nacional de Referencia:

Artículo 117°.- El Instituto de Salud Pública de Chile tendrá el carácter de laboratorio nacional y de referencia en las materias a que se refiere los Títulos IV y V de este reglamento. Le corresponderá asimismo fijar los métodos de análisis, procedimientos de muestreo y técnicas de medición que deberán emplearse en esas materias.

El Título VII del mencionado Decreto Supremo, señala De la Fiscalización y Sanciones:

Artículo 118°.- Las infracciones a las disposiciones del presente reglamento serán sancionadas por los Servicios de Salud en cuyo territorio jurisdiccional se hayan cometido, previa instrucción del respectivo sumario, en conformidad con lo establecido en el Libro Décimo del Código Sanitario.

5. MARCO TEÓRICO

5.1.- Criogenización

La criogenización consiste principalmente en sumergir un objeto cualquiera, en un líquido cuya temperatura sea lo suficientemente baja, como para congelarlo completamente. La criogénesis es una parte de la física que se puede definir como la ciencia que estudia los fenómenos que tienen lugar a muy baja temperatura ^[6].

En el caso de los neumáticos, la criogenización se realiza a través del nitrógeno líquido, pues es mediante este elemento que se consigue llegar al punto de cristalización del caucho, alrededor de los -100°C , a partir del cual se fragiliza de tal forma que puede molerse con mucha facilidad, obteniendo productos de distinta granulometría.

El nitrógeno (símbolo N de la tabla periódica) es un elemento gaseoso que representa una de las porciones más grandes de la atmósfera de la Tierra. Su número atómico es 7. El nitrógeno fue aislado por el médico británico Daniel Rutherford en 1772 y fue reconocido como gas elemental por el químico francés Antoine Laurent Lavoisier en 1776.

El nitrógeno es un gas descolorido, inodoro, insípido, no tóxico. Puede ser condensado en un líquido descolorido, que se puede alternadamente, comprimir en un sólido descolorido cristalino. El nitrógeno se funde a $-210,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, tiene ebulliciones en $-195,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ y tiene una densidad de 1,251 gr/litro a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 1 presión atmosférica. El peso molecular es de 28.01.

El nitrógeno puro es obtenido por la destilación fraccionaria del aire líquido; porque el nitrógeno líquido tiene un punto de ebullición más bajo que el oxígeno líquido, el nitrógeno destila y puede ser recogido.

Utilizado como líquido refrigerador, el nitrógeno líquido ha encontrado la aplicación extensa en el campo de la criogénica. Con el advenimiento reciente de los materiales de cerámica que llegan a ser superconductores en el punto que el nitrógeno hierve, el uso del nitrógeno como líquido refrigerador está aumentando paulatinamente ^[7].

Tabla N°1. Identificación, propiedades físicas y químicas del Nitrógeno

NOMBRE DEL PRODUCTO	Nitrógeno, líquido refrigerado
NOMBRE QUÍMICO	Nitrógeno
FAMILIA QUÍMICA	Gas Inerte
FÓRMULA	N_2
SINÓNIMOS	Nitrógeno, NF, LIN, Nitrógeno Líquido Criogénico, Nitrógeno Líquido
USO	Diverso, inerte, medicinal, congelación de alimentos
MASA MOLECULAR	28.01
PUNTO DE EBULLICIÓN (1 ATM)	-195.8°C (-320.4°F)
PUNTO DE CONGELACIÓN / PUNTO DE FUSIÓN	A 1 atm: $-210.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-345.8\text{ }^{\circ}\text{F}$)
DENSIDAD DEL GAS	A 21.1°C (70°F) y 1 atm: 0.072 lb/ft^3
ASPECTO, OLOR Y CONDICIÓN	El líquido criogénico es incoloro e inodoro

5.2.- Materiales Acústicos

Las propiedades acústicas de los materiales que constituyen un recinto acústico determina en gran medida el comportamiento del sonido dentro como fuera del mismo. Sin embargo, cuando se trata de lograr un control de ruido con ciertas especificaciones, las características que presentan los materiales de construcción, revestimiento o ensamblado no son suficientes para satisfacer dichos requerimientos. Entonces, se hace necesario recurrir a materiales o estructuras que están formulados o acondicionados para tener propiedades acústicas sobresalientes.

En términos generales, la finalidad de los diversos materiales acústicos es reducir la energía acústica indeseable o perjudicial y optimizar la distribución de los sonidos útiles. Aunque un mismo material puede cumplir varias funciones a la vez, se han establecido las categorías descritas a continuación.

5.2.1.- Materiales Absorbentes

Estos materiales absorben la energía acústica de las ondas que inciden en su superficie, transformándola en calor, y reduciendo, por consiguiente, la energía acumulada en un recinto. Poseen un coeficiente de absorción sonora considerable.

Son en general materiales porosos con poros abiertos e interconectados. La absorción de la energía acústica se realiza a través de dos mecanismos: transformación de energía acústica en energía mecánica (mediante la elasticidad del material) y su posterior disipación por fricciones internas del propio material, y la fricción viscosa entre el aire y el material en los espacios comunicados de la estructura, con disipación de calor.

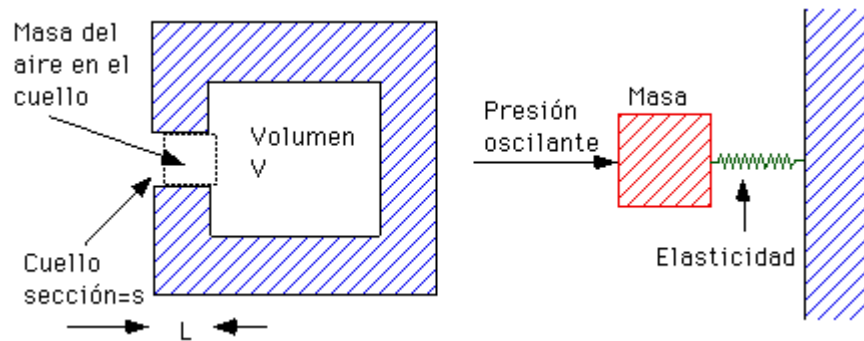
Estos materiales suelen ser livianos, por lo que no son buenos aisladores de sonido. Son permeables, es decir, el aire puede fluir a través de ellos. El coeficiente de absorción de estos materiales aumenta, a medida que se incrementa la porosidad, el espesor y también con la densidad. Una disminución en el espesor del material origina una disminución en el coeficiente de absorción ^[8].

5.2.1.1.- Resonadores de Helmholtz

Este es un tipo de dispositivo absorbente de banda estrecha, tiene la propiedad de controlar frecuencias de resonancias sin afectar mucho la reverberación de la sala. Consiste en un volumen semicerrado que se comunica con el ambiente acústico por medio de un pequeño conducto (casi invariablemente se introducen materiales absorbentes en la cavidad de estos resonadores, como lana de vidrio).

Si la longitud de onda es mucho mayor que la longitud del conducto, el aire contenido en éste, se mueve en bloque como si fuera un pistón. En la figura siguiente se muestra la construcción de un resonador de Helmholtz:

Figura N°3. Resonador de Helmholtz.



La frecuencia de resonancia del este dispositivo, estará dada aproximadamente por:

$$f = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{A}{V * l}} [Hz] \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde f = frecuencia de resonancia [Hz]

c = velocidad del sonido = 344 m/s

V = volumen de la cavidad [m^3]

A = sección del cuello [m^2]

l = longitud del cuello [m]

En los resonadores, según su nombre indica, la absorción se produce por un proceso de resonancia. Cuando el sonido alcanza la frecuencia de resonancia del sistema, el aire contenido dentro del conducto, se comporta como un pistón, el cual comienza a moverse a gran velocidad, provocando una fricción del aire con las paredes del conducto, disipando el sonido en forma de calor. El movimiento resonante de una parte del sistema extrae energía del campo acústico, de manera selectiva y preferente en una banda de frecuencias determinada.

5.2.2.- Materiales Aislantes

Estos materiales impiden la propagación del sonido de un recinto a otro. Su pérdida de transmisión es elevada. En general, son poco o nada porosos y muy macizos. Por tener gran densidad, la impedancia acústica es mucho mayor que la del aire, y por consiguiente, la mayor parte de la energía es reflejada, resultando entonces, malos absorbentes.

5.2.3.- Materiales Difusores

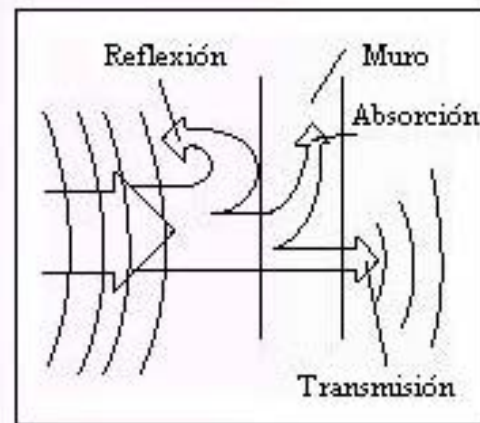
Los materiales difusores contribuyen a lograr un campo sonoro más difuso en un recinto, y, por consiguiente, permiten controlar resonancias y otros defectos acústicos. Su propósito es lograr una mayor difusión del campo sonoro, lo cual tiende a corregir la existencia de modos normales y resonancias, así como puntos focales (donde se concentran las ondas sonoras) y de puntos vacíos (donde se anula el campo sonoro).

Poseen estructuras superficiales complejas, a menudo dictadas por consideraciones teóricas que llevan a utilizar canaletas de dimensiones y separación bien definidas según el rango de frecuencias para el cual se quiere mejorar la difusión. En todos los casos se busca lograr una interferencia entre ondas reflejadas a diferentes distancias.

5.3.- Parámetros Acústicos

Para una mejor comprensión del tema, es necesario manejar algunos conceptos básicos sobre acústica. Las ondas sonoras se propagan en todas las direcciones. Al chocar una onda sonora con una superficie, una parte de ella rebota y se refleja cambiando de dirección (**reflexión**), otra parte se anula o absorbe en el material (**absorción**) y el resto pasa o se transmite a través de la superficie (**transmisión**).

Figura N°4. Esquema propagación de ondas.



Existen distintos parámetros que caracterizan los materiales. Entre estos parámetros se encuentran los que siguen a continuación.

5.3.1.- Coeficiente de Reflexión

La razón entre la intensidad de energía reflejada y la intensidad de energía incidente sobre una superficie, se denomina coeficiente de reflexión:

$$\sigma = \frac{I_{reflejada}}{I_{incidente}} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Por definición del coeficiente de absorción y reflexión, se deduce que éstos tienen un rango entre 0 y 1, y que la suma de ambos coeficientes debe ser 1, luego

$$\alpha = 1 - \sigma \quad (\text{Ecuación 3})$$

Existe otra definición que dice que el coeficiente de reflexión es la razón entre la presión sonora reflejada y la presión sonora incidente sobre una superficie, entonces

$$\sigma' = \frac{P_{reflejada}}{P_{incidente}} \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde p_r = presión sonora reflejada por la superficie.

p_i = presión sonora incidente sobre la superficie.

Reemplazando la ecuación 2 en la ecuación 3, y sabiendo que $I = p^2$ (la intensidad es igual a la presión al cuadrado), se tiene:

$$\alpha = 1 - \frac{I_r}{I_i} = 1 - \frac{p_r^2}{p_i^2} = 1 - (\sigma')^2 \quad (\text{Ecuación 5})$$

Como se puede observar la relación entre α y σ , es distinta a la relación entre α y σ' .

5.3.2.- Coeficiente de Absorción Sonora

La capacidad de un material para absorber el sonido, se denomina coeficiente de absorción. Las superficies de un recinto reflejan sólo parcialmente el sonido que incide sobre ellas; el resto es absorbido. Según el tipo de material o recubrimiento de una pared, ésta podrá absorber más o menos sonido, lo cual lleva a definir el **coeficiente de absorción** sonora, abreviado con la letra α (alfa), como el cociente entre la energía absorbida y la energía incidente:

$$\alpha = \frac{I_{\text{absorbida}}}{I_{\text{incidente}}} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Dada esta formulación, su valor siempre está comprendido entre 0 y 1. Su interpretación es el tanto por uno de la energía absorbida sobre la incidente (por ejemplo, un $\alpha=0.85$, significa que se absorbe el 85% de la energía incidente ^[9].

El máximo coeficiente de absorción está determinado por un valor de 1, donde toda la energía que incide en el material es absorbida por el mismo, y el mínimo es 0, donde toda la energía es reflejada.

El coeficiente de absorción varía con la frecuencia y, por tanto, los fabricantes de materiales acústicos dan los coeficientes de absorción por lo menos en resolución de una octava.

Es difícil cuantificar, con un sólo valor el coeficiente de absorción de un material, debido a que éste depende de la frecuencia, ángulo de incidencia y forma de instalación.

6. MATERIALES Y MÉTODOS

Para elaborar el material, es necesario obtener en primer lugar la materia prima. Este proceso comienza con el corte del neumático. Se deben obtener trozos similares para que el tiempo de sumersión sea el mismo para todos los trozos.

Se vierte nitrógeno líquido en un balde metálico (cubierto de material aislante para evitar su evaporación), y se sumergen los trozos de neumáticos en él con la ayuda de unas pinzas para no tener contacto directo con el nitrógeno.

El caucho se mantiene sumergido el tiempo necesario para que se congele lo suficiente y facilitar así, su molienda. Una vez transcurrido el tiempo, los trozos se retiran del nitrógeno y se muele con la ayuda de un martillo, obteniendo granza de caucho, las cuales se separan mediante un tamizado. Cuando se habla de granza de un material, se habla de pequeños trozos del material, que no sobrepasan los 2.5 cm de diámetro.

Posterior a esto, se elabora el material y se realizan las mediciones para establecer sus cualidades acústicas.

6.1.- Proceso de Corte

Los neumáticos están disponibles como residuos en lugares de acopio. El sector MINCO elimina 14 neumáticos mensuales en promedio, mientras que el sector de LIXIVIACIÓN desecha un promedio de 6 neumáticos mensuales, lo que da un promedio general de 240 neumáticos anuales. Los neumáticos utilizados en este trabajo, fueron recolectados desde el Garaje Portales.

El Proceso de Corte de los neumáticos, se llevó a cabo en dos partes. La primera parte se realizó en la Planta Concentradora, y consistió en retirar con un cuchillo la parte interna del neumático, el cual se va mojando con agua para enfriarlo y facilitar el corte del caucho. Esta sección se elimina por contener poco caucho y ser muy rígida (ya que está formada principalmente por acero), además de dificultar el corte del resto del neumático. Para cortar el resto del neumático, se utilizó una sierra que se encuentra en las dependencias de la Maestranza Portal. En primer lugar, se cortó el neumático por la mitad en forma transversal, luego en forma longitudinal. Finalmente, el neumático se cortó en trozos similares que pesaban alrededor de 500 gr. Al hacer las pruebas de trituración criogénica con trozos de este tamaño, se concluyó que dichos trozos eran demasiado grandes, puesto que el caucho “exterior” se comportaba como aislante para el caucho “interior”, dificultando la molienda. Por eso se determinó cortar el neumático en trozos aun más pequeños.

6.2.- Proceso de Trituración Criogénica

Dadas las características del nitrógeno líquido, es fundamental identificar los riesgos para la salud, los primeros auxilios; indagar las medidas de seguridad que se deben considerar para evitar accidentes y además de solicitar el equipo necesario para este objetivo.

El nitrógeno en su estado líquido es extremadamente frío y se transforma a gas a presión atmosférica. Puede causar asfixia inmediata y quemaduras.

- **Vías de Exposición:**

Inhalación: es un asfixiante simple (desplaza el oxígeno del aire). El individuo no tiene tiempo de protegerse.

Contacto con los ojos: produce quemaduras en la membrana ocular y graves quemaduras criogénicas.

Contacto con la piel: congelamiento y graves quemaduras.

- **Primeros Auxilios:** Siempre obtener atención médica de inmediato.

Inhalación: llevar a la víctima al aire libre. Administrar respiración artificial si es necesario.

Contacto con los ojos: enjuagarse con agua tibia (40°C - 46°C) por 15 minutos.

Contacto con la piel: desabrochar la ropa ajustada, dar un baño de agua tibia (< 40°C).

Ventilar la ropa. Cuando la piel se quema por congelamiento, se pone de color amarillo.

Cuando se descongela se hincha y duele, se infecta, para ello cubrir con gasas secas y esterilizadas.

- **Precauciones en el manejo de cilindros:** No tocar los cilindros sin la protección adecuada. Usar vagonetas para mover los cilindros. Nunca introducir objetos en la abertura de la tapa.
- **En caso de escape o vertido accidental:** Evacuar el área afectada. Uso de ropa de protección. Uso de equipos de respiración autónoma cuando se entre a una zona contaminada. Intentar detener el escape, prevenir la entrada del producto en alcantarillas, sótanos, fosos, etc.
- **En caso de incendio:** Si es posible, remover los cilindros con nitrógeno del incendio o enfriarlos con agua. No rociar el orificio del cilindro, ya que el agua actúa como acelerador de la evaporación del nitrógeno. Evacuar la zona de peligro. Cuando el nitrógeno líquido se derrama, se vaporiza formando una nube con deficiente oxígeno. Evacuar el área de la nube. El contacto con líquido frío o gaseoso puede causar quemaduras por congelamiento.

El proceso de criogenización se efectuó en la Planta de Oxígeno de Potrerillos, puesto que desde esta instalación se obtiene el nitrógeno líquido como un subproducto de la generación de oxígeno por medio de la destilación fraccionada del aire. Para este propósito, fue necesario solicitar la debida autorización al Jefe de Mantenimiento, quien debe estar informado de las actividades anexas que se llevan a cabo en dependencias de la División que están bajo su cargo, con el fin de entregar, a quien efectuará el trabajo, una charla sobre los riesgos a los que está expuesto y verificar si se han tomado las medidas de seguridad adecuadas y si se cuenta con el equipo de protección necesario.

Se usó un recipiente metálico (balde) para verter el nitrógeno. Con el fin de aislarlo del ambiente, se envolvió en lana mineral y plástico, de esta manera se evitó que el nitrógeno se evaporara rápidamente. Se empleó además, unas tenazas, para retirar las muestras desde el nitrógeno líquido y un martillo, para machacar las muestras ya criogenizadas, ambas herramientas pertenecientes al taller mecánico de la Planta de Oxígeno.

La primera experiencia de criogenización consistió en cortar el neumático en trozos grandes. Se obtuvieron 13 trozos de distintos tamaños, grosores y peso, agrupados en 5 tipos de muestras. A cada trozo se le asignó un número, con el fin de poder identificarlos. Como dato práctico, se calculó la densidad de cada uno de los trozos en el Laboratorio Químico de Potrerillos.

Tabla N°2. Densidades de las Muestras.

Muestra N°	Peso (gr)	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)
1	186	180	1,033
2	189	200	0,945
3	170	160	1,063
4	205	190	1,079
5	496	530	0,936
6	407	385	1,057
7	122	122	1,000
8	95	85	1,118
9	272	270	1,007
10	248	232	1,069
11	328	320	1,025
12	87	82	1,061
13	117	125	0,936

El peso de las muestras, se calculó mediante una balanza y el volumen mediante el método “volumen de agua desplazada”. Las condiciones de medición fueron: agua destilada a 20°C aproximadamente y a una altura de 3000 m sobre el nivel del mar (altura en donde se encuentra ubicado Potrerillos).

En la Planta de Oxígeno, se pidió el permiso respectivo y se informó al jefe de turno, el trabajo que se iba a realizar en las dependencias a su cargo. Una vez concedido el permiso, se ubicó la válvula N°829, la cual se encuentra a 1.5 m del suelo, y es la que proporciona el Nitrógeno Líquido. El recipiente metálico, se situó sobre una base de madera y ésta sobre un tarro para alcanzar la altura a la cual está la válvula.

PRUEBA N°1: se abrió la válvula N°829 a las 11:10 hrs. En primera instancia, el Nitrógeno salió de la válvula en forma gaseosa. A las 11:30 comenzó el llenado del recipiente con el Nitrógeno en estado líquido. Cuando se obtuvo Nitrógeno Líquido en la cantidad necesaria, se cerró la válvula. El recipiente se puso a ras de suelo, para evitar que salpiquen gotas de líquido al cuerpo al momento de sacar las muestras.

A las 12:00 hrs, se sumergieron las muestras N°1, N°2, N°3, N°4, N°9, N°10, y N°11. Las observaciones realizadas son las siguientes:

Tabla N°3. Observaciones de cada muestra, luego de la Prueba N°1.

Muestra N°	Peso (gr)	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)	Tiempo Sumergido	Observaciones de la Molienda
1	186	180	1,033	10 min.	Costó mucho moler el trozo de neumático.
2	189	200	0,945	45 min.	Fácil de machacar, tiene un trizado rápido.
3	170	160	1,063	16 min.	Fácil de moler, se puede seguir machacando los trozos para obtener trozos más pequeños.
4	205	190	1,079	25 min.	Difícil de moler, demasiado grande el trozo de neumático.
9	272	270	1,007	50 min	Utilizada para prueba N°2
10	248	232	1,069	40 min.	Fue fácil molerla pero se corta en trozos grandes. Se puede seguir machacando en trozos más pequeños, pero de inmediato para evitar el descongelamiento.
11	328	320	1,025	50 min	Utilizada para prueba N°2

Las muestras N°9 y N°10, no se molieron con el fin de experimentar la molienda de trozos de neumáticos previamente congelados.

PRUEBA N°2: se abrió la válvula N°829 a las 14:30 hrs. Una vez que el recipiente se completó, se sumergieron las muestras N°5, N°6, N°7, N°8, N°9, N°11, N°12, y N°13, a las 15:30 hrs. Las observaciones realizadas son las siguientes:

Tabla N°4. Observaciones de cada muestra, luego de la Prueba N°2.

Muestra N°	Peso (gr)	Volumen (ml)	Densidad (gr/ml)	Tiempo Sumergido	Observaciones de la Molienda
5	496	530	0,936	50 min	No Triturada
6	407	385	1,057	50 min	No Triturada
7	122	122	1,000	30 min.	Trozo más fácil de cortar, los granos obtenidos de los golpes son más pequeños.
8	95	85	1,118	15 min.	Fácil de moler, trozos pequeños.
9	272	270	1,007	55 min.	Este trozo había estado congelado en la Prueba N°1. Muy difícil de moler, es demasiado duro. No se trizó, salió un pedazo grande.
10	248	232	1,069	40 min.	Fue fácil molerla pero se corta en trozos grandes. Se puede seguir machacando en trozos más pequeños, pero de inmediato para evitar el descongelamiento.
11	328	320	1,025	50 min	No Triturada
12	87	82	1,061	40 min.	Fácil trización, se muele en trozos pequeños.
13	117	125	0,936	22 min.	Trización fácil, pero difícil de moler

La muestra N°11, por razones de tiempo, no pudo ser triturada. Las muestras N°5 y N°6, no fueron trituradas debido a que la misma experiencia señala que estos trozos son demasiado grandes, dificultando así su molienda.

6.3.- Proceso de Tamizado

El proceso de tamizado, se realizó en las dependencias del Laboratorio Metalúrgico, ubicado en la Planta Concentradora de Codelco Chile División Salvador. La granza de caucho recolectada, fue tamizada a través de 8 tamices. Se obtuvieron 3 grupos relativamente grandes, con granza suficiente como para elaborar una muestra de material. El diámetro aproximado de los trocitos fueron de 9.52 mm, 6.7 mm y 4,75 mm.

Tamizar significa clasificar un material en distintos tamaños a la vez. Esto se logra utilizando una serie de tamices de distintos tamaños que van ensamblados en forma vertical y decreciente en relación con la abertura. Estos forman un cilindro que es introducido en un equipo que ejerce dos tipos de movimientos: uno vertical y otro oscilatorio.

Un tamiz es un recipiente cilíndrico abierto en la parte superior y cerrado en la parte inferior por una tela metálica (o de alambre), donde las medidas del alambre, están especificadas por un número. Este número hace referencia a las aberturas que hay por pulgada lineal. Las medidas de las aberturas y del grosor de los alambres, están especificadas como una parte de una fracción de una pulgada ^[10].

6.4.- Proceso de Elaboración del Material

Para efectuar este proceso, se necesitaron los siguientes elementos:

- 3 listones de madera de 1''x 2''.
- 1 m de malla plástica delgada.
- 2 tarros de pegamento industrial Agorex de 240 grs.
- 2 tarros de pegamento industrial Agorex de 1 Kg.
- Clavos.

Con los listones se confeccionó una especie de bastidor en forma cuadrada de 25 cm x 25 cm. A este bastidor, se le adhirió la malla plástica, que cumplió la función de sostener la granza de caucho y el adhesivo.

El material se elaboró, vertiendo una capa de adhesivo sobre la malla, para posteriormente cubrirla con una capa de granza de caucho de un tamaño determinado. El material se formó intercalando capas de adhesivo con capas de granza.

Utilizando esta técnica básica, se formaron cuatro tipos de muestras:

- **Muestra N°1:** formada por dos capas de granza de caucho, cuya granulometría era de aproximadamente 6.7 mm y su grosor fue de 2 cm.

- **Muestra N°2:** formada por tres capas de granza de caucho, cuya granulometría era de aproximadamente 6.7 mm. y su grosor fue de 2.75 cm.
- **Muestra N°3:** formada por cuatro capas de granza de caucho, cuya granulometría era de aproximadamente 4.75 mm. y su grosor fue de 3 cm.
- **Muestra N°4:** formada por dos capas de granza de caucho, cuya granulometría era de aproximadamente 9.52 mm. y su grosor fue de 2.5 cm.

6.5.- Medición de los Parámetros Acústicos del Material

En una visita al Instituto Nacional de Normalización, se revisaron normas internacionales que tuvieran relación con la acústica. De estas normas, se decidió utilizar la norma ISO 10534-1996, ya que permite realizar mediciones del coeficiente de absorción a partir del coeficiente de reflexión a una muestra de tamaño pequeño. No así la norma ISO 354, que mide el coeficiente de absorción, mediante una diferencia entre tiempos de reverberación y en la cual se necesitan muestras de gran tamaño.

La medición de los parámetros acústicos del material, fue realizada entonces, basándose en la Norma Internacional **ISO 10534-1:1996 Determinación del coeficiente de Absorción Sonora e Impedancia Acústica en un Tubo de Impedancia.**

Se utilizó el tubo de ondas estacionarias perteneciente al Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile, construido por un alumno como parte de su trabajo de tesis. Las mediciones se efectuaron de acuerdo a las instrucciones dadas en el trabajo de tesis de Rodrigo Astudillo, con el asesoramiento del profesor José Luis Barros.

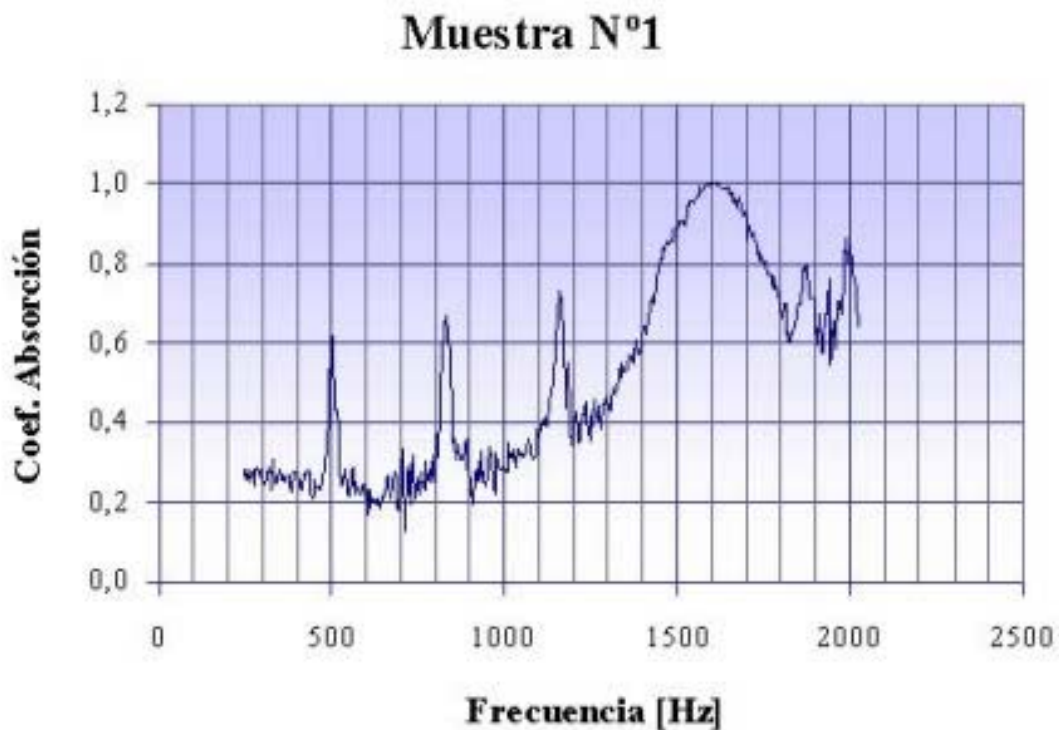
El tubo de ondas estacionarias, mide coeficiente de absorción a incidencia normal, esto implica que las ondas sonoras llegan al material en forma perpendicular. Es un tubo de aproximadamente 9.6 cm de diámetro, por lo tanto, es necesario cortar las muestras en forma circular para realizar las mediciones. El tubo abarca un rango de frecuencias que va desde los 125 a los 2000 Hz. Este tubo entrega una serie de parámetros acústicos: impedancia acústica, coeficiente de reflexión y coeficiente de absorción. Para determinar el comportamiento del material, se consideró el coeficiente de reflexión complejo y a partir de este dato, se graficó el coeficiente de absorción, para hacer más fácil el análisis.

7. RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez realizadas las mediciones, los resultados obtenidos son los siguientes:

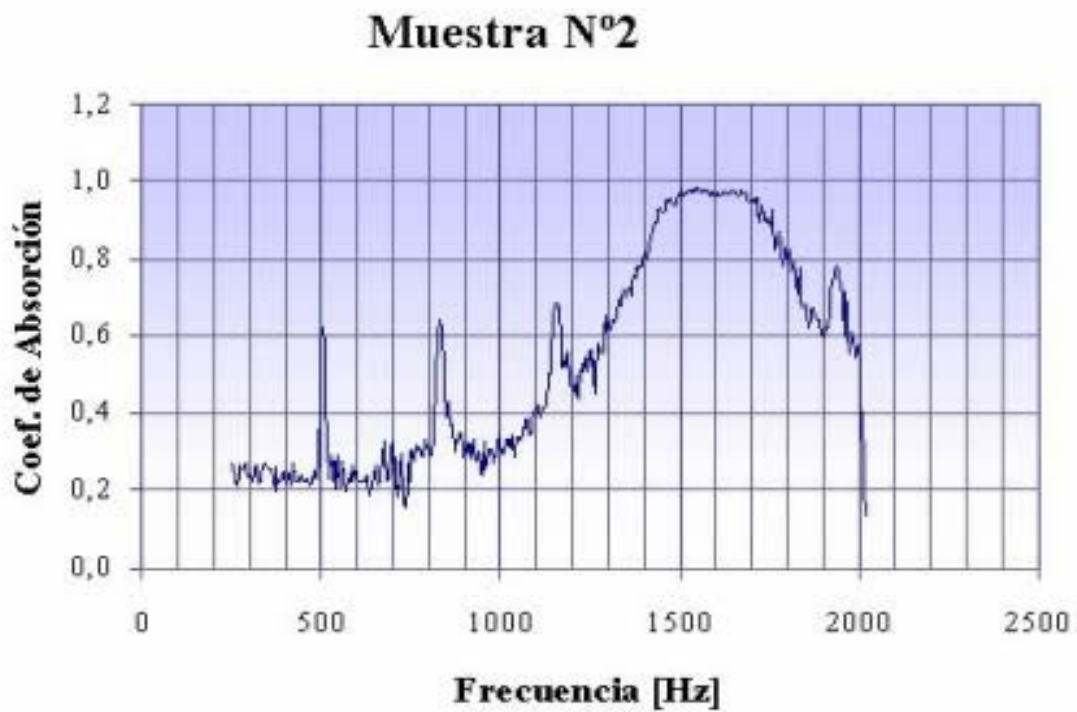
Muestra: N°1
Granulometría: 6.7 mm
N° de Capas: 2
Rango de Frecuencias: 1400 – 1830 [Hz]
Frecuencia de Resonancia: 1600 [Hz]
 α máximo: 1.00
Peso: 86 gr.
Volumen: 147.79 cm³
Densidad: 0.582 gr./cm³

Figura N° 5. Coeficiente de absorción Muestra N°1.



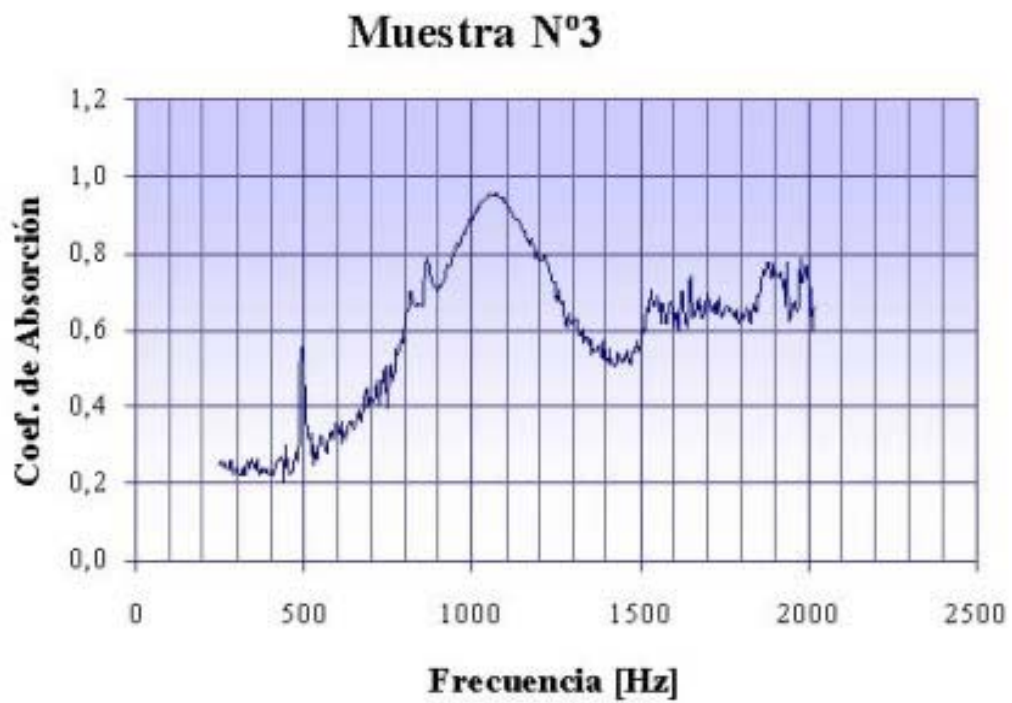
Muestra: N°2
Granulometría: 6.7 mm
N° de Capas: 3
Rango de Frecuencias: 1300 – 1900 [Hz]
Frecuencia de Resonancia: 1550 [Hz]
 α máximo: 0.98
Peso: 130 gr.
Volumen: 203.22 cm³
Densidad: 0.639 gr./cm³

Figura N°6. Coeficiente de absorción Muestra N°2.



Muestra: N°3
Granulometría: 4.75 mm
N° de Capas: 4
Rango de Frecuencias: 800 – 1320 [Hz]
Frecuencia de Resonancia: 1050 [Hz]
 α máximo: 0.95
Peso: 150 gr.
Volumen: 221.69 cm³
Densidad: 0.677 gr./cm³

Figura N°7. Coeficiente de absorción Muestra N°3.



Muestra: N°4
Granulometría: 9.52 mm
N° de Capas: 2
Rango de Frecuencias: 1480 – 2000 [Hz]
Frecuencia de Resonancia: 1930 [Hz]
 α máximo: 0.91
Peso: 114 gr.
Volumen: 184.75 cm³
Densidad: 0.617 gr./cm³

Figura N°8. Coeficiente de absorción Muestra N°4.

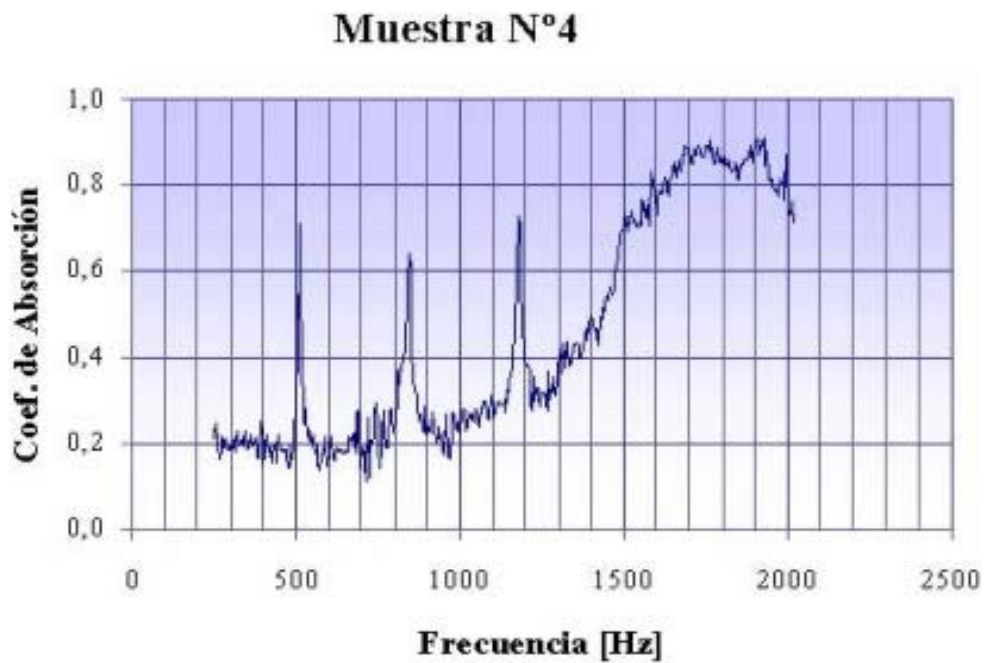


Tabla N°5. Cuadro resumen de los resultados obtenidos.

Muestra	N° Capas	Granulometría	Densidad [gr/cm³]	Rango [Hz]	$f_{Resonancia}$ [Hz]	$\alpha_{Máximo}$
N°1	2	6.7 mm	0.582	1400 – 1830	1600	1.00
N°2	3	6.7 mm	0.639	1300 – 1900	1550	0.98
N°3	4	4.75 mm	0.677	800 – 1320	1050	0.95
N°4	2	9.52 mm	0.617	1480 – 2000	1930	0.91

El rango de frecuencias donde el material absorbe, se consideró desde que el material obtiene un coeficiente de absorción de 0.6 hacia arriba. Aquella frecuencia donde el material alcanza un máximo coeficiente de absorción, fue considerada como la frecuencia de resonancia. Los resultados fueron entregados mediante gráficos puesto que el número de datos sobrepasa los 300.

7.1.- Observaciones

- Se obtuvo grana de caucho de distintos tamaños, luego de un proceso de corte y trituración criogénica, llevado a cabo en distintas dependencias de la División. El proceso fue bastante lento, debido a que todo se realizó en forma artesanal.

- Para formar las muestras de material, se utilizó un método bastante simple. Éste consiste en intercalar capas de adhesivo y de granza. De esta manera se pudo manejar el grosor de cada muestra.

- Debido a que Codelco Chile División Salvador no cuenta con un laboratorio de acústica, se utilizó un tubo de ondas estacionarias perteneciente al Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile, construido por un alumno como parte de su trabajo de tesis basándose en la norma **ISO 10534-1996**.

- Teniendo en cuenta el tiempo y el gran trabajo que implica elaborar una cantidad de materia prima necesaria para fabricar un material, con el cual realizar un estudio acústico in situ, se determinó hacer sólo una sugerencia correspondiente a este tema específico.

8. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

8.1.- Conclusiones

- * Al observar los gráficos que muestran el coeficiente de absorción, se puede concluir que las muestras de material, corresponden a materiales absorbentes de sonido, puesto que presentaron altos coeficientes de absorción en un rango de frecuencia determinado

- * La curva de los gráficos muestra una elevación del coeficiente de absorción para un cierto rango de frecuencias, no así para todo el rango frecuencial que abarca el instrumento de medición. De ello, se puede concluir que el material no absorbe como un material poroso (ejemplo: la espuma) sino que se comporta como un Resonador de Helmholtz, puesto que absorbe en determinadas frecuencias y alcanza un máximo coeficiente de absorción en un pequeño número de ellas.

- * Al comparar los datos de las muestras N°1 y N°2 (debido a que ambas tienen una misma granulometría), se concluye que al aumentar el grosor del material (en el caso de la muestra N°2), aumenta también el rango de frecuencias en las cuales absorbe el material.

- * Al observar el cuadro resumen de resultados, se puede visualizar que mientras más pequeña es la granulometría, el rango de frecuencias de alto coeficiente de absorción, se ubica hacia las frecuencias bajas, como en el caso de la muestra N°3 comparada con la muestra N°4.

- * Comparando las muestras N°1 y N°4, ya que ambas están elaboradas con 2 capas de grana de caucho, se observa que ambas tienen casi el mismo rango de frecuencias de absorción, sin embargo, la frecuencia de resonancia varía, desplazándose hacia una frecuencia alta en el caso de la muestra N°4. En este punto se requiere un poco más de investigación, elaborar más muestras con las cuales establecer una comparación y posterior análisis.

8.2.- Sugerencias

- Para Codelco Chile División Salvador, se sugiere principalmente, realizar mediciones de niveles de presión sonora por frecuencias y determinar cuál de ellas es la molesta. De esta manera, solucionar el problema, haciendo un tratamiento acústico con el material adecuado.

- Con respecto al costo de elaboración del material, se reitera que los neumáticos ocupados son los desechados por la División, y el Nitrógeno Líquido es arrojado al medio ambiente desde la Planta de Oxígeno de Potrerillos, por lo tanto, implica un costo cero para la Empresa. Sin embargo, la mano de obra es la costosa. Debido a que en este trabajo, el material se fabricó con medios artesanales, se aconseja invertir en maquinaria de criogenización y de molienda principalmente.

- El tema de esta tesis queda abierto para seguir investigando materiales elaborados a partir del caucho de neumáticos reciclados, y probar la absorción de materiales con otra granulometría, distintos grosores y diferentes sistemas de adhesión de la granza.

9. REFERENCIAS

- [1] <http://www.ideal.es/waste/neumaticos.htm>

- [2] **ARANCIBIA FUENZALIDA, CLAUDIA**; “Reciclaje de Neumáticos: Trituración Criogénica”. Subgerencia Gestión de Calidad, Seguridad, Salud Ocupacional y Medio Ambiente. El Salvador, 2002.

- [3] www.panoramaenergetico.com/plan_nacional_para_neumaticos_fuera_de_uso_fu.htm

- [4] <http://revista.consumer.es/web/es/20011001/medioambiente/28104.jsp>

- [5] <http://es.geocities.com/pirineosjuan/neumaticos.html>

- [6] **IBARRA, MARIO**; Definición de Criogénesis, e-mail: mibarra@ciencias.uda.cl

- [7] <http://www.dcc.uchile.cl/~roseguel/taller2/LIN.html>

- [8] [http://bips.bi.ehu.es/users/imanol/akustika/ikasleLanak/Acondicionamiento_Acustico/#4.-
MATERIALES_PARA_ACONDICIONAMIENTO](http://bips.bi.ehu.es/users/imanol/akustika/ikasleLanak/Acondicionamiento_Acustico/#4.-MATERIALES_PARA_ACONDICIONAMIENTO)
- [9] http://www.achpaneles.com/servicio_cliente/faq/acustica.pdf
- [10] Table of Specifications: Tyler Industrial Wire Cloth Woven Wire Screens”, Ohio, EE.UU., 1966.

10. BIBLIOGRAFÍA

- ❖ “Acústica Básica”. 2002. Disponible en: <http://www.arrakis.es/~avf/acustica/acustica.htm>

- ❖ “Dispositivos para el Control Acústico”. 2002. Disponible en:
http://www3.labc.usb.ve/EC4514/AUDIO/ACUSTICA_ARQUITECTONICA/Grandes_recintos.html

- ❖ **FUNDACIÓN MAPFRE**; “Manual de Higiene Industrial”. Editorial Mapfre. Madrid, 1995.

- ❖ **CONSEJO INTERAMERICANO DE SEGURIDAD**; “Control del Ruido. Guía para Trabajadores y Empleadores”. Editorial Consejo Interamericano de Seguridad.

- ❖ **SALAZAR BUGUEÑO, ANA MARÍA**; “El Ruido y su Tratamiento en la Industria”. Gerencia de Prevención, Subgerencia Técnica, Departamento Ingeniería Ocupacional. Santiago, Chile, 1993.

- ❖ **TRONCOSO FIGUEROA, CARLOS**; “Validación de una Metodología de Caracterización de los Niveles de Ruido Urbano presente en los Sitios Sensibles de la ciudad de Talcahuano”. Tesis Ingeniero Acústico. Valdivia, 2000.

- ❖ **ASTUDILLO FARLORA, RODRIGO**; “Diseño y Construcción de un Sistema de Medición de Coeficiente de Reflexión Complejo e Impedancia Acústica Específica”. Tesis Ingeniero Acústico. Valdivia, 2002.

- ❖ **ORELLANA GATICA, BÁRBARA**; “Nociones Básicas de Acústica”. Apuntes para trabajadores del Centro de Control y Certificación Vehicular. Santiago, 2000.

Agradecimientos

Este es el capítulo más importante de mi tesis. ¿Por qué? Sencillamente porque considero que este es mi espacio, es la posibilidad de expresar mis sentimientos con respecto al término de mi vida universitaria. Siempre dije que iba a ocupar las hojas necesarias, así que si se extiende este capítulo... ya saben el motivo...

***Agradecer...** tengo muchas personas a quién agradecer... quienes de alguna u otra forma, me han ayudado a vivir esta hermosa etapa que ya se termina, en la cual he querido forjar mi futuro...*

*Mis padres, **Marisa Irene** y **Sergio Magno**. A ellos debo agradecerles en primer lugar, por darnos siempre lo mejor a mí y a mis hermanos. Por entregarme los valores y principios que poseo y apoyarme en todo lo que me he propuesto, por inculcarme esas ganas de superarme siempre. Por darme ánimos cuando lo necesitaba, por confiar en mí al partir de casa a los 18 años, por hacerme sentir que no estaba sola a pesar de los 840 Km. de distancia, por ser mis amigos, por todo esto y mucho más... Muchas gracias padres míos por ser excelentes padres!!!....*

*Debo agradecer a mis hermanos **Sabrina Paz**, **Tamara Valentina** y **Camilo Magno Sebastián**: chicos, muchas gracias por apoyarme siempre, por apretarse el cinturón cuando fue necesario, por tenerme paciencia, por respetarme y hacerme caso en todo... bueno, en casi todo.*

*Muchas gracias **Mamita Nena**, usted sabe que sin su ayuda me hubiese costado mucho seguir estudiando, gracias por tenerme presente en sus oraciones y por preocuparse de todos y cada uno de los miembros de nuestra familia...*

*Gracias, muchas gracias **Tía Norma** y **Tía Irma**, por apoyarme y estar siempre preocupadas por mí. Y en general a toda la familia: **Hernández – Carvajal, Cruz – Román, Valdés – Orellana, Soto – Leiva, Cano – Valdés y Cabello – Hernández**.*

*Deseo agradecer a mis primos **Carlos David Carvajal**, a su señora **Tatiana Garcías** y a sus hijos **Carlitos** y **Macarena** y familia, por gestionar la beca memorista en Codelco Chile División Salvador, por acogerme en su casa y acompañarme en un período muy importante de mi vida.*

*Agradezco a mi profesor patrocinante **Sr. Jorge Bravo Torres**, por su colaboración y disposición para atenderme, a mi profesor **Sr. Jorge Sommerhoff Hyde**, por ser muy amable y compartir sus conocimientos; a mi profesor guía **Sr. Carlos Troncoso Figueroa**, a quien considero mi amigo y a quien agradezco mucho por los consejos y hacerme ver la vida desde otro punto de vista....*

*Le agradezco a **Codelco Chile División Salvador** por darme las herramientas necesarias para llevar a cabo mi proyecto. Dentro de esta gran empresa debo nombrar y agradecer a quienes no sólo me brindaron ayuda desinteresada, sino también a quienes me brindaron su amistad: a **María Araya, Ricardo Ponce, Verónica Mattos, Alejandro Opitz** y **Alejo Gallegos**. Agradezco también a **Don Luis Díaz** y a **Don Yamil Fuentes**, trabajadores de la Concentradora por su buena disposición para cortar los neumáticos, a **Juan Gallardo** y **George Castillo** (alumnos en práctica) y a **Gulliano Licuime** (alumno memorista), por ayudarme con la sierra y por la paciencia que tuvieron.*

*Quiero agradecer también a **Don Carlos Elgueta** y a **Don Raúl Arancibia**, ambos Jefes de Turno de la Planta de Oxígeno de Potrerillos, por recibirme y auxiliarme en el trabajo de la criogenización. Le doy infinitas gracias a **Don Jorge Castillo** por adecuar el recipiente metálico que utilicé, por arreglarlo cuando se necesitaba y por facilitarme las herramientas para la trituración de los neumáticos. También a **Don Omar Vega** del Laboratorio Metalúrgico de la Concentradora, quien fue la persona encargada del tamizado de la materia prima.*

*En El Salvador me hice de grandes amigos. Ellos fueron quienes formaron mi familia durante los meses que duró este trabajo. Quiero agradecerles por el cariño que me brindaron y por darme ánimos en los momentos que más lo necesitaba... Muchas Gracias **Andrea Gómez, Julia Avilés, Marta Flores, Joao Muñoz, Leito Alfaro, Gilbert Parra, Max Aqueveque, Roberto Suárez, Dieguito Quezada, Juan Pablo Ramos** y **María Araya**.*

*Gracias **Rodrigo Astudillo** por hacer tu tesis antes que yo, gracias profesor **José Luis Barros** por facilitarme el equipo para hacer las mediciones y enseñarme a usarlo.*

*Cómo no agradecer a una persona a quien admiro mucho por tener tanta paciencia, buena voluntad, buen humor y por saber tanto o más que cualquier alumno de Acústica... Esta persona siempre ha estado dispuesta a ayudarme, a sacar las fotocopias de los apuntes que me faltaban, a solucionar cualquier imprevisto, a guiarme para hacer algún trámite, a estar ahí cuando lo necesité... Muchas gracias **Don Víctor Cumián** por toda la ayuda que ha brindado por mucho tiempo, a todos los alumnos de Ingeniería Acústica. Espero de verdad, que todos sepan valorar y apreciar su ayuda y amabilidad.*

No puedo dejar de agradecer a quienes siempre han estado conmigo, desde que comencé mi carrera... A mi mejor amiga **Claudita González Sepúlveda** y a mi mejor amigo **Rodrigo Rojas Muñoz**, (y a sus respectivas mamás: **Tía Eliana** y **Tía Norma**) muchas gracias por tener la paciencia de escucharme cuando necesitaba desahogarme, gracias por apoyarme, por entenderme, por ayudarme, gracias por ser mis mejores amigos...

Quiero agradecer a **Mauricio Zapata**... muchas gracias por acompañarme en gran parte de mi vida universitaria, por tenerme "ene" paciencia, por aguantarme cuando me ponía idiota y por apoyarme y darme ánimos cuando creí que nunca llegaría este momento...

Gracias queridos amigos y compañeros de Universidad... tantas anécdotas, tanto tiempo que compartimos, tantas alegrías y penas, vividas durante nuestra vida universitaria, tantas "celebraciones"... Gracias por tantos momentos lindos... Gracias **Toñita**, **Carlitos**, "**Pelaíto**" **Olate**, "**Negríta**" **Aburto**, "**Chica**" **Quiroga**, **Esteban Cortés**, **Juanito Ponce**, **Felipe Ochoa**, **Memito Montoya**, **Misael Valenzuela**, **César "Bam-Bam" Sáez**, "**Amigo**" **Rene**, "**Chechote**", **Gustavo "Chuqui"** **Carlos**, **Cristián "Tomate"** **Peralta**, **Klaus**, **Ximenita**, **Loreto**, **Chaval**...

Quiero agradecer con mucho cariño a **Luis Órdenes Mundaca**, por construir los bastidores que necesité para elaborar las muestras del material. Gracias por darme ánimos cuando tuve que ir a Potrerillos, de verdad lo necesitaba, gracias por acompañarme, por estar conmigo y ser una persona especial con quien comparto algo muy bello, importante y maravilloso.

Finalmente agradezco a mi fuente de fortaleza y de inspiración... Cuando las fuerzas y las ganas de seguir adelante me faltaron, siempre pensé en que todo lo que hacía, era para ofrecer lo mejor a un futuro hijo. Y fue este ser, quien me dio el valor para continuar. Ahora está aquí conmigo... y como dije anteriormente, me ha acompañado día y noche durante estos últimos siete meses... Gracias **Benjamín** por darme tantas emociones nunca antes vividas, por hacerme reír con tus locos movimientos, por sentir que la vida es hermosa, por enseñarme a valorar aun más la familia y por compartir mis penas y mis alegrías mientras espero que nazcas...

Espero de verdad haber agradecido a todos los que han estado conmigo en este periodo de mi vida, si no ha sido así... por favor, discúlpenme...