

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

APLICACIÓN DEL CAUCHO EN EL HORMIGÓN

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Técnico Universitario en CONSTRUCCIÓN

Alumnos:

Alvaro Lopez Rodríguez

Dylan Toloza Del Valle

Profesor guía:

Sr. Sergio Monroy

2019

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Álvaro Ernesto López Rodríguez

Agradecer primeramente a mi familia y amigos que durante este proceso han sido fundamental, al igual que mi compañero de tesis que siempre estuvo dispuesto para llevar esto a cabo. También dar gracias a mi profesor guía el cual nos brindó su apoyo y atención para realizar este importante logro.

Dylan Esteban Toloza Del Valle

Quisiera agradecer primeramente a Dios, a mi familia y amigos que me acompañaron en este proceso de mi vida, igual agradecer a mi compañero de tesis que siempre estuvo dispuesto a llevar a cabo este proyecto. También dar gracias a mi profesor guía el cual nos brindo su apoyo y su disposición para realizar este importante logro.

RESUMEN DEL PROYECTO.

El neumático luego de cumplir su vida útil se transforma en un desecho contaminante para el medio ambiente, por otra parte, se encuentra el hormigón el material por excelencia la para la construcción de estructuras en nuestro país, sus materiales, en específico el árido fino es extraído de afluentes provocando cambios irreparables tanto en ríos como lagos. De esta forma nace nuestro proyecto, dando una solución ecológica al disminuir la cantidad de árido fino, e incorporarle grano de caucho de neumáticos reciclado. Y así darle un segundo uso a un desecho encontrado por todo el mundo.

Este documento contiene información globalizada sobre cada una de las etapas que llevan al látex a transformarse en un neumático y describir el proceso de reciclaje, además contiene la normativa vigente en Chile para el diseño de una dosificación y posteriores ensayos para el hormigón, y el costo de implementar el caucho en la mezcla.

Con estos datos buscamos no solo el enriquecimiento informativo personal, sino también dejar material actualizado sobre dosificaciones y ensayos para hormigones con la incorporación de caucho en nuestra biblioteca, para las futuras generaciones de constructores.

INDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	EXPOSICIÓN GENERAL DEL PROYECTO.	2
3.	PRINCIPALES INTERROGANTES DEL PROYECTO.	4
4.	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	4
5.	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA REALIZAR EL PROYECTO.....	5
6.	OBJETIVOS DEL PROYECTO.	5
7.	MARCO TEÓRICO	6
8.	MARCO NORMATIVO.....	8
CAPITULO I: PROCESO INDUSTRIAL Y LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO PARA SER USADO EN EL HORMIGÓN		10
9.	EXTRACCIÓN DEL CAUCHO.....	11
10.	FABRICACIÓN DEL NEUMATICO.....	13
10.1	MOLIENDA.....	15
10.2	MEZCLADO.....	16
10.3	CORTADO.....	16
10.4	CONFECCIÓN DEL NEUMATICO.....	17
10.5	VULCANIZADO	17
10.6	INSPECCIÓN FINAL.....	18
11.	RECICLADO DEL NEUMATICO.....	19
11.1	ZONA DE TRITURACION PRINCIPAL.....	19
11.2	GRANULACIÓN.....	19
11.3	TRITURACIÓN SECUNDARIA.....	20
11.4	TAMIZADO Y LIMPIEZA.....	20
11.5	PRODUCTO FINAL.....	21
CAPITULO II: DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN DE UN HORMIGÓN CON LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO.....		22
12.	ENSAYOS PREVIOS A AL DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN.....	23
12.2	GRANULOMETRÍA.....	23
12.2.1	Grava.....	23
12.2.2	Arena.....	24
12.2.3	Arena + caucho (50% 2mm – 50% 3mm).....	24
12.2.4	Arena + caucho (70% 2mm – 30% 3mm).....	25
12.2.5	Arena + caucho (80% 2mm – 20% 3mm).....	26
12.3	ENSAYO HUMEDAD Y ABSORCIÓN.	26
12.3.1	Absorción grava.....	26
12.3.2	Absorción arena.....	26
12.3.3	Absorción arena + caucho 80% - 20%.....	27
13.	DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN.....	28
13.1.1	Determinación de resistencia media.....	28
13.1.2	Elección de trabajabilidad del hormigón.....	29
13.1.3	Dosis tentativa de agua para el hormigón.....	29
13.1.4	Determinación de la razón agua/cemento por resistencia media.	30
13.1.5	Determinación de la cantidad de cemento por durabilidad.....	31
13.1.6	Dosis de árido grueso.....	32
13.1.7	Dosis para 1m ³ de hormigón.....	32
13.2	CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN	33
13.2.1	Hormigón patrón(1m ³).....	33
13.2.2	Hormigón con caucho (80% 2mm – 20% 3mm).....	33
13.3	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM ³ HORMIGÓN PATRÓN.	34
13.4	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM ³ CON UN 5% DE CAUCHO.	35
13.5	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM ³ CON UN 10% DE CAUCHO	36
13.6	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM ³ . CON UN 15% DE CAUCHO.	37
13.7	DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM ³ CON UN 20% DE CAUCHO	38

CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS Y COSTOS ECONÓMICOS DEL HORMIGÓN CON CAUCHO.....	39
14. CONFECCIÓN DE PROBETAS.....	40
15. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES.....	40
16. MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	41
16.1 MEDICIÓN DE LOS MATERIALES.....	41
16.1 INCORPORACIÓN DE LOS MATERIALES A LA MEZCLADORA.....	42
16.2 DEFINICIÓN DE LAS PROBETAS Y MOLDES.....	43
16.3 LLENADO Y COMPACTADO DE LAS PROBETAS.....	43
16.4 CONSERVACIÓN DE LAS PROBETAS.....	44
17. ENSAYOS DE PROBETAS.....	45
17.1 MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN.....	45
17.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	45
18. RESUMEN ENSAYO COMPRESIÓN.....	46
18.1 HORMIGÓN PATRÓN.....	47
18.2 HORMIGÓN CON 5% CAUCHO.....	47
18.3 HORMIGÓN CON 10% CAUCHO.....	48
18.4 HORMIGÓN CON 15% CAUCHO.....	48
18.5 HORMIGÓN CON 20% CAUCHO.....	48
18.6 GRÁFICO RESISTENCIAS.....	49
19. ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN HORMIGÓN.....	50
19.1 HORMIGÓN PATRÓN.....	50
19.2 HORMIGÓN CON CAUCHO (5%).....	51
19.3 HORMIGÓN CON CAUCHO (10%).....	52
19.4 HORMIGÓN CON CAUCHO (15%).....	53
19.5 HORMIGON CON CAUCHO (20%).....	54
20. CONCLUSIONES.....	55
20.1 CONCLUSIÓN PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
20.2 CONCLUSIÓN SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
20.3 CONCLUSIÓN TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
CONCLUSIÓN GENERAL.....	56
21. BIBLIOGRAFIA.....	57
22. WEBGRAFIA.....	57

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1: Crecimiento del parque de vehículos.
- Figura 2: Extracción de caucho desde el árbol.
- Figura 3: Caucho natural crudo.
- Figura 4: Vulcanizado automático de neumáticos.
- Figura 5: Maquina con cuchillas granuladoras.
- Figura 6: Tamizadores para el caucho.
- Figura 7: Sacos con granos de caucho.
- Figura 8: Grano de caucho de distintos tamaños.
- Figura 9: Granos de caucho 3mm.
- Figura 10: Granos de caucho de 2mm.
- Figura 11: Balanza digital.
- Figura 12: Betonera de 90 lts.
- Figura 13: Cono de Abrams.
- Figura 14: Probetas cubicas.
- Figura 15: Vibrador de inmersión.
- Figura 16: Muestras sumergidas.
- Figura 17: Resistencia de hormigón patrón v/s hormigón con caucho

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1, Composición típica porcentual por componentes de un neumático fuera de uso.
- Tabla 2, Composición química elemental de un neumático fuera de uso.
- Tabla 3, Granulometría Grava.
- Tabla 4, Granulometría Arena.
- Tabla 5, Granulometría arena con caucho de 50% 2mm – 50% 3mm.
- Tabla 6, Granulometría arena con caucho de 70% 2mm – 30% 3mm.
- Tabla 7, Granulometría arena con caucho de 80% 2mm – 20% 3mm.
- Tabla 8, Dosis tentativa de agua para el hormigón.
- Tabla 9, Razón agua / cemento.
- Tabla 10, Dosis tentativa de agua para el hormigón.
- Tabla 11, Dosis tentativa de agua para el hormigón.
- Tabla 12, Dosis tentativa de agua para el hormigón.
- Tabla 13, Dosis para 1m³.
- Tabla 14, Corrección para humedad y absorción.
- Tabla 15, Corrección para humedad y absorción para un hormigón con caucho.
- Tabla 16, Procedimiento de compactación
- Tabla 17, Factor de conversión para las probetas preferidas en formas cúbicas y cilíndricas.
- Tabla 18, Resistencia para un hormigón normal.
- Tabla 19, Resistencia para un hormigón que presenta un 5% de caucho.
- Tabla 20, Resistencia para un hormigón que presenta un 10% de caucho.
- Tabla 21, Resistencia para un hormigón que presenta un 15% de caucho.
- Tabla 22, Resistencia para un hormigón que presenta un 20% de caucho.

1. INTRODUCCIÓN

Los neumáticos desechados son un problema ambiental, pues por tratarse de material que no es biodegradable, la situación constituye una serie amenaza para el medio ambiente.

El reciclado del caucho es una solución sostenible, reconocida y alentada por los gobiernos tanto a nivel nacional como internacional. Cada vez se dictan más directrices para fomentar métodos de reciclado que no sean perjudiciales para el medio ambiente. Las plantas de reciclado de neumáticos no solo ayudan a resolver un problema medio ambiental, si no que muchas veces tienen un importante potencial de beneficios.

En Chile, el tema del reciclaje de neumáticos es algo fuertemente impulsado gracias al trabajo realizado por la empresa recicladora POLAMBIENTE.

Uno de los objetivos del reciclaje de neumáticos es producir materia prima con valor añadido, esto es, además de ayudar a preservar la naturaleza y el medio ambiente, se obtiene un nuevo material cuya aplicación puede resultar muy útil y que por lo tanto es necesario analizar sus propiedades y comportamientos.

Es por ello que se propone la utilización del caucho proveniente del reciclaje de neumáticos en mezclas de hormigón, uno de los materiales de construcción más utilizados en Chile.

En el presente trabajo de titulación se presentará el desarrollo y los resultados de ensayos a probetas de hormigón con caucho, con el propósito de avanzar en la determinación de nuevas propiedades mecánicas de dicho material.

2. EXPOSICIÓN GENERAL DEL PROYECTO.

En Chile el año 2017, el parque nacional de vehículos en circulación alcanzó la cifra récord de 5.190.704 unidades, superando en un 4,6% la cantidad de vehículos registrados el año anterior y en un 21,8% al parque existente el año 2013, según datos de la Cámara de la Industria del Neumático de Chile (CINC), 2018.

A continuación, se muestra en el gráfico N°1 el crecimiento del parque automotriz experimentado durante los últimos cinco años.

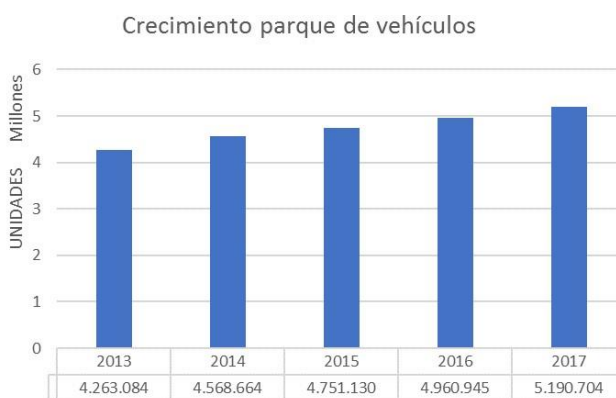


Figura 1: Crecimiento del parque de vehículos.

Fuente: CINC, 2018

De lo anterior el 89,6% del parque automotriz corresponde a vehículos livianos y medianos, como son: automóviles, SUV, camionetas, furgones, minibuses y otros. Que, en conjunto, alcanzaron las 4.653.040 unidades.

Este crecimiento del parque automotriz conlleva al aumento de la demanda de neumáticos. La masiva fabricación de neumáticos y la gran dificultad para hacerlos desaparecer una vez usados, es uno de los problemas medioambientales más graves en todo el mundo. Un neumático necesita mucha energía al ser fabricado y si no es reciclado, provoca una gran contaminación ambiental al degradarse. Cada año se generan alrededor de 159.000 toneladas de neumáticos, equivalentes a 15.000.000 de Neumáticos Fuera de Uso, de los cuales el 85% de ellos, termina en destinos desconocidos y el 15% termina en vertederos autorizados. Según la empresa POLAMBIENTE.

Cuando un neumático no es reciclado y termina en un basural, su degradación puede tardar hasta quinientos años. Aunque el Ministerio del Medio Ambiente clasifique los neumáticos como residuos no peligrosos, estos generan un grave impacto en el medio donde se encuentran, ya que con el paso del tiempo se produce una degradación química parcial que contamina el suelo, generando problemas de seguridad. Por otro lado, muchas personas los queman para disminuir el espacio que ocupan en los vertederos, como se pudo ver reflejado en el incendio de la Comuna de Maipú, Ciudad de Santiago. Este acto

provoca problemas aún más graves en el medio ambiente, debido a la emisión de gases químicos liberados, entre ellos ácido sulfúrico, los que contienen partículas nocivas y además genera un material aceitoso que queda suspendido, el que contamina el agua y los suelos.

En los últimos años se han creado diversos productos con el objetivo de reutilizar los Neumáticos Fuera de Uso (NFU) como, por ejemplo, grano de caucho, pellet de caucho y polvo de caucho. Los cuales se pueden incorporar en la fabricación de un hormigón, reemplazando un porcentaje de los áridos utilizados en este.

3. PRINCIPALES INTERROGANTES DEL PROYECTO.

- ¿Por qué es importante reducir el uso de áridos en el hormigón?
- ¿Cuál es el propósito de incorporar el caucho al hormigón?
- ¿Afecta la resistencia final del hormigón, la utilización del caucho?
- ¿Qué es y cómo se obtiene el caucho?
- ¿Cuál es la durabilidad del elemento construido con el hormigón con caucho?
- ¿Cuáles serían los posibles elementos construidos con el hormigón con caucho?
- ¿Qué beneficios traería la utilización de este hormigón?
- ¿Cuál es el costo de producir este hormigón?

4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

Al llevar a cabo este proyecto se busca dar una utilidad a un residuo que resulta del proceso de reciclaje de los neumáticos. Este compuesto al ser incorporado en una dosificación de hormigón no solo estaría disminuyendo la dosis de árido fino utilizada para su elaboración, si no que también estaría fomentando el reciclaje. Consiguiendo contribuir con la confección de un hormigón menos contaminante ya que al agregar una cantidad de grano de caucho estaremos disminuyendo en un cierto porcentaje la cantidad de arena usada en la mezcla.

La contribución académica de este proyecto, además de reducir la cantidad de áridos es dar a conocer un material innovador que está presente hoy en día, también los beneficios que trae este tipo de hormigón es la recuperación de materias primas, la reducción de la contaminación e intervención de los cursos de agua, la reutilización de un desecho que no es biodegradable, además de incentivar a las empresas constructoras en el uso de este hormigón y así disminuir la contaminación producida por este rubro.

5. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA REALIZAR EL PROYECTO.

- Recopilación de fuentes bibliográficas, libros, revistas, entre otras.
- Entrevista con expertos.
- Ensayos de laboratorio.
- Análisis de los resultados.

6. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

6.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar Técnica y Económicamente las propiedades del hormigón incorporando caucho en forma de grano

6.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.- Señalar el proceso industrial de reciclaje y las propiedades del caucho para ser usado en un hormigón.
- 2.- Diseñar una dosificación de un hormigón con la incorporación de caucho.
- 3.- Evaluar la resistencia a la compresión del hormigón con adiciones de caucho y su costo económico.

7. MARCO TEÓRICO

Hormigón:

Material constituido por la mezcla de cemento, áridos y agua, con o sin la incorporación de aditivos y adiciones, que desarrolla sus propiedades por hidratación de cemento.

Instituto Nacional de Normalización. (2016). *NCh 170*.

Material construido básicamente por los áridos y la pasta de cemento. Eventualmente se agregan aditivos.

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1984). *Manual del Hormigón*.

Caucho:

Látex producido por varias moráceas y euforbiáceas intertropicales, que, después de coagulado, es una masa impermeable muy elástica, y tiene muchas aplicaciones en la industria.

Real Academia Española. (2001).

Sustancia natural o sintética que se caracteriza por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. El caucho natural se obtiene de un líquido lechoso de color blanco llamado látex, que se encuentra en numerosas plantas. El caucho sintético se prepara a partir de hidrocarburos insaturados.

Sampietro, G., & Rescia, L. (2015). *Monografías*. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos4/elcaucho/elcaucho.shtml#top>

Árido:

Material pétreo compuesto de partículas duras, de forma y tamaño estables.

Instituto Nacional de Normalización. (2013). *NCh 163*.

Los áridos para hormigón están constituidos por partículas de distinto tamaño que normalmente varían entre 50 mm y 0,080 mm

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1984). *Manual del Hormigón*.

Adición:

Material mineral finamente molidos utilizados en el hormigón con el fin de mejorar ciertas propiedades o conferirle propiedades especiales.

Instituto Nacional de Normalización. (2016). *NCh 170*.

Aditivo:

Materiales activos agregados al hormigón en pequeñas cantidades para modificar alguna de sus propiedades por acción física o química.

Instituto Nacional de Normalización. (2016). *NCh 170*.

Los aditivos son sustancias que pueden agregarse al hormigón con el fin de modificar alguna de sus propiedades o para conferirle otras características.

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1984). *Manual del Hormigón*.

8. MARCO NORMATIVO

- NCh 170 of 2016- Hormigón Requisitos generales

Esta norma establece los requisitos generales mínimos que se deben considerar para especificar, confeccionar, transportar, colocar, compactar, curar, proteger, desmoldar y descimbrar hormigones.

- NCh 163 of 2013- Áridos para morteros y hormigones – Requisitos

Esta norma específica las propiedades de los áridos y filleres obtenidos mediante procesamiento de materiales naturales y/o materiales tratados, y la mezcla de estos para la confección de un hormigón.

- NCh 1018 of 2009 - Hormigón - Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio.

Esta norma establece el procedimiento para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos.

- NCh 1017 of 2009- Hormigón - Confección en obra y curado de probetas para ensayos de compresión, tracción por flexión y por hendimiento.

Esta norma establece el procedimiento para la confección, protección y curado inicial de las probetas de hormigón fresco muestreadas en condiciones de obra y que se destinan a ensayos de compresión, tracción por flexión y tracción por hendimiento para determinar la resistencia potencial del hormigón.

- NCh 1037 of 2009 - Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas.

Esta norma establece los procedimientos para preparar mezclas de hormigón para ensayos en laboratorios.

- NCh 1019 of 2009- Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams.

Esta norma específica el procedimiento de ensayo para determinar la docilidad del hormigón fresco por el método del asentamiento del cono de Abrams en laboratorio y terreno.

- NCh 148 of 68 - Cemento – terminología, clasificación y especificaciones generales.

Entrega respaldo con respecto a los cementos utilizados en los hormigones confeccionados.

**CAPITULO I: PROCESO INDUSTRIAL Y LAS PROPIEDADES DEL CAUCHO
PARA SER USADO EN EL HORMIGÓN**

9. EXTRACCIÓN DEL CAUCHO

Antes de enfocarnos en el tema central que nos concierne esta investigación, primero debemos ir al origen de todo, donde nace el neumático, dar a conocer el proceso que va desde la extracción del caucho hasta la confección del neumático.

El caucho natural es un producto vegetal que se obtiene mediante un tratamiento denominado “sangrado”, el cual consiste en realizar un corte en forma de ángulo a través de la corteza del árbol. La savia de aspecto lechoso o látex que se obtiene del árbol *Hevea brasiliensis* cubre la mayor parte de la producción mundial de caucho natural. La composición del látex varía en las distintas partes del árbol; generalmente el porcentaje de caucho (hidrocarburos) decrece del tronco a las ramas y hojas. El caucho es una secreción irreversible o producto de desecho del árbol, y cuanto más se extrae, tanto más la planta regenera. El caucho es producido en el protoplasma por reacciones bioquímicas de polimerización catalizadas por enzimas.



Figura 2: Extracción de caucho desde el árbol.

Fuente: Muy interesante

El látex fresco es transformado en caucho seco tan pronto como sea posible luego de haber sido recolectado. Primeramente, se cuela por un tamiz de lámina perforada para eliminar partículas de hojas y corteza. En seguida se diluye su concentración de 30% de caucho a una cantidad aproximado de 12%. Algunas plantaciones usan un hidrómetro especial llamado Metralac, que determina el contenido sólido del látex sin realizar el ensayo por evaporación. Después de la dilución, se deja el látex en reposo un corto tiempo para que las materias no separadas por el tamiz (arena y cieno) se sedimenten. Entonces está dispuesto para la coagulación.

El ácido fórmico es considerado con uno de los mejores coaguladores para el caucho natural, la cantidad de ácido requerida para este tratamiento dependerá del estado en que se encontrara el árbol desde donde se extrajo el látex, al igual que las condiciones climáticas.

La vulcanización es un proceso en el que el caucho crudo es calentado en presencia de azufre, haciéndolo más duro y resistente al frío. Este proceso fue descubierto por accidente por Charles Goodyear quien derramo un recipiente que contenía azufre y caucho encima de una estufa, endureciéndose la mezcla y volviéndose impermeable. La proporción de azufre-caucho varía desde 1:40 en mercaderías de caucho suave, a como mucho como 1:1 en el caucho duro. La vulcanización fría, usado principalmente para el caucho delgado y suave en mercaderías tales como los guantes y sheeting, es realizado por exponer los artículos sin tratar al vapor de cloruro de azufre. Durante la vulcanización, los polímeros lineales paralelos cercanos constituyen puentes de cruzamiento entre sí. El resultado final es un caucho más estable, duro y resistente, sin perder por ello la elasticidad natural. También transforma la superficie pegajosa del material en una superficie suave que no se adhiere al metal o a los sustratos plásticos. Este proceso da como resultado el látex.



Figura 3: Caucho natural crudo.

Fuente: Muy interesante

El látex obtenido del proceso de extracción del árbol de Hevea se puede comercializar directamente en forma de concentrado o bien procesarse para obtener caucho seco. Un método de fabricación del caucho de especificación técnica consiste en coagular el látex bruto con ácido y pasarlo después por las máquinas de cortado y por una serie de cilindros de crepado; a continuación, con una trituradora de martillos o un granulador, se convierte el producto en grumos de caucho que son tamizados, lavados, secados, embalados y acondicionados. Otro método de producción de caucho de especificación técnica consiste

en añadir un agente disgregante antes de la coagulación, seguido de la trituración con cilindros de crepado.

Las planchas estriadas ahumadas se obtienen pasando el látex coagulado a través de una serie de cilindros, de los que salen planchas finas que se estampan con un patrón estriado para aumentar la superficie del material y mejorar su secado. Las planchas se tratan en un ahumador a 60 C durante una semana y a continuación se clasifican visualmente y se acondicionan en balas.

Las fórmulas de las mezclas de los compuestos que se utilizan en los cauchos naturales son básicamente las mismas que las que se emplean para la mayoría de los cauchos sintéticos no saturados. La presencia de aceleradores, activadores, antioxidantes, materiales de relleno, agentes plastificantes o vulcanizantes depende de las propiedades que se deseen obtener del compuesto final.

10. FABRICACIÓN DEL NEUMÁTICO

En la fabricación moderna de artículos con caucho natural, el caucho crudo es tratado con diversos componentes mezclados en máquinas. Esta mezcla se aplica entonces mecánicamente en una base o molde, y el objeto formado por este molde se vulcaniza.

Con se mencionó anteriormente las principales fuentes de caucho crudo son las plantaciones de árboles de Hevea. El caucho crudo se procesa; los grados secundarios se lavan para quitar arena, la corteza, y el otro material extraño, y se tratan para quitar excesiva resina. El caucho tratado calentando con álcali (Óxido o hidróxido metálico soluble en agua que tiene reacción básica.) por 12 a 30 horas, puede usarse como un adulterante de caucho crudo para rebajar el precio del artículo terminado. Las cantidades de caucho reclamado que se usa depende de la calidad del artículo a ser fabricado.

Para la mayoría de las aplicaciones donde es utilizado caucho natural, la materia prima es mezclada con una variedad de ingredientes para poder modificar sus características. Una de ellas es el Fillers el cual se endurece el caucho en su etapa final, pero que no aumenta su resistencia, para ello se agregan agentes como el carbonato de calcio y bario o sulfato de bario. Los fillers para reforzar agregan carga material y fortaleza al producto acabado; se incluyen el negro de carbón, óxido de zinc, carbonato de magnesio, y diversas arcillas. Los pigmentos incluyen óxido de zinc, y un número de tinturas orgánicas. Los suavizadores, que son necesarios cuando la mezcla es demasiado rígida para la incorporación apropiada de los diversos ingredientes, consiste comúnmente en productos del petróleo, tales como petróleos o ceras, de brea, o de ácidos pingües. Los agentes de

resistencia al paso del tiempo y la corrosión son compuestos de aminas mayormente secundarias.

Componente	Turismos (%)	Vehículos Pesados (%)
Caucho y elastómeros	48	45
Negro de humo	22	22
Refuerzos metálicos (Acero)	15	25
Refuerzos textiles	5	0
Óxido de Zinc	1.2	2.1
Azufre	1	1
Aditivos y otros		
Peso del neumático (kg)	6.5 – 9	55 – 80

Tabla 1, Composición típica porcentual por componentes de un neumático fuera de uso.

Fuente: European Tyre Recycling Association, ETRA

Elemento	% peso
C (Carbono)	70
H (Hidrogeno)	7
S (azufre)	1
N ₂ (Dinitrógeno)	0.5
O (Oxigeno)	4
ZnO (Oxido de Zinc)	1
Fe (Hierro)	16
Ácido esteárico	0.3
Halógenos	0.1
Ligandos cupríferos	200 mg/kg
Cd (Cadmio)	10 mg/kg
Cr (Cromo)	90 mg/kg
Ni (Níquel)	80 mg/kg
Pb (Plomo)	50 mg/kg

Tabla 2, Composición química elemental de un neumático fuera de uso.

Fuente: European Tyre Recycling Association, ETRA

10.1 **MOLIENDA**

El primer paso para la fabricación del neumático es el proceso de molienda mecánica en el cual el caucho crudo es “masticado”, para hacerlo más suave, plástico y viscoso. Tras este proceso el producto es más fácil de, mezclar con los diversos componentes y agentes vulcanizadores, al igual que sus ingredientes en seco. Los masticadores son de dos de tipos. Un tipo es el molino de caucho, el cual consiste de dos rodillos de acero, que rotan a velocidades diferentes en un recipiente para esquilar y amasar el caucho hasta que sea estropeado a una condición suave y flexible. Los rodillos poseen una cavidad para permitir la circulación de vapor o agua fría para controlar la temperatura de la operación. Después del decenio de 1920 el molino de caucho fue reemplazado en su mayor parte por el "Gordon plasticator", que consiste de una poderosa hélice de velocidad variable atornillada colocada en un cilindro recubridor. La acción de

la hélice al batir genera sobre el caucho temperaturas de 182° C. El calor, más que la acción mecánica, estropea el caucho.

10.2 **MEZCLADO**

Después de que el caucho allá pasado por el masticador, lo próximo en la línea de producción es el mezclador. Ya que un neumático contiene hasta 30 tipos distintos de caucho, rellenos y otros ingredientes que se combinan en mezcladoras gigantes para crear un compuesto gomoso de color negro. Estas máquinas mezcladores se parecen a los masticadores en los rodillos que tienen, pero en las maquinas mezcladoras estos rodillos rotan en dirección contraria. Los cilindros mezcladores se usan especialmente en la preparación de cementos y soluciones de caucho en solventes. La operación de mezclado es típicamente una operación por lotes, con cada lote que produce más de 200 kilogramos de compuesto de caucho en menos de tres a cinco minutos. Su función principal es romper los fardos de caucho, los materiales de relleno y los químicos y mezclarlos con otros ingredientes.

La secuencia en la cual se agregan los ingredientes es crítica, así como también la temperatura de mezclado, que puede elevarse hasta alcanzar los 160 – 170 grados Celsius. Si la temperatura es demasiado alta, el compuesto puede resultar dañado, de modo que la operación de mezclado por lo general se divide en dos etapas. El paquete de materiales para el curado se agrega normalmente en la etapa final del mezclado y la temperatura final de mezclado no puede exceder los 100 – 110 grados Celsius ya que si la temperatura es demasiado alta se puede llegar a quemar el material.

10.3 **CORTADO**

Una vez que el mezclado ha finalizado, el lote se retira del mezclador y se envía a través de una serie de máquinas a fin de cortar el producto en una lámina continua que conformarán la estructura básica del propio neumático. Luego se transfiere a otras áreas para la preparación del conjunto de alambres para la ceja, el calandrado del revestimiento interior, calandrado de los cordones de acero y/o cinturones de tela/capas, extrusión de las caras del neumático y extrusión de la banda de rodamiento del mismo.

10.4 **CONFECCIÓN DEL NEUMÁTICO**

Finalmente, el neumático se encuentra listo para su ensamblado por una máquina altamente robotizada lo cual asegura la calidad y la eficacia. Se montan todos los componentes – conjuntos de cejas, cinturones para capas y revestimiento interno calandrados, secciones de banda de rodamiento y cara – y el proceso de ensamblado comienza.

Un neumático radial típico se construye sobre un tambor plano en un proceso que consta de dos etapas. En la primera etapa, el revestimiento interno se envuelve alrededor de un tambor y la primera capa del cuerpo se coloca encima, seguida por la segunda capa del cuerpo. Los conjuntos de cejas se posicionan luego y se infla un saco inflable sobre el tambor y se empuja hacia adentro desde ambos extremos del tambor, forzando que las capas del cuerpo se tuerzan hacia arriba a fin de cubrir los conjuntos de cejas. Las secciones de la cara luego se presionan sobre ambos laterales.

En la segunda etapa del proceso de construcción de un neumático, se utiliza otra máquina para aplicar los cinturones, las capas de nylon y la banda de rodamiento sobre la primera etapa. En este punto, el neumático todavía necesita el curado ya que no existe ningún dibujo de la banda de rodamiento sobre el mismo.

El resultado es un “neumático verde” (sin vulcanizar) cuyo aspecto comienza a asemejarse al del producto final.

10.5 **VULCANIZADO**

En este paso final, el neumático verde es vulcanizado en un proceso que tiene lugar a través de una serie de reacciones químicas. Asimismo, se moldean las caras y la banda de rodamiento. El vulcanizado del neumático es una operación en lotes a alta temperatura y a alta presión en la cual el neumático sin vulcanizar se ubica dentro de un molde a la temperatura especificada. Luego de que el molde se cierra, el compuesto de caucho fluye hacia adentro para moldear la forma y formar los detalles de la banda de rodamiento y la cara.

El molde no puede ser abierto hasta que haya finalizado la reacción del curado.



Figura 4: Vulcanizado automático de neumáticos.

Fuente: Michelin

10.6 **INSPECCIÓN FINAL**

En esta fase, una serie de inspectores específicamente formados emplean maquinaria especial para comprobar minuciosamente todos y cada uno de los neumáticos con el fin de detectar hasta la más leve de las imperfecciones antes de que puedan enviarse para su comercialización. Además del proceso anterior, una muestra de neumáticos se extrae de la línea de producción para someterse a pruebas de rayos X en busca de posibles defectos o debilidades internas. Por último, los técnicos de control de calidad seleccionan aleatoriamente neumáticos de la cadena de fabricación y los cortan por la mitad para examinar cuidadosamente cada detalle de su estructura y asegurarse de que cumplen las exigencias.

Luego de que un neumático pasa todas estas inspecciones rigurosas, es tiempo de que el caucho toque el asfalto. El neumático está listo para ponerse en marcha.

11. RECICLADO DEL NEUMATICO

Montar una planta de reciclaje es un trabajo arduo y costoso, Los objetivos de ganancias sobre la inversión generalmente exigen utilizar equipos de reciclado de neumáticos de primera calidad. En la actualidad se pueden utilizar diversos métodos para el reciclaje de neumáticos. A continuación, se describirá el más utilizado en nuestro país.

11.1 ZONA DE TRITURACION PRINCIPAL

Los neumáticos fuera de uso se trituran en máquinas que poseen un rotor dentado y el estator, esta máquina única convierte el neumático triturado en una gran gama de polvo fino y gránulos de modo económico y sin constituir un peligro para el medio ambiente. Una vez finalizada la etapa de trituración principal se habrá eliminado más del 95% del alambre de acero presente en los neumáticos.

11.2 GRANULACIÓN

En caso de que aún existan partículas de impurezas en el caucho estas son conducidas al granulador. El desgaste de las cuchillas sumada con el de las cribas es relativamente bajo, ya que más del 95% del alambre de acero de los recortes se eliminó en el paso anterior.



Figura 5: Máquina con cuchillas granuladoras.

Fuente: Coparm

11.3 TRITURACIÓN SECUNDARIA

Esta segunda zona de trituración consta de uno o más sistemas de prensa a rotor. La prensa funciona a gran velocidad con el fin de reducir de modo efectivo el tamaño de las partículas flexibles de caucho. En esta etapa se separa toda la fibra residual. Se puede ajustar la capacidad y el rendimiento para adaptarse a las exigencias de todo el sistema

11.4 TAMIZADO Y LIMPIEZA

Durante todo el proceso las partículas de caucho son tamizadas y clasificadas por diferentes tamaños, listas para la siguiente operación de producción o para el almacenamiento en silos. Los contaminantes tales como cuerda de fibra, polvo, acero, partículas no ferrosas y suciedad que se liberan durante los diversos procesos de trituración y granulación se separan mediante dispositivos que funcionan por gravedad y circulación de aire. Esto garantiza un producto final de gran calidad



Figura 6: Tamizadores para el caucho.

Fuente: Elaboración propia



Figura 7: Sacos con granos de caucho.

Fuente: Elaboración propia

11.5 PRODUCTO FINAL

Luego de realizado todo el proceso de reciclado, trituración y tamizado se obtiene un producto final que en este caso se presenta en forma de grano de 2mm y 3mm.



Figura 8: Grano de caucho de distintos tamaños.

Fuente: SoloStocks

CAPITULO II: DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN DE UN HORMIGÓN CON LA INCORPORACIÓN DE CAUCHO.

12. ENSAYOS PREVIOS A AL DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN

12.1 GENERALIDADES

El desarrollo experimental parte con el diseño de un hormigón sin caucho (Hormigón patrón) que servirá en el estudio de hormigones con diferentes dosis de caucho.

Se prepararán 4 grupos de probetas de hormigón con caucho con dosis de caucho de 5%, 10% y 20%.

Para su elaboración, se utilizarán probetas de 150x150x150 mm. de hormigón en las cuales se reemplazará parte de la dosis de árido fino por grano de caucho proveniente del reciclado de neumáticos usados.

Se diseñará un hormigón grado G30 el cual según la norma NCh 170 vigente, corresponde a una resistencia especificada a compresión de 300 kg/cm². Se dosificará utilizando el método ACI en conjunto con la norma NCh 170.

12.2 GRANULOMETRÍA

12.2.1 Grava

Peso Inicial: 14654g

GRANULOMETRIA GRAVA					
TAMIZ		Retenido Individual grs.	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Que Pasa
ASTM	mm.				
3"	80				
2 1/2"	63				
2"	50	0			
1 1/2"	38,1	861	5,88	5,88	94,12
1"	25	7280	49,68	55,55	44,45
3/4"	19	3993	27,25	82,80	17,20
1/2"	12,5	1919	13,10	95,90	4,10
3/8"	10	175	1,19	97,09	2,91
N° 4	4,75	47	0,32	97,41	2,59
Residuo		373	2,55	99,96	-
Σ Total		14648			

Tabla 3, Granulometría Grava.

Fuente: elaboración propia.

12.2.2 Arena

Peso Inicial: 4500

GRANULOMETRIA ARENA						
TAMIZ		Retenido Individual grs.	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Norma NCh 136
ASTM	mm.					
3/8"	80	0	0	0		100%
N° 4	63	0	0	0	100	95% - 100%
N° 8	50	132	2.93	2.93	97.07	80% - 100%
N° 16	38,1	855	19	21.93	78.07	50% - 85%
N° 30	25	2383	51.95	73.88	27.12	25% - 60%
N° 50	19	997	22.15	95.03	4.97	10% - 30%
N° 100	12,5	87	1.93	96.96	3.04	2% - 10%
Residuo		29	0.64	97.6		
Σ Total		4483				

Tabla 4, Granulometría Arena.

Fuente: elaboración propia.

12.2.3 Arena + caucho (50% 2mm – 50% 3mm)

Peso Inicial: 575g

GRANULOMETRIA ARENA + CAUCHO 50% - 50%						
TAMIZ		Retenido Individual grs.	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Norma NCh 136
ASTM	mm.					
3/8"	80	0	0	0		100%
N° 4	63	0	0	0	100	95% - 100%
N° 8	50	47	8.22	8.22	91.78	80% - 100%
N° 16	38,1	133	23.25	31.47	68.53	50% - 85%
N° 30	25	210	36.71	68.18	31.82	25% - 60%
N° 50	19	150	26.22	94.4	5.6	10% - 30%
N° 100	12,5	30	5.24	99.64	0.3	2% - 10%
Residuo		2	0.35	99.99		
Σ Total		572				

Tabla 5, Granulometría arena con caucho 50% 2mm – 50% 3mm.

Fuente: elaboración propia.

12.2.4 Arena + caucho (70% 2mm – 30% 3mm)

Peso Inicial: 575g

GRANULOMETRIA ARENA + CAUCHO 70% - 30%						
TAMIZ		Retenido Individual	% Retenido Individual	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Norma NCh 136
ASTM	mm.	grs.				
3/8"	80	0	0	0		100%
N° 4	63	0	0	0	100	95% - 100%
N° 8	50	39	6.78	6.78	93.22	80% - 100%
N° 16	38,1	145	25.22	32	68	50% - 85%
N° 30	25	195	33.91	65.91	34.09	25% - 60%
N° 50	19	157	27.30	93.21	6.79	10% - 30%
N° 100	12,5	29	5.04	98.25	1.75	2% - 10%
Residuo		7	1.22	99.47		
Σ Total		572				

Tabla 6, Granulometría arena con caucho de 70% 2mm – 30% 3mm.

Fuente: elaboración propia.

12.2.5 Arena + caucho (80% 2mm – 20% 3mm)

Peso Inicial: 575g

GRANULOMETRIA ARENA + CAUCHO 80% - 20%						
TAMIZ		Retenido	% Retenido	% Retenido	% Que Pasa	Norma NCh 136
ASTM	mm.	Individual grs.	Individual	Acumulado		
3/8"	80	0	0	0		100%
N° 4	63	0	0	0	100	95% - 100%
N° 8	50	23	4	4	96	80% - 100%
N° 16	38,1	110	19.13	23.13	76.87	50% - 85%
N° 30	25	216	37.57	60.7	39.30	25% - 60%
N° 50	19	182	31.65	92.35	7.65	10% - 30%
N° 100	12,5	35	6.09	98.44	1.56	2% - 10%
Residuo		9	1.37	99.81		
Σ Total		575				

Tabla 7, Granulometría arena con caucho de 80% 2mm – 20% 3mm.

Fuente: elaboración propia.

12.3 ENSAYO HUMEDAD Y ABSORCIÓN.**12.3.1 Absorción grava**

Masa de la muestra sumergida (Msum): 1432 g

Masa de la muestra saturado superficialmente seco (Msss): 2474 g

Masa de la muestra seca al aire (Ms): 2451 g

$$\text{Densidad Real (DR)} = \frac{M_{sss}}{M_{sss} + M_{sum}} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{2474g}{2474g + 1432g} * 1000 = 633,38$$

$$\text{Densidad Neta (Dn)} = \frac{M_s}{M_s - M_{sum}} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{2451g}{2451g - 1432g} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2405$$

$$\text{Absorción (Ab)} = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100\% = \frac{2474g - 2451g}{2451g} * 100 = 0,93\%$$

12.3.2 Absorción arena

Masa de la muestra seca (Ms): 355g

Masa de la muestra satura superficialmente seca (Msss): 357g

Masa del matraz con agua, hasta la marca de calibración (Ma): 1253g

Masa del matraz con la muestra más agua hasta la calibración (Mm): 1482g

$$\text{Densidad Real Seca} = \frac{M_s}{M_a + M_{sss} - M_m} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{355g}{1253g + 357g - 1482g} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2773 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Densidad Neta} = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{355g}{1253g + 355g - 1482g} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2817$$

$$\text{Absorción} = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100\% = \frac{357g - 355g}{355} * 100 = 0,56\%$$

12.3.3 Absorción arena + caucho 80% - 20%

Masa de la muestra seca (Ms): 563g

Masa de la muestra satura superficialmente seca (Msss): 574g

Masa del matraz con agua, hasta la marca de calibración (Ma): 1253g

Masa del matraz con la muestra más agua hasta la calibración (Mm): 1572g

$$\text{Densidad Real Seca} = \frac{M_s}{M_a + M_{sss} - M_m} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{563g}{1253g + 574g - 1572g} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2207 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Densidad Neta} = \frac{M_s}{M_a + M_s - M_m} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = \frac{563g}{1253g + 563g - 1572g} * 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2307$$

$$\text{Absorción} = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100\% = \frac{574g - 563g}{563g} * 100 = 1,95\%$$

13. DISEÑO DE LA DOSIFICACIÓN

13.1 MÉTODO ACI

13.1.1 Determinación de resistencia media

$$Fr = Fc + t * S \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

Hormigón con resistencia a los 28 días G 30

$$\text{Resistencia Media} = 300\text{kg/cm}^2 + 0,842 * 40$$

$$\text{Resistencia Media} = 334 \text{ Kg/cm}^2$$

Nivel Confianza	t
95%	1,645
90%	1,282
85%	1,036
80%	0,842

Condiciones previstas para la ejecución de la obra	S [Mpa]		Definición de las condiciones
	≤ G15	≥ G15	
Regulares	8.0	-	Control deficiente, solo grado ≤ G15
Medias	6.0	7.0	Dosificación de volumen controlado; control esporádico
Buenas	4.0	5.0	Dosificación de volumen controlado; control permanente.
Muy Buenas	3.0	4.0	Dosificación en peso, laboratorio en faena, control permanente

13.1.2 Elección de trabajabilidad del hormigón

ESTRUCTURA	ASENTAMIENTO DE CONO, CM
PAVIMENTOS, PREFABRICADOS	< 5
ESTRUCTURA EN GENERAL	4 – 10
HORMIGON BOMBEADO	7 - 12

Trabajabilidad = Estructura en general, Cono 7

13.1.3 Dosis tentativa de agua para el hormigón

Dosis Tentativa de Agua l/m ³								
Asentamiento Cm	Tamaño Máximo de la Grava en mm							
	9,5	12,5	19	25	38	50	75	150
De 2,5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
De 7 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
De 15 a 17,5	242	228	216	202	190	178	160	-----
Cantidad de Aire Atrapado	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Tabla 8, Dosis tentativa de agua para el hormigón.

Fuente: Método ACI

Dosis tentativa de agua = Cono 7, T máx. nominal: 1 ½" (38,1mm)

Dosis Tentativa de Agua = 181 l/m³

13.1.4 Determinación de la razón agua/cemento por resistencia media.

Razón Agua-Cemento en masa	Resistencia media requerida f_c Mpa.	
	Cemento Grado Corriente	Cemento grado de alta resistencia
0,45	34	43
0,5	29	36
0,55	25	31
0,6	21	26
0,65	18	23
0,7	16	20
0,75	14	17
0,8	12	15
0,85	10	13

Tabla 9, Razón agua / cemento.

Fuente: Método ACI

$$C = \frac{W}{\frac{w}{c}} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Razón Agua cemento:

-0,05	{	0,45	340	}	50	-	$\frac{0,05}{50} = \frac{x-0,50}{44}$
		X	334				$\left(-\frac{0,05}{50}\right) * 44 = x - 50$
		0,50	290				$x = 0,456$
							$0,456 = \frac{181}{c}$
							$C = \frac{181}{0,456} = 396.92 \approx 397 \text{ Kg}$

13.1.5 Determinación de la cantidad de cemento por durabilidad

Grados		Agente	Exposición en Condición de Servicio
C0	No Agresivo	No aplica	Hormigón Seco o Protegido de la humedad
C1	Leve	CO2	Hormigón Húmedo Expuesto a altas Concentraciones de CO2
C2-A	Moderado	Cloruro	Hormigón Sumergido Completamente en Agua que Contiene Cloruro
C2-B	Severo	Cloruro	Hormigón Húmedo Expuesto a Aire Salino
C2-C	Muy severo	Cloruro	Hormigón Expuesto a Ciclos de Humedad y a una fuente externa de cloruro proveniente de productos des congelantes, sal, agua salobre, agua de mar, o salpicaduras del mismo origen

Tabla 10, Dosis tentativa de agua para el hormigón.

Fuente: Método ACI

Grado de Exposición	Mínimo Grado de Resistencia MPa	Grado de Especificado	Dosis Mínima de Cemento Kg/m3
C0	G17		-----
C1	G18		270
C2-A	G20		300
C2-B	G25		330
C2-C	G35		360

Tabla 11, Dosis tentativa de agua para el hormigón.

Fuente: Método ACI

Por ambiente: C2-B / G25 / 330 Kg

∴ Nos quedaremos con 397 Kg

13.1.6 Dosis de árido grueso

Tamaño Nominal del Agregado Grueso (mm)	Máximo	Volumen del Agregado Grueso Seco y Compactado por Unidad de Volumen del Hormigón, para Diversos Módulos del Árido Fino			
		2,4	2,6	2,8	3
9,5 (3/8")	0,5	0,48	0,46	0,44	
12,5 (1/2")	0,59	0,57	0,55	0,53	
19 (3/4")	0,66	0,64	0,62	0,6	
25 (1")	0,71	0,69	0,67	0,65	
37,5 (1 1/2")	0,75	0,73	0,71	0,69	
50 (2")	0,78	0,76	0,74	0,72	

Tabla 12, Dosis tentativa de agua para el hormigón.

Fuente: Método ACI

$$\text{Modulo Finura: } M_f = 6 - \left(\frac{100 + 97,07 + 78,07 + 27,1 + 4,97 + 3,04}{100} \right) = 2,89$$

$$0,02 \left\{ \begin{array}{ll} 0,71 & 2,8 \\ X & 2,89 \\ 0,69 & 3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \frac{0,02}{-0,02} = x - \frac{0,69}{-0,11} \\ -0,1 * -0,11 = x - 0,69 \\ 0,69 + 0,011 = x \end{array} \quad 0,701 = x$$

Densidad Aparente Compacta

$$\text{Dosis arido grueso} = 0,701 * 1650 \text{Kg/m}^3 = 1156,65 \text{Kg}$$

13.1.7 Dosis para 1m³ de hormigón

	KG	M ³	DENSIDAD REAL
CEMENTO	397 kg	0,1323	3000 kg/m ³
AGUA	181 kg	0,181	1000 kg/m ³
ARIDO GRUESO	1156 kg	0,418	2760 kg/m ³
ARIDO FINO	701 kg	0,2687	2610 kg/m ³

Tabla 13, Dosis para 1m³.

Fuente: Método ACI

13.2 CORRECCIÓN POR HUMEDAD Y ABSORCIÓN

13.2.1 Hormigón patrón(1m³)

Cantidad Base		Humedad		Absorción		Cantidad Real
		%	Kg.	%	Kg.	
Cemento	397 kg					397 kg
Arena	701 kg	6,28%	+44,02	0,56%	-3,92	741 kg
Grava	1156 kg	1,2%	+13,87	0,93%	-10,75	1159 kg
Agua	181		-57,89		+14,67	138 s

Tabla 14, Corrección por agua y absorción.

Fuente: Método ACI

13.2.2 Hormigón con caucho (80% 2mm – 20% 3mm)

Cantidad Base		Humedad		Absorción		Cantidad Real
		%	Kg.	%	Kg.	
Cemento	397 kg					397 kg
Arena	701 kg	6,28	+44,02	1,95	-13,67	731 kg
Grava	1156 kg	1,2	+13,87	0,93	-10,75	1159 kg
Agua	181 kg		-57,89		+24,42	147,53 kg
Total						

Tabla 15, Corrección para humedad y absorción para un hormigón con caucho.

Fuente: Método ACI

13.3 **DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM³ HORMIGÓN PATRÓN.**

Cemento: 397 Kg

Volumen= $0,15 \times 0,15 \times 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$

Agua: 138 Lts

$0,003375 \times 5 = 0,016875 \text{ m}^3$

Arena: 741 Kg

Grava: 1159 Kg

Cemento: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 397 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 6,7 \text{ Kg}$

Agua: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 138 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 2,35 \text{ Kg}$

Arena: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 741 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 12,5 \text{ Kg}$

Grava: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1159 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 19,6 \text{ Kg}$

13.4 **DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM³ CON UN 5% DE CAUCHO.**

Cemento: 397 Kg

Volumen= $0,15 \times 0,15 \times 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$

Agua: 147,53 Lts

$0,003375 \times 5 = 0,016875 \text{ m}^3$

Arena: $731 \text{ Kg} - 37 \text{ Kg} = 694 \text{ Kg}$

Grava: 1159 Kg

Caucho: $731 \text{ Kg} * 0,05 = 37 \text{ Kg}$

Cemento: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 397 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 6,7 \text{ Kg}$

Agua: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 147,53 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 2,5 \text{ Kg}$

Arena: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 694 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 11,711 \text{ Kg}$

Grava: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1159 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 19,6 \text{ Kg}$

Caucho: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 37 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 0,624 \text{ Kg}$

$80\% \text{ 2mm} = 0,499 \text{ Kg}$

$20\% \text{ 3mm} = 0,125 \text{ Kg}$

13.5 **DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM³ CON UN 10% DE CAUCHO**

Cemento: 397 Kg

Volumen= $0,15 \times 0,15 \times 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$

Agua: 147,53 Lts

$0,003375 \times 5 = 0,016875 \text{ m}^3$

Arena: $731 \text{ Kg} - 73 \text{ Kg} = 658 \text{ Kg}$

Grava: 1159 Kg

Caucho: $731 \text{ Kg} * 0,1 = 73,1 \text{ Kg}$

Cemento: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 397 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 6,7 \text{ Kg}$

Agua: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 147,53 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 2,5 \text{ Kg}$

Arena: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 658 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 11,1 \text{ Kg}$

Grava: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1159 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 19,6 \text{ Kg}$

Caucho: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 73 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 1,231 \text{ Kg}$

$80\% \text{ 2mm} = 0,985 \text{ Kg}$

$20\% \text{ 3mm} = 0,246 \text{ Kg}$

13.6 **DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM³. CON UN 15% DE CAUCHO.**

Cemento: 397 Kg

Volumen= $0,15 \times 0,15 \times 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$

Agua: 147,53 Lts

$0,003375 \times 5 = 0,016875 \text{ m}^3$

Arena: $731 \text{ Kg} - 110 \text{ g} = 621 \text{ Kg}$

Grava: 1159 Kg

Caucho: $731 \text{ Kg} * 0,14 = 110 \text{ Kg}$

Cemento: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 397 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 6,7 \text{ Kg}$

Agua: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 147,53 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 2,5 \text{ Kg}$

Arena: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 621 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 10,48 \text{ Kg}$

Grava: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1159 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 19,6 \text{ Kg}$

Caucho: $1 \text{ m}^3 \longrightarrow 110 \text{ Kg}$
 $0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$

$X = 1,86 \text{ Kg}$

$80\% \text{ 2mm} = 1,49 \text{ Kg}$

$20\% \text{ 3mm} = 0,37 \text{ Kg}$

13.7 **DOSIFICACIÓN PARA PROBETAS DE 150MM³ CON UN 20% DE CAUCHO**

Cemento: 397 Kg

Volumen= $0,15 \times 0,15 \times 0,15 = 0,003375 \text{ m}^3$

Agua: 147,53 Lts

$0,003375 \times 5 = 0,016875 \text{ m}^3$

Arena: $731 \text{ Kg} - 146 \text{ Kg} = 585 \text{ Kg}$

Grava: 1159 Kg

Caucho: $731 \text{ Kg} * 0,2 = 146 \text{ Kg}$

Cemento:	$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 397 \text{ Kg}$	$X = 6,7 \text{ Kg}$
	$0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$	

Agua:	$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 147,53 \text{ Kg}$	$X = 2,5 \text{ Kg}$
	$0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$	

Arena:	$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 585 \text{ Kg}$	$X = 9,87 \text{ Kg}$
	$0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$	

Grava:	$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 1159 \text{ Kg}$	$X = 19,6 \text{ Kg}$
	$0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$	

Caucho:	$1 \text{ m}^3 \longrightarrow 146 \text{ Kg}$	$X = 2,464 \text{ Kg}$
	$0,016875 \text{ m}^3 \longrightarrow X$	

$80\% \text{ 2mm} = 1,971 \text{ Kg}$

$20\% \text{ 3mm} = 0,493 \text{ Kg}$

CAPITULO III: EVALUACIÓN DE LAS RESISTENCIAS Y COSTOS ECONÓMICOS DEL HORMIGÓN CON CAUCHO.

14. CONFECCIÓN DE PROBETAS.

En el capítulo anterior, se diseñó la dosificación para un hormigón de referencia u hormigón patrón y para cuatro grupos de hormigones con distintas dosis de caucho utilizando el Método ACI.

15. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES.

Áridos:

La grava y arena utilizados fue proporcionada por el Departamento de Construcción de la Universidad Federico Santa María, Sede Concepción.

Cemento:

Se utilizará cemento clase puzolánico, de grado corriente y marca comercial Bio-Bio.

Agua:

Corresponderá a agua potable.

Caucho:

Proporcionados por la empresa recicladora POLAMBIENTE S.A.

Se utilizarán granos de 2mm y 3mm reemplazando parte de la arena utilizada.



Figura 9: Granos de caucho 3mm.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 10: Granos de caucho de 2mm.

Fuente: Elaboración propia.

16. MEZCLAS DE HORMIGÓN.

16.1 MEDICIÓN DE LOS MATERIALES

Se pesarán los materiales para las distintas dosificaciones de hormigón por cada mezcla.



Figura 11: Balanza digital.

Fuente: Elaboración propia.

16.1 INCORPORACIÓN DE LOS MATERIALES A LA MEZCLADORA.

Se utilizará una betonera de eje horizontal con capacidad de 90 Lts.



Figura 12: Betonera de 90 lts.

Fuente: Elaboración propia.

Se comienza vaciando la arena con sus respectivas dosis de caucho y el cemento en la betonera, la que se pone en marcha para homogeneizar la mezcla de ambos componentes. Continuando con la incorporación de la grava a la mezcladora.

Se vierte el agua uniformemente a medida que la mezcla tome consistencia.

Luego de realizada la mezcla se procede a realizar el ensayo de cono de Abrams.



Figura 13: Cono de Abrams.

Fuente: Elaboración Propia

16.2 DEFINICIÓN DE LAS PROBETAS Y MOLDES

Los moldes deben ser de acero, fierro fundido u otro material resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón. Deben ser estancos a la lechada de cemento.

Se deben untar con una película de desmoldante de aceite mineral u otro material que prevenga la adherencia y sea químicamente inerte con los componentes del hormigón.



Figura 14: Probetas cubicas.

Fuente: Elaboración propia.

16.3 LLENADO Y COMPACTADO DE LAS PROBETAS

Según la norma NCh 1017 Of 2009, la forma de llenado de los moldes dependerá de la forma de la probeta y del método de compactación, a su vez, el método de compactación depende de su asentamiento.

Asentamiento del cono de Abrams del hormigón cm	Procedimiento de compactación
Menor o igual que 12	Vibrado
Mayor que 12	Vibrado o apisonado

Tabla 16: Procedimiento de compactación

Fuente: NCh 1017 of 2009

El llenado de las probetas se realizará en una capa y su compactación será mediante vibrado utilizando un vibrador de inmersión de diámetro 25 cm.



Figura 15: Vibrador de inmersión.

Fuente: Elaboración propia

Una vez compactado el hormigón, se debe enrasar utilizando un platacho u otro elemento apropiado, evitando la separación entre el mortero y el árido grueso.

16.4 CONSERVACIÓN DE LAS PROBETAS

Las probetas no deberán moverse del lugar en que se fabricaron hasta ser desmoldadas a partir de las 20 horas después de fabricadas siempre y cuando las condiciones de endurecimiento permitan un desmolde sin causar daños a las probetas.

Para el curado, después de las 20 horas se sumergirán bajo agua a una temperatura de $23 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



Figura 16: Muestras sumergidas.

Fuente: Elaboración propia

17. ENSAYOS DE PROBETAS

17.1 MÉTODO DE ENSAYO A COMPRESIÓN.

Se miden las cuatro caras laterales y verticales de la probeta, aproximadamente en el centro de cada cara. Las cuáles serán expresadas en milímetros.

Una vez preparada la prensa, se limpiará la superficie de las placas y caras de la probeta, eliminando todo residuo que dificulte la realización del ensayo.

Se debe colocar la probeta sobre la cara inferior alineando su eje central con el centro de la placa. Ubicando la cara de llenado en un plano perpendicular a la placa inferior de la prensa.

Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad de $0,25 \text{ MPa/s} \pm 0,05 \text{ MPa/s}$ hasta alcanzar una franca rotura de la probeta.

Registrar la carga máxima en las unidades que indica la prensa.

17.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.

Calcular la sección de ensayo.

$$S = \frac{150\text{mm} + 150 \text{ mm}}{2} * \frac{150\text{mm} + 150\text{mm}}{2} = 22500 \text{ mm}.$$

Calcular la resistencia a compresión como la tensión de rotura.

$$R = \frac{P}{S}$$

En que:

R= Tensión de rotura, expresada en MPa.

P= Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, expresada en kN.

S= Sección de ensayo, expresada en mm^2 .

18. RESUMEN ENSAYO COMPRESIÓN.

Antes de realizar la obtención de las resistencias se tuvo que tomar como referencia la tabla de conversiones especificadas en la antigua norma NCh 170. Debido a que nuestros ensayos se realizaron en probetas cubicas.

f_c kgf/cm ²	f_c MPa	k_3	f_{cil} kgf/cm ²	f_{cil} MPa
50	5	1,25	40	4
100	10	1,25	80	8
150	15	1,25	120	12
200	20	1,25	160	16
250	25	1,25	200	20
300	30	1,20	250	25
350	35	1,17	300	30
400	40	1,14	350	35
450	45	1,13	400	40
500	50	1,11	450	45
550	55	1,10	500	50
600	60	1,09	550	55

Tabla 17: Factor de conversión para probetas preferidas en formas cúbicas y cilíndricas.

Fuente: NCh 170 Of 1985.

Donde:

F_c = Resistencia a la compresión de probetas cubicas.

K_3 = Factor de conversión

F_{cil} = Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas

18.1 **HORMIGÓN PATRÓN**

Edad	Sección Ensayo (mm²)	Defectos Exteriores	Tipo Curado	Carga (kN)	Resistencia Cubica (MPa)	Resistencia Cilíndrica (Mpa) (*)
7	22500	No	Sumergida	561,7	25,0	20,0
14	22500	No	Sumergida	800,4	35,6	30,6
28	22500	No	Sumergida	949,9	42,2	37,2
28	22500	No	Sumergida	1019,6	45,3	40,3

Tabla 18, Resistencia para un hormigón normal.
Fuente: Elaboración propia.

18.2 **HORMIGÓN CON 5% CAUCHO**

Edad	Sección Ensayo (mm²)	Defectos Exteriores	Tipo Curado	Carga (kN)	Resistencia Cubica (MPa)	Resistencia Cilíndrica (Mpa) (*)
7	22500	No	Sumergida	364,3	16,2	13,0
14	22500	No	Sumergida	524,4	23,3	18,6
28	22500	No	Sumergida	639,9	28,4	23,4
28	22500	No	Sumergida	668,4	29,7	24,7

Tabla 19, Resistencia para un hormigón que presenta un 5% de caucho.
Fuente: Elaboración propia.

18.3 HORMIGÓN CON 10% CAUCHO

Edad	Sección Ensayo (mm ²)	Defectos Exteriores	Tipo Curado	Carga (kN)	Resistencia Cubica (MPa)	Resistencia Cilíndrica (MPa)
7	22500	No	Sumergida	337,7	15,0	12,0
14	22500	No	Sumergida	449,1	20,0	16,0
28	22500	No	Sumergida	541,9	24,1	19,3
28	22500	No	Sumergida	560,6	24,9	19,9

Tabla 20, Resistencia para un hormigón que presenta un 10% de caucho.
Fuente: Elaboración propia.

18.4 HORMIGÓN CON 15% CAUCHO

Edad	Sección Ensayo (mm ²)	Defectos Exteriores	Tipo Curado	Carga (kN)	Resistencia Cubica (MPa)	Resistencia Cilíndrica (MPa) (*)
7	22500	No	Sumergida	296,1	13,2	10,6
14	22500	No	Sumergida	516,4	23,0	18,4
28	22500	No	Sumergida	524,9	23,3	18,6
28	22500	No	Sumergida	551,1	24,5	19,6

Tabla 21, Resistencia para un hormigón que presenta un 15% de caucho.
Fuente: Elaboración propia.

18.5 HORMIGÓN CON 20% CAUCHO

Edad	Sección Ensayo (mm ²)	Defectos Exteriores	Tipo Curado	Carga (kN)	Resistencia Cubica (MPa)	Resistencia Cilíndrica (MPa) (*)
7	22500	No	Sumergida	276,8	12,3	9,8
14	22500	No	Sumergida	387,2	17,2	13,8
28	22500	No	Sumergida	460,7	20,5	16,4
28	22500	No	Sumergida	476,6	21,2	17,0

Tabla 22, Resistencia para un hormigón que presenta un 20% de caucho.
Fuente: Elaboración propia.

18.6 GRÁFICO RESISTENCIAS

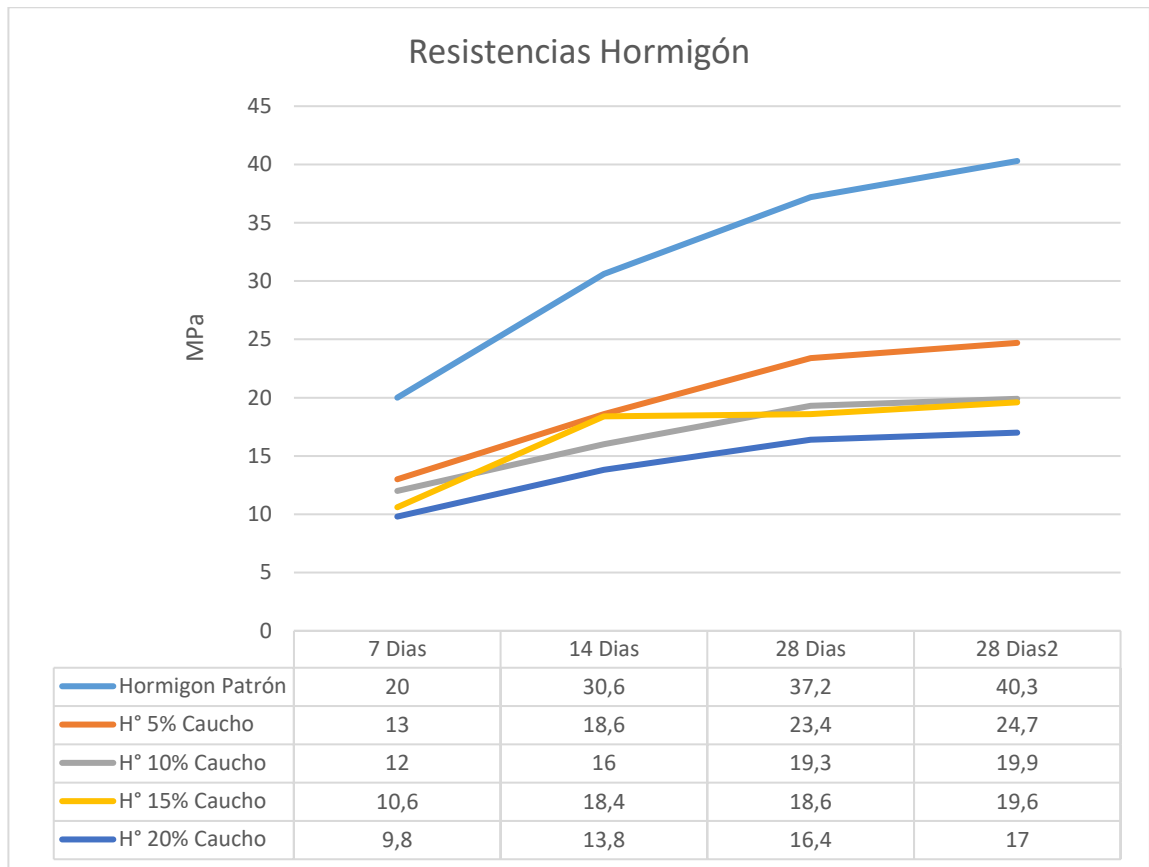


Figura 17: Resistencia de hormigón patrón v/s hormigón con caucho

Fuente: Elaboración propia.

19. ANÁLISIS ECONÓMICO DE UN HORMIGÓN

19.1 HORMIGÓN PATRÓN

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS			
-------------------------------	--	--	--

APU: _____	Unidad	m3
Proyecto: _____	Cantidad:	1

A MATERIALES					
N.º	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Cemento	Un	16	\$3.790	\$60.640
2	Arena	m3	0,2687	\$8.000	\$2.150
3	Grava	m3	0,418	\$15.000	\$6.270
					\$0
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Total A					\$69.060

B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Betonera 150 Lts	Mes	0,01	\$171.960	\$1.720
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total B					\$1.720

C MANO DE OBRA					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Concretero	DH	0,5	\$20.000	\$10.000
2	Ayudante	DH	0,5	\$13.500	\$6.750
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total C					\$16.750

Leyes Sociales	
13% AFP	\$2.178
7% Salud	\$1.173
3% Seguro Cesantía	\$503
3% Seguro Accidente	\$503
4% Asignación	\$670

TOTAL PRECIO	\$90.835
---------------------	----------

19.2 **HORMIGÓN CON CAUCHO (5%)****ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

APU: _____	Unidad	m3
Proyecto: _____	Cantidad:	1

A MATERIALES					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Cemento	Un	16	\$3.790	\$60.640
2	Arena	m3	0,2687	\$8.000	\$2.150
3	Grava	m3	0,418	\$15.000	\$6.270
4	Caucho	Kg	37	220	\$8.140
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Total A					\$77.200

B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Betonera 150 Lts	Mes	0,01	\$171.960	\$1.720
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total B					\$1.720

C MANO DE OBRA					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Concretero	DH	0,5	\$20.000	\$10.000
2	Ayudante	DH	0,5	\$13.500	\$6.750
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total C					\$16.750

Leyes Sociales	
13% AFP	\$2.178
7% Salud	\$1.173
3% Seguro Cesantía	\$503
3% Seguro Accidente	\$503
4% Asignación	\$670

TOTAL PRECIO	\$98.975
---------------------	-----------------

19.3 **HORMIGÓN CON CAUCHO (10%)****ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

APU: _____	Unidad	m3
Proyecto: _____	Cantidad:	1

A MATERIALES					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Cemento	Un	16	\$3.790	\$60.640
2	Arena	m3	0,2687	\$8.000	\$2.150
3	Grava	m3	0,418	\$15.000	\$6.270
4	Caucho	Kg	73,1	220	\$16.082
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Total A					\$85.142

B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Betonera 150 Lts	Mes	0,01	\$171.960	\$1.720
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total B					\$1.720

C MANO DE OBRA					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Concretero	DH	0,5	\$20.000	\$10.000
2	Ayudante	DH	0,5	\$13.500	\$6.750
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total C					\$16.750

Leyes Sociales	
13% AFP	\$2.178
7% Salud	\$1.173
3% Seguro Cesantía	\$503
3% Seguro Accidente	\$503
4% Asignación	\$670

TOTAL PRECIO	\$106.917
---------------------	-----------

19.4 **HORMIGÓN CON CAUCHO (15%)****ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

APU: _____ Unidad m3
 Proyecto: _____ Cantidad: 1

A MATERIALES					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Cemento	Un	16	\$3.790	\$60.640
2	Arena	m3	0,2687	\$8.000	\$2.150
3	Grava	m3	0,418	\$15.000	\$6.270
4	Caucho	Kg	110	220	\$24.200
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Total A					\$93.260

B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Betonera 150 Lts	Mes	0,01	\$171.960	\$1.720
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total B					\$1.720

C MANO DE OBRA					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Concretero	DH	0,5	\$20.000	\$10.000
2	Ayudante	DH	0,5	\$13.500	\$6.750
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total C					\$16.750

Leyes Sociales	
13% AFP	\$2.178
7% Salud	\$1.173
3% Seguro Cesantía	\$503
3% Seguro Accidente	\$503
4% Asignación	\$670

TOTAL PRECIO	\$115.035
---------------------	------------------

19.5 **HORMIGON CON CAUCHO (20%)****ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS**

APU: _____	Unidad	m3
Proyecto: _____	Cantidad:	1

A MATERIALES					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Cemento	Un	16	\$3.790	\$60.640
2	Arena	m3	0,2687	\$8.000	\$2.150
3	Grava	m3	0,418	\$15.000	\$6.270
4	Caucho	Kg	146	220	\$32.120
					\$ -
					\$ -
					\$ -
Total A					\$101.180

B MAQUINAS Y EQUIPOS					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Betonera 150 Lts	Mes	0,01	\$171.960	\$1.720
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total B					\$1.720

C MANO DE OBRA					
Nº	Ítem	Unid.	Cantid.	Precio Unit.	Total
1	Concretero	DH	0,5	\$20.000	\$10.000
2	Ayudante	DH	0,5	\$13.500	\$6.750
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
					\$0
Total C					\$16.750

Leyes Sociales	
13% AFP	\$2.178
7% Salud	\$1.173
3% Seguro Cesantía	\$503
3% Seguro Accidente	\$503
4% Asignación	\$670

TOTAL PRECIO	\$122.955
---------------------	-----------

20. CONCLUSIONES

El primer objetivo que nos propusimos fue conocer el proceso industrial que lleva a cabo el caucho en su estado natural. Además de los pasos que son necesarios para llevar algo tan básico como el látex a su etapa final que es el neumático. Al igual que los posteriores pasos para su reciclaje. De lo anterior podemos decir que:

- Al agregar caucho a nuestra mezcla de hormigón estaremos eliminando un desecho que es perjudicial para el medio ambiente, dando una solución ecológica.
- Al procesar un neumático y convertirlo en grano, es más fácil incorporarlo en una mezcla de hormigón y así eliminar árido fino.

En segundo objetivo se diseñó una dosificación de un hormigón patrón utilizando el método ACI en conjunto con la norma NCh 170 vigente, el cual nos permitió crear una dosis para nuestro estudio experimental del hormigón con caucho.

- Como el caucho es una adición en nuestro hormigón, se reemplazo arena ya que el caucho presenta un tamaño menor al tamiz N° 4, además la arena presente en la región es mal graduada, saliendo de la banda granulométrica dada por la norma, con la incorporación del caucho tratamos de ajustar esta curva, ya que fuimos experimentando hasta llegar a la dosis que se aproximaba más, la cual fue la de 80% de 2mm y 20% de 3mm.
- Se realizaron todos los ensayos a la arena y la grava al igual que la arena con caucho. En el ensayo de absorción las muestras de arena que presentaban caucho demostraron absorber una mayor cantidad de agua que las muestras de arena sola.
- Tras todos los ensayos se realizó un hormigón tomando los nuevos parámetros de la norma 170, la cual presenta las condiciones de exposición del hormigón que entrega como resultado la durabilidad, pero diseñamos además con el modelo ACI para obtener las cantidades necesarias para cada material.

En este objetivo hemos abarcado toda la etapa que llevamos a cabo en el laboratorio desde la confección de nuestras veinte muestras, hasta su posterior análisis de resultados que obtuvimos de cada una, además hay que agregar el análisis económico que realizamos para cada una de las muestras. de estos dos se pueden destacar los siguientes puntos:

- Para las dosis de materiales para las muestras de hormigón 80% 2mm y 20% 3mm, agregándole un 10%, 15%, 20% de caucho, todas daban una resistencia menor a la diseñada, acercándose mas a nuestra resistencia inicial el hormigón que presentaba un 5% de caucho. Siendo directamente proporcional la cantidad de caucho con la resistencia.
- Entre más caucho se le agregaba a la mezcla esta quedaba más seca, ya que esta presentaba una mayor cantidad de material fino dando como resultado una pérdida de docilidad.
- El costo asociado a la producción de un hormigón que presenta un 5% de caucho comparado con un hormigón normal, su aumento no es significativo.

CONCLUSIÓN GENERAL

Con el desarrollo completo de nuestro proyecto podemos decir que:

- La tendencia del uso de neumáticos va en aumento al pasar de los años, lo que significa que la producción de estos también se incrementara.
- Existen más métodos para realizar una dosificación de un hormigón, cada una de estas se basan en distintos aspectos para diseñar de mejor manera un hormigón.
- Si bien el hormigón con caucho no cumple como un hormigón G30, este puede perfectamente cumplir como un hormigón G10, G15 y G20.

21. BIBLIOGRAFIA.

Louis D. Beliczky y John Fajen, (1998) *Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo*, Madrid, España, Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.

Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile. (1984). *Manual del Hormigón*.

Real Academia Española. (2001).

Instituto Nacional de Normalización. (2016). NCh 170.

Instituto Nacional de Normalización. (2013). NCh 163.

Instituto Nacional de Normalización. (2009). NCh 1018

Instituto Nacional de Normalización. (2009). NCh 1017

Instituto Nacional de Normalización. (2009). NCh 1037

Instituto Nacional de Normalización. (2009). NCh 1019

Instituto Nacional de Normalización. (1968). NCh 148

22. WEBGRAFIA

Cámara de la Industria del Neumático de Chile. (2018). Parque automotor supera los cinco millones de vehículos en 2017. 2018, de Cámara de la Industria del Neumático de Chile Sitio web: <http://cinc.cl/2018/06/13/corfo-apoya-instalacion-de-planta-recicladora-de-neumaticos/>

The Dunlop Tyre & Rubber Company (2016). CÓMO SE FABRICA UN NEUMÁTICO. 2018 web: https://www.dunlop.eu/es_es/motorcycle/learn/how-tyres-are-made.html#

E. Sanders. (2010). Reciclaje de llantas usadas: la nueva economía ecológica. 2018 web: <http://www.vivoenitalia.com/linea-de-reciclaje-de-llantas-usadas/>