

**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DESARROLLO DE AISLANTES TÉRMICOS EMPLEANDO RASTROJOS DE  
MAÍZ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS**

Proyecto de fin de carrera para optar al título de Ingeniero Civil Mecánico

Profesor Guía Sr. Juan Carlos Martin Hardessen

Felipe Eduardo Loyola Lavin  
Concepción – Chile  
2012

## *Agradecimientos*

A todos aquellos que confiaron en mi, a mis seres queridos, especialmente a mis hermanos, que se preocuparon por forjarme un futuro esperanzador y lleno de optimismo. A mis amigos, a aquellos que aun forman parte de mi vida, por respetarme, por conocerme y apoyarme incondicionalmente. A los profesores que se esforzaron por transferirme sus conocimientos, por su dedicación, entrega y profesionalismo. A la maestra de mi vida, que me dio el primer impulso para lograr lo que hoy he logrado y a todos aquellos que me enseñaron que la búsqueda de la felicidad y los sueños son lo más importante en la vida. A aquella persona que me ayudo desde el primer día de mi habilitación profesional, y compartió el esfuerzo y entusiasmo de esta tarea. A todos ellos ¡muchísimas gracias!

A todos aquellos que por medios materiales y de forma desinteresada me ayudaron, al CIPA, especialmente a Ximena, Marcela y el profesor Emilio. A la *Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Concepción* por facilitarme sus equipos desfibradores, a Helga Contreras por facilitarme los equipos del laboratorio de anatomía de la madera.

Finalmente, a todos aquellos que creen y sueñan un mundo mejor, más sano, más limpio y más acogedor, a los que creen en la magia, y que algún día la encontrarán.

*“Cuando hagas algo noble y hermoso, y nadie se de cuenta, no estés triste. Para el sol cada amanecer es un espectáculo, y sin embargo la mayor parte de la audiencia duerme todavía”*

## Índice Contenido

### Capítulo 1

1.1 Introducción.....	9
1.2 Origen del tema .....	10
1.3 Justificación.....	12
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Objetivo general: .....	14
1.4.2 Objetivos específicos:.....	14

### Capítulo 2: Residuos y su clasificación

2.1 Los residuos .....	15
2.2 El reciclaje .....	15
2.3 Clasificación de los residuos .....	16

### Capítulo 3: Identificación y Cuantificación de los residuos

3.1 Residuos Urbanos: domiciliarios, comerciales e institucionales:.....	19
3.1.1 Generación de residuos sólidos municipales en Concepción .....	20
3.1.2 Composición de los residuos sólidos en Concepción.....	22
3.2 Residuos Industriales .....	24
3.3 Residuos de la construcción .....	25
3.4 Residuos Agrícolas .....	26
3.5 Resultados y discusión.....	33

### Capítulo 4: Antecedentes específicos

4.1 Cultivo de maíz.....	35
4.2 Quema de rastrojos .....	35
4.3 Incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos .....	37
4.4 Construcción utilizando residuos agrícolas .....	37
4.5 Petróleo.....	39

## **Capítulo 5: Aislantes térmicos**

5.1 Aislantes térmicos naturales .....	40
5.1.1 Aislantes térmicos naturales reciclados .....	41
5.1.2 Aislantes térmicos naturales de origen animal .....	41
5.1.3 Aislantes térmicos naturales de origen vegetal.....	41
5.1.3.1 Pavatex o Pavaflex.....	43
5.2 Aislantes térmicos sintéticos .....	43
5.2.1 Poliestireno expandido .....	44
5.2.1.1 Proceso de manufactura.....	45
5.2.1.2 Proceso de almacenamiento o disposición final .....	45

## **Capítulo 6: Hipótesis**

6.1 Planteamiento de la hipótesis .....	47
6.2 Refuerzo de la hipótesis.....	48

## **Capítulo 7: Fase experimental**

7.1 Toma de muestras.....	49
7.2 Pre tratamiento de las fibras .....	51
7.3 Desfibrado de los rastrojos .....	52
7.3.1 Resultados y discusiones .....	54
7.3.1 .1 Muestra A .....	54
7.3.1 .2 Muestra B .....	55
7.3.1.3 Muestra C .....	56
7.3.1.4 Muestra D .....	57
7.5 Conclusiones y discusión.....	58

## **Capítulo 8: Propiedades físicas del material**

8.1 Medición de conductividad térmica .....	62
8.1.1 Construcción de probetas: Prueba 1 - Muestra C .....	63
8.1.1.1 Materiales: .....	63
8.1.1.2 Métodos .....	63
8.1.1.3 Resultados.....	64
8.1.2 Construcción de probetas: Prueba 2 - Muestra C .....	65
8.1.2.1 Materiales: .....	65

8.1.2.2 Métodos .....	66
8.1.2.3 Resultados:.....	67
8.1.3 Construcción de probetas: Prueba 3 - Muestra C .....	688
8.1.3.1 Materiales .....	68
8.1.3.2 Métodos .....	68
8.1.3.3 Resultados.....	69
8.2 Medición de conductividad térmica: Ensayo.....	70
8.3 Medición de conductividad térmica: Resultados y discusiones .....	71

### **Capítulo 9: Estudio económico**

9.1 Inversión en maquinarias y equipos .....	73
9.1.1 Desfibrador mecánico.....	73
9.1.2 Generador Trifásico.....	74
9.1.3 Contenedor.....	75
9.1.4 Generador aire Caliente .....	75
9.1.5 Creación de la empresa.....	75
9.1.6 Certificación del producto .....	76
9.1.7 Estanque.....	76
9.1.8 Bomba.....	77
9.1.9 Camión .....	77
9.1.10 Resumen inversión .....	78
9.2 Costos Variables .....	79
9.2.1 Materia prima .....	79
9.2.2 Adhesivo.....	79
9.2.3 Costos de energía.....	80
9.2.3.1 Desfibrado: .....	81
9.2.3.2 Secado.....	82
9.2.3.3 Transporte.....	86
9.3 Costos fijos .....	89
9.3.1 Sueldos.....	89
9.3.2 Mantención .....	89
9.3.3 Otros .....	89
9.4 Descripción del proceso.....	90
9.5 Resumen costos variables.....	91
9.6 Resumen Costos Fijos .....	92
9.7 Factibilidad económica del proyecto .....	92

## **Capítulo 10: Resultados y comparación**

10.1 Conductividad térmica.....	94
10.2 Durabilidad.....	95
10.3 Efectos ambientales.....	97
10.4 Resistencia al fuego.....	98

## **Capítulo 11: Conclusión**

11.1 Conclusiones y discusión.....	101
------------------------------------	-----

## **Anexos**

Conductividad térmica válida $\lambda$ y densidad aparente $\rho$ de materiales de construcción (Fuente: NCh 853. Of 71).....	103
Normativa de aislación térmica.....	112
Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda (NCh 850 Of 83).....	119
Bono de incentivo a las buenas prácticas agroindustriales.....	132
Fuentes y referencias.....	136

## Índice de tablas

Tabla 1- Capítulo 3.1.1 Cifras de Recolección de RSD en toneladas (Fuente: Héctor Saavedra, Dirección de aseo y ornato de la Ilustre Municipalidad de Concepción).....	Pag. 20
Tabla 2- Capítulo 3.1.2 Composición de los residuos solidos en Concepción (Fuente: Víctor Chávez, Universidad del Bio Bio).....	Pag. 22
Tabla 3- Capítulo 3 Disponibilidad de residuos para el año 2005 en Concepción (Fuente: Propia).....	Pag. 23
Tabla 4- Capítulo 3.3 - Cultivos anuales esenciales año agrícola 2009-2010 (Fuente: INE).....	Pag. 26 y 27
Tabla 5- Capítulo 3.3- Superficie de cereales sembrada según periodo (Fuente: INE).....	Pag. 28
Tabla 6- Capítulo 3.3- Superficie sembrada según diferentes regiones o zonas del país y el tipo de cultivo (Fuente: INE).....	Pag. 29
Tabla 7 – Capítulo 3.3- Superficie sembrada con cereales en región del Maule, del Bio Bio y de la Araucanía (Fuente: INE).....	Pag. 30
Tabla 8 – Capítulo 3.3 - Disponibilidad de rastrojos por hectárea (Fuente: Laboreo y conservación de Suelo- Paola Silva C, Dra. MS. Ing. Agrónomo).....	Pag 31
Tabla 9 – Capítulo 3.3 – Residuos generador por la siembra de cereales (ton) (Fuente: Propia).....	Pag. 31
Tabla 10 – Capítulo 5.1 - Conductividad térmica de aislantes vegetales (Fuente: Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética y norma chilena).....	Pag 40
Tabla 11 – Capítulo 8.1.2 Resumen composición probetas prueba 2 (Fuente: Propia).....	Pag. 66
Tabla 12 – Capítulo 8.1.3 Resumen resultados prueba 2 (Fuente: propia)..	Pag. 67
Tabla 13 - Capítulo 9.1.1 Resumen Inversión (Fuente: propia).....	Pag. 78
Tabla 14 - Capítulo 9.2.3.2 Variación de masa de las probetas respecto al tiempo (Fuente: propia).....	Pag. 83
Tabla 15 – Capítulo 9.4.1 Resumen costos variables (Fuente: propia).....	Pag. 91
Tabla 16 – Capítulo 9.4.1 Resumen costos fijos (Fuente: propia).....	Pag.92
Tabla 17,18 y 19 – Capítulo 9. 7 Resumen análisis factibilidad económica.....	Pag. 92-93

### *Índice de imágenes*

Imagen 1, Capítulo 3 - Generación de residuos solidos en Chile año 2000 al 2009 (Fuente: Primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile.....)	Pag. 18
Imagen 2, Capítulo 3.1 – Tasa anual de generación de residuos solidos municipales por habitante.....	Pag. 19
Imagen 3, Capítulo 3.2 – Generación de residuos industriales por PIB (Fuente: Primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile).....	Pag. 24
Imagen 4, Capítulo 3.3 – Residuos de la construcción en Concepción, calle Rengo con Vicuña Mackenna (Fuente: Propia).....	Pag. 25
Imagen 5, Capítulo 3.3 – Residuos de la construcción en Concepción, calle Alemparte, sector laguna redonda (Fuente: Propia).....	Pag. 25
Imagen 6, Capítulo 3.4 - Rastrojos de maíz.....	Pag. 30
Imagen 7, Capítulo 3.5 - Jerarquía del tratamiento de los residuos (Fuente: Ley 22/2011, España).....	Pag. 31
Imagen 8, Capítulo 4,4 - Casa construida con fardos de paja (Fuente: Documental `Redescubriendo un material antiguo` ).....	Pag. 37
Imagen 9, Capítulo 4.4 - CornBoard, Capítulo 4.4 panel de revestimiento de rastrojos.....	Pag. 38
Imagen 10, Capítulo 5.1.3 Fotosíntesis.....	Pag. 42
Imagen 11, Capítulo 5.1.3.1 – Pavatex o Pavaflex.....	Pag. 43
Imagen 12, Capítulo 5.2.1 – Poliestireno expandido, Bodegas de Sodimac Mall costanera, Concepción (Fuente: Propia).....	Pag. 44
Imagen 13, Capítulo 5.2.1 – Enfermedades asociadas al BPA (Fuente: Documental ``Plásticos, doble filo``).....	Pag. 46
Imagen 14 y 15, Capítulo 6.2 – Densidad de los materiales versus su conductividad térmica (Fuente: Departamento de Construcción Arquitectónica de la Escuela de Arquitectura, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.).....	Pag.49
Imagen 16, Capítulo 7 - Ubicación de la toma de muestras - Google Maps.....	Pag 49
Imagen 17 y 18, Capítulo 7.2 – Pre tratamiento de las fibras (Fuente: Propia).....	Pag. 51
Imagen 19 y 20 , Capítulo 7.3 - Desfibrador Bauer, modelo 148-2.....	Pag. 52
Imagen 21, Capítulo 7.3 - Discos refinadores (Fuente: propia).....	Pag. 53
Imagen 22,23,24 y 25, Capítulo 7.3.1.1 - Rastrojos muestra A mirados en microscopio.....	Pag. 54
Imagen 26,27,28 y 29 Capítulo 7.3.1.2 – Rastrojos muestra C mirados en microscopio.....	Pag 55
Imagen 30 y 31 - Capítulo 7.3.1.3 – Rastrojos muestra C mirados en microscopio.....	Pag 56



Imagen 32 y 33 - Capítulo 7.3.1.4 – Rastrojos muestra D mirados en microscopio.....	Pag 57
Imagen 32 y 33 - Capítulo 7.3.1.4 – Rastrojos muestra D mirados en microscopio.....	Pag 57
Imagen 34,35,36 y 37, capítulo 7.4 – Desfibrado final de rastrojos muestra A (Fuente: Propia).....	Pag. 59
Imagen 38 y 39, capítulo 7.4 – Desfibrado final de rastrojos muestra A (Fuente: Propia).....	Pag. 60
Imagen 40, 41,42 y 43, capítulo 7.4 – Discos rompedores con rastrojos (Fuente: Propia).....	Pag. 61
Imagen 44, Capítulo 8.1.1.2 – Prueba 1, muestra C (Fuente: Propia).....	Pag. 63
Imagen 45,46 y 47, Capítulo 8.1.1.3 –Resultados prueba 1, muestra C (Fuente: Propia).....	Pag. 64
Imagen 48 y 49, Capítulo 8.1.3.2 – Construccion de probetas y secado (Fuente: Propia).....	Pag. 69
Imagen 50 y 51, Capítulo 8.1.3.3 – Resultados de la construcción de probetas (Fuente: Propia).....	Pag. 69
Imagen 52 y 53, Capítulo 8.2 – Lijado y acabado de las probetas (Fuente: Propia).....	Pag. 70
Imagen 54 y 55, Capítulo 8.2 – Ensayo de conductividad térmica según NCh (Fuente: Propia).....	Pag. 71
Imagen 56, Capítulo 9.1.1 – Desfibrador mecánico (Fuente: Catálogo proveedor).....	Pag. 73
Imagen 57 - Capítulo 9.1.2 – Generador Trifásico (Fuente: Catalogo proveedor).....	Pag. 74
Imagen 58 - Capítulo 9.1.4 – Generador aire caliente (Fuente: Catalogo proveedor).....	Pag. 75
Imagen 59 - Capítulo 9.1.8 – Bomba de desplazamiento positivo (Fuente: Catalogo proveedor.).....	Pag. 77
Imagen 60 - Capítulo 9.2.3.3 – Curva modelo Bomba de desplazamiento positivo (Fuente: Catalogo proveedor).....	Pag. 88
Imagen 61 - Capítulo 10.3 – Descomposición gradual de la materia orgánica (Fuente: <a href="http://www.labioguia.com">www.labioguia.com</a> ).....	Pag. 97
Imagen 62 - Capítulo 10.4 – Diseño de experimento de resistencia al fuego (Fuente: propia).....	Pag. 99
Imagen 63, 64 ,65 ,66 ,67 y 68 – Resultados prueba de resistencia al fuego (Fuente: Propia).....	Pag. 100 y 101

# Capítulo 1

---

## 1.1 Introducción

La construcción es una de las actividades más importantes y lucrativas para la economía mundial, consumiendo en la comunidad Europea el 40% de los materiales empleados, esto según el observatorio de la sostenibilidad en España. Por otra parte según el banco central de Chile durante el primer trimestre del 2012, la mayor contribución al crecimiento de la economía provino de la construcción, los servicios empresariales y comercio. Es por este motivo que este es el sector que tiene mayor incidencia en la generación de residuos y liberación de gases de efecto invernadero, puesto que presenta volúmenes de producción con los más altos porcentajes en la mayoría de los países.

Por lo que representa a nivel mundial, la construcción debe presentar una decisión estratégica clara para mejorar la calidad de vida y las economías locales, pudiendo ser el pilar del desarrollo sostenible, entendiendo por desarrollo sostenible a aquel que es socialmente justo, ecológicamente compatible y económicamente viable, consumiendo solo los recursos que necesita, sin poner en peligro los recursos necesarios para el desarrollo de las generaciones futuras.

Toda actividad tendiendo a disminuir la generación de residuos, tiene un enorme impacto asociado a un menor consumo de energía, lo que conlleva a una menor liberación de gases de efectos invernadero, además una menor extracción de recursos de nuestro planeta y disminuye el volumen de basura acumulada, teniendo siempre estas acciones un impacto ambiental positivo.

## 1.2 Origen del tema

Chile actualmente, lidera la producción de basura a nivel latinoamericano, generando más de 6,5 millones de toneladas de residuos al año y reciclando una cifra cercana al 10% aproximadamente. Al año, cada chileno genera 384 Kg solo en residuos domiciliarios según el primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile, siendo la situación en Latinoamérica menos grave, pero no muy lejos de nuestra realidad. Aunque la cantidad de basura que produce Chile es menor que la presentan en promedio los países miembros de la OCDE, no deja de ser preocupante el fuerte aumento que han experimentado estas cifras durante los últimos años, y es de esperar que sigan creciendo a pasos agigantados producto del crecimiento industrial y demográfico que estamos experimentando como sociedad, a menos que se concreten políticas serias para abordar este problema, como es el caso de Argentina, que ya comienza a limitar el uso de bolsas plásticas en farmacias, quioscos o deliverys, para en una segunda etapa incluir a supermercados y autoservicios, los cuales entregaran bolsas verdes y negras, con el objetivo de clasificar los residuos en los hogares de Buenos Aires. Esta iniciativa del país vecino pretende disminuir el consumo de mil millones de bolsas plásticas en su capital a la mitad, además de clasificar los residuos generados por sus habitantes y eliminar por completo los envoltorios no biodegradables, que quedan en el medio ambiente, tardando su descomposición cientos de años. Todo lo anterior está estipulado en la resolución 155/APRA/12 que fue publicado en el boletín oficial de la ciudad porteña.

De esta forma, se pone de manifiesto la necesidad de revalorizar los residuos generados de cualquier actividad.

En Chile de forma anual se comercializan alrededor de 700 mil toneladas de chatarra ferrosa, siendo este material el que presenta un mayor grado de desarrollo junto a los papeles y cartones. Por el contrario, la industria del reciclaje del plástico se encuentra en pañales, siendo este material derivado del petróleo, un recurso limitado, y que tarda cientos de años en descomponerse o simplemente puede considerarse como no degradable, por lo que sus impactos en el medio ambiente son mucho más notorios, de forma que se hace imprescindible promover tratamientos de residuos que permitan su

reutilización, o directamente disminuir la generación de estos, especialmente si son plásticos.

Los residuos generados suelen terminar en los rellenos sanitarios (sitio de disposición final de los residuos) siendo muchos de estos ilegales. Según informes de la CONAMA (Corporación Nacional del Medio Ambiente, actual Ministerio de Medio Ambiente) al año 1993, en la Región Metropolitana se detectaron sobre cien vertederos clandestinos, los cuales no cuentan con las normas mínimas establecidas, causando daños irreparables. Actualmente, según el primer reporte sobre manejo de residuos sólidos en nuestro país sólo el 60% de los residuos sólidos domiciliarios son depositados en rellenos con garantías sanitarias, poniendo de manifiesto el problema de la generación de residuos como un grave problema que se está presentando a nivel global.

### 1.3 Justificación

Uno de los propósitos históricos fundamentales de la construcción, particularmente de las viviendas, es proveer de adecuadas, estables y permanentes condiciones de habitabilidad a sus ocupantes, con prioridad en el confort higrotérmico, requerimiento básico e imprescindible para la actividad humana.

Hoy por hoy, es sumamente importante disminuir los gastos de energía, debido a la escasez de recursos naturales y energéticos disponibles en el planeta. En este sentido, la construcción debe estar inserta en este fenómeno, tomando este sector la iniciativa por ser el sector mayormente responsable, con acciones que ayuden a combatir futuras crisis y problemas asociados a los cambios climáticos.

Dado la disponibilidad de una gran cantidad de residuos provenientes del sector agrícola, domiciliario, entre otros en la región, y atendiendo a la necesidad de reciclar estos para reducir el impacto ambiental, existe la idea de reutilizarlos en el desarrollo de nuevos productos, permitiendo su entrada al mercado como un nuevo elemento, orientado a la maximización de la utilización de los recursos energéticos en el sector constructivo.

Estos argumentos se orientan a la puesta en marcha de la tercera etapa de reglamentación térmica (Ver anexos), que en conjunto a las anteriores, establece parámetros de aislación térmica en ventanas, muros y puertas, entendiéndose por reacondicionamiento térmico todas las acciones tendientes a disminuir el consumo energético. Esto trae un sinnúmero de ventajas, como un mayor confort térmico para los integrantes de la vivienda, una disminución del consumo energético, mejora de la calidad ambiente en el interior, reducción de enfermedades críticas asociadas a los periodos de invierno, entre otras ventajas, lo que permite mayor bienestar y comodidad a los usuarios de la vivienda. Por otro lado, permite una baja en la contaminación ambiental, y también reduce la contaminación intra-domiciliaria cuando se trata de estufas a combustión,

La iniciativa busca bajar los consumos de recursos tanto energéticos como materiales, reutilizando recursos ya disponibles, los cuales serán orientados a las normativas de aislación térmica vigentes en nuestro país.

Existe una clara tendencia, entre los ingresos de los habitantes de un país y la generación de residuos, de forma que, Chile, al fijarse como objetivo ser un país

desarrollado, irá aumentando su generación de residuos de forma considerable, siendo necesario la reutilización de éstos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo general:**

Evaluar la factibilidad del uso de residuos como aislantes térmicos en la construcción de viviendas

### **1.4.2 Objetivos específicos:**

1. Identificar y cuantificar los residuos disponibles para la fabricación de nuevos materiales
2. Seleccionar los materiales a utilizar según parámetros de conveniencia
3. Estudiar en forma experimental las propiedades físicas del material
4. Diseñar un producto prototipo con base en el material seleccionado
5. Comparar las propiedades del material compuesto diseñado con las de otros materiales existentes en el mercado de la construcción.
6. Establecer factibilidad económica para el ingreso de un nuevo producto fabricado con el residuo seleccionado
7. Describir las ventajas asociadas a la fabricación del nuevo producto utilizando el residuo antes mencionado

# Capítulo 2: Residuos y su clasificación

---

## 2.1 Los residuos

Se entiende por residuo toda sustancia u objeto generado por una actividad productiva o de consumo de la cual hay que desprenderse, por no ser de interés directo de la actividad principal, o según lo menciona el primer reporte sobre manejo de residuos sólidos puede entenderse como *sustancia u objeto que: (i) se elimina o valoriza, (ii) está destinado a ser eliminado o valorizado, o (iii) debe, por las disposiciones de la legislación nacional, ser eliminado o valorizado.*

Se puede distinguir en el manejo de los residuos tres etapas principales, los cuales son *su almacenamiento en origen, sistema de recolección y disposición final.* Estas 3 etapas componen a su vez el proceso de recolección, la cual junto a la etapa de procesamiento y manufactura, dan lugar a la práctica del reciclaje.

## 2.2 El reciclaje

Se define el reciclaje como la obtención de materias primas a partir de residuos, para introducirlo en un nuevo ciclo de vida, como por ejemplo utilizar el estiércol (residuo) como abono, aportando nutrientes al suelo.

El reciclaje ha tomado importancia, siendo adoptado en las empresas que ven reflejado en esta actividad su responsabilidad social, lo que ha permitido reducir costos, factor sumamente importante en todo mercado.



## 2.3 Clasificación de los residuos

Los residuos sólidos se clasificaran según su origen y composición de la siguiente forma:

- *Residuos sólidos domiciliarios*, que son producidos en los hogares o establecimientos similares y son depositados en recipientes o sacos destinados y colocados en los lugares señalados de recogida, a excepción de escombros y residuos hospitalarios sin incinerar. Estos residuos están compuestos generalmente por papeles, cartones, envoltorios, bolsas de plástico, vidrios, latas, restos de comida, etc., y eventualmente restos de mobiliario, colchones u otros objetos voluminosos.
- *Residuo sólido comercial*, que son generados en establecimientos comerciales y mercantiles, tales como almacenes, depósitos, hoteles, restaurantes, cafeterías y plazas de mercado. Su composición depende fundamentalmente de la naturaleza y actividad que se desarrolle en los establecimientos. Para el caso de hoteles y restaurantes, predominan los restos de comida, en los supermercados se genera gran cantidad de embalajes plásticos, papel y un bajo contenido de materia orgánica.
- *Residuo sólido institucional*, que son generados en establecimientos educativos, gubernamentales, militares, carcelarios, religiosos, terminales aéreos, terrestres, fluviales o marítimos y edificaciones destinadas a oficinas, entre otros. En su composición se observa un alto porcentaje de papeles y cartones, y un bajo contenido de materia orgánica.
- *Residuo sólido industrial*, que son aquellos derivados de un proceso industrial de producción, mantenimiento de equipos e instalaciones, que se destina al abandono por no ser objeto del proceso productivo. Posee una fracción que es prácticamente común a los demás, residuos de oficina y basura resultante de la limpieza de patio y jardines, mientras que la mayor parte consiste en restos de embalaje, recortes de fabricación, rechazos de control de calidad, residuos de procesamiento, mantención y otros que varía según el tipo de industria, fábricas textiles, tapicerías y talleres mecánicos generan residuos tales como gomas, espuma, trapos, piezas metálicas, entre otros.

- *Residuos de la construcción*, que son básicamente los llamados escombros, originados en actividades relacionadas a la construcción de edificios, casas, caminos, entre otros.
- *Residuo sólido agrícola*, que son los desechos generados en actividades hortofrutícola, ganadera y silvo-agropecuarias.
- *Residuos especiales*, provenientes de artículos manufacturados, electrodomésticos, automóviles, los que son desechados por no cumplir los fines para los que fueron adquiridos o por obsolescencia.
- *Residuos fitosanitarios*, originados por actividades como la industria farmacéutica, la investigación biológica, los análisis clínicos y la actividad hospitalaria. Estos residuos incluyen restos orgánicos, microorganismos y fármacos, microorganismos patógenos y que presenta un riesgo de contagio de enfermedades en las personas.
- *Residuo peligroso*, los cuales pueden causar la mortalidad o enfermedades graves, irreversibles o incapacidades reversibles, como también un daño irreparable al medio ambiente. Los materiales sólidos, viscosos, líquidos y/o gaseosos, contenidos en recipientes que, siendo el resultado de un proceso de producción, transformación, utilización o consumo, su productor destine al abandono y que contengan en su composición sustancias y materias en cantidades o concentraciones tales que representen un riesgo para la salud humana, recursos naturales y/o medio ambiente.

## Capítulo 3: Cuantificación y identificación de los residuos

En el presente capítulo se presenta la información referente a la generación de residuos, disponibilidad y ubicación de los residuos.

En el siguiente gráfico <sup>i</sup> se muestra que la cantidad de residuos sólidos generados en Chile va en crecimiento, principalmente esto a causa del aumento de la población, aumento de la producción industrial, y además, una incipiente tasa de valoración de residuos. Por tanto se entiende este aumento gradual como un grave problema para la disposición o manejo de los residuos.

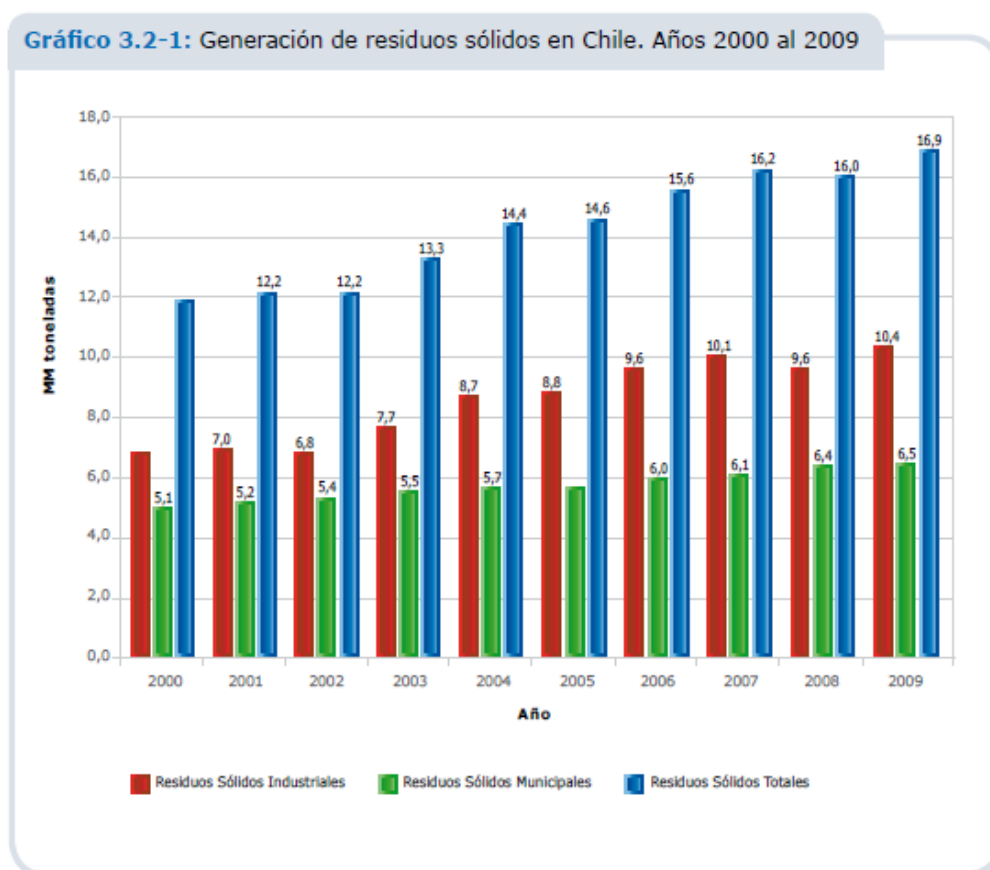


Imagen 1

### 3.1 Residuos Urbanos: domiciliarios, comerciales e institucionales:

Se entenderá como residuos sólidos urbanos al conjunto de los residuos sólidos domiciliarios, comerciales e institucionales, por ser estos similares en su composición, además de ser recogidos y almacenados con los mismos métodos.

Se estima que para el año 2009 a nivel nacional se generaron 6,5 millones de toneladas de residuos sólidos provenientes de los hogares y sus asimilables, como los residuos generados en la vía pública, oficinas, comercio, edificios, instituciones, tales como escuelas, establecimientos públicos, entre otros, según el primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile.

La cantidad de residuos generados aumentan año a año, principalmente por el incremento en el nivel de consumo de bienes, pasando de 326 Kg/habitante el año 2000 a 384 Kg/habitante el año 2009, siendo la de 550 Kg/habitante la cifra promedio que presentan los países integrantes de la OCDE para el mismo año. En el siguiente gráfico se puede observar la evolución de la generación de residuos sólidos por persona:

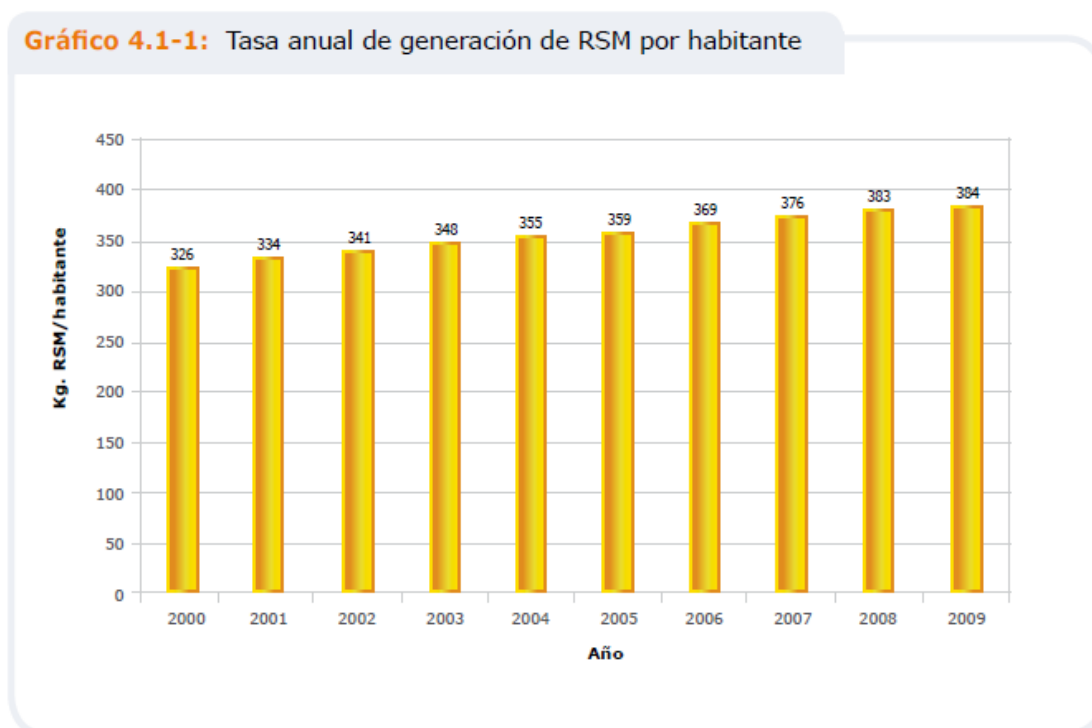


Imagen 2

### 3.1.1 Generación de residuos sólidos municipales en Concepción

Se presenta a continuación en la Tabla 1 las cifras de recolección de basura anual y mensual en la ciudad de concepción, con el fin de estimar la disponibilidad de residuos <sup>ii</sup>

Cifras de Recolección de RSD (Ton)						
Mes	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Enero	5.155,080	6.511,070	6.368,423	6.459,830	6.730,564	7.256,570
Febrero	5.114,900	5.817,724	5.894,464	5.873,467	5.800,570	6.972,376
Marzo	5.130,070	6.467,040	6.380,846	6.196,007	6.838,395	8.125,572
Abril	4.321,510	5.800,310	6.144,138	5.869,078	6.472,919	7.696,400
Mayo	4.922,490	5.567,380	6.281,637	5.987,436	6.098,883	7.340,720
Junio	4.447,380	5.750,200	5.731,061	5.631,328	6.491.585	7.259,840
Julio	4.786,850	6.046,640	5.940,251	6.230,882	7.240.094	7.863,120
Agosto	4.979,210	6.406,800	6.118,602	5.548,206	7.720.595	7.655,498
Septiembre	4.500,780	5.945,470	6.116,452	5.948,563	6.411.149	7.296,510
Octubre	4.954,420	6.532,400	6.661,923	6.528,767	6.511.070	7.414,450
Noviembre	4.798,880	5.557,100	6.017,647	6.165,540	7.208.983	7.626,230
Diciembre	5.540,590	5.645,830	6.166,717	6.398.357	7.462.579	8.469,487
Totales	58.652,16	72.047,96	73.822,16	72.554,64	80.987,38	90.976,77
Promedio mensual	4.887,68	6.003,99	6.151,84	6046,2	6.748,94	7.581,39

Según el ``*Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile - 2010*`, en la región del Bío-Bío se generaron 645.875 toneladas de residuos durante el año 2009, siendo su tasa de crecimiento de un 1% durante los 3 últimos años. De estos, 87.471 toneladas fueron generadas en Concepción, cifra que contrasta con la fuente anterior (90.976,77 para el año 2005). Se considerara la tabla anterior como válida, por tratarse de una fuente mucho más directa.

### 3.1.2 Composición de los residuos sólidos en Concepción

Según los datos obtenidos de un estudio realizado por el profesor de la Universidad del Bío-Bío, Sr. Víctor Chávez (2003), los residuos sólidos de origen domiciliario de Concepción presentan la siguiente composición, según la clase socioeconómica al que la familia pertenezca como se muestra en la Tabla 2:

	Sector alto	Sector medio	Sector bajo
Composición	RSD totales % del Peso	RSD totales % del Peso	RSD totales % del Peso
Papeles	4,36	2,77	2,10
Cartones	26,29	12,17	6,28
Metales	1,52	2,98	3,55
Vidrios	3,92	2,36	1,80
Plásticos	29,67	12,6	6,38
Textiles	2,36	4,62	5,50
Orgánicos	29,22	57,29	68,19
Otros	2,66	5,21	6,21
	100,00	100,00	100,00

Considerando, que la composición de los residuos en Concepción se mantendrá relativamente constante, y asumiendo que el grueso de la población pertenece a la clase media, además que los valores que la composición de los residuos de esta clase siempre están entre la clase alta y baja, y utilizando los valores de recolección de RSD del año 2005 (90.976,77 ton), podemos señalar, que la cantidad de residuos disponible es la siguiente según la Tabla 3:

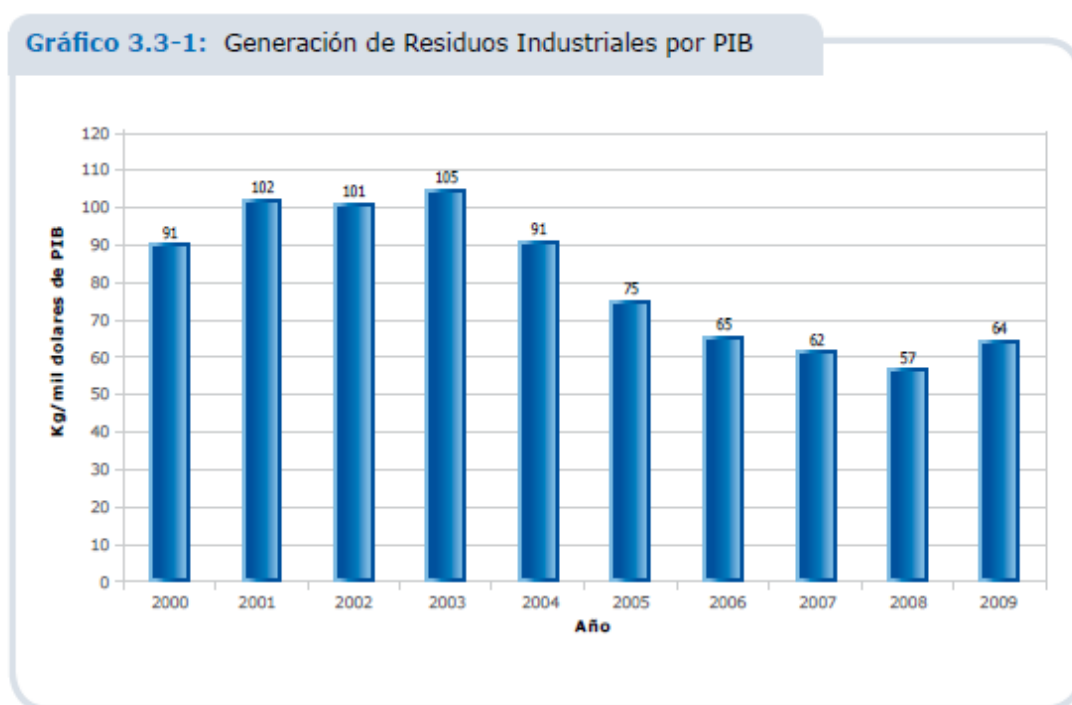
Disponibilidad de residuos para el año 2005 en Concepción	
Residuo	Disponibilidad (ton/año)
Papeles	2.520
Cartones	11.071
Vidrios	2.147
Plásticos	11.463
Textiles	4203



## 3.2 Residuos Industriales

En cuanto a los residuos sólidos industriales, existen prácticas de producción limpia con base en la implementación de normas ISO 14.00, por lo que se espera una reducción en la generación de residuos a futuro por parte de este sector.

Esta tendencia ya se ve reflejada al comparar la ``Evaluación del desempeño ambiental Chile, OCDE, 2005`` que presenta un indicador que relaciona la generación de residuos industriales respecto al producto interno bruto, que muestra el promedio para los países miembros de la OCDE de 60 Kg/1000 dólares de PIB al año 2005. Para el mismo año, en Chile este indicador tenía un valor de 75Kg/ 1000 dólares, es decir, un 25% superior. Se muestra a continuación el gráfico que presenta la evolución de este indicador:



**Imagen 3: Generación de residuos industriales por PIB**

### 3.3 Residuos de la construcción

Los residuos de la construcción, son aquellos que se producen durante la construcción, ampliación, renovación, reparación y demolición de edificios residenciales o no residenciales, puentes, calles, canales de riego, diques, etc.

Estos residuos son considerados como inertes, pues se considera que no generan impacto ambiental adverso, como el vidrio, los áridos, u otro, puesto que no tienen transformaciones físicas, biológicas o químicas significativas en el tiempo.

Aunque también aquí existen presentes materiales peligrosos, como solventes, pinturas, alquitrán, amianto, tintas, etc. los que suelen pasar inadvertidos, terminando en vertederos municipales o directamente en



lugares inapropiados, generándose constantemente mini vertederos ilegales, como es el caso de la imagen adjunta.

**Imagen 4: Residuos de la construcción - calle Alemparte, sector laguna redonda / Fuente: Propia**

A pesar que como residuos sus impactos pueden no ser tan altos, sí lo es la extracción de recursos naturales, pues esta actividad presenta grandes volúmenes de consumo de materiales. Se cita el caso de España, que produce 35 millones de toneladas de residuos de la construcción al año., lo que permitiría cubrir 90 veces una cancha de futbol como el Nou Camp con una altura de 25 metros<sup>iii</sup>, siendo en Chile la cifra bastante menor, del orden de las 3,5 millones de toneladas<sup>iv</sup>.



**Imagen 5: Residuos de la construcción - Rengo con Vicuña Mackenna / Fuente: Propia**

Según el documental ``Redescubriendo un material antiguo``, en Alemania se utilizan cada año hasta 800 millones de toneladas de materiales de construcción minerales. En este país cada año se derriban casi 10.000 casas, generándose alrededor de 80 millones de toneladas de escombros anuales.

### 3.4 Residuos Agrícolas

Estos materiales se consideran orgánicos, y presentan valores de densidades entre los 150 a 200  $Kg / m^3$  kg <sup>v</sup>.

En la región del Bio Bio y la Araucanía, se estima que entre el 80 y 90% de los residuos son quemados<sup>vi</sup>.

Se adjunta la Tabla 4 con los cultivos anuales esenciales<sup>vii</sup>:

<b>Cultivos anuales esenciales año agrícola 2009-2010</b>				
Tipo	Especie	Superficie sembrada (ha)	Producción (qqm)	Rendimiento promedio (qqm/ha)
Cereales	Trigo Blanco	246.951	14.067.995	57
	Trigo Candeal	17.353	1.171.218	67,5
	Avena	75.873	3.808.527	50,2
	Cebada	16.854	973.698	57,8
	Centeno	1.456	47.735	32,8
	Maíz	122.547	13.579.209	110,8
	Arroz	24.527	946.725	38,6
	Triticale	20.963	1.289.509	61,5
	Otros cereales	2.001	-	-

<b>Cultivos anuales esenciales año agrícola 2009-2010</b>				
<b>Tipo</b>	<b>Especie</b>	<b>Superficie sembrada (ha)</b>	<b>Producción (qqm)</b>	<b>Rendimiento promedio (qqm/ha)</b>
<b>Leguminosas y tubérculos</b>	Poroto	13.512	234.193	17,3
	Lenteja	1.222	7.191	5,9
	Garbanzo	1.885	29.888	15,9
	Arveja	2.481	22.896	9,2
	Chícharo	190	2.988	15,7
	Papa	50.771	10.813.492	213,0
	Otros	36	-	-
<b>Industriales</b> Son aquellas especies que para su aprovechamiento ó uso deben someterse a un proceso industrial previo. (Maravilla, raps, remolacha, tabaco, etc.)	Maravilla	3.053	79.715	26,1
	Raps	10.983	439.337	40,0
	Remolacha	16.264	14.206.681	873,5
	Tabaco	2.509	79.495	31,7
	Lupino	29.887	737.066	24,7
	Tomate Industrial	6.244	4.507.293	721,9
	Otros	6.528	-	-

Como se observa en la tabla, los cultivos con mayores superficies plantadas son los cereales, los cuales alcanzaron un total de 528.525 hectáreas sembradas, de estos destacan principalmente 2, el trigo, con 246.951 hectáreas sembradas, y en segundo lugar el maíz, con 122.547 hectáreas sembradas.

Se adjunta Tabla 5, conforme a lo señalado en el párrafo anterior una tabla que muestra la superficie sembrada según periodo<sup>viii</sup>:

Periodo	Superficie de cereales sembrada (ha)
2000-2001	<b>645.413</b>
2001-2002	<b>664.664</b>
2002-2003	<b>684.613</b>
2003-2004	<b>707.803</b>
2004-2005	<b>687.128</b>
2005-2006	<b>594.962</b>
2006-2007	<b>503.190</b>
2007-2008	<b>572.743</b>
2008-2009	<b>578.083</b>
2009-2010	<b>528.525</b>

Se observa que la siembra de cereales va en disminución en ciertos periodos, lo cual se puede explicar por el aumento del rendimiento en la siembra o baja rentabilidad.

Se muestra a continuación la Tabla 6 con la superficie sembrada en diferentes regiones o zonas del país, según el tipo de cultivo<sup>ix</sup>:

Región	Total	Cereales	Leguminosas y tubérculos	Industriales
Coquimbo	6.177	2.680	3.497	-
Valparaíso	5.379	3.503	1.719	157
RM	27.537	23.302	3.944	291
O`Higgins	72.477	66.149	1.864	4.464
Maule	116.221	89.955	12.862	13.404
<b>Bio Bio</b>	<b>154.730</b>	<b>117.839</b>	<b>15.492</b>	<b>21.399</b>
<b>La Araucanía</b>	<b>265.258</b>	<b>212.531</b>	<b>18.895</b>	<b>33.832</b>
Los Ríos	33.952	28.000	3.839	2.113
Los Lagos	34.315	22.361	8.063	3.891

Como se ve en la tabla, la superficie de mayor cultivo en nuestra región y las regiones aledañas, son los cereales, concentrándose gran parte de la producción entre la Región del Bío-Bío, Región de la Araucanía y la Región del Maule.

Al ser estas 3 regiones las que presentan mayor superficie plantada de cereales, se presenta en ellas una mayor disponibilidad de residuos, los cuales dependerán del tipo de cereal plantado. Se muestra a continuación en la Tabla 7, la cual presenta el tipo de cereal sembrado, correspondiente a las 3 regiones con mayor superficie sembrada<sup>x</sup>:



**Imagen 6: Rastrojos de maíz**

Región	Superficie sembrada con cereales (ha)								
	Total	Trigo	Avena	Cebada	Centeno	Arroz	Maíz	Triticale	Otro
Maule	89.955	30.927	2.848	638	-	20.851	34.676	-	15
Bio Bio	117.839	70.966	23.532	3.180	10	4.209	12.514	3.224	204
Araucanía	212.531	115.572	66.079	11.854	138	-	445	18.204	239

Para conocer la cantidad de residuos disponibles, se adjunta la Tabla 8 que nos entrega la cantidad de rastrojos (todo el material que queda en el lugar de la siembra, incluyendo los restos de maleza- ODEPA) por hectárea, según el tipo de cereal sembrado, además de su relación carbono/nitrógeno, que es un indicador para medir que tan difícil es la descomposición del rastrojo en nuestro caso<sup>xi</sup>:

Cereal	Cantidad (Ton/ha)	Relación carbono/nitrógeno	Observaciones
Maíz	10-20	90/1	Difícil descomposición
Raps	5-10	50/1	Menor problema desc.
Leguminosas	3-7	30/1	Fácil descomposición
Trigo y otros cereales	5-10	60/1	Difícil descomposición

Se presenta la Tabla 9, con los residuos disponibles en mayor cantidad por región, según el tipo de cereal, considerando el valor más bajo según la tabla anterior para la cantidad de residuos por hectárea<sup>xii</sup>:

Residuos generador por la siembra de cereales (ton)			
	Cereal		
Región	Trigo	Avena	Maíz
Maule	154.635	14.240	346.760
Bio Bio	354.830	117.660	125.140
Araucanía	577.860	330.395	4.450
Total	1.087.325	462.295	476.350

Como se ve en la tabla, existe gran cantidad de rastrojos, aunque estos no siempre estarán disponibles, dado que existen métodos (como cero labranza), aunque se estima que se presentan en gran cantidad.

El método cero labranza consistente en poner directamente la semilla de los cultivos sobre el suelo, sin remover los residuos del cultivo anterior. En Chile la superficie sembrada con cero labranza se ha estimado en 200.000 ha concentradas entre la VIII y IX Región. Las ventajas de esta técnica son muchas e incluyen reducción en el



uso de combustible y de mano de obra, reducción del uso de insumos, reducción de la erosión, aumento significativo en el carbono orgánico del suelo (COS). El aumento del COS mejora la calidad del suelo. Las desventajas que presenta este método es que dificulta la siembra, intensifican los problemas de alelopatía (inhibición del crecimiento que provoca una planta sobre otra debido a la liberación de compuestos químicos) lo que produce la reducción de la germinación, menor desarrollo radicular, plantas con menor vigor, etc. Estas desventajas se deben a la liberación de ácidos fenólicos (que provocan balances hormonales, y alteran la permeabilidad de las membranas de la planta) y ácidos hidroxámicos.

### 3.5 Resultados y discusión

Dada la recolección de los residuos disponibles, y considerando la facilidad para recoger el material, el costo al cual se puede conseguir, la cantidad, se presentan comentarios de todos los residuos antes expuestos:

*Residuos sólidos urbanos:* Estos residuos, a pesar de presentar gran disponibilidad, ya tienen un costo asociado, dado su difícil recolección, existiendo un mercado ya competitivo en las grandes ciudades del país.

*Residuos industriales:* no serán considerados, pues como se menciono anteriormente, existen acuerdos internacionales que promueven la disminución de estos y normalmente cuentan con un plan de manejo, por lo cual debiesen ser reciclados o correctamente almacenados por las industrias productoras.

Por otro lado, aunque presentan facilidad para recogerlo, siempre tendrá un costo monetario asociado.

*Residuos especiales, biosanitarios y peligrosos.* que por su condición se asocian a tratamientos que consideren métodos complejos, ya sea químicos, biológicos, u ambos, no serán considerados. Por otro lado, no se consideraron los residuos forestales pues su utilización como biomasa va en crecimiento, siendo estos residuos ya valorizados.

*Residuos agrícolas:* debemos señalar que esta de manifiesto el interés por desarrollar alternativas a la quema de rastrojos, principalmente por la liberación de gases de efecto invernadero que estos presentan cuando son quemados, generando riesgos de incendio, pérdida de recursos para el agricultor y además por ser un problema para el agricultor a la hora de volver a plantar.

Al existir una gran disponibilidad de rastrojos, tanto de trigo (1.087.325 ton), avena (462.295 ton) y maíz (476.350 ton) entre las regiones del Maule, Bio Bio y la Araucanía, se entiende que cualquier cereal presentara un universo de materia prima lo suficientemente grande como para cualquier actividad innovadora.

Por otro lado, del total de los residuos agrícolas, el rastrojo de maíz es aquel que presenta mayor relación Carbono/ Nitrógeno. Esto implica que es el material más difícil de descomponer, siendo este material el escogido para fabricar un nuevo material.

Otra razón para seleccionar éste como la materia prima indicada, es su baja densidad, lo que asocia una baja conductividad térmica, que es lo que deseamos.

Por otro lado, si nos guiamos por la ``Jerarquía del tratamiento de los residuos``, presente en la ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados en España, donde se establece que la opción mas conveniente es la prevención, que básicamente consiste en no generar residuos, es decir que nuestros residuos sean orgánicos, y completamente biodegradables.

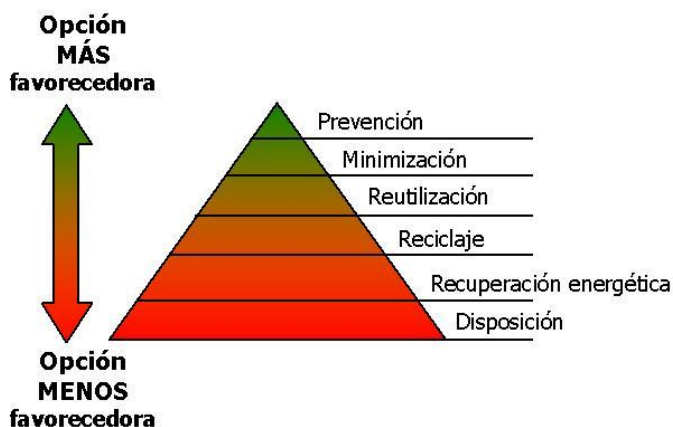


Imagen 7:II

# Capítulo 4: Antecedentes específicos

---

## 4.1 Cultivo de maíz

El maíz en Chile representa una importante actividad en las regiones del Maule, Bio Bio y de la Araucanía, presentando grandes superficies cultivadas con este cereal.

En Chile el cultivo de maíz se inicia desde Septiembre incluso hasta Diciembre, cosechándose este en Febrero, Marzo o Abril, según sea la finalidad del cultivo, existiendo 3 principales tipos de cultivo, que son cultivo para ensilaje o forraje para los animales, cultivo semillero o cultivo para grano de choclo, siendo este ultimo el que abarca mayores superficies de cultivo.

## 4.2 Quema de rastrojos

Desde 1980, el decreto 276 autoriza la quema de residuos agrícolas para deshacerse de estos. Esta alternativa está siendo fuertemente cuestionada, por los daños ambientales que genera, no solo en el aire, por la liberación de material particulado, sino que en el suelo, pues provoca en este la muerte de la microfauna y flora existente en el, volatilizandando materia orgánica necesaria para mantener la vida y generando un incremento de la erosión.

Como lo señala el vicedecano de la facultad de ciencias agronómicas de la Universidad de Chile, la forma más rápida, fácil y barata de deshacerse de los rastrojos es quemándolos, aunque para esta práctica nunca se considera el costo ambiental. Según se estima, para el año 2009 la cantidad de hectáreas quemadas 219.000 en nuestro país<sup>xiii</sup>.

En estos casos, CONAF juega un rol fundamental, siendo la institución encargada de regular estas prácticas, poniendo a disposición información de otros métodos que pudiesen usar los agricultores, pero dado los elevados costos de estos , pocas veces son aplicados, como lo señala Fernando Maldonado, jefe de prevención de incendios forestales de CONAF:

La política de Conaf es entender que el fuego es una herramienta para uso y tareas tanto agrícolas como forestales, pero la política es controlarlo y administrarlo. La

idea es ir restringiéndolo. Incluso cuando un interesado en usar el fuego para manejo de desechos va a la oficina de Conaf, se le dice que trate de usar otras alternativas.

Lo cierto es que en Chile, cerca del 80 o 90% de los rastrojos para el trigo de pan son quemados en la región del Bio Bio y la Araucanía<sup>xiv</sup>, lo que se traduce en la liberación de gases y material particulado, siendo estas quemas autorizadas por carabineros o CONAF. Las alternativas implementadas por agricultores para sembrar sin quema después del cultivo del trigo fueron las siguientes:

- Se deja el rastrojo en el potrero para el consumo animal y luego de 2 ó 3 años se siembra nuevamente,
- El rastrojo se hilera, dejando aproximadamente 2,5 ton/ha sobre el suelo y luego se siembra
- Todo el rastrojo se deja sobre la superficie y luego se “mezcla” con suelo con una pasada muy superficial de arado cincel y luego se siembra,
- Todo el rastrojo se pica y luego con la aplicación de 30 mm de suplementación hídrica y maquinaria apropiada se incorpora

De la misma fuente anterior, se cita textualmente:

*“Es difícil que agricultores que cultivan más de 10 has de trigo eliminen en el corto plazo la quema de rastrojos, debido al desconocimiento e inseguridad de obtener buenos resultados. Se requiere en el inter tanto que la mayoría de los productores conozcan normas y técnicas avanzadas de las quemas y los daños que estas producen a la salud, así como las normas internacionales sobre esta materia. Los productores demandan resultados de trabajos de investigación sobre manejo de rastrojos en temas específicos e integrados a los sistemas productivos a mediano y largo plazo, con evaluación económica de los mismos.”*

### 4.3 incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos

La ley 20.412 establece un sistema de incentivos para la sustentabilidad agroambiental de los suelos mediante diferentes prácticas que serán fomentadas por el estado. Se adjuntan en los anexos documentos de estado, donde señalan prácticas agrícolas bonificadas, todas incentivando con aporte monetario la no quema de estos residuos agrícolas. Estas bonificaciones permiten adquirir la materia prima a mucho menor costo para la producción de cualquier producto a base de los rastrojos, dado que se premia al agricultor por no quemarlas. Dentro de estas prácticas de manejo de rastrojos se nombran el *acondicionamiento de rastrojo de cereal*, *acondicionamiento de rastrojo de maíz*, *fraccionamiento de rastrojo* e *incorporación de rastrojo*.

### 4.4 Construcción utilizando residuos agrícolas

Los residuos agrícolas han sido utilizados desde hace mucho tiempo en la construcción. En Chile el adobe fue un material recurrente en tiempos pasados, aunque este material ya no representa una buena alternativa, y fue fuertemente reemplazado por otros materiales como el cemento y/o ladrillo. Lo cierto es que en internet se pueden encontrar métodos similares, aunque más elaborados para la construcción de casas. Esta técnica desarrollada por colonos estadounidenses en el siglo XIX, en el estado de Nebraska, que diseñaron métodos que utilizan fardos de paja como si fuesen ladrillos, y posteriormente se da un revoque de una mezcla de arcilla, arena y a veces paja. Aunque parezca increíble. Según el documental ``Redescubriendo un material antiguo`` se han encontrado viviendas de estas características del año 1925, y señalan que los residuos agrícolas serán el material del futuro.

En Alemania existen pioneros de la construcción, como esta casa unifamiliar, a cargo del arquitecto Dirk Scharmer, quien ha realizado diversos ensayos a este material, tanto de conductividad térmica y de resistencia al fuego,



obteniendo resultados exitosos.

**Imagen 8: Casa construida con fardos de paja / Fuente: Documental ``Redescubriendo un Material Antiguo``**

Por otro lado, un equipo de la *Universidad de Illinois* creó un tablero compuesto a base de rastrojos de maíz que puede ser utilizado como material de revestimiento en la construcción e incluso para la fabricación de muebles. Este tablero se hace llamar CornBoard y señalan que con media hectárea de rastrojos podrían construir el revestimiento necesario del techo, paredes y suelo para una casa de 2 plantas. Más información se puede encontrar en [www.cornboardmanufacturinginc.com](http://www.cornboardmanufacturinginc.com)



**Imagen 9: CornBoard**

## 4.5 Petróleo

El petróleo es una mezcla homogénea de compuestos orgánicos, de origen fósil, y fue creado por la transformación de materia orgánica, las cuales fueron depositadas en grandes cantidades bajo pesadas capas de sedimentos, los cuales permanecieron millones de años allí, sujetos a distintos procesos físicos y químicos.

Según el doctor Collin Campbell (Association For the Study of Peak Oil and Gas - ASPO) la question es simple:

*``A pesar de buscar en todo el mundo con todos los avances tecnológicos conocimientos, incentivos, etc. hemos encontrado menos y menos petróleo durante 40 años, y en 1981 hubo un punto de inflexión, cuando empezamos a gastar más de lo que encontrábamos en los nuevos yacimientos, extrayendo lo que se había descubierto en el pasado, de modo que no existe ninguna duda de que estamos cerca de un vuelco para la humanidad, cuando esa energía crítica para la agricultura que significa alimentos, significa gente, empiece a declinar.*

*Hay un gran debate sobre la fecha exacta o la altura pico de la producción, pero eso no hace la cuestión, no importa si este año, el próximo o dentro de 5. Lo que importa es que luego de ese pico comenzaremos a declinar un 2% o 3% por año, pero hay una diferencia enorme entre trepar por 150 años y descender otros 150 años.``*

Según la Revista Índice, el 40% del consumo energético mundial está siendo generado por el petróleo. Aunque esta cifra pudiese ser cubierta por otras fuentes de energía, el petróleo esta presente como material en casi todos nuestros productos, sobre todo en la industria alimenticia como envoltorio, y aunque muchos expertos señalan que el mundo no se esta quedando sin petróleo, esta afirmación tiene poca persistencia en el tiempo.



## CAPITULO 5: AISLANTES TÉRMICOS

---

Los aislantes térmicos son materiales usados en la construcción y caracterizados por su alta resistencia al paso de calor, estableciendo una barrera entre dos ambientes que naturalmente tienden a igualar sus temperaturas.

### 5.1 Aislantes térmicos naturales

Considerar el uso de aislantes térmicos naturales es una atractiva oferta para cualquier país, dado que además de considerar criterios de eficiencia energética, se utilizan criterios medioambientales, por tanto se combinan materiales y técnicas de construcción eficaces. Por otro lado, las fuentes naturales de recursos pueden considerarse sustentables ya que siempre estarán presentes y disponibles a ser utilizadas. Este motivo nos indica que debe existir un fuerte desarrollo en el sector de la eco construcción. Esto contrasta con muchos de los materiales de construcción presentes hoy en el mercado, siendo el amianto y la urea-formaldehído y sus derivados, causantes de graves problemas a la salud de las personas y del planeta.

Se adjunta la Tabla 10 con las conductividades térmicas de algunos aislantes térmicos naturales<sup>xv</sup>:

Material	Conductividad W/(mK)
Celulosa	0,38-0,45
Paja	0,37-0,61
Lino	0,37-0,42
Cáñamo	0,04-0,094
Lana de oveja	0,04-0,067

### **5.1.1 Aislantes térmicos naturales reciclados**

Una de los aislantes térmicos usados es la celulosa reciclada de papeles de diarios molidos y/o triturado, Este puede ser usado mediante el método de soplado, o como plancha semirrígida. Esta opción se presenta en forma similar pero con residuos textiles, comúnmente de mezclilla, pudiéndose considerar natural al ser hecho de la fibra de algodón.

### **5.1 2 Aislantes térmicos naturales de origen animal**

Por otro lado existen aislantes térmicos provenientes del reino animal, específicamente la lana de oveja, las plumas de pato y otras aves. Esta práctica es poco recomendable, dada las escasas propiedades que suelen presentar al paso de la humedad.

### **5.1.3 Aislantes térmicos naturales de origen vegetal**

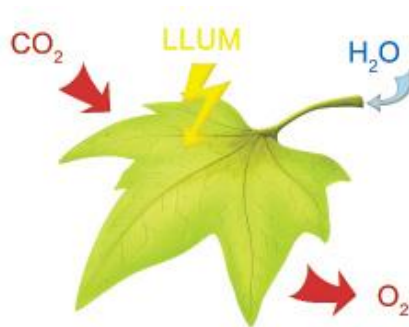
En cuanto a aislantes de origen vegetal, estos son los que presentan mayor producción. Se pueden producir usando como materia prima el cáñamo, lino, algodón, bambú, coco, madera, totora, entre otros, siendo su abundancia la principal característica.

Una ventaja fundamental que presentan los aislantes térmicos vegetales, es que su materia prima puede ser producida en cualquier lugar del mundo. La globalización de los mercados puede considerarse como un beneficio, sin embargo el impacto medioambiental del transporte de carga en grandes distancias no es benéfico. De esta forma, mover la materia prima hacia la planta procesadora, para finalmente ser llevada hasta el consumidor hace que la huella ecológica del producto aumente.

Cuando los aislantes térmicos vegetales cumplen su ciclo, estos pueden ser reciclados, incinerados, enterrados, o combinación de varios procesos. Sin embargo, esto dependerá de la composición del aislante, pudiendo este presentar aditivos para entregarle propiedades ignifugas, insecticidas, fungicidas, mecánicas, etc. En este contexto, difícilmente pudiese incinerarse un material con alto contenido de material

ignífugo, y pudiese causar problemas al ser enterrado. De la misma forma, si el material redujo sus propiedades aislantes en el tiempo, difícilmente pudiese este reciclarse.

Por otro lado, las plantas al hacer reaccionar el dióxido de carbono con el agua absorbida y la energía proveniente del sol, obtienen los carbohidratos necesarios para su crecimiento, liberando al ambiente oxígeno. Es por este motivo que el balance de emisiones de dióxido de carbono de los aislantes orgánicos siempre será menor respecto a los aislantes sintéticos.



**Imagen 10: Proceso de fotosíntesis**

### 5.1.3.1 Pavatex o Pavaflex

Uno de los aislantes térmicos naturales hecho de madera, es el Pavaflex o Pavatex (se pueden ver mas información en [http://www.mikewye.co.uk/NBT\\_Pavaflex\\_insulation.pdf](http://www.mikewye.co.uk/NBT_Pavaflex_insulation.pdf)). Si establecemos como patrón de comparación la energía adicionada, y asumiendo condiciones de transporte y envasado similar, se sabe que para llegar a producir fibra de madera, la energía necesaria en el desfibrado de la madera será inmensamente superior a la que necesitamos para lograr producir fibra de rastrojo de cualquier cereal, por ser este un material mucho más blando.



**Imagen 11: Pavatex o Pavaflex**

## 5.2 Aislantes térmicos sintéticos

Existe una amplia gama de aislantes térmicos sintéticos, de entre los que destacan la espuma de polietileno, espuma de poliuretano, lana de roca, lana de vidrio, Poliestireno expandido, etc. Siendo estos últimos tres los más utilizados.

### 5.2.1 Poliestireno expandido

Por otro lado, está el poliestireno expandido, uno de los aislantes más usados en la construcción, la cual junto al embalaje absorben 3/4 partes de su producción total. Este material derivado del petróleo, se produce mezclando estireno y pentano como agente expansor, los cuales al entrar en contacto con vapor se expande en bolitas ligeras, pudiendo almacenar un 98 % de aire en su interior.



**Imagen 12: Poliestireno expandido, Bodegas de Sodimac  
Mall costanera, Concepción /Fuente: Propia**

### 5.2.1.1 Proceso de manufactura

Como derivado del petróleo, debemos señalar que este es un recurso finito, no renovable, y tiene un alza constante de precios (para más detalles ver capítulo 4.4). En el proceso de manufactura, el estireno, su componente básico, que genera irritación en la piel, ojos, vías respiratorias y efectos gastrointestinales adversos. Su exposición prolongada genera síntomas de fatiga, dolor de cabeza, daños en el sistema nervioso central. La EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos) y la agencia internacional de investigación de cáncer (IARC) lo consideran como posible cancerígeno.

Por otro lado, en 1992, el departamento del trabajo de los Estados Unidos intento emitir una ley para limitar la exposición al estireno de los trabajadores de la industria a un máximo de 50 PPM.

### 5.2.1.2 Proceso de almacenamiento o disposición final

El poliestireno expandido como residuo no es biodegradable, y se estima que incluso en 1.000 años este material pudiese ser encontrado intacto, pero también es ventajoso, puesto que mantiene sus propiedades intactas por largos periodos de tiempo<sup>xvi</sup>.

Al ser incinerado, se pudieron identificar 57 subproductos de la combustión, entre ellos dioxina, monómeros de estireno y BPA, esto según el Centro de Estándares para la investigación del Fuego de EUA, a pesar que estos al ser altamente inflamables generalmente usan pirotardantes para cumplir con las normativas de incendios deseadas.

Se estima que el 30% del volumen de la basura en los estados unidos es poliestireno expandido proveniente de envases de almacenamiento de alimentos, ya sean vasos, platos o bandejas<sup>xvii</sup>. Por otro lado, se estima que en Brasil el uso de poliestireno expandido aumento un 30% para el primer semestre del año 2010. En este país, la construcción absorbió un 40% del total de la producción de poliestireno expandido, que correspondió a 60.000 toneladas en el año 2009<sup>xviii</sup>.

Según el documental ``Ocean of plastic`` cada kilometro cuadrado de mar contiene 74.000 piezas de plástico, y solo en el mediterráneo viajan a la deriva alrededor de 3 millones de toneladas de basura, siendo el 80% plásticos. Estos generan impactos gigantescos, impidiendo por una parte la fotosíntesis de las plantas que habitan el lecho submarino, y por otra parte, generando la muerte de animales marinos por la ingesta de éstos, o por estrangulamiento, provocando muertes de 100.000 mamíferos acuáticos y más de un millón de aves marinas. Por otro lado, un factor importante a considerar es que la luz y el oxígeno son dos componentes vitales para la descomposición de cualquier material, estando estos dos ausentes en zonas de demasiada profundidad.

Chile no está exento de este problema. Recientemente el documental ``Plástico: Doble filo`` disponible en [www.youtube.com](http://www.youtube.com), expone la situación, explicando como un bebé puede conocer el plástico antes que la leche materna. Sólo en un km cuadrado del océano pacífico se han hallado cerca de 1 millón de trozos de plástico. Estos al descomponerse en el océano, liberan bisfenol A o BPA y partículas derivadas del estireno.

Según el documental de TVN, existen estudios que relacionan el BPA con diversas enfermedades, tales como el cáncer a la próstata, cáncer de mamas, pubertad temprana, fibroides uterinos, abortos, ovarios poliquísticos, malformación en el pene, diabetes tipo 2, déficit atencional y autismo.



**Imagen 13: Enfermedades asociadas al BPA / Fuente: Documental ``Plásticos, doble filo``**

El BPA es ingerido por el ser humano al consumir productos del mar, contaminado por nuestros mismos residuos plásticos, los cuales son acumulativos en la cadena trófica, Es decir, existe una transferencia tanto nutritiva como toxica proveniente de los productos extraídos del océano.

# CAPITULO 6: HIPÓTESIS

---

## 6.1 Planteamiento de la hipótesis

Para dar inicio a la fase experimental, debemos comprobar si los rastrojos de maíz presentan una conductividad térmica lo suficientemente baja como para considerarlo aislante, de esta forma, nuestra hipótesis será la siguiente:

*``Los rastrojos de maíz presentan buenas propiedades de aislación térmica ``*



## 6.2 Refuerzo de la hipótesis

Para reforzar la idea anterior, se muestran los siguientes gráficos obtenidos del Departamento de Construcción Arquitectónica de la Escuela de Arquitectura, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.

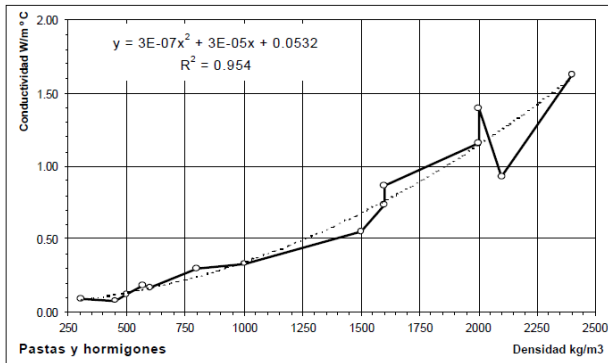


Imagen 14

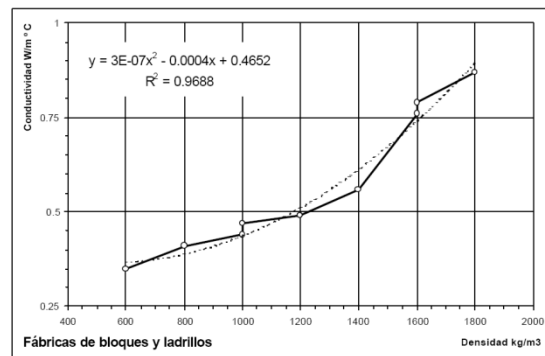


Imagen 15

De estos gráficos se puede establecer una relación proporcional entre la densidad del material y su conductividad térmica, aunque para rangos de densidad sobre 250 Kg/m<sup>3</sup>.

Es por el motivo señalado, que mientras más liviano sea un material, menor densidad tendrá, esto asocia una mayor capacidad de almacenamiento de aire en su interior o posee una gran porosidad, lo que disminuye considerablemente su conductividad térmica. Caso contrario es el de un material compacto o de alta densidad, los que tienden a presentar mayor conductividad térmica debido a que no almacenan aire en sus espacios interiores.

## CAPITULO 7: FASE EXPERIMENTAL

En este capítulo se aborda lo referente a la caracterización del material, como del proceso necesario para procesar el material, las normas utilizadas, los métodos, materiales y todos los detalles relevantes, que podrán conducir a evaluar tanto la factibilidad técnica como económica para el desarrollo del proyecto.

### 7.1 Toma de muestras

Todas las muestras fueron recogidas del camino que une la ciudad de Los Ángeles con Nacimiento, en la Octava Región, Chile, como se muestra en la imagen destacada con amarillo.

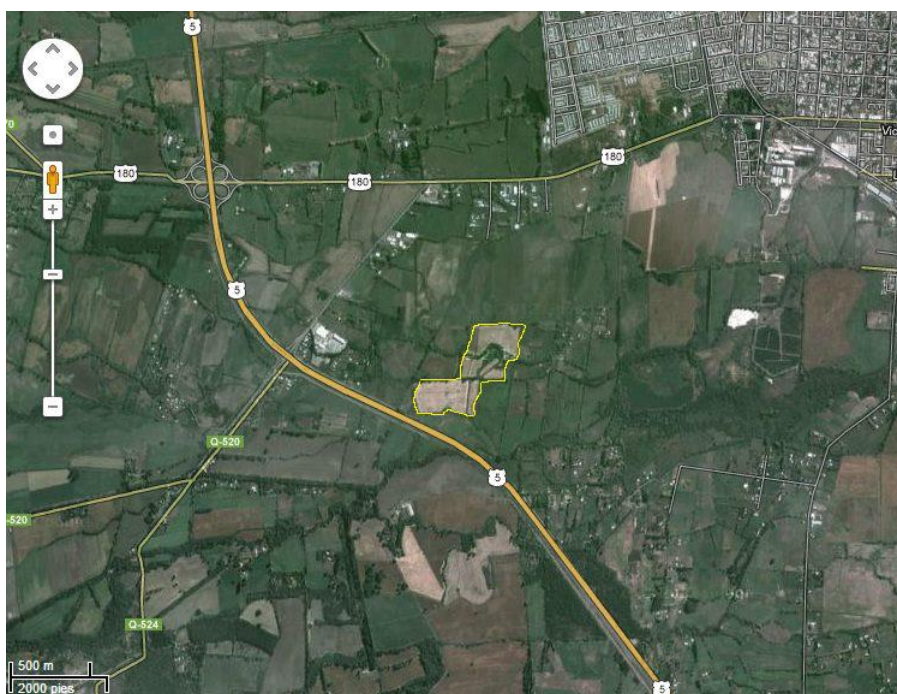


Imagen 16: Ubicación de la toma de muestras – Google Maps

### **Materiales**

- Hacha
- Saco

### **Métodos**

Los rastrojos fueron cortados desde la base mediante una pequeña hacha, para luego ser depositados en sacos para ser transportados hacia Concepción. Se recolectaron en total 13 Kg de residuos, los cuales fueron picados en trozos más pequeños de aproximadamente 3 a 5 cm.

## 7.2 Pre tratamiento de las fibras

Para definir el pre tratamiento de las fibras, fue necesario analizar la tesis ``Pre-Treatment of Flax Fibers For Use in Rotationally Molded Biocomposites`` del departamento de agricultura de la Universidad de Saskatchewan, Canadá, la cual habla de los pre tratamientos aplicados a la fibra de lino. Estos procesos permiten mejorar propiedades mecánicas, resistencia a la absorción de humedad, entre otros. De estos procesos, destacan la mercerización, tratamientos con silano, peróxidos o benzoilación.

De esta forma, y basándose en los resultados expuestos en la tesis, se diseñaron 4 muestras distintas, las cuales se señalan a continuación:



**Imagen 17: Pre tratamiento de las fibras**  
/Fuente: Propia



**Imagen 18: Pre tratamiento de las fibras**  
/Fuente: Propia

Muestra	Pre Tratamiento
a	Esta muestra fue sumergida en una solución acuosa al 15% de NaOH durante 2 horas
b	Esta muestra fue sumergida en una solución acuosa al 15% de NaOH durante 17 horas
c	Esta muestra fue sumergida en agua durante 2 horas
d	Esta muestra no fue pre tratada.

### 7.3 Desfibrado de los rastrojos

El proceso de desfibrado consiste en desarmar las fibras de un vegetal, para así conseguir en este caso, propiedades uniformes del material.

Para el proceso de desfibrado de los rastrojos, se realizó una evaluación experimental con pequeñas cantidades de rastrojo de las muestras señaladas anteriormente.



Imagen 19: Desfibrador Bauer, modelo 148-2 / Fuente: Propia

Este proceso se realizó en el departamento de Ingeniería Química, de la Universidad de Concepción, siendo utilizado un desfibrador Bauer, modelo 148-2, con una velocidad nominal de 3.000 RPM, siendo los discos de 8".

Se debe señalar que en este proceso, existen tanto discos refinadores como discos rompedores, siendo su única diferencia el ángulo y el espesor de los dientes del disco, de forma que con discos refinadores se consigue generalmente un refinado más fino, y con los discos rompedores puede conseguirse un refinado más basto o directamente sólo triturar el material, dependiendo de la composición de éste. Por otro lado, la separación entre discos se limita el paso de la fibra, y este fue calibrado en función del ruido y las vibraciones del desfibrador, según la experiencia del operario.



Imagen 20: Desfibrador Bauer, modelo 148-2 / Fuente: Propia

*Desfibrado Muestra A*

Esta muestra fue refinada con 2 milésimas de pulgada de separación entre discos, utilizando discos rompedores

*Desfibrado Muestra B*

Esta muestra fue refinada con 2 milésimas de pulgada de separación entre discos, utilizando discos rompedores

*Desfibrado muestra C*

Esta muestra fue refinada con 5 milésimas de pulgada de separación entre discos, utilizando discos rompedores.

*Desfibrado Muestra D*

Para esta muestra se utilizaron discos rompedores, con una separación de 5 milésimas de pulgada entre discos.



**Imagen 21, Discos refinadores /Fuente: propia**



### 7.3.1 Resultados

Para evaluar los resultados, las muestras fueron puestas a 103 °C en una estufa, durante 4 horas, para luego ser observadas con un microscopio Olympus 5Z61, el que cuenta con cámara Micro Publisher 3,3 RTV.

La temperatura escogida fue de 103°C para quitar completamente la humedad de las fibras.

#### 7.3.1.1 Muestra A:

Estas imágenes fueron observadas con un zoom de 4X Y teñidas con safranina I



Imagen 22 / Fuente: Propia

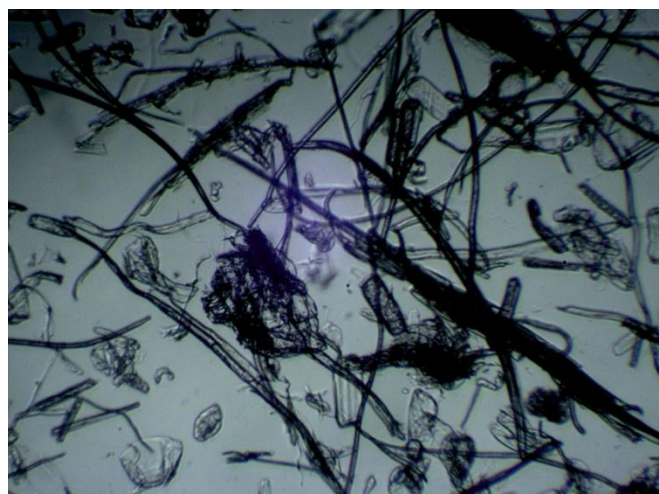


Imagen 23 / Fuente: Propia

Estas imágenes fueron obtenidas con un zoom de 2X

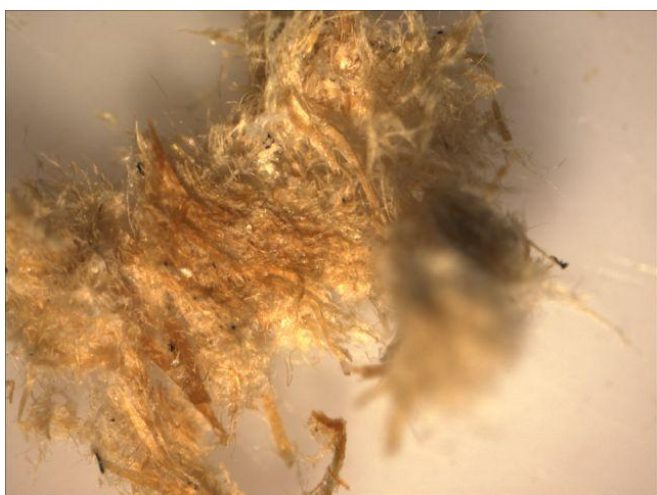


Imagen 24 / Fuente: Propia



Imagen 25 / Fuente: Propia

### 7.3.1 .2 Muestra B:

Estas fueron observadas con un zoom de 4X y teñidas con safranina.

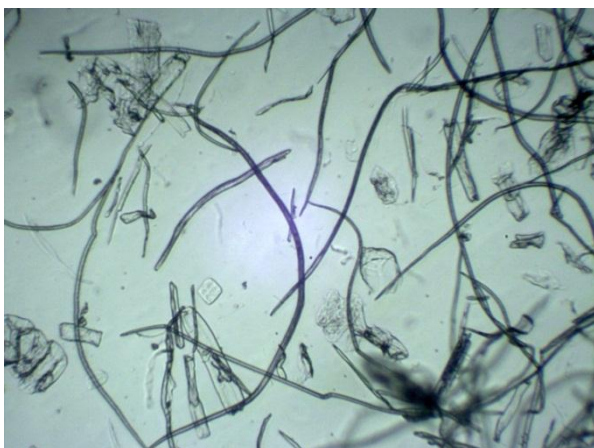


Imagen 26 / Fuente: Propia

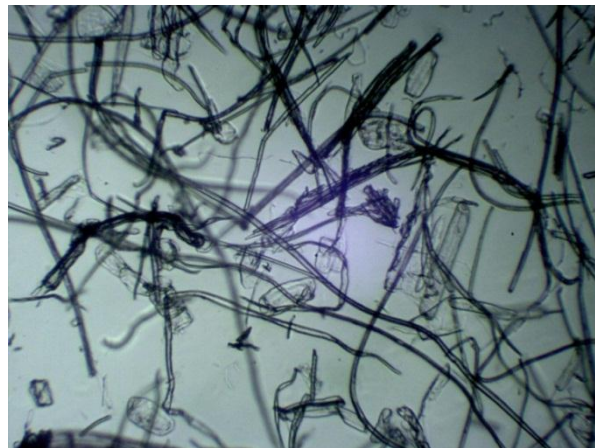


Imagen 27 / Fuente: Propia

Estas imágenes fueron obtenidas con un zoom de 2X



Imagen 28 / Fuente: Propia

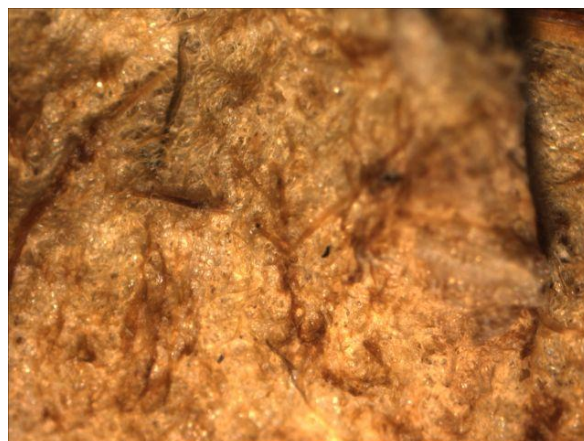


Imagen 29 / Fuente: Propia



### 7.3.1.3 Muestra C

Estas fueron observadas con un zoom de 4X y teñidas con safranina.



Imagen 30 / Fuente: Propia

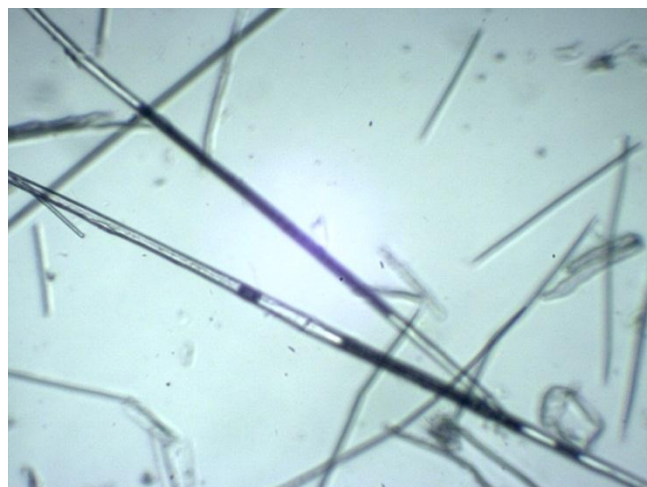


Imagen 31 / Fuente: Propia

### 7.3.1.4 Muestra D

Esta muestra fue observada con un Zoom de 2X.



III / Fuente: Propia



Imagen 33 / Fuente: Propia

En el caso de las muestras A y B, se consigue un material poroso y liviano. En el caso de la muestra C se consiguió una especie de viruta de rastrojo con similares características.

## 7.4 Conclusiones y discusión

Se puede observar, a grandes rasgos, que no existió mayor diferencia entre la muestra A y B, al menos desde el aspecto visual. Por otro lado se observa que la muestra C presenta fibras largas y rectas. En el caso de la muestra D, no se consigue el objetivo, pues la muestra no fue desfibrada de forma pulcra, asimilándose el proceso al de una molienda.

Es por el motivo antes señalado, que se seguirán usando las muestras A , por considerar un tiempo de macerado en soda cáustica menor, conveniente para un posible proceso industrializado, siendo esta su ventaja fundamental sobre la muestra B. Por otra parte, la muestra C también muestra características interesantes, al conseguirse un desfibrado uniforme y adecuado, siendo una opción conveniente de desarrollar.

Finalmente, se desfibraron 13 Kg de rastrojos, separados en tres recipientes con cantidades iguales., de los cuales dos fueron similares a la *muestra C*, es decir, macerados en agua durante dos horas, y un recipiente similar a la muestra A, es decir, macerados en una solución de soda cáustica al 15 %.

Se adjunta a continuación las imágenes del proceso final de desfibrado

**Muestra A**

Masa = 8,6 Kg



**Imagen 34 / Fuente: Propia**



**Imagen 35 / Fuente: Propia**



**Imagen 36 / Fuente: Propia**



**Imagen 37 / Fuente: Propia**



**Muestra B**

Masa= 4.4 Kg



**Imagen 38 / Fuente: Propia**



**Imagen 39 / Fuente: Propia**

Del proceso de desfibrado, se pudo además demostrar la gran resistencia mecánica que poseen las fibras, pues estas no cedieron a las grandes tensiones aplicadas por los discos refinadores, como se puede ver en las imágenes, por lo que se puede inferir gran cantidad de aplicaciones en otros campos.



**Imagen 40 / Fuente: Propia**



**Imagen 41 / Fuente: Propia**



**Imagen 42 / Fuente: Propia**



**Imagen 43 / Fuente: Propia**

# Capítulo 8: Propiedades físicas del material

---

Se entenderá esta etapa como de caracterización, en la cual se conocerán las propiedades del material. En este caso particular, es de interés desarrollar un material aislante conforme a nuestros objetivos, por lo que su principal propiedad física es la conductividad térmica.

## 8.1 Medición de conductividad térmica

Esta probeta debe ser cuadrada, de 30x30 cm, con un espesor de entre 1 a 5 cm, con caras planas y paralelas, según lo establece la norma chilena 850 Of 83 ``Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda`` (Ver anexo).

Para la construcción de las probetas, se evaluarán distintos métodos, siendo la principal variable a considerar el adhesivo a utilizar, si es que fuese necesario, y en qué porcentaje.

## 8.1.1 Construcción de probetas: Prueba 1 - Muestra C

### 8.1.1.1 Materiales:

- 2 placas de masisa contrachapada
- 4 tornillos
- Rastrojos de maíz desfibrados

### 8.1.1.2 Métodos

Los trozos de maderas fueron perforados en las 4 esquinas, y atravesados en cada uno de ellos con un perno, sujeto a una tuerca hexagonal en el otro extremo. Se dejó de separación interior 1,5 mm, equivalente al espesor de la probeta. Luego se introdujeron los rastrojos previamente lavados, provenientes de la muestra C en su interior, para luego llevarlo a la estufa por 24 horas, a una temperatura de 100°C.

Es importante señalar que los trozos de madera contrachapada fueron perforados en 7 puntos, con el objetivo de permitir la salida del agua en el proceso de secado.



Imagen 44/ Fuente: Propia



### 8.1.1.3 Resultados

De los resultados obtenidos se puede inferir principalmente que:

Se debe añadir un adhesivo al material, pues este presenta escasas propiedades mecánicas, pues este se deshace al manipularlo, como se ve en la imagen adjunta:



Imagen 45/ Fuente: Propia



Imagen 46/ Fuente: Propia

Para el proceso de secado, se debe contar con una mayor área disponible por donde pueda liberarse agua al ambiente. Así mismo, no pueden utilizarse moldes de madera, pues estos pierden sus propiedades dimensionales ante la presencia de humedad.



Imagen 47/ Fuente: Propia

## **8.1.2 Construcción de probetas: Prueba 2 - Muestra C**

Dado los resultados de la prueba 1, y considerando todos los desaciertos, es necesario considerar ahora la adición de adhesivos que mejoren las propiedades mecánicas del sólido final. Es por este motivo que se analizarán 4 muestras distintas, con diferentes porcentajes de adhesivos, y de forma empírica desarrollar alguna de estas 4 alternativas.

En cuanto a la selección del adhesivo, se utilizara PVA del tipo D4, principalmente por ser este biodegradable, no cancerígeno (como la urea formaldehído) y soluble en agua, siendo esta última propiedad la más importante, pues nos facilita la obtención de una mezcla homogénea.

### **8.1.2.1 Materiales:**

- Hojas de oficio
- Rastrojos de maíz desfibrados
- PVA tipo D4

### 8.1.2.2 Métodos

Se tomaron 4 muestras de rastrojos, cada una con una masa de 50 gramos de rastrojo húmedo, las cuales fueron mezcladas con PVA.

A la primera muestra se le añadieron 3 gr de PVA, disueltos en 20 ml de agua, a la segunda muestra, 5 gr de PVA, disueltos en 20 ml de agua, a la tercera muestra se le añadieron 10 gr de PVA disueltos en 20 ml de agua, y finalmente a la cuarta muestra, se le añadieron 15 gr de PVA. La información anterior se resume en la Tabla 11:





Item	Muestra			
	1	2	3	4
Masa PVA	3	5	10	15
Volumen de agua (ml)	20	20	20	20
Masa de rastrojos húmedos	50	50	50	50
Masa mezcla (gr)	73	75	80	85
Masa final	11.2	12.8	17.6	21.3

Finalmente cada una de las muestras fueron homogéneamente mezcladas, y puestas en la estufa por 24 horas a 100 °C, pues esta temperatura permite quitar la humedad existente en el material.

### 8.1.2.3 Resultados:

Al quitar las muestras de la estufa, se observa que no existe diferencia a simple vista, siendo todas visualmente idénticas. La diferencia solo es apreciable al tacto, puesto que a mayor cantidad de adhesivo, la muestra presenta notoriamente más resistencia mecánica. De aquí podríamos suponer que a mayor porcentaje de adhesivo añadido, se conseguirán mejores propiedades mecánicas. De todas formas las fibras de las muestras se encuentran plenamente aglomeradas, pudiendo manipularse sin que estas se rompan o sufran daños.

Se adjunta Tabla 12 con las masas finales de las muestras al quitarlas de la estufa:

	<b>Muestra</b>			
	1	2	3	4
<b>Masa final</b>	<b>11.2</b>	<b>12.8</b>	<b>17.6</b>	<b>21.3</b>
<b>Imagen</b>				

Por los resultados obtenidos, y considerando que las propiedades mecánicas no son de interés desarrollarlas, es que se seleccionó la muestra con menor porcentaje de adhesivo. Esta decisión se fundamenta en el costo del adhesivo, puesto que mientras menos utilizamos, menor será el costo final de un potencial producto con salida al mercado. Es por este motivo que la muestra 1, con una razón de 3 gr por cada 50 gr de rastrojo húmedo es aquella que se desarrollara.

### 8.1.3 Construcción de probetas: Prueba 3 - Muestra C

Esta prueba es el desarrollo de las pruebas hechas previamente, siendo el resultado de todos los ensayos experimentados con la muestra C. Como se mencionó anteriormente, esta probeta será construida con una razón de 3 gr de adhesivo (PVA tipo D4) por cada 50 gr de rastrojos húmedos.

#### 8.1.3.1 Materiales

- Rastrojos desfibrados
- 2 placas planas de metal, de 40x40 cm
- Adhesivo PVA tipo D4
- Espátula
- Topes de 1,5 cm

#### 8.1.3.2 Métodos

Dada la necesidad de construir probetas de 30x30, con un espesor que se definió arbitrariamente de 1,5 cm (Ver anexo NCh 850 Of 83), se estimó una cantidad necesaria de 1300 gr de rastrojo húmedo, el cual fue mezclado con 78 gr, según la razón de adhesivo / rastrojo seleccionado en la prueba 2.

El adhesivo y los rastrojos fueron homogéneamente mezclados, para luego, mediante las 2 placas metálicas, separadas por los topes, darles la forma adecuada, con dimensiones aproximadas de 32x32x1,5 cm para finalmente retirar la placa metálica superior para permitir la evacuación de agua. Utilizando una espátula se intentó aplanar la cara superior.

Esta muestra fue puesta en una estufa a una temperatura constante de 100°C por 8 horas, tiempo en el cual se pudo eliminar el agua existente en el material.



Imagen 48 / Fuente: Propia



Imagen 49 / Fuente: Propia

### 8.1.3.3 Resultados

De esta prueba se pudo conseguir una probeta sólida, con baja densidad. Su masa final fue de 1804 gr. Por tanto, es posible mediante este método fabricar la probeta para realizar el ensayo de conductividad térmica.



Imagen 50 / Fuente: Propia



Imagen 51 / Fuente: Propia



## 8.2 Medición de conductividad térmica: Ensayo

Para ensayar el material, se utilizaron las probetas obtenidas de la prueba 3. A estas probetas se les cortaron los bordes irregulares, y su superficie fue mejorada por una lija para madera número 60, mediante una lijadora eléctrica, como se adjunta en la figura.



Imagen 52 / Fuente: Propia



Imagen 53 / Fuente: Propia

Las probetas fueron puestas en una estufa, para llevarlas a peso seco (sin humedad en su interior), como lo estipula la norma chilena (Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda (NCh 850 Of 83). Para ver más detalles se puede consultar el anexo.

Las pruebas fueron hechas en el CITEC (Centro de investigación y tecnologías de la construcción) de la Universidad del Bío-Bío.

Se adjuntan imágenes en las cuales se pueden ver las probetas con sus transmisores de temperatura adheridos a su superficie.



Imagen 54 / Fuente: Propia

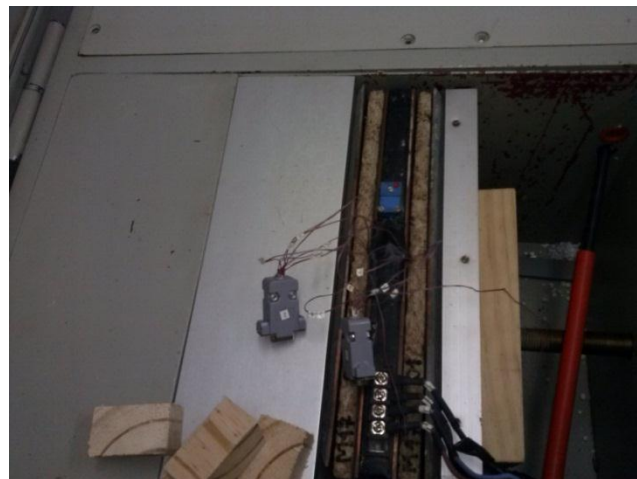


Imagen 55 / Fuente: Propia

### 8.3 Medición de conductividad térmica: Resultados y discusiones

De los ensayos se puede establecer señalar, con un total de 18 mediciones, que la conductividad térmica promedio es de  $0.032 \text{ W/(mK)}$ , siendo el valor más alto  $0.033 \text{ W/mK}$  obtenido al principio del ensayo, y el valor más bajo de  $0.030 \text{ W/(mK)}$ , siendo éste obtenido aproximadamente 8 horas más tarde. Por otro lado, la medición de densidades secas arrojó como resultado un valor mínimo de  $115.73 \text{ Kg/m}^3$ , y máximo de  $135 \text{ Kg/m}^3$ , tal diferencia se puede explicar por la irregularidad de la materia prima. Para ver más detalles se puede consultar anexo.

De esta forma, se puede señalar que para el método empleado el material presenta una conductividad térmica propia de un material aislante, por lo que se valida la hipótesis. Como parámetros se puede consultar el Anexo: Conductividad térmica  $\lambda$  y densidad aparente  $\rho$  de materiales de construcción según el cual, la conductividad térmica del aislante más vendido en nuestro país (poliestireno expandido) es  $0.036 \text{ W/mK}^{\text{xix}}$ , para una densidad  $10 \leq \rho \leq 16 \text{ Kg/m}^3$



## **CAPÍTULO 9: ESTUDIO ECONÓMICO**

---

El presente capítulo tiene como finalidad estudiar la rentabilidad económica de la inversión del proyecto, para el cual se considerara una planta piloto de pequeña escala (ver diagrama del proceso en el capítulo 9.4). Se considerara una vida útil del proyecto de 10 años.

## 9.1 Inversión en maquinarias y equipos

Se muestra a continuación los equipos necesarios para operar una planta piloto a pequeña escala y sus costos asociados.

### 9.1.1 Desfibrador mecánico

Modelo: ZDP11C-250

Origen: China

Diámetro de los plastos: 250 mm

Capacidad: de 3 a 10 ton/día (se considerara mínima capacidad)

Potencia: 7,5 a 3 kW (Se considerara máxima potencia de funcionamiento)

Peso: 300 Kg

Dimensiones: 1140x450x480 mm

Diámetro de entrada de la fibra: 3 pulgadas

Precio CIF (Cost insurance freight o costo+seguro+flete): USD 2.200 (Hasta puerto de Talcahuano)

Se debe considerar el derecho ad valorem (6% sobre el precio CIF), y finalmente el IVA, dando un valor final de \$1.387.540.

*Obs: Se consideró un valor de \$500 el USD.*



Imagen 56 / Fuente: Catalogo proveedor

## 9.1.2 Generador Trifásico

Modelo: KDE12STA3

Potencia máxima: 10,5 kW

Velocidad nominal: 3000 RPM

Dimensiones: 135x79x84 cm

Peso en seco: 310 Kg

Combustible: Diesel

Tiempo de funcionamiento en continuo:

7,5 horas

Precio: \$ 2.371.407 CLP + IVA.

Precio final: \$2.821.974



Imagen 57 / Fuente: Catalogo proveedor

Más antecedentes:

[http://www.chileherramientas.cl/prestashop/product.php?id\\_product=52](http://www.chileherramientas.cl/prestashop/product.php?id_product=52)

### 9.1.3 Contenedor

Se considerará un contenedor básico, el cual será acondicionado con bandejas para el secado de la fibra mediante los gases de combustión provenientes del generador, mas el calor aportado por el generador de aire caliente. Su valor final considera el valor del contenedor como el acondicionamiento de éste. Además, se considerará un contenedor el cual será utilizado como oficina, con el mismo valor.

Precio unitario: \$ 1.500.000

Precio final: \$ 4.500.000

### 9.1.4 Generador aire Caliente

Modelo: Spit Fire DC 25-90

Capacidad térmica: 23130-90.000 Kcal/h (26.8-104.5 KW)

Caudal de Aire m<sup>3</sup>/h 500 4500

Consumo combustible a máxima capacidad: 9,73 litros/hora

Tipo de combustible: Diesel

Capacidad del estanque: 145 litros

Peso: 105 Kg

Precio: \$1.390.000 + IVA

Precio final: \$1.654.100



Imagen 58 / Fuente: Catalogo proveedor

### 9.1.5 Creación de la empresa

Se considerara un valor total de \$500.000 por conceptos de creación de la empresa.

### **9.1.6 Certificación del producto**

La certificación de nuestro producto tiene un valor de 5 UTM en el CITEC, por lo cual, si consideramos un valor equivalente de una unidad tributaria mensual de \$40.000 (Para noviembre del 2012 es de \$39.996), la certificación tendrá un valor de \$200.000.

### **9.1.7 Estanque**

Se consideraran un estanque de 22.000 litros el primero, y 10.000 litros el segundo, ambos de polietileno lineal LLPD. El primero será cargado plenamente con fibra, la cual será macerada en agua durante la noche, para luego refinarla, siendo luego depositada en el segundo estanque.

El costo total de los estanques es de \$ 4.332.302 siendo INFRAPLAST la empresa vendedora.

## 9.1.8 Bomba

Motobomba Waukesha USA

Descripción

- Motobomba Sanitaria positiva por pistón circunferencial
- Marca Waukesha Cherry-Burrell USA
- Modelo 060 Universal 1,
- Rotores Twin, wing Alloy #88 Tolerancias F.F. 104°C Max.
- Cuerpo y tapa acero inoxidable Calidad 316L
- Sello Simple Mecánicos
- Elastómeros en Buna
- Caudal 7m<sup>3</sup>/h
- Presión max.13,8bar
- Conexiones 2 1/2



Incluye

- Base omega en acero inoxidable calidad 304 en 6mm
- Motorreductor de 7,5hp 480Rpm salida 50Hz
- Patas regulables altura
- Puesta en marcha
- Garantía por 12 meses a partir de su entrega

Precio \$4.800.000+IVA

Precio final \$ 5.712.000

Además, se considerara, por concepto de cañerías, uniones y montaje, un costo adicional de \$1.000.000.

## 9.1.9 CAMIÓN

Se considerará un camión que permita el transporte y logística necesaria para la planta, ya sea desde el transporte de fibras, equipos e insumos. El valor del camión se estimo en \$12.000.000.

### 9.1.10 Resumen inversión

En resumen se presenta la Tabla 13, con los costos asociados a la inversión:

<b>Equipo</b>	<b>Precio final</b>	<b>Otros costos asociados ( otros)</b>	<b>Total</b>
Desfibrador ZDP11C-250	\$1.378.540	\$ 200.000	\$ 1.578.540
Generador Trifásico	\$2.821.974	\$ 200.000	\$ 3.021.974
Contenedor	\$4.500.000	\$ 500.000	\$ 5.000.000
Generador aire caliente	\$1.654.100	\$ 200.000	\$ 1.854.100
Creación de la empresa	\$500.000	-	\$ 500.000
Certificación	\$ 200.000	-	\$ 200.000
Estanques	\$ 4.332.302	\$ 500.000	\$ 4.832.302
Bomba	\$ 5.712.000	\$ 1.000.000	\$ 6.712.000
Camión	\$12.000.000	\$300.000	\$12.300.000
<b>Total</b>			<b>\$ 35.998.916</b>

## 9.2 Costos Variables

### 9.2.1 Materia prima

Por considerarse los rastrojos de maíz como un residuo, se consideraran costos por hectárea de \$100.000, el cual considere la recogida y picado de los rastrojos, que normalmente tiene un precio de mercado cercano a los \$30.000, y la diferencia se considerará por los costos asociados al agua, puesto que el agricultor cuenta con los recursos instalados. Es decir, en este supuesto consideraremos contar con el servicio de arriendo de maquinaria al agricultor para la recogida y picado, y además al agricultor recibirá un dinero por la venta de sus residuos. Es importante señalar que existen bonos del gobierno, específicamente otorgados por el servicio agrícola y ganadero (SAG) que promueven la no quema de rastrojos, otorgando al agricultor dinero por evitar malas prácticas en el manejo de sus residuos (Ver anexos).

Del capítulo 3, página 30, la cual nos dice que cada hectárea genera 5 toneladas como mínimo de rastrojos de maíz, podemos señalar que el costo unitario del Kg de rastrojos será de 20\$/Kg (caso más desfavorable). De esta forma, como nuestra producción será de 7,7 metros cúbicos al día, o lo que es el equivalente a 1 tonelada diaria. Por ende, nuestros costos por materia prima serán de \$20.000 diarios.

### 9.2.2 Adhesivo

De la fase experimental, sabemos que por cada 1300 gr de rastrojo húmedo al 620% en base seca, hemos utilizado una cantidad de promedio de 78 gr de PVA.

$$1300gr_{\text{rastrojo húmedo}} + 78 gr_{\text{PVA}} \rightarrow \text{probeta } 180 gr$$

De esta forma, como la masa final de nuestra probeta al salir de la estufa en promedio fue de 180 gr, y si consideramos que la masa de PVA se mantuvo constante, tenemos que por cada 180 gr (o 1.38 litros) consumimos una cantidad de 78 gr. De esta forma, el consumo será de 56.33 gr de PVA por cada litro producido. Luego, nuestra producción será de 7.7 m<sup>3</sup> al día, por tanto, el consumo será:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Adhesivo}} &= 56.33 \frac{\text{gr PVA}}{\text{litro aislante}} \cdot 7.7m^3 \cdot 1000 \frac{\text{litros}}{m^3} \\ &= 433.766,6 gr \text{ o } 433.7 Kg/\text{día} \end{aligned}$$



De esta forma, si consideramos un costo de 1.8 USD/Kg de PVA , nuestros costos por adhesivo serán de:

$$Costos_{adhesivo} = 433.7 \frac{kg}{día} \cdot 1.8 \frac{USD}{kg} \cdot 500 \frac{\$}{USD} = \$390.330 \text{ el día}$$

### 9.2.3 Costos de energía

En nuestro proceso, existen 3 procesos en los que se concentra el consumo de energía: el proceso de desfibrado, transporte y el proceso de secado. Estos procesos se realizarán en puntos distantes a una red de energía trifásica, por tanto en la mayoría de los casos será necesario utilizar un generador. Esto conlleva una gran ventaja, puesto que los gases de combustión del generador pueden ser utilizados en el proceso de secado. Para estos cálculos, consideraremos siempre una densidad promedio de  $130 \frac{Kg}{m^3}$ , y una humedad en base seca del 620% (puesto que, cada probeta perdió en promedio 1120 gr de agua, obteniéndose una masa final de 180 gr.).

Para evaluar los costos de energía consideraremos un turno de 8 horas, usando petróleo diesel, para el cual se consideró un poder calorífico inferior (PCI) de 10.133 Kcal/Kg o 42355,94 KJ/Kg, y una densidad de 0,833 Kg/L, de conformidad a la norma chilena Nch 62. 1998 ([http://www.e-seia.cl/archivos/A2.13.\\_TDS\\_Diesel\\_B.pdf](http://www.e-seia.cl/archivos/A2.13._TDS_Diesel_B.pdf))

### 9.2.3.1 Desfibrado:

$$N_{\text{desfibrador}} = 7.5 \text{ kW}$$

$$\text{Energía}_{\text{Turno}} = N \cdot t = 7,5 \text{KW} \cdot 8 \text{horas} = \frac{60 \text{KWh}}{\text{dia}}$$

*Obs: el desfibrador operara solo 8 horas diarias*

Dado el rendimiento a máxima potencia del generador de un 31% (Ver capítulo 9.2.3.2). De esta forma si consideramos este rendimiento constante tenemos:

$$\eta = \frac{N_{\text{generador}}}{\dot{m}_{\text{combustible}} \cdot PCI}$$

$$0,31 = \frac{7,5 \text{KW}}{\dot{m}_{\text{combustible}} \cdot 42355,94 \text{KJ/Kg}} \rightarrow \dot{m}_{\text{combustible}} = 5,71 \cdot 10^{-4} \text{Kg/s}$$

$$= 2,056 \text{Kg/h}$$

Finalmente, como el tiempo de operación es de 8 horas, nuestro consumo será:

$$\text{Consumo}_{\text{combustible}} = \dot{m}_{\text{combustible}} \cdot t = \frac{2,056 \text{Kg}}{h} \cdot 8h = 16,45 \text{Kg}$$

Luego

$$\text{Densidad} = \frac{m}{v}$$

$$0,83 \text{ Kg/L} = \frac{16,45 \text{Kg}}{V} \rightarrow V = 19,82 \text{ litros}$$

Si consideramos un precio del petróleo de \$650 por litro, el costo de energía asociado al consumo energético en el proceso de desfibrado del rastrojo del maíz es de \$ 12.883 en un turno de 8 horas.

### 9.2.3.2 Secado

El proceso experimental utilizamos una estufa Binder modelo ED 115, la cual según catálogo presenta una potencia de 90 W a 70 °C, y un consumo de 300 W a 150 °C para una temperatura ambiente promedio de 25 °C. Esta cuenta con un método de secado por convección natural y un volumen interior de 115 litros. En nuestro caso, la temperatura de secado fue de 100°C, de modo que al interpolar tenemos que la potencia para esa temperatura será de:

$$\frac{300 - 90}{150 - 70} = \frac{N_{100^{\circ}\text{C}} - 90}{100 - 70} \Rightarrow N_{100^{\circ}\text{C}} = 168,75 \text{ W} = 0,1687 \text{ kW}$$

En esta estufa, pudimos secar 4 probetas con un espesor de 1,5 cm y con una masa final equivalente de 0,54 Kg en un tiempo de 8 horas. Si consideramos una densidad constante de 130 Kg/Kg/m<sup>3</sup> tenemos un volumen equivalente de 0,00554 m<sup>3</sup>. Finalmente si establecemos una relación constante entre el volumen de sólido húmedo y la energía utilizada en el proceso de secado, podemos afirmar que el consumo volumétrico específico de energía es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Consumo}_{\text{Vol.especifico}} &= \frac{\text{Energía}}{\text{Volumen}_{\text{Sólido Húmedo}}} = \frac{N \cdot t}{V} = \frac{0,1687 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h}}{0,00554 \text{ m}^3} \\ &= 243,7 \text{ kWh/m}^3 \end{aligned}$$

Durante las pruebas experimentales, se midió la variación de masa de las probetas, estos datos se adjuntan a continuación en la Tabla 14 (es importante señalar que siempre se respetó la proporción de adhesivo):

Variación de masa de las probetas respecto al tiempo				
Probeta	Masa inicial (t=0 h) (gr)	Masa (t=2 horas) (gr)	Masa (t=4 horas) (gr)	Masa final (t=6 h) (gr)
1	1482	898	318	178
2	1360	783	218	189
3	1410	837	259	183
4	1400	826	247	185

Luego, el consumo será de  $243,7 \text{ kWh}/\text{m}^3$ . Como nuestra producción es de  $7,7 \text{ m}^3/\text{día}$ , el consumo de energía será de  $1876,5 \text{ kWh}/\text{día}$ . Esta energía puede ser obtenida de 3 fuentes:

- Gases de la combustión provenientes del generador

Estos gases provienen del generador trifásico, y para conocer la energía que estos gases presentan, es necesario conocer el rendimiento de este equipo. De la ficha técnica se sabe que:

$$N_{\text{máxima}} = 10.5 \text{ KW}$$

$$\text{Consumo}_{\text{plena carga}} = 3.4 \text{ Litros/hora}$$

Si queremos el consumo en Kg, multiplicaremos por la densidad del diesel:

$$\text{Consumo}_{\text{plena carga}} = 3.4 \frac{\text{litros}}{\text{hora}} \cdot 0.833 \frac{\text{Kg}}{\text{litro}} = 2.83 \text{ Kg/hora}$$

Luego la energía consumida en un turno de 8 horas será:

$$\text{Energía}_{\text{consumida}} = 2.83 \frac{\text{Kg}}{\text{h}} \cdot 8 \frac{\text{h}}{\text{día}} \cdot 42355,94 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg}} = 958.938,5 \text{ KJ}/\text{día}$$

Luego, la energía entregada en un turno de 8 horas será:

$$Energía_{entregada} = N_{Máxima} \cdot t = 10,5KW \cdot 8h \cdot 3600 \frac{S}{h} = 302400 \text{ kJ/día}$$

Finalmente el rendimiento será:

$$\eta_{Generador} = \frac{Energía_{entregada}}{Energía_{consumida}} = \frac{302.400}{958.938,5} = 0.31 = 31\%$$

Como se calculo un rendimiento para máxima potencia, se considera este como un rendimiento constante del 31% para el generador, de esta forma, se tiene que la energía utilizada por el desfibrador durante 8 horas es de:

$$Energía_{Desfibrado} = N \cdot t = 7,5KW \cdot 8h = 60KWh$$

$$Energía_{Consumida} = \frac{Energía_{Desfibrado}}{\eta} \rightarrow Energía_{Consumida} = \frac{60KWh}{0,31}$$

$$Energía_{Consumida} = 193.55 \text{ KWh}$$

De esta forma, la energía de los gases de combustión a la salida del generador será:

$$Energía_{Gases Combustió} = 193,55 - 60 = 133,55 \text{ KWh}$$

Luego, la energía disponible de los gases de combustión será de 133,55 KWh. Es importante que esta energía se generara en las 8 horas de operación del generador.

- Generador de aire caliente

Dada la demanda de energía para el secado de la fibra de 1867,5 KWh/Día, y asumiendo que de los gases de combustión se puede utilizar un 70% de la energía disponible, existe un déficit de energía correspondiente a:

$$Deficit_{Energía} = 1876,5KWh - 133,55KWh \cdot 0,7 = 1783KWh/día$$

Esta demanda puede ser satisfecha por un generador diesel de aire caliente. Si este opera las 24 horas del día, debe tener una potencia de 75 KW.

Luego, de la ficha técnica del calentador de aire sabemos que su consumo será el siguiente:

Consumo Diesel litros / hora	Capacidad térmica Kcal/h
2,51	23130
9,73	90000

Si interpolamos, nos queda que para generar una capacidad térmica de 75 KW (64.593,6 Kcal/h), su consumo será de:

$$\frac{90000 - 23130}{9.73 - 2.51} = \frac{64593.6 - 23130}{x - 2.51}$$

Luego el consumo de combustible para una capacidad térmica de 75 KW será de 6.98 o 7 litros en una hora. Finalmente, si consideramos un precio de \$650 el litro de diesel, el costo diario en el proceso de secado será:

$$\text{Costo}_{\text{secado}} = 7 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}} \cdot 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \cdot 650 \frac{\$}{\text{litro}} = \$ 109.200 \text{ al día.}$$

#### - Radiación Solar

Este factor es el más económico y ambientalmente amigable, pero no se estudiara debido a que solo se presenta disponible en determinadas épocas del año, aunque es aconsejable su estudio en mayor detalle.

### 9.2.3.3 Transporte

Para calcular los costos de transporte de la fibra, sabemos que en el día debemos transportar 7.7 metros cúbicos en un turno de 8 horas, de esta forma, el caudal de fibra será:

$$Q_{Fibra} = \frac{7.7m^3}{8h} = 0.9625 \frac{m^3}{h} = 0.00026736 \frac{m^3}{s}$$

Luego, como la humedad en base húmeda de la fibra es de 622 %, tenemos que el caudal de agua será de:

$$Q_{agua} = Q_{Fibra} \cdot 6.22 = 5.986 \frac{m^3}{h} = 0.0016627 \frac{m^3}{s}$$

Luego, el caudal resultante será:

$$Q = Q_{agua} + Q_{Fibra} = 6.95 \frac{m^3}{h} = 0.00193 \frac{m^3}{s}$$

Para calcular la densidad, sabemos que 1 metro cubico de fibra seca pesa 130 Kg, y que además, su humedad en base seca es cercana al 622 %, por lo que la densidad resultante es:

$$\rho = 130 \frac{Kg}{m^3} (1 + 6.22) = 938.6 \frac{Kg}{m^3}$$

Finalmente, se sabe que el desfibrador necesita una presión de entrada de 0.3 MPa a 0.8 MPa. Se considerara el valor más desfavorable, es decir 0.8 MPa o 800 KPa.

Para la selección de la bomba, fue necesario conocer que el fluido es no Newtoniano, de forma que una bomba de desplazamiento positivo es la solución.

Del catálogo (se adjunta en la hoja siguiente) se puede estimar el consumo de potencia de la bomba.

Si asumimos un caudal de 30 galones por minuto, y una presión de trabajo de 120 PSI, la bomba operara aproximadamente a 315 RPM. Luego la potencia de la bomba será:

$$BHP = WHP + VHP$$

Donde:

$$WHP = 3.5 \text{ HP}$$

$$VHP = 6 \text{ HP}$$

Se estimó la viscosidad del fluido en 30.000 CPS (Para tener una referencia, la miel tiene 10.000 CPS, el chocolate 25.0000 CPS).

De forma que la potencia de la bomba será de 9.5 HP, o 7 KW.

Luego, para estimar el consumo de combustible, sabemos que la bomba operara 8 horas, por tanto su demanda energética será de

$$\text{Consumo}_{\text{Energía}} = 7 \text{ KW} \cdot 8 \frac{\text{horas}}{\text{Día}} = 56 \text{ KWh} = 21.600 \text{ KJ}$$

Y considerando el poder calorífico del petróleo de 42355.94 KJ/Kg, podemos decir que el consumo diario de combustible será de:

$$\text{Consumo}_{\text{combustible}} = \frac{21.600 \text{ KJ}}{42355.94 \text{ KJ/Kg}} = 4.75 \text{ Kg/día}$$

Finalmente, como conocemos la densidad del petróleo (0.833 Kg/litro), podemos señalar que el consumo de este será menor a 6 litros por día, lo que es un costo inferior a los \$3.900 diarios.



Se muestra curva modelo de la bomba seleccionada. Notar que la potencia consumida será  $BHP = WHP + VHP$

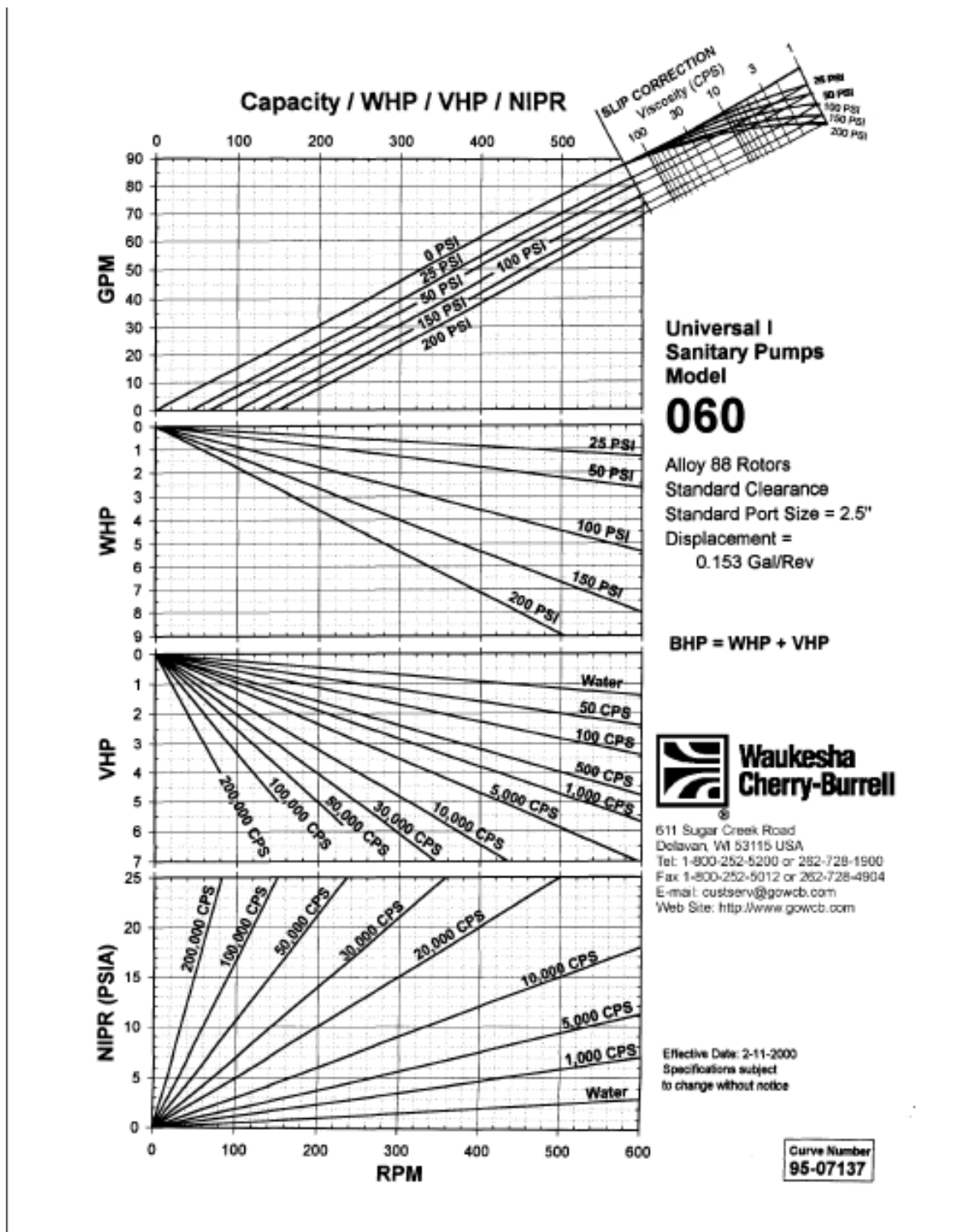


Imagen 60: Curva modelo bomba Waukesha

## **9.3 Costos fijos**

### **9.3.1 Sueldos**

Para estimar los costos por sueldos, se consideraran 3 áreas de trabajo, producción, mantenimiento y logística. Se estimara 1 ingeniero a cargo de cada área, con un sueldo de \$600.000 cada uno. Además, se considerara un total de 15 operarios, con un sueldo de \$250.000, más un administrador general con un sueldo de \$1.000.000, teniendo un costo por sueldos total de \$6.550.000 mensuales.

### **9.3.2 Mantención**

Se estimaron los costos de mantención en un 2% de la inversión anual, es decir \$719.978 anual, o \$59.998 mensuales.

### **9.3.3 Otros**

Se considerarán costos fijos de \$1.500.000 mensual, por costos de combustible, peajes, telefonía, internet, elementos de protección personal, insumos, etc.

## 9.4 Descripción del proceso

El proceso completo de producción de rastrojo se ve a continuación:

- Se inicia con la recolección de la materia prima. Para la recolección, el agricultor cuenta con la maquinaria necesaria, con capacidad para entregarlo en pequeños trozos. Recordar que la planta se dispondrá en el mismo sitio donde se encuentran los residuos para evitar costos de transporte elevados.
- Estos pequeños trozos se dejarán al final del turno en el estanque primario (el de mayor capacidad) para ser humectados toda la noche. El estanque se irá llenando también durante el día a medida que sea necesario.
- Una vez macerados los rastrojos, durante la mañana, la bomba impulsará los rastrojos hacia el desfibrador, el cual los depositará en el estanque secundario (de menor capacidad)
- Los operarios se encargaran de tomar la pulpa del estanque secundario y ponerla en un molde sobre las estanterías que se posicionaran en uno de los contenedores. Los moldes darán la forma al panel. Posterior a este proceso, deberán aplicar el adhesivo en forma de lechada.
- Una vez completa la carga del contenedor, se encenderá el contenedor de aire, que al extraer la humedad de la fibra que permitirá obtener un producto terminado y listo para su utilización.

Se recomienda ver el diagrama de proceso adjunto en el plano.

## 9.5 Resumen costos variables

Se adjunta la Tabla 15, que presenta los costos variables asociados a la materia prima y al consumo energético de una planta procesadora:

<b>Costos variables diarios</b>		
<b>Costos energéticos</b>	<b>Actividad</b>	<b>Costo</b>
	Desfibrado	\$12.883
	Secado	\$109.200
	Transporte	\$3.900
	<b>Total Costos Energéticos</b>	<b>\$125.983</b>
<b>Costos Materia Prima</b>	Rastrojo	\$20.000
	Adhesivo	\$390.330
	<b>Total Costos Materia Prima</b>	<b>\$410.330</b>
<b>Total equivalente</b>		<b>\$536.313</b>

Luego, como se ve, los costos variables asociados a la producción diaria de 7.7 metros cúbicos es de \$536.313, por tanto, el costo asociado al consumo energético y material de la producción del metro cúbico de panel aislante será de \$69.651.

No es necesario hacer un gran análisis para darse cuenta que los costos asociados a la materia prima, específicamente el adhesivo, es aquel que tiene una mayor incidencia en el precio final del producto, siendo un valor cercano al 73% del costo final del producto. Es por este motivo que se pueden evaluar distintas alternativas si se desean disminuir estos costos, como lo son el yeso, la cal, y adhesivos ecológicos, tal como el engrudo.

## 9.6 Resumen Costos Fijos

Se adjunta Tabla 16, con el resumen de los costos fijos mensuales:

<b>Costos Fijos Mensuales</b>	
Sueldos	\$ 6.550.000
Mantención	\$ 59.998
Otros	\$ 1.500.000
<b>Total</b>	<b>\$ 8.109.998</b>

## 9.7 Factibilidad económica del proyecto

Para cuantificar la rentabilidad económica del proyecto, se realizara un flujo de caja con el objetivo de cuantificar el valor actual neto del proyecto, para el cual se consideraran los siguientes supuestos de variables que no se pueden controlar:

- Toda la producción será vendida respetando relación precio/calidad
- Se supondrá una tasa de descuento del 12% (similar a la de los proyectos de innovación)
- Periodo de evaluación de 10 años
- No se considerara endeudamiento
- Nulo valor residual de los equipos al final del proyecto, y depreciación lineal de los activos
- Precio de venta del rastrojo respetando relación calidad / precio (ver capítulo 10.1) excepto el caso C.

### *Caso A*

Se supondrán la inversión, costos fijos y variables y ingresos por venta estipulados anteriormente de \$ 34.472 el metro cubico.

Es decir:

<b>Item</b>	<b>Valor asociado</b>
Inversión	\$ 35.998.916
Costos variables anuales	\$ 193.036.680
Costos fijos anuales	\$ 97.319.976
Ingresos anuales por venta	\$ 95.556.384
<b>VAN</b>	<b>\$ -1.136.663.912</b>

## Caso B

Dado el valor negativo del VAN del caso A, lo que por la magnitud de la cifra implica realizar cambios sustantivos en el proyecto, se considerara un costo del adhesivo menor (\$ 100.000 diarios), lo que disminuirá los costos variables anuales (recordar que el adhesivo equivale a un 73% de los costos por materia prima y energía). Se considerara además el mismo capital de trabajo, pero en 2 turnos, de forma que aumentara la producción al doble, implicando esto la adquisición de 1 contenedor adicional, y un generador de aire caliente más (es importante destacar que al aumentar la producción al doble aumenta al doble el costo por materia prima, y por consumo energético). El resumen se adjunta a continuación:

Item	Valor asociado
Inversión	\$ 39.353.016
Costos variables anuales	\$ 141.107.760
Costos fijos anuales	\$ 97.387.060
Ingresos anuales por venta	\$ 191.112.768
VAN	\$ -307.072.179

## Caso C

Dadas los valores negativos del caso A y B, y con el fin de estimar un precio de venta del panel de rastros, se considerara un caso hipotético, igual a las condiciones del caso B. De esta forma, el precio de venta necesario por metro cubico seria de \$44.275 si deseásemos tener un VAN positivo.

Item	Valor asociado
Inversión	\$ 39.353.016
Costos variables anuales	\$ 141.107.760
Costos fijos anuales	\$ 97.387.060
Ingresos anuales por venta	\$ 245.388.528
VAN	\$ 5.192

# CAPITULO 10: RESULTADOS Y COMPARACIÓN

---

## 10.1 Conductividad térmica

Como se señaló anteriormente, el panel de rastrojos de maíz tiene una conductividad térmica de  $0.033\text{W}/(\text{mK})$ , mientras que el aislapol tiene una conductividad térmica para una densidad  $10 \leq \rho \leq 16 \text{ Kg}/\text{m}^3$  según norma chilena de  $0.036 \text{ W}/(\text{mK})$ .

Por ser este producto un aislante térmico, se puede entender que su propiedad más relevante será su conductividad térmica, por tanto, con el fin de establecer un precio de mercado, se puede comparar con el aislapol.

De esta forma, y si se considera que ambos productos serán puestos a disposición del cliente en el mismo formato, es decir en paneles - lo cual asegura un mismo costo de mano de obra en construcción- se puede afirmar que por relación calidad/precio, el panel de rastrojos debe tener un precio superior al del aislapol, en la misma proporción que sus conductividades térmicas, es decir:

$$\text{Precio}_{\text{Panel de rastrojos}} = \text{Precio}_{\text{aislapol}} \cdot \frac{\lambda_{\text{aislapol}}}{\lambda_{\text{Panel de rastrojos}}}$$

Si se considera el precio del aislapol vendido en Sodimac en formatos de 15 planchas de 40 mm de espesor, y un área de  $1 \times 0,5 \text{ m}$  de \$ 11.850 (ver mas antecedentes en [www.sodimac.cl](http://www.sodimac.cl)). Luego se tomo como indicador su costo por metro cubico:

$$\text{Precio}_{\text{Aislapol}} = \frac{\$11.850}{1\text{m} \cdot 0.5\text{m} \cdot 0.04\text{m} \cdot 15 \text{ planchas}} = \frac{\$39.500}{\text{m}^3}$$

De esta forma, podemos decir que el precio de nuestro producto será de:

$$\text{Precio}_{\text{Panel rastrojos}} = \frac{\$39.500}{\text{m}^3} \cdot \frac{0.036 \frac{\text{W}}{\text{mk}}}{0.033 \frac{\text{W}}{\text{mk}}} = \frac{\$43.090}{\text{m}^3}$$

De esta forma, y considerando una producción de 7.7 metros cúbicos diarios, y estimando un costo de venta un 20% más bajo, por concepto utilidades a las empresas distribuidoras y por costos de transporte, estimaremos un precio de venta final de \$33.687 el metro cúbico.

Dado que el precio estimado, solo por concepto de materiales y costos energéticos es de \$69.313, existe una diferencia de \$35.626, haciéndose imposible la comercialización de este aislante a este precio de no mejorar el proceso.

## 10.2 Durabilidad

La durabilidad de un material es el tiempo de vida en el cual este tendrá las cualidades y características necesarias. Como se dijo anteriormente, el aislapol es un material que puede encontrarse intacto por largos periodos de tiempo, incluso 1000 años. Caso contrario al del panel de rastrojos de maíz, pues este está hecho de materia orgánica, por lo cual probable su descomposición, aunque se hace necesario evaluar este aspecto mediante ensayos de envejecimiento acelerado. Por otra parte, es necesario mencionar que en ausencia de luz y corrientes de oxígeno, la descomposición es mucho más lenta, y esto puede respaldarse por las prácticas de los agricultores, quienes señalan lo difícil que es la descomposición de este material al estar bajo tierra, similar a las condiciones de un aislante térmico en una vivienda, puesto que no se encuentra expuesto a grandes corrientes de aire ni a la luz del sol.

Los hongos y las bacterias también juegan un rol importante en la descomposición de la materia orgánica, aunque estos pueden evitarse completamente con la adición de cal en soluciones acuosas. De la publicación científica ``Efecto bactericida de la cal hidratada en solución acuosa`` se cita textualmente:

Este estudio muestra claramente que los sobrenadantes de las soluciones saturadas de hidróxido de calcio micronizado y de cal de construcción son excelentes sustancias bactericidas, especialmente en presencia de las diferentes especies de K choleme. Indica, además, que la actividad de la solución acuosa saturada se manifiesta no solo cuando se usan bacterias que han estado almacenadas en bancos de cepas, sino también cuando las cepas están recién aisladas.



Además, la cal tiene características insecticidas, fungicidas, bactericida. Es por este motivo que mediante la aplicación en solución acuosa de este elemento con costo despreciable, pudiese evitarse una serie de problemas.

Por otro lado, una publicación realizada en Uruguay en la facultad de agronomía<sup>xx</sup> señala que el maíz tuvo una tasa de pérdida de peso de 2,1 veces menor a los rastrojos de trigo, y 2,5 veces menor a los rastrojos de soja, para idénticas condiciones. Esto indica que los rastrojos de maíz tienen mayor duración en el tiempo.

### 10.3 Efectos ambientales

Existe una gran diferencia en cuanto a los efectos ambientales que generan estos 2 aislantes térmicos. En el caso de el panel de rastrojos de maíz, por ser un producto en base de materia orgánica, es completamente compostable, y no se hace necesario siquiera un tratamiento, puesto que al ser depositado en cualquier condición, este se reintegrará a la tierra. En el proceso productivo, este no genera grandes impactos, más que liberación de gases al ambiente en cantidades casi despreciables, siendo su huella ecológica prácticamente nula, pues no requiere de transporte en grandes distancias, ni tampoco de aditivos de origen químico. De esta forma, este producto no genera residuos ni tampoco contamina.

Por otra parte, el aislapol genera grandes problemas medioambientales y a la salud de las personas, y ya está en la mira de instituciones ambientales (Ver capítulo 5.2). El aislapol tiene entre sus componentes el Biosfenol A, al cual se asocia con enfermedades, tales como el cáncer a la próstata, cáncer de mamas, pubertad temprana, fibroides uterinos, abortos, ovarios poliquisticos, malformación en el pene, diabetes tipo 2, déficit atencional y autismo. Por otra parte, los gases de combustión de este material liberan gases altamente nocivos para el medio ambiente y el ser humano. En cuanto a su producción, este es un derivado del petróleo, elemento finito del cual debemos independizarnos en el corto plazo, pues no tenemos certidumbre de su disponibilidad.



Imagen 61 / Fuente: Labioguia.com

## 10.4 Resistencia al fuego

Para evaluar la resistencia al fuego que presentan ambos materiales, se ideó una pequeña prueba comparativa, en la cual se utilizaron probetas de idénticas dimensiones.

### Materiales:

- Algodón
  - Alcohol
  - Jeringa
  - Recipientes metálicos
  - Probetas de rastrojos de maíz y de aislapol
- 
- Fuego



Imagen 62 /Fuente: Propia

### Métodos

Se tomaron 2 trozos de algodón, a los cuales se les añadió 4 ml de alcohol utilizando la jeringa. Estos fueron puestos en la parte inferior de los recipientes metálicos, y finalmente, las probetas fueron puestas en forma horizontal sobre los recipientes metálicos.

### Resultados y discusión

En la página siguiente se muestran las imágenes, de las cuales se puede inferir que los rastrojos de maíz presentan buenas propiedades de resistencia al fuego, puesto que estos tardaron varios segundos antes de incendiarse, y además, al momento de carbonizarse no cedieron, es decir, mantuvieron sus formas y dimensiones. Caso contrario al del aislapol, puesto que pese a contar este con elementos piro-retardantes, se incendió completamente a los pocos segundos, aunque se debe señalar que este material solo enciende en presencia directa de la llama. Por otro lado, los gases de combustión liberados por el aislapol tienen un color y olor característico muy desagradable, y presumiblemente tóxico, como lo señala la EPA, distinto al de la probeta del rastrojo de maíz.

Podemos señalar que, para las condiciones dadas, el panel de rastrojo de maíz presenta mejores propiedades ignífugas que el aislapol.

Se adjunta a continuación las imágenes del ensayo (*notar que la probeta de aislapol fue encendida aproximadamente 2 segundos antes que la probeta de rastrojos de maíz*):

Inicio de la prueba – tiempo: 0 segundos



Imagen 63 / Fuente: Propia

Tiempo: 2 segundos



Imagen 64 / Fuente: Propia

Tiempo: 10 segundos



Imagen 65 / Fuente: Propia

Tiempo: 17 segundos



Imagen 66 / Fuente: Propia

Tiempo: 30 segundos



Imagen 67 / Fuente: Propia

Tiempo: 40 segundos



Imagen 68 / Fuente: Propia



# CAPITULO 11: CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

---

Se puede inferir de esta habilitación profesional que a partir de un material abundante y de fácil recolección como el rastrojo de maíz, el cual presento buenas propiedades de aislación térmica con el adhesivo y los métodos utilizados, se pueden desarrollar materiales de construcción con buenas propiedades aislantes, teniendo grandes ventajas medioambientales, principalmente por reducir la quema de estos residuos y todo el impacto negativo que este proceso asocia, y permitiendo mejores y más cómodas prácticas para los agricultores. Las principal ventajas de llevar a cabo este proyecto es la reducida huella ecológica que este producto presenta, principalmente por lo sencillo de su proceso, la biodegradabilidad de los materiales, y por estar la materia prima presente en distancias muy cercanas, diferente al caso del aislapol, que recorre grandes distancias y tiene efectos adversos ya descritos sobre la salud humana. Estos 2 productos podrían considerarse completamente similares, dado que se dispondrían en los mismos formatos, con las mismas dimensiones y solo variaría levemente su conductividad térmica, en favor del panel de rastrojos.

Por otra parte se puede mencionar que las barreras de entrada son relativamente bajas, pudiendo existir un aumento o valorización monetaria de los rastrojos de maíz, dejando de ser considerados residuos por los agricultores si llegase a desarrollarse esta industria, lo que sería un gran acierto ambiental para el país, pues se da valor agregado a un residuo que de otra forma se quemaría.

Se pone de manifiesto además, la necesidad de fomentar productos de estas características por parte de los gobiernos, debido al creciente y notorio problema de la generación de residuos, siendo los plásticos los que mayor impacto tienen, generándose solo en Chile 668.000 toneladas de residuos plásticos y la solución no pasa ni puede ser el reciclaje, sino también por la reducción de su consumo. Se cita el caso de Canadá, que aplica impuestos adicionales a todos aquellos productos con envoltorios plásticos, principalmente a las bebidas.

De poder reducir los costos asociados al adhesivo- ya sea usando otro más barato o reduciendo su porcentaje- y mantener sus propiedades permitiría a este material competir en el mercado sin subsidios estatales contra cualquier otro material aislante, pero a un costo levemente mayor (\$9.800 adicionales el metro cubico) que el del

aislapol para conseguir la misma aislación térmica, por lo que se recomienda un estudio en mayor profundidad sobre esta situación. Este costo adicional pudiese justificarse por las mejores propiedades de resistencia al fuego, o por la conciencia ambiental de las personas. Otra alternativa para entrar al mercado es utilizar los rastrosos de forma similar a un aislante granulado, aunque esta opción es poco atractiva al cliente dada la compresión que sufre el material pasado cierto tiempo.

No existe la capacidad de medir con certidumbre los impactos ambientales que generan nuestros actos, debido a la alteración de diversos ciclos de la naturaleza, como por ejemplo la cadena trófica, en que ninguna especie vive aislada; todo ser vivo depende de una infinidad de interacciones con otros para sobrevivir, ya sea por relaciones de predador/presa, o mediante asociaciones de competencia o asociatividad. Por otra parte, existen procesos naturales complejos que estamos interviniendo y de los cuales conocemos muy poco, como lo son la variabilidad del Océano y la Atmósfera, así como los eventos del niño y de la niña, corriente de Humboldt, de forma que de no generar cambios profundos en nuestro diario vivir, producirán graves consecuencias sobre el medio, que finalmente terminarán afectando nuestro entorno de forma negativa.

Finalmente, y dada además la incapacidad para asegurar la disponibilidad de petróleo por incomodo que parezca, hace que toda actividad dependiente de éste, ya sea como materia prima o recurso energético, no se puedan desarrollar en un futuro cercano. Existen evidencias para pensar que este recurso no solo experimente un aumento relevante del precio, sino que exista escases, motivo por el cual es de suma importancia desarrollar y poner en práctica procesos que no dependan, o que disminuyan el consumo de este combustible sustancialmente, y aunque en esta investigación no se pudo conseguir evaluaciones económicas satisfactorias, se espera que debido al incremento del precio del petróleo, en algún momento se logre un equilibrio económico, pudiendo este tipo de elementos competir en el mercado.

**ANEXOS**

Conductividad térmica válida  $\lambda$  y densidad aparente  $\rho$  de materiales de construcción (Fuente: NCh 853. Of 71)

	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/(mK))
En forma de colchonetas y fieltros	Colchoneta aislante de algodón	14	0,035
	Colchoneta de lana mineral, entre papel, según densidades aparentes	$35 \leq \rho \leq 40$	0,047
		$40 \leq \rho \leq 50$	0,044
		$50 \leq \rho \leq 60$	0,041
		$60 \leq \rho \leq 70$	0,040
		$70 \leq \rho \leq 80$	0,038
		$80 \leq \rho \leq 90$	0,038
		$90 \leq \rho \leq 110$	0,037
		$110 \leq \rho \leq 130$	0,037
	Fibra de lino, entre papel	78	0,041
	Fibras de madera, tratada químicamente y colocada entre capas de cartón	58	0,036
Fieltro de vidrio embreado	-	0,05	
En forma de planchas (rígidas y semirrígidas)	Lanas de vidrio, rígidas o semirrígidas	$150 \leq \rho \leq 200$	0,52
		$200 \leq \rho \leq 300$	0,058
	Madera triturada y cemento	390	0,066
		480	0,11
	Caucho espuma	$50 \leq \rho \leq 100$	0,035
		200	0,045
		300	0,06
		400	0,07
		500	0,09
	Cloruro de polivinilo expandido	$40 \leq \rho \leq 72$	0,035
	Ebotina expandida	64	0,031
Formaldehido de fenol celular	32	0,042	
	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)



En forma de planchas (rígidas y semirrígidas )	Poliestireno expandido	$10 \leq \rho \leq 16$	0,036
		$20 \leq \rho \leq 25$	0,035
		$25 \leq \rho \leq 30$	0,034
	Poliuretano expandido	24	0,025
	Paneles de amianto	200	0,056
		300	0,065
		400	0,078
		500	0,084
		600	0,105
		800	0,15
	Paneles de fibras aglomeradas, con colas orgánicas	200	0,044
		250	0,045
		300	0,047
		350	0,050
		400	0,052
		450	0,055
		500	0,059
		550	0,064
		600	0,071
	Paneles de fibra de vidrio	16	0,051
		22	0,042
		40	0,040
		54	0,036
Plancha de corcho	100	0,040	
	200	0,047	
	300	0,058	
	400	0,066	
	500	0,074	
Plancha de corcho aglomerada con asfalto	230	0,047	

	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)
En forma de planchas (rígidas y semirrígidas)	Plancha de corcho sin aglomerante	96	0,047
		112	0,035
		170	0,043
		224	0,049
Material suelto (de relleno)	Aserrín de corcho	130	0,044
	Aserrín de madera	190	0,06
	Corcho Granulado	50	0,035
		100	0,040
		150	0,045
		200	0,050
	Corteza de pino	80	0,037
	Escorias de alto horno	-	0,11
	Fibras de vidrio (0,008 a 0,15 mm)	24	0,04
	Lana de amianto	100	0,061
		200	0,063
		400	0,12
	Lana de vidrio	50	0,041
		100	0,039
		200	0,041
		300	0,048
		400	0,056
	Lana mineral granulada, aplicada a mano o a máquina en espesores de 5 a 15 cm, posición horizontal; sin recubrimiento	$40 \leq \rho \leq 60$	0,043
	Material fibroso, a base de dolomita y sílice	24	0,038
	Material fibroso, a base de escoria	150	0,038
Material granular aislante fabricado con silicato cálcico y alúmina	67	0,035	
Poliestireno en partículas	15	0,036	
	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)

Material suelto (de relleno)	Vermiculita expandida	100	0,070
	Vermiculita en partículas	99	0,047
Cubiertas	Asbesto cemento en planchas onduladas	$1800 \leq \rho \leq 2000$	0,76
	Asbesto cemento en planchas planas	$1400 \leq \rho \leq 1800$	0,65
	Bitumen	1050	0,16
	Cartón asfaltado	1100	0,14
	Fibrocemento (amianto-cemento-celulosa)	$1000 \leq \rho \leq 1400$	0,35
		$1400 \leq \rho \leq 1800$	0,46
	Planchas onduladas metálicas	-	50
	Tejas curvas	-	0,76
	Tejas y planchas prensadas de fibrocemento	1800	0,76
Hormigones	Bloques huecos de hormigón (promedio)	1160	0,94
		1150	0,76
		500	0,66
	Hormigón armado, dosificación normal	2400	1,75-1,5
	Hormigón con cenizas	1000	0,41
	Hormigón con escorias de alto horno	600	0,17
		800	0,22
		1000	0,3
	Hormigón normal, con áridos silicios	600	0,34
		800	0,49
		1000	0,67
	Hormigón con áridos livianos	1600	0,73
		1800	0,93
	Hormigón con áridos ordinarios, sin vibrar	2000	1,16
		Material	$\rho (Kg/m^3)$
Hormigones	Hormigón con áridos ordinarios ,vibrado	2200	1,4
		2400	1,75
	Hormigón liviano (con piedra pómez, escoria dilatada, puzonala, poliestireno	600	0,17
		800	0,26

	expandido en copos, vermiculita, etc.)	1000	0,33
		1200	0,43
		1400	0,55
	Hormigón de viruta de madera	$450 \leq \rho \leq 650$	0,26
	Hormigón de fibras de madera	$300 \leq \rho \leq 400$	0,12
		$400 \leq \rho \leq 500$	0,14
		$500 \leq \rho \leq 600$	0,16
	Placa de hormigón	2000	0,77
Placa de hormigón de escorias	1350	0,29	
Ladrillos	Clinker	$\rho \geq 1900$	1,05
	Clinker hueco	-	0,79
	Ladrillo hueco	1000	0,46
		1200	0,52
		1400	0,60
	Ladrillo macizo	1000	0,46
		1200	0,52
		1400	0,60
		1800	0,79
		2000	1,0
	Ladrillo hecho a mano	-	0,5
	Ladrillo liviano con agregados	600	0,25
		800	0,31
	Muros de ladrillos livianos	800	0,34
		1000	0,41
1200		0,49	
	Material	$\rho (Kg/m^3)$	$\lambda (W/mK)$
Ladrillos	Muros de ladrillos normales	1600	0,76
		1800	0,87
		2000	1,05
	Muros de adobes	$1100 \leq \rho \leq 1800$	0,90
Maderas	Maderas livianas, tales como: álamo, pino insigne, alerce, tepa, laurel, raulí, coigüe,	$350 \leq \rho \leq 450$	0,12
		$450 \leq \rho \leq 600$	0,15

	lingue, olivillo....		
	Maderas pesadas, tales como: ulmo, pino araucaria, roble, pellín, eucalipto.	$600 \leq \rho \leq 900$	0,23
	Madera terciada	$400 \leq \rho \leq 600$	0,14
	Paneles de fibras de madera prensada	$850 \leq \rho \leq 1000$	0,2
	Viruta de madera	140	0,060
		210	0,051
	Viruta de madera mineralizada y con cemento	400	0,066
	Viruta de madera prensada	650	0,082
Materiales a granel o en polvo	Arena	1600	0,49
	Escorias	800	0,25
		1000	0,29
		1200	0,34
		1400	0,41
	Grava	$1800 \leq \rho \leq 2200$	0,80
	Ladrillo molido	-	0,4
	Productos minerales a granel	200	0,15
		400	0,18
		600	0,22

	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)
Materiales a granel o en polvo	Productos minerales en polvo (kieselguhr, polvo mineral)	200	0,08
		400	0,12
		600	0,16
		800	0,21
		1000	0,27
		1200	0,34
		1400	0,4
Metales	Acero (1% carbono)	7780	50
	Aluminio	2700	210
	Aluminio duro (duraluminio, 95% Al, 5% Cu)	2780	200
	Cobre	8930	380
	Cinc	7140	110
	Fundición (4% carbono)	7400	50
	Hierro puro	7870	75
	Latón (70% Cu, 30% Zn)	8450	105
	Plomo	11300	35
Morteros y enlucidos (estucos)	Enlucido de yeso	800	0,35
		1000	0,44
		1200	0,56
	Enlucidos y morteros de cal o cemento	1600	0,65
		1800	0,84
		2000	1,05
		2200	1,40
	Placas celulares o de áridos livianos	200	0,09
		400	0,16
		600	0,25

	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)
Morteros y enlucidos (estucos)	Placas de yeso	600	0,25
		800	0,28
		1000	0,35
		1200	0,41
Pavimentos	Azulejos	-	1,05
	Baldosas cerámicas	-	1,75
	Linóleo	1200	0,19
	Pavimento Plástico	-	0,75
	Mármol	$2500 \leq \rho \leq 2850$	2-3,5
	Terrazo	2200	1,75
	Tierra natural	$1600 \leq \rho \leq 1900$	0,3-2,8
Piedras	Arena, secado normal	1500	0,6
	Arenisca	2200	1,4
	Basaltos	$2800 \leq \rho \leq 3000$	1,8
	Calcáreas blandas	$1450 \leq \rho \leq 1850$	1,05
	Calcáreas medias (calizas)	$1850 \leq \rho \leq 2150$	1,4
	Calcáreas duras	$2150 \leq \rho \leq 2580$	2,2
	Granito	$2600 \leq \rho \leq 3000$	3,5
	Gravas	1900	2,3
	Lavas	$2100 \leq \rho \leq 2400$	2,9
	Mampostería	-	1,6-2,5
	Piedra pómez	-	0,16-0,5
Otros	Cartón	800	0,14
	Cartón piedra	700	0,14
	Caucho sintético	1150	0,23
		1250	0,47

	Material	$\rho$ (Kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/mK)
Otros	Caucho espuma	$50 \leq \rho \leq 100$	0,035
		200	0,045
		300	0,06
		400	0,07
		500	0,09
	Caucho natural	1050	0,16
		1150	0,28
	Celuloide	1400	0,22
	Papel	1000	0,16
	Vidrio para ventanas	-	1,2
Yesos	Bloque de yeso para tabiques	-	0,4
	Planchas de yeso con revestimiento de cartón en ambas caras	-	0,2
	Yeso con piedras pómez, escoria dilatada, puzolana, vermiculita, poliestireno expandido	200	0,08
		400	0,12
		600	0,16
	Yeso normal	-	0,48
	Yesos porosos	200	0,12
		400	0,21
		600	0,29



## **Anexos**

### **Normativa de aislación térmica**

#### **Normativa vigente**

En nuestro país, contamos actualmente con una normativa, que establece los parámetros necesarios de aislación térmica en una vivienda. Esta normativa entro en vigencia a partir del año 2000, es decir, todas las viviendas construidas hasta ese periodo, no cumplen con la normativa vigente, y por ende, muchas de ellas no cuentan con ningún sistema de aislación térmica.. Para ser mas exactos, un 74% de las viviendas de nuestro país no se encuentran bajo ninguna normativa vigente de **aislación térmica**, y un 19% se encuentran acogidas a la primera etapa de reglamentación térmica, es decir, cuentan con **aislación térmica** en las techumbres.

### Exigencias

Para establecer las diferentes exigencias de aislación térmica, se separa la envolvente de una vivienda según techumbres, muros perimetrales y pisos inferiores ventilados, y estos deberán tener un coeficiente global de transferencia de calor, o transmitancia térmica igual o menor a la señalada para la zona en que se encuentre emplazado el proyecto arquitectónico, como se presenta en la siguiente tabla:

Zona	Ciudad
1	La Serena
2	Valparaíso
3	Santiago
4	Concepción
5	Temuco
6	Puerto Montt
7	Punta Arenas

Todo lo anterior debe ir ejecutado conforme a los planos de zonificación térmica, que deben estar pre-aprobados por resoluciones del ministerio de vivienda y urbanismo. Dichas exigencias se presentan a continuación en la tabla 1:

ZONA	TECHUMBRE		MUROS		PISOS VENTILADOS	
	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W	U W/m <sup>2</sup> K	Rt m <sup>2</sup> K/W
1	0,84	1,19	4,0	0,25	3,60	0,28
2	0,60	1,67	3,0	0,33	0,87	1,15
3	0,47	2,13	1,9	0,53	0,70	1,43
4	0,38	2,63	1,7	0,59	0,60	1,67
5	0,33	3,03	1,6	0,63	0,50	2,00
6	0,28	3,57	1,1	0,91	0,39	2,56
7	0,25	4,00	0,6	1,67	0,32	3,13

Se detalla a continuación las condiciones específicas para cada elemento de la envolvente de las viviendas:

- **Ventanas:**

La Reglamentación Térmica establece porcentajes máximos de superficies de ventanas respecto a paramentos verticales de la envolvente, dependiendo de la zona en la que se emplace la vivienda, tal como se puede ver en la siguiente tabla<sup>1</sup>:

Zona Térmica	Ventanas		
	% Máximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de la envolvente		
	Vidrio monolítico <sup>11</sup>	DVH Doble vidriado hermético <sup>12</sup>	
		$3.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ $\geq U > 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$ <sup>13</sup>	$U \leq 2.4 \text{ W/m}^2\text{K}$
1	50%	60%	80%
2	40%	60%	80%
3	25%	60%	80%
4	21%	60%	75%
5	18%	51%	70%
6	14%	37%	55%
7	12%	28%	37%

Como se observa en la tabla adjunta, la única variable considerada en el acondicionamiento térmico de ventanas es el porcentaje de superficie vidriada y la utilización de uno, dos o más vidrios paralelos.

En el documento se señala que una de las formas más fáciles de reacondicionar las ventanas de una vivienda es mediante la incorporación de 2 o más hojas de vidrio paralelos. La utilización de un doble o mayor vidriado hermético permite aumentar la resistencia térmica que ofrece la ventana, dado el aumento en sus capas de vidrio y la incorporación de una o más cámaras de aire, lo que permite también mejorar la aislación acústica.

Otra opción que se señala en el documento es aquella que permite conservar la estructura de ventana existente, y consiste en la instalación de una doble ventana, de

<sup>1</sup>Fuente: manual técnico Reacondicionamiento térmico de viviendas en uso

vidriado simple, lo que es posible solo cuando se cuenta con el espacio necesario. También se señala la posibilidad de utilizar vidrios a los que durante el proceso de fabricación se le aplican recubrimientos con el fin de mejorar sus propiedades, en este caso térmicas. Para mantener la calefacción en el interior de un recinto, a través de una disminución en las pérdidas por los cristales de una ventana, se pueden utilizar vidrios que cuenten con un revestimiento de baja emisividad. Los cristales con baja emisividad, que en invierno se puede conservar alrededor del 66% de la energía que se vería perdida mediante un vidriado simple; y en el caso del verano, limita el ingreso de radiación solar.

- **Techumbres:**

Se considera como techumbre al conjunto de elementos constructivos que lo conforman, tales como cubierta, aislación térmica, cadenetas, vigas, etc.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para la techumbre serán las siguientes:

a) En el caso de mansardas o paramentos inclinados, se considerará complejo de techumbre todo elemento cuyo cielo tenga una inclinación de  $60^\circ$ , o menos, medidos desde la horizontal.

b) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales de la techumbre, tales como cerchas, vigas y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.

c) Los materiales aislantes térmicos o las soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con el complejo de techumbre, tales como adenas, vigas o soleras, conformando un elemento continuo o todo el contorno de los muros perimetrales.

d) Para obtener una continuidad en el aislamiento térmico de **a** techumbre, todo muro o tabique que sea parte de ésta, **al** como lucarna, antepecho, dintel, u otro elemento que interrumpa el acondicionamiento térmico de la techumbre y limite un local habitable o no habitable, deberá cumplir o no la misma exigencia que le corresponda al complejo de techumbre, de acuerdo a lo señalado en la Tabla 1. Para toda ventana que forme parte del complejo techumbre de una vivienda emplazada entre la zona 3 y 7, ambas inclusive, cuyo plano tenga una inclinación de  $60^\circ$  sexagesimales, o menos, medidos desde la horizontal, se deberá especificar una solución de doble vidriado hermético, cuya transmitancia térmica debe ser igual o menor a  $3,6\text{W/m}^2\text{K}$ .

- **Muros**

Se considerará muro al conjunto de elementos constructivos que lo conforman y cuyo plano de terminación interior tenga una inclinación de más de  $60^\circ$  sexagesimales, medidos desde la horizontal.

Las exigencias de acondicionamiento térmico para muros serán las siguientes:

a) Las exigencias señaladas en la Tabla 1, serán aplicables sólo a aquellos muros y/o tabiques, soportantes y no soportantes, que limiten los espacios interiores de la vivienda con el espacio exterior o con uno o más locales abiertos, y no será aplicable a aquellos muros medianeros que separen unidades independientes de vivienda.

- b) Los recintos cerrados contiguos a una vivienda tales como bodegas, leñeras, estacionamientos e invernaderos, serán considerados como recintos abiertos para efectos de esta reglamentación, y sólo les será aplicable las exigencias de la Tabla 1 a los paramentos que se encuentren contiguos a la envolvente de la vivienda.
- c) Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en tabiques perimetrales, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tales como pies derechos, diagonales estructurales y/o por tuberías, ductos o cañerías de las instalaciones domiciliarias.
- d) En el caso de la albañilería confinada de conformidad a la definición de la NCh 2123, no será exigible el valor de U de la Tabla 1 en los elementos estructurales tales como pilares, cadenas y vigas.
- e) En el caso que el complejo muro incorpore materiales aislantes, la solución constructiva deberá considerar barreras de humedad y/o de vapor, según el tipo de material incorporado en la solución constructiva y/o estructura considerada.
- f) En el caso de puertas vidriadas exteriores, deberá considerarse como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma. Las puertas al exterior de otros materiales no tienen exigencias de acondicionamiento térmico.

- **Pisos Ventilados**

Se considerará piso ventilado al conjunto de elementos constructivos que lo conforman que no están en contacto directo con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior también se considerarán como pisos ventilados.

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en pisos ventilados, los materiales aislantes térmicos o soluciones constructivas especificadas en el proyecto de arquitectura, sólo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales del piso o de las instalaciones domiciliarias tales como vigas, tuberías, ductos o cañerías.

**Condiciones de confort térmico**

Según el manual de reacondicionamiento térmico de viviendas, se establecen las condiciones de confort térmico tanto para verano como para invierno. En el primer caso, la temperatura máxima no debe superar los 27°C, con humedades entre el 20 y 50%. En invierno, la temperatura no debe bajar de los 17°C, con una humedad entre 30 y 80%, de forma que existe cierta intersección en las variables que definen el confort térmico entre invierno y verano, y se considera que una temperatura de 20°C es adecuada, siendo este valor aceptado por los países desarrollados.

## **Método para la determinación de la conductividad térmica en estado estacionario por medio del anillo de guarda (NCh 850 Of 83)**

### Alcance y campo de aplicación:

- Esta norma establece un procedimiento para la determinación de la conductividad térmica, bajo régimen de flujo estacionario por el método del anillo de guarda.
- Esta norma se aplica a materiales homogéneos especialmente usados en la construcción como aislantes térmicos y cuyas características de densidad, humedad y temperatura media sean conocidas.
- El método establecido en esta norma sólo es útil para la determinación de la conductividad térmica a temperaturas comprendidas entre los 273 K (0°C) y 373 K(100°C) aproximadamente.

### Resumen del método:

#### **Principio**

Una placa metálica (placa caliente, generalmente de forma cuadrada o circular) provista de calefacción eléctrica, está rodeada de otra placa, en forma de marco, (anillo de guarda) que puede ser calentada independientemente. Dos probetas del material en prueba de iguales dimensiones y de caras planas y paralelas se colocan a cada lado de las placas calientes. Dos placas metálicas, refrigeradas por corriente de agua u otro líquido (placas frías), se encuentran ajustadas a las caras frías de las probetas. El conjunto forma una especie de emparedado en íntimo contacto. Al efectuar un ensayo, el anillo de guarda es mantenido a la misma temperatura que la placa caliente; por consiguiente, hay el mismo gradiente de temperatura en el material que se encuentra junto a él, que en la proximidad de la placa caliente. En estas condiciones, el flujo térmico es perpendicular con respecto a las superficies. Además, no hay pérdida de calor en los bordes de la placa caliente. Al llegar al régimen estacionario, se determina el flujo térmico ( $\varphi$  = potencia eléctrica disipada en la placa caliente) que atraviesa el área correspondiente de las dos probetas y el gradiente medio de temperatura a través de éstas. La conductividad térmica del material se calcula según fórmula (1):



$$\lambda = \frac{\varphi \cdot e}{2 \cdot A \cdot (T_2 - T_1)}$$

En que:

$\lambda$ : Conductividad térmica en  $W/m \cdot K$

$\varphi$ : Potencia eléctrica en W, disipada en la placa caliente

$e$ : Espesor en m promedio de ambas probetas

A: Área en  $m^2$  de calentamiento, correspondiente al área promedio entre la superficie de la placa caliente y la de la abertura central del anillo de guarda.

$T_2, T_1$ : Temperaturas de las caras calientes y frías, respectivamente, en K.

### Significado

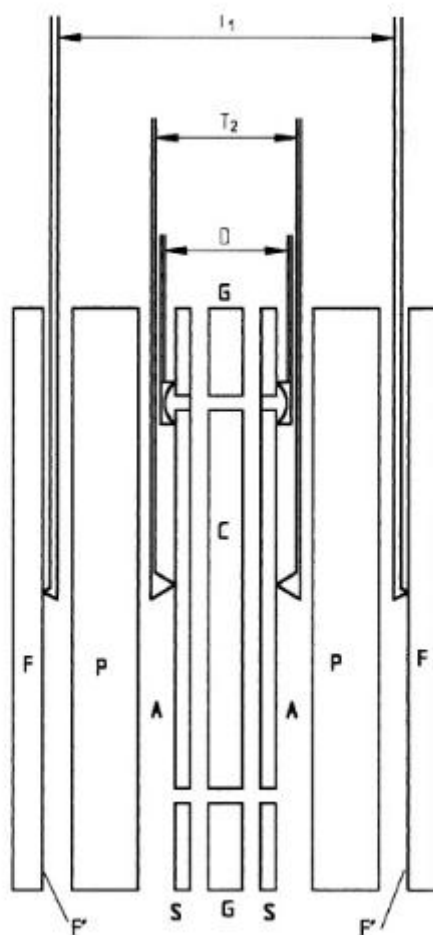
El método permite determinar la conductividad térmica en probetas de materiales de construcción, en particular, de aislantes térmicos y de otros materiales, en forma de planchas, siempre que su coeficiente de transmisión térmica no exceda  $60 W/m^2K$  y que el espesor de las probetas cumpla con los requisitos de tamaño. Los resultados de las mediciones de la conductividad térmica, son aplicables sólo a las muestras en las condiciones en que han sido ensayadas; por esto es indispensable indicar las características de los materiales sometidos a ensayo. La conductividad térmica del material puede variar debido a:

- a) Variaciones de material en las probetas
- b) Diferencias en el contenido de humedad
- c) Alteraciones sufridas por variaciones de temperaturas
- d) O t r a s c a u s a

NOTA - Algunos materiales no son isótropos con respecto a la conductividad térmica, circunstancia que debe tomarse en cuenta para su aplicación en los informes que de ellos se haga.

Aparato:

El esquema del aparato de placas térmicas con anillo de guarda, está representado en las siguientes figuras:



Unidad	Denominación	Sección
Unidad de calentamiento	C – Placa caliente	Sección central
	A- Placa de Superficies centrales	
	G- Anillo de guarda S –Placas de superficie de guarda	Sección de guarda
Unidad de refrigeración	F – Placas frías F' - Superficies frías	-

Termopares:

D - diferencia de temperatura entre A y S

$T_2$  - en superficies de A (caras calientes)

$T_1$ -en superficies de F (caras frías)

### **Descripción del equipo**

- En general, las placas son de forma cuadrada o circular.
- La unidad de calentamiento consta de la sección central (sección de medición) y de la sección de guarda. Cada una de las secciones consiste en un calentador y dos placas de superficie.
- En el diseño de los calefactores y dispositivos de refrigeración se tendrán en cuenta las temperaturas a las cuales deben usarse y las capacidades adecuadas al uso previsto.

## **Acabado de las superficies**

Las superficies de las unidades de calefacción y refrigeración serán planas, con desviación no superior a 0,3 mm/m.

NOTA - Para comprobar la desviación del plano, se usa una regla de acero aplicada sobre la superficie. Mirando hacia una fuente luminosa, cuyos rayos estén rozando la superficie, pueden observarse desviaciones hasta de 0,03 mm.

Las superficies de todas las placas estarán sometidas a un tratamiento de modo que su emisividad total sea superior a 0,8 a la temperatura de ensayo.

La separación entre la sección central y la sección de guarda, no será superior a 3 mm .

NOTA - En todo caso, el área entre ambas secciones no será superior al 6% del área de la sección central (de medida).

La unidad de calentamiento (placas caliente y de guarda) serán, preferiblemente, de cobre y estarán provistas de calefactores eléctricos. La separación entre los arrollamientos de calefacción en la placa caliente y en el anillo de guarda, no será superior a 20 mm, siempre que estas placas sean de cobre. En caso contrario, la separación entre arrollamientos será de 3 mm, aproximadamente.

Las placas frías tendrán un área igual a la de la unidad de calentamiento. Serán de metal de alta conductividad térmica y refrigeradas.

## Dispositivos de medición de temperaturas

La temperatura superficial de la unidad de calentamiento en la sección central, se medirá con termopares, instalados en número igual o superior a  $10\sqrt{A}$  con un mínimo de 2 (A = área, en  $m^2$  de la placa de superficie central) en cada una de las placas de superficie. Un número igual de termopares se instalará en las placas de superficie de la unidad de refrigeración, en la posición similar correspondiente que las enfrenta.

La disposición de los termopares, indicada en el párrafo anterior servirá para medir la diferencia de temperaturas a través de las probetas de caras planas y paralelas de conductividad térmica inferior a  $10 W/m^2 K$ . En probetas rígidas, podrán usarse termopares instalados en la superficie de las probetas.

Para medir la diferencia de temperaturas entre la sección central y la de guarda, los puntos de medida se distribuirán en forma que registren la distribución periférica de la temperatura de la sección central.

La medición de las temperaturas podrá efectuarse en forma individual, o bien, diferencial. Para la medición de diferencias de temperaturas, los termopares se conectarán de modo que formen un par termoeléctrico diferencial.

Las mediciones de temperaturas se realizarán con sensibilidad no inferior a  $\pm 0,1 K (\pm 0,1 ^\circ C)$ .

NOTA - La medición de temperaturas puede estar dificultada por las causas siguientes

- a) Distorsión del flujo térmico por el termopar mismo
- b) Mala ubicación de la soldadura del termopar
- c) Falta de homogeneidad del material, en el lugar en que se encuentra la soldadura del termopar.

Los termopares usados para la medición de temperaturas de las placas. Se confeccionarán con alambres de diámetros inferiores a 0,6 mm y para la medición de temperaturas de la superficie de las probetas, se usarán alambres de diámetro inferior a 0,3 mm.

Para medir la fuerza electromotriz de los termopares, se usará un sistema potenciométrico o galvanométrico con sensibilidad mejor que  $1 \mu V$ , u otro instrumento equivalente.

## Aislación de los bordes

Para restringir las pérdidas de calor por los bordes exteriores de la sección de guarda y de las probetas, se aplicará una aislación adecuada. También podrá instalarse un dispositivo que permita

regular la temperatura del aire en contacto con estas partes del aparato, de modo que se reduzcan las pérdidas de calor. El coeficiente de aislación térmica mínima (M) de la aislación se calculará según la fórmula (2):

$$M = \frac{0,005X}{g \cdot \lambda} \left[ (4x + 2y) \cdot \frac{(T_M - T_A)}{\Delta T} + Y \right]$$

Donde:

M: Coeficiente de aislación térmica mínima, en  $W / m^2 K$

X: Espesor medio de las probetas, en mm.

Y: Espesor de la unidad de calentamiento en mm.

g: Longitud en mm del lado exterior (o diámetro) del anillo de guarda

$\lambda$ : Conductividad térmica en  $W / m \cdot K$  de la probeta;

$T_M$ : Temperatura media en  $^{\circ}C$ , de la probeta

$T_A$ : Temperatura en  $^{\circ}C$  alrededor del aparato

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas en  $^{\circ}C$  a través de las probetas.

NOTA – Como M aumenta con la diferencia de temperaturas  $T_M - T_A$ , conviene que ésta sea muy pequeña a fin de reducir las pérdidas por los bordes del aparato.

### **Caja protectora**

Conviene usar una caja protectora que rodee el aparato de placas térmicas. Esta caja puede proveerse de un dispositivo que permita mantener la temperatura interior deseada.

NOTA - Si los ensayos se ejecutan a temperaturas que difieren mucho de la del ambiente, es indispensable usar caja protectora, en particular, para evitar condensaciones de vapor de agua.

Preparación de las probetas:**Tamaño**

Preparar dos probetas de cada muestra que sean lo más idénticas posibles, con un espesor suficiente par que representen realmente el promedio de la muestra y de un tamaño tal que alcancen a cubrir completamente la unidad de calentamiento. Cuidar que la relación entre el espesor máximo de la probeta y las medidas lineales mínimas de la placa de guarda, cumplan los requisitos de la tabla.

Relación entre espesor máximo de la probeta y las dimensiones mínimas de la placa de guarda		
Espesor máximo de la probeta mm	Sector unidad de calentamiento central mm	Ancho del anillo de guarda (que rodea la parte central) mm
33	100	50
50	150	75
63	300	75
85	300	115
100	300	150

### **Acabado de las caras**

Terminar las superficies de los materiales dejándolas, en lo posible, perfectamente planas. Para materiales rígidos, las caras deben quedar planas dentro de  $\pm 0,3$  mm/m.

### **Peso y secamiento**

Determinar el peso de las probetas, antes y después de secarlas hasta peso constante, en una estufa ventilada, entre 374 K (101°C) y 394 K (121°C) (Nota). A partir de los pesos así determinados, calcular el porcentaje de humedad que corresponde al momento de recepción de los materiales. Inmediatamente después de la última pesada, colocar las probetas en el aparato, teniendo cuidado de evitar todas las pérdidas de material y la absorción de humedad.

NOTA - Un material que se altera al calentarlo hasta 101 °C, se seca en un secador a una temperatura entre 55°C y 60°C.

### **Dimensiones lineales de las probetas**

Determinar las dimensiones lineales de las probetas al final del ensayo y, a partir de estos datos, calcular su volumen; con el peso determinado en *Peso y secamiento* y el volumen, calcular la densidad de las probetas.

### **Probetas de material suelto de relleno**

Tomar una porción representativa de la muestra, poco mayor a la necesaria para el ensayo. Pesar y secar esta porción, de acuerdo con *Peso y secamiento*. Pesar la cantidad de material exactamente requerida para llenar los espacios a ambos lados de la unidad de calentamiento. Inmediatamente después de la pesada, colocar el material en los espacios previstos, protegiéndolo contra la absorción de humedad. Un anillo de cartón rígido u otro elemento similar hará las veces de contenedor del material en prueba.

### **Procedimiento:**

La diferencia de temperatura a través de las muestras no será inferior a 5 K (5 °C), ni superior a 15 K (15 °C), la cual, una vez establecida, no debe variar en  $\pm 0,5\%$  por hora.

### **Energía suministrada**

Regular en lo posible automáticamente el suministro de energía eléctrica a la placa caliente, de modo que ésta pueda ser medida con precisión de  $\pm 0,5\%$ , y que las fluctuaciones de tensión no produzcan una variación mayor en la diferencia de temperaturas que la señalada en el párrafo anterior. Del mismo modo, regular (de preferencia



automáticamente) el suministro de energía eléctrica a la placa de guarda, de modo que no se produzcan variaciones con respecto a la temperatura de la placa caliente.

### **Etapas previas**

Ajustar las temperaturas de las placas frías, de modo que las diferencias de temperaturas a través de ambas probetas no sean superiores al 1%. Las temperaturas de las placas frías no deben variar, en el lapso de 1 h, en más de 0,5% de la diferencia de temperaturas entre placas calientes y frías.

### Etapa principal

Después de llegar al régimen estacionario, continuar con el ensayo, efectuando las lecturas necesarias para determinar: las diferencias de temperaturas a través de las probetas, las temperaturas de las placas calientes y frías, el equilibrio térmico entre la placa caliente y el anillo de guarda y la potencia eléctrica suministrada a la sección central del aparato. Efectuar estas determinaciones a intervalos no menores de 30 min, hasta que cuatro series de lecturas consecutivas, proporcionen valores de conductividad térmica que no difieran entre sí, en más del 1%.

Al término del ensayo, medir sin demora, el espesor de las probetas y determinar su peso.

Expresión de resultados:

#### Cálculo

- Calcular la conductividad térmica  $\lambda$  del material en examen según fórmula (1)
- Calcular los datos siguientes, según fórmulas (3) a (6).
- Contenido de humedad del material al recibirlo:

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 \quad (3)$$

- Densidad aparente del material seco, al ensayarlo:

$$\rho = \frac{m_3}{V} \quad (4)$$

- Humedad recuperada por el material durante el ensayo, referida al peso en seco:

$$H = \frac{m_4 - m_3}{m_3} \cdot 100$$

- Humedad recuperada por el material durante el ensayo, referida al volumen en seco:

$$H = \frac{m_4 - m_3}{10v}$$

En que:

H: humedad contenida en el material al recibirlo, en % del peso en seco

$\rho$ : D e n s i d a d a p a r e n t e n  $Kg/m^3$  del material seco, al ensayarlo

$H_p$ : Humedad recuperada por el material durante el ensayo, en % de su peso en seco

$H_v$ : Humedad recuperada por el material durante el ensayo, en % de su volumen en seco

V: volumen, en  $m^3$  ocupado por el material de las probetas, al ensayarlo

$m_1$ : Masa en Kg del material al recibirlo;

$m_2$ : Masa en Kg del material después de secarlo;

$m_3$ : Masa en Kg, del material seco de las probetas;

$m_4$ : Masa en Kg, del material de las probetas, inmediatamente después del ensayo

Informe:

En el informe se indicará como mínimo lo siguiente

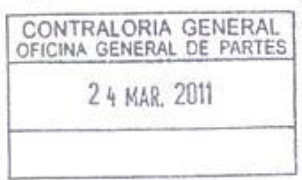
- a) Identificación completa del material ensayado y posición en el ensayo (nota 2)
- b) Espesor de las probetas al ensayarlas
- c) Procedimiento y temperatura de secamiento
- d) D e n s i d a d , e n  $Kg/m^3$ , del material seco, al ensayarlo
- e) Humedad contenida en el material, en % del peso en seco al ensayarlo
- f) Humedad recuperada por el material durante el ensayo, en % de su peso y/o de su volumen en seco
- g) Gradiente de temperatura,  $K/m$  ( $^{\circ}C/m$ ), a través del material
- h) Temperatura media,  $^{\circ}C$ , del material, durante el ensayo
- i) D e n s i d a d d e f l u j o t é r m i c o ,  $W/m^2$ , a través de las probetas;
- j) Conductividad térmica en  $W/m \cdot K$  o  $W/m^{\circ}C$  de las probetas
- k) Orientación del plano de la probeta: vertical u horizontal
- l) Aislación térmica de los bordes
- m) Temperatura del aire alrededor de las placas térmicas.

Cuando corresponda, el informe se acompañará de una representación gráfica de los resultados. En estos gráficos se expondrá la conductividad térmica en función de las temperaturas medias y/o de las densidades del material en prueba.

Al final del informe se colocará la siguiente aclaración, según corresponda:

- a) Este ensayo se ha realizado conforme íntegramente con la norma NCh850
- b) Este ensayo se ha realizado conforme con la norma NCh850 excepto en los siguientes puntos: (se describen los puntos de discrepancia o no coincidencia)

**BONO DE INCENTIVO A LAS BUENAS PRACTICAS AGROINDUSTRIALES**



**TOMADO RAZON**  
 [Signature]  
 29 MAR. 2011  
 Contralor General de la República

Azo



ESTABLECE TABLA DE COSTOS PARA EL AÑO 2011, QUE FIJA LOS VALORES DE LAS ACTIVIDADES QUE SE BONIFICARÁN EN EL MARCO DEL SISTEMA DE INCENTIVOS PARA LA SUSTENTABILIDAD AGROAMBIENTAL DE LOS SUELOS AGROPECUARIOS.

SANTIAGO, 02 MAR 2011

Nº 13 / VISTO : Lo dispuesto en el DFL N° 294, de 1960, del Ministerio de Hacienda, orgánico del Ministerio de Agricultura; la Ley N° 20.412, que establece un Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios; la Ley N° 20.481 sobre Presupuestos del Sector Público para el año 2011; el Decreto N° 59, de 2010, del Ministerio de Agricultura que fija el Reglamento de la Ley N° 20.412; el artículo 32 N° 6, de la Constitución Política de la República y la Resolución N° 1.600, de 2008, de la Contraloría General de la República.

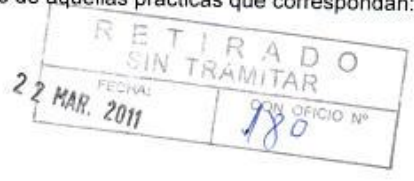
**CONSIDERANDO:**

Que la Ley N° 20.412 establece un Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios.

Que el artículo 3° de la Ley N° 20.412 dispone que el sistema de incentivos por ella establecido, consistirá en una bonificación estatal de los costos netos de las actividades bonificables consignadas y definidas en dicha ley, señalando en su inciso final que los valores de las actividades que se bonificarán serán fijados en una Tabla de Costos que se establecerá en forma anual mediante decreto del Ministerio de Agricultura, que deberá contar con la visación de la Dirección de Presupuestos del Ministerio de Hacienda.

**DECRETO :**

FÍJASE la siguiente Tabla de Costos que fija, para el año 2011, los valores de las actividades que se bonificarán en el marco del Sistema de Incentivos para la Sustentabilidad Agroambiental de los Suelos Agropecuarios y los niveles mínimos técnicos de aquellas prácticas que correspondan:





## ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GENERALES PRÁCTICAS DE RECUPERACIÓN

- I) INCORPORACIÓN DE FERTILIZANTES DE BASE FOSFORADA.**
- (1) **Aplicación de fósforo (kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>):** Tiene por objeto incentivar el uso de una dosis de fertilización fosforada de recuperación en suelos deficitarios. El precio para la unidad de fósforo (P) corresponde al valor del kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> calculado sobre la base del precio del Superfosfato Triple. El agricultor podrá emplear el fertilizante fosfatado (soluble en agua) que desee, no obstante el valor de la unidad de P será siempre el definido en la tabla anual de costos.
- II) INCORPORACIÓN DE ELEMENTOS QUÍMICOS ESENCIALES.**
- (2) **Enmiendas calcáreas (kg CaCO<sub>3</sub>):** Consiste en la aplicación de materiales calcáreos al suelo con el fin de disminuir la acidez o reducir la toxicidad de Aluminio. Para la determinación de la cantidad de producto comercial a aplicar (equivalente a la dosis de CaCO<sub>3</sub> comprometida en el plan de manejo) se deberá considerar el "Valor Agronómico" (VA) de dicho producto. Éste utiliza para su cálculo el valor de neutralización, el contenido de humedad y la eficiencia relativa según el grado de molienda. Al respecto, se considerará una eficiencia del 100% si la finura del producto es mayor a 60 mesh, 60% si su finura está entre 20 y 60 mesh, 20% si su finura está entre 8 y 19 mesh y 0% si su finura es inferior a 8 mesh.
- (3) **Aplicación de potasio (kg K<sub>2</sub>O):** Tiene por objeto incentivar el uso de una dosis de fertilización potásica de recuperación en suelos deficitarios.
- (4) **Aplicación de calcio (kg CaO):** Tiene por objeto incentivar el uso de una dosis de fertilización cálcica de recuperación en suelos deficitarios.
- (5) **Aplicación de azufre (kg S):** Tiene por objeto incentivar el uso de una dosis de fertilización azufrada de recuperación en suelos deficitarios.
- III) ESTABLECIMIENTO DE UNA CUBIERTA VEGETAL EN SUELOS DESCUBIERTOS O CON COBERTURA DETERIORADA.**
- (6) **Establecimiento de praderas (ha):** Tiene por objeto el establecimiento de especies leguminosas y/o gramíneas en suelos degradados, con el objeto de dar cobertura a éste y proporcionar alimentación animal. Para el caso de establecimiento de praderas sin preparación de suelo, consideradas para la provincia de Palena y comuna de Cochamó (región de Los Lagos) y Región de Magallanes y Antártica Chilena, se considera que éstas serán establecidas siempre a continuación de un cultivo anual que deje un suelo mullido y en condiciones adecuadas para la germinación y emergencia de las semillas forrajeras a establecer.
- (7) **Regeneración de praderas (ha):** Tiene por objeto la regeneración de especies leguminosas y/o gramíneas en praderas con algún grado de deterioro, con el objeto de recuperar la cobertura de ésta y proporcionar alimentación animal.
- IV) EMPLEO DE MÉTODOS DE INTERVENCIÓN DEL SUELO, ENTRE OTROS ROTACIÓN DE CULTIVOS, ORIENTADOS A EVITAR SU PÉRDIDA Y EROSIÓN, Y A FAVORECER SU CONSERVACIÓN.**
- (8) **Aplicación de guanos (ton):** Implica la distribución e incorporación al suelo de un mínimo de 12 ton/ha de guano maduro o semimaduro en estado sólido o pastoso. Se entiende por guano a los subproductos de la ganadería que incluye excrementos



animales y material de cama transformado, en donde no es posible identificar en ellos la composición de la cama y de las deyecciones debido al alto nivel de fermentación.

En relación al almacenamiento, transporte y aplicación del guano, deberán respetarse los criterios de manejo de guano establecidos en el documento "Pauta Técnica para la Aplicación de Guano", elaborado por la División de Recursos Naturales Renovables del Servicio Agrícola y Ganadero.

Además, se deberá demostrar que la aplicación de guano no producirá contaminación por Nitrógeno, para lo cual el cálculo de la dosis de guano a aplicar deberá estar fundamentado a través de la metodología propuesta en el documento antes mencionado.

Lo señalado en el párrafo anterior no se aplicará para las regiones XV, I, II y III, dado que sus características edafoclimáticas, así como sus sistemas productivos y los rendimientos promedios obtenidos, no permiten la utilización de la metodología propuesta en dicho documento. A consecuencia de lo anterior, la dosis a aplicar será de hasta 24 ton/ha, la que deberá ser debidamente justificada en el Informe Técnico respectivo. No obstante, para la I y II regiones, el Comité Técnico Regional (CTR) podrá aumentar, con la debida justificación técnica y sólo para áreas específicas, esta dosis hasta 48 ton/ha.

Esta práctica sólo considera la bonificación del valor del producto.

En el caso de suelos de secano, como así también en el caso de los suelos de la IV Región, la dosis mínima a aplicar será de 8 ton/ha.

**(9) Aplicación de guano rojo (kg):** Se entiende por tal al formado por el excremento de aves marinas, fosilizado a través del tiempo en las costas del norte chileno, el que se aplica en dosis de hasta 1.000 kg/ha/año, destinada principalmente al mejoramiento de las propiedades físicas del suelo. Esta práctica sólo considera la bonificación del valor del producto.

**(10) Aplicación de compost (m<sup>3</sup>):** Implica la aplicación y distribución de un mínimo de 20 m<sup>3</sup>/ha de compost, entendiéndose por tal al producto resultante del proceso de compostaje, constituido principalmente por materia orgánica estabilizada donde no se reconoce su origen, puesto que se encuentra degradado generando partículas más finas y oscuras.

El compost a utilizar deberá cumplir con la norma NCH 2880-2004, lo cual deberá ser certificado mediante la presentación de los análisis de calidad correspondientes.

No obstante lo anterior, quienes tengan la calidad de productores orgánicos certificados podrán no presentar dicho análisis, siempre que demuestren su condición de tal. De igual manera, aquellos productores orgánicos no certificados oficialmente o interesados en iniciarse en este tipo de agricultura, podrán eximirse del análisis de calidad de compost adjuntando una carta de respaldo que avale su condición de productor orgánico actual o en vías de serlo, emitida por el SAG.

**(11) Aplicación de roca fosfórica (kg):** Consiste en la aplicación de roca fosfórica en dosis equivalente no superior a 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha sobre suelos de pH inferior o igual a 5,8 (medido en agua), lo que deberá ser demostrado por el correspondiente análisis químico de suelo. Esta práctica no es compatible con el subprograma "Incorporación de fertilizantes de base fosforada" ni con la práctica de "Guano rojo".

**(12) Aplicación enmienda cálcica (kg):** Práctica utilizada para el tratamiento de suelos de texturas pesadas y mal estructurados, que posean condiciones físicas limitantes (inadecuada porosidad y excesiva resistencia mecánica) que afecten el crecimiento y actividad de las raíces y la microflora benéfica, el manejo eficiente del agua y el laboreo. El efecto floculante del catión calcio provoca una mejor estructuración y significativo mejoramiento de las condiciones limitantes señaladas. Esta práctica sólo considera la bonificación del valor del producto, el que puede ser cal agrícola (carbonato de calcio), yeso agrícola (sulfato de calcio) o una mezcla de ambos, dependiendo de las características del suelo (por ejemplo pH y/o capacidad tampón). La dosis mínima considerada será de 400 miligramos de calcio por kilogramo de suelo



(400 ppm de calcio). La profundidad de suelo a corregir variará dependiendo del objetivo perseguido. El producto debe ser incorporado al suelo, según la profundidad que se desea corregir.

- (13) Establecimiento e incorporación de abono verde (ha):** Mínimo 20 ton/ha (Materia Verde). Contempla los costos derivados del cultivo de leguminosas o leguminosas asociadas a cereales, destinadas principalmente a ser incorporadas al suelo. Además, considera los costos del corte e incorporación de dicho cultivo. En zonas de catástrofe o emergencias agrícolas declaradas debidamente por la autoridad el mínimo referido anteriormente será de 10 ton/ha (Materia Verde).
- (14) Establecimiento de cobertura de protección de suelos frágiles y de laderas (ha):** Consiste en el establecimiento de leguminosas perennes (lupino amargo, trébol subterráneo, hualputra u otras) para proteger suelos degradados del secano costero e interior en laderas de hasta 30% con cultivos leñosos (establecimiento entre hileras).
- (15) Manejo de rastrojos:** Las prácticas de este numeral implican la obligación del beneficiario de no quemar rastrojos en ninguna parte del predio objeto del beneficio, salvo condiciones de emergencia sanitaria decretada por la autoridad correspondiente. Tales prácticas son las siguientes:
- **Acondicionamiento rastrojo de cereal (ha):** Incluye gastos de fraccionamiento de rastrojo y aplicación de al menos 23 unidades de Nitrógeno/ha para descomposición, excepto en la X y XIV regiones donde deben ser al menos 35 unidades de Nitrógeno/ha. En el caso de labranza tradicional, este valor también incluye los costos derivados de la incorporación del rastrojo al suelo y, en el caso de cero labranza incluye el hilerado de éstos. Esta práctica no es compatible con la práctica de "Fraccionamiento de rastrojo (ha)" ni la de "Incorporación de Rastrojo (ha)".
  - **Acondicionamiento rastrojo de maíz (ha):** Incluye gastos de fraccionamiento de rastrojo y aplicación de al menos 40 unidades de Nitrógeno/ha para descomposición. En el caso de labranza tradicional, este valor también incluye los costos derivados de la incorporación del rastrojo al suelo y, en el caso de cero labranza incluye el hilerado de éstos. Esta práctica no es compatible con la práctica de "Fraccionamiento de rastrojo (ha)" ni la de "Incorporación de Rastrojo (ha)".
  - **Fraccionamiento de rastrojo (ha):** Consiste en la utilización de maquinaria para el picado de los rastrojos, aumentando la superficie de contacto de éstos, facilitando de esta manera su descomposición. Incluye sólo el costo de la maquinaria.
  - **Incorporación de rastrojo (ha):** Considera los costos derivados de la incorporación del rastrojo al suelo.
- (16) Cero labranza y cero labranza tiro animal (ha):** Sistema de siembra directa, en el cual no se realiza un movimiento importante del suelo (ni araduras, ni rastrajes). Considera los costos derivados del herbicida y su aplicación, los costos de la maquinaria de siembra y los relativos a las labores de fraccionamiento de rastrojos explicados en el punto 15. Esta práctica es incompatible con la quema de rastrojos.
- (17) Cero labranza sobre pradera (ha):** Considera los costos derivados del herbicida y su aplicación, además de los costos relativos a la siembra (arriendo de maquinaria).
- (18) Manejo de espinal (ha):** Eliminación de renuevos alrededor del fuste principal. Se consideran tres tipos de densidades del espinal: baja (20 a 39% de cobertura), media (40 a 69% de cobertura) y alta (mayor o igual a 70% de cobertura).
- (19) Uso de arado cincel (ha):** El objetivo de esta práctica es descompactar el suelo. Se recomienda el paso de este implemento a una profundidad de entre 18 y 25 cm, a velocidad relativamente alta (más de 8 km/h), para que la vibración de los arcos ayude a soltar el suelo sin invertir la superficie. Considera sólo el arriendo de la maquinaria.
- (20) Uso de subsolador (ha):** Esta labor tiene como objetivo romper capas compactadas de suelo, permitiendo de esta manera una adecuada infiltración del agua. Se debe realizar con tractor oruga o agrícola equipado con subsolador. Se sugiere ejecutar la





---

## Fuentes y referencias

- <sup>i</sup> Fuente: Primer reporte de manejo de residuos sólidos en Chile – 2010
- <sup>ii</sup> Fuente: Héctor Saavedra, Dirección de aseo y ornato de la Ilustre Municipalidad de Concepción
- <sup>iii</sup> Fuente: Máster Ingeniería Ambiental - Emilio Romero - Residuos de la construcción y demolición
- <sup>iv</sup> Fuente : El mercurio  
<http://www.edicionesespeciales.elmercurio.com/destacadas/detalle/index.asp?idnoticia=0110012006021X1050052&idcuerpo=486>
- <sup>v</sup> Fuente: Seminario combustión y gasificación de la biomasa – Misael Gutiérrez
- <sup>vi</sup> Fuente: Alternativas Para Reducir La Quema de Rastrojos En Las Regiones Del Centro - Sur De Chile
- <sup>vii</sup> Fuente: Estadísticas Agrícolas Periodo 2000 – 2010 INE
- <sup>viii</sup> Fuente: Estadísticas Agrícolas Periodo 2000 – 2010 INE
- <sup>ix</sup> Fuente: Estadísticas Agrícolas Periodo 2000 – 2010 INE
- <sup>x</sup> Fuente: Estadísticas Agrícolas Periodo 2000 – 2010 INE
- <sup>xi</sup> Fuente: Laboreo y conservación de Suelo- Paola Silva C, Dra. MS. Ing. Agrónomo
- <sup>xii</sup> Fuente: propia
- <sup>xiii</sup> Fuente: Bayer CropScience  
<http://www.bayercropscience.cl/noticias/vernoticia.asp?id=2479>
- <sup>xiv</sup> Fuente: Seminario Manejo de Rastrojos- Situación Actual y Alternativas Para Reducir la Quema De Rastrojos En Las Regiones del Centro-Sur De Chile - Carlos Ruiz S y Claudio Pérez C.
- <sup>xv</sup> Fuente: Los aislamientos térmicos naturales: construcción ecológica y eficiencia energética y norma chilena
- <sup>xvi</sup> Fuente: <http://es.scribd.com/doc/46803913/Ciclo-de-Producto-Poliestireno>
- <sup>xvii</sup> Fuentes: The effect of foam polystyrene granules on cement composite properties
- <sup>xviii</sup> Fuente : Business News Américas  
[http://www.bnamericas.com/news/petroquimicos/Consumo\\_de\\_poliestireno\\_expandido\\_sube\\_30\\*\\_el\\_primer\\_semestre](http://www.bnamericas.com/news/petroquimicos/Consumo_de_poliestireno_expandido_sube_30*_el_primer_semestre)
- <sup>xix</sup> Fuente: NCh 853. EOF71

---

<sup>xx</sup> Descomposición de rastrojos de cultivo en siembra sin laboreo: Trigo, maíz, soja y trido después de maíz o soja. - Ernst, O.1; Bentancur, O.1 ; Borges, R.1 - Facultad de Agronomía. Estación Experimental Dr. Mario A. Cassinoni - Paysandú. República Oriental del Uruguay.