

FONDO NACIONAL DE DESARROLLO TECNOLÓGICO Y PRODUCTIVO
FONTEC - CORFO

BIBLIOTECA CORFO

INFORME FINAL

96 - 0918

PROYECTO BRIQUETAS CARBONIZADAS DE ASERRIN

Entidad Patrocinadora Empresa Industrial Moreno Vial Ltda.
Entidad Ejecutora Fundación Chile

Santiago, Noviembre 1997

662.65
E 55
1997

662.65
E 55
1997

41 h.

En el último decenio, se constata que el país ha sabido enfrentar con éxito el desafío impuesto por la política de apertura en los mercados internacionales, alcanzando un crecimiento y desarrollo económico sustentable, con un sector empresarial dinámico, innovador y capaz de adaptarse rápidamente a las señales del mercado.

Sin embargo, nuestra estrategia de desarrollo, fundada en el mayor esfuerzo exportador y en un esquema que principalmente hace uso de las ventajas comparativas que dan los recursos naturales y la abundancia relativa de la mano de obra, tenderá a agotarse rápidamente como consecuencia del propio progreso nacional. Por consiguiente, resulta determinante afrontar una segunda fase exportadora que debe estar caracterizada por la incorporación de un mayor valor agregado de inteligencia, conocimientos y tecnologías a nuestros productos, a fin de hacerlos más competitivos.

Para abordar el proceso de modernización y reconversión de la estructura productiva del país, reviste vital importancia el papel que cumplen las innovaciones tecnológicas, toda vez que ellas confieren sustentación real a la competitividad de nuestra oferta exportable. Para ello, el Gobierno ofrece instrumentos financieros que promueven e incentivan la innovación y el desarrollo tecnológico de las empresas productoras de bienes y servicios.

El Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo FONTEC, organismo creado por CORFO, cuenta con los recursos necesarios para financiar Proyectos de Innovación Tecnológica, formulados por las empresas del sector privado nacional para la introducción o adaptación y desarrollo de productos, procesos o de equipos.

Las Líneas de financiamiento de este Fondo incluyen, además, el apoyo a la ejecución de proyectos de Inversión en Infraestructura Tecnológica y de Centros de Transferencia Tecnológica a objeto que las empresas dispongan de sus propias instalaciones de control de calidad y de investigación y desarrollo de nuevos productos o procesos.

De este modo se tiende a la incorporación del concepto "Empresa - País", en la comunidad nacional, donde no es sólo una empresa aislada la que compete con productos de calidad, sino que es la "Marca - País" la que se hace presente en los mercados internacionales.

El Proyecto que se presenta, constituye un valioso aporte al cumplimiento de los objetivos y metas anteriormente comentados.

INDICE

páginas.

1 RESUMEN EJECUTIVO	1
2 EXPOSICION DEL PROBLEMA	3
3 METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO	4
4 RESULTADOS	26
5 IMPACTOS DEL PROYECTO	41
6 ANEXOS	42

1 RESUMEN EJECUTIVO

Moreno Vial Ltda. se ha consolidado como la segunda mayor empresa fabricante de puertas de madera de alma hueca del país, con un nivel de producción del orden de los 250.000 unidades anuales. Se dedica principalmente a la fabricación para el mercado nacional de puertas de madera destinado a las constructoras. Con 90 personas empleadas, tiene una cartera de 250 clientes a lo largo del país.

Motivada por los problemas actuales con los residuos que genera la industria secundaria de la madera, Moreno Vial detecto la posibilidad de utilizar con éxito los residuos en un nuevo producto. El producto es una briqueta carbonizada, que se elabora a partir de aserrín, como de otros residuos madereros. Esta briqueta se utiliza en Japón hace más de 30 años, y su mercado objetivo son las parrilladas o barbecue. En el caso chileno, el objetivo es tener una respuesta técnica de la factibilidad de la briqueta carbonizada como de la no carbonizada para ser utilizada como combustible de baja contaminación. El proyecto considero utilizar esta briqueta en las calderas industriales, así como en los calefactores residenciales que actualmente utilizan leña o están clausurados por la normativa ambiental actual.

Con este propósito se inicio hace uno año un proceso sistemático de elección de la mejor opción para validar las briquetas con el apoyo de Fundación Chile.

Se busco además a otros participantes para potenciar más esta solución en la industria secundaria de la madera. Para ello se establecieron reuniones informativas en Fundación Chile y se logro contar con el valioso aporte de 7 empresas adicionales. Estas empresas son: Alfonso Elias e Hijos Ltda., Bosca S.A., Comercial El Remanso, Federico Haas y Cía. Ltda., J y A Chile Corporation, Prodema Ltda. y Tarrago y Aguade Cía. Ltda..

El proyecto ha concluido en su totalidad, con los ensayos en los calefactores domésticos, en las dependencias del Intec, con los distintos combustibles, así como en la caldera de Moreno Vial.

La metodología empleada para desarrollar el plan de trabajo establecido consistió en la utilización de las normas ambientales vigentes en el país, así como aquellas que se promulgarán en el corto y mediano plazo.

Se efectuó la medición del proceso de carbonización en Japón por parte de SGS (Société Générale de Surveillance) y con la auditoría del Proceff (Programa de Control de Emisiones de Fuentes Fijas).

Los objetivos esperados del proyecto son definir técnicamente la factibilidad de utilizar las briquetas carbonizadas como no carbonizadas en los calefactores domésticos y en las calderas industriales, además de ver el nivel de emisiones que se genera en el proceso de carbonización.

Una vez obtenidos los resultados se determinó que existen diferencias cualitativas entre los distintos combustibles utilizados (leña, briquetas no carbonizadas de aserrín y briquetas carbonizadas de aserrín) en los calefactores domésticos que utilizan normalmente leña (estufa de doble cámara, estufa con control de aire "salamandra" y chimenea con hogar abierto "chimenea residencial").

La briqueta carbonizada emite una menor cantidad de contaminantes que los otros dos combustibles en los calefactores domésticos.

En el caso de la caldera industrial de Moreno Vial, las pruebas no fueron concluyentes y no se logro diferenciar los combustibles en cuanto a su nivel de emisión de contaminantes. Al parecer, esto se debió a la calidad de la caldera ensayada.

Queda pendiente la determinación de los niveles de emisión en el proceso de carbonización de las briquetas.

2 EXPOSICION DEL PROBLEMA

Debido a que la fábrica Moreno Vial Ltda., se localiza en una zona mixta industrial y residencial, en el área urbana poniente de Santiago y por ser la combustión de aserrín muy contaminante, la empresa está consciente de que su operación se verá enfrentada a sanciones de las autoridades, las que incluso llegaron a la clausura de la caldera a leña. Esto implica la utilización del gas natural como combustible o el traslado de la empresa, costo que la empresa no está preparada para soportar. Con el uso de gas natural, la cantidad de desechos que se producen deben ser evacuados de alguna forma para no afectar el normal desempeño de las labores en el recinto industrial. La disposición de residuos sólidos esta actualmente regulada por la autoridad.

Con el objeto de eliminar la acumulación de residuos y lograr aplicar una solución que convierta su aserrín, de un material contaminante a un producto comercialmente útil y de mínima contaminación, se desarrollo el presente estudio.

En la mayoría de los países desarrollados forestalmente e industrialmente madereros, los problemas suscitados por el aserrín se han superado a través de la fabricación de diferentes productos tales como: tableros moldeados para puertas, combustibles de mínima contaminación en forma de pellets o de briquetas prensadas o de briquetas carbonizadas.

La empresa Moreno Vial enterada de esta posibilidad para resolver su problema de contaminación con su aserrín, contrató junto a un grupo de empresas del sector a la Fundación Chile para que coordine y ejecute un proyecto industrial, que analice la viabilidad de aplicar la solución desarrollada en Japón consistente en producir briquetas y briquetas carbonizadas de aserrín.

3 METODOLOGIA Y PLAN DE TRABAJO

3.1 Metodología

La metodología se dividió en:

1. Desempeño del producto en Chile: Se realizan ensayos para ver el real desempeño de la briqueta no carbonizada y la briqueta carbonizada. Primero se mide con leña y posteriormente con las briquetas tanto en los calefactores como en la caldera industrial de Moreno Vial.
2. Factibilidad técnica: Con los resultados se contrasta con las normas de emisión existentes en Chile y es posible determinar la viabilidad técnica del proyecto productivo.

3.2 Plan de trabajo:

Las fases contempladas del proyecto "BRIQUETAS CARBONIZADAS DE ASERRIN" de Moreno Vial en la ejecución del proyecto son:

- Control de emisiones en una planta de carbonización en Japón
- Medición de emisiones en los calefactores domésticos
- Medición de emisiones en las calderas industriales

La medición del proceso de carbonización de las briquetas, ejecutada en el mes de febrero de 1997, consistió en cinco días de estadía de los expertos chilenos en Japón, quienes junto a la jefa de la sección de auditoría del Proceff midieron la salida de la chimenea del horno de carbonización según la norma USEPA 5. El informe del Proceff, se recibió el día 13 de mayo y el de SGS se recibió el día 15 de mayo.

La medición de las emisiones que generan los calefactores domésticos, fue realizada por el Intec en los meses de junio, julio y agosto, probándose la estufa doble cámara, el calefactor con control de aire (salamandra) y posteriormente con la chimenea residencial.

Las mediciones de emisiones en la caldera industrial de Moreno Vial se efectuaron en el transcurso del mes de agosto.

Tanto en los calefactores domésticos como en la caldera industrial, los ensayos fueron realizados con briquetas no carbonizadas y carbonizadas.

Las actividades realizadas son las siguientes:

3.2.1.- Control de emisiones en una planta de carbonización en Japón

El proyecto contemplaba la ida de expertos chilenos a Japón para realizar mediciones en una planta de carbonización de briquetas. Debido a múltiples problemas las mediciones no lograron ser realizadas en la planta inicialmente definida, por problemas generados en Japón. La planta en cuestión se encontraba operativo solamente el área de fabricación de briquetas y no así el área de carbonización de briquetas. Como el objetivo era medir la contaminación que produce la carbonización de estas briquetas se debió ubicar otra planta que realizara el proceso. Luego de una ardua búsqueda se logro dar con una planta que estaba carbonizando briquetas, es necesario explicar que las briquetas carbonizadas se hacen mayoritariamente durante el verano para las parrilladas, en cambio las briquetas crudas o verdes (sin carbonizar) se fabrican en invierno para los calefactores y las calderas industriales.

La planta de carbonización que se midió se ubica en Morioka, en el estado de Kyoto al sur de Tokio. La planta resulto ser unos hornos artesanales de carbonización en los cuales no estaban los equipos de control que se indicaban en los antecedentes entregados por Jaido a Fundación Chile, pero considerando que la medición que se realizaría en esa planta sin lugar a dudas sería el peor de los escenarios posibles, se decidió efectuarla.

El día 18 de febrero de 1997 a las 0:30 horas partió el grupo de experto chilenos con destino a Osaka. Los días 20 y 21 de febrero se llevaron a cabo las mediciones en Morioka. El día 25 de febrero retornaron al país la gente de SGS y del Proceff.

La mediciones de partículas en flujos de gases por ductos en términos generales se puede describir como la siguiente:

1. - Para determinar en forma realista la concentración de partículas arrastradas por un flujo de gases interior a un ducto, es necesario realizar un muestreo denominado isocinético. Este consiste, básicamente, en tomar muestras en un cierto número de puntos de una sección transversal en el interior del ducto (sección que debe cumplir ciertas condiciones), con una velocidad de succión de gas por la sonda muestreadora igual a la velocidad instantánea que lleva el gas en la vena de fluido asociada al punto que se muestrea dentro del ducto. En un flujo estabilizado en un conducto recto cerrado, a cierta distancia de posibles singularidades tanto aguas arriba como abajo del flujo, la velocidad recién citada varia de punto a punto en una sección transversal, siendo mínima en las cercanías de la pared del ducto y máxima en su centro.
2. - Para seleccionar las secciones de muestreo y los puntos que se considerarán, se utilizan las indicaciones dadas por el Método 1 de EPA (Environmental Protection Agency) de Estados Unidos.

3. - Para la medición de velocidades y presiones dentro del ducto, en los puntos de interés, se usa un Tubo Pitot tipo "S", dispositivo especial para gases sucios, y un manómetro inclinado de líquido. Se opera de acuerdo al Método 2 de la EPA. (Debe observarse cuidado con respecto a la densidad del líquido usado).
4. - La determinación discreta de composición química del gas, expresada en % en volumen de CO, CO₂ Y O₂ se realizará con un analizador de gases ORSAT, siguiéndose las indicaciones del Método 3 de la EPA (la diferencia a 100 se supondrá N₂ en los casos corrientes).
5. - La temperatura del gas en cada punto se mide con una termocupla tipo K y un milivoltímetro digital.
6. - Para determinar la cantidad de polvo y la humedad en el gas, se utiliza un muestreador isocinético aprobado por la EPA, y se opera corrientemente de acuerdo al Método 5 (EPA).

El muestreador consiste de:

- Una sonda muestreadora, que lleva en el extremo que se introduce al ducto: el Pitot tipo S, la termocupla, la boquilla (de diámetro variable por donde se succiona el gas sucio del ducto).
- Una caja caliente que lleva el filtro donde se recolecta el polvo captado. Esta se conecta a la sonda anterior mediante una manguera especial. El sistema se calefacciona eléctricamente a una temperatura ligeramente superior a 100°C de modo de evitar la condensación de humedad y posterior tapado del filtro.
- Y a continuación de la caja caliente se conecta la caja fría, que consta de una serie de recipientes burbujeadores (impingers). Los dos primeros contienen agua en volumen medido, otro se coloca vacío y el último contiene silica gel. La función de esta parte del equipo, en principio, es recuperar la humedad que lleva el gas y entonces medirla por diferencias de volumen y gravimetría. Exteriormente a los impingers se coloca hielo y algo de agua para mantener condiciones adecuadas al proceso de condensación. También sirven para recuperar otros condensables.
- A continuación se conecta en serie la caja de control, mediante el cordón umbilical, a la caja fría. Esta caja permite regular la velocidad de muestreo (o succión) de modo de alcanzar el isocinetismo. Posee los medidores necesarios para realizar lo anterior, con la ayuda de una regla de cálculo especial (nomógrafo).

Como el Método 5 sirve para la determinación de las emisiones de partículas desde fuentes fijas, fue el método seleccionado. Se extrae isocinéticamente el material particulado de una fuente y se recoge en un filtro de fibra de vidrio mantenido a una temperatura en el rango de 120 +/- 14°C. La masa particulada que incluye todo material que se condense a temperatura de filtración, o superior, se determina graviméticamente después de sacar el agua sin mezclar.

La recuperación de las muestras se efectúa in situ limpiando todas las partes en contacto con los gases y material particulado con acetona grado analítico. Cuando se trata de procesos en donde se eliminan solventes se debe utilizar el mismo solvente en lugar de la acetona.

3.2.2.- Control de emisiones en calefactores domésticos con las briquetas

La importación de las briquetas de Japón llegó el día 28 de mayo. Luego de los respectivos tramites aduaneros, se logro transportar las briquetas a Santiago el día 7 de junio. Los 3600kg de briquetas sin carbonizar y los 1200kg de briquetas carbonizadas se trasladaron a Moreno Vial. Allí se despacharon 200kg de briquetas al Intec para los ensayos de los calefactores domésticos.

Las mediciones en los calefactores se empezaron a realizar en el mes de junio en las instalaciones del Intec. El primero de los calefactores analizados fue estufa doble cámara. La estufa de doble cámara ya fue ensayada con las briquetas no carbonizadas y luego con las briquetas carbonizadas. Estos ensayos se efectuaron en cuatro tasas distintas de quemado, las cuales son: tasa máxima de quemado, tasa intermedia máxima de quemado, tasa intermedia mínima de quemado y la tasa mínima.

3.2.2.1. Metodología

La cuantificación de las emisiones de partículas totales de un calefactor a leña se realizó usando el Método 28, publicado por la Environmental Protection Agency (EPA), en el Code of Federal Regulation de U.S.A.

Cabe señalar que se hizo dos modificaciones a este método, una de ellas es el tipo de leña, se reemplazó el Pino Oregón por Eucalipto y la otra corresponde a la humedad, en lugar de usar leña con una humedad de 19 a 25 % base seca, se utilizó una comprendida entre 12 y 18 % base seca.

El Método 28 describe la infraestructura de prueba, la carga de combustible, la operación del calefactor, los procedimientos para determinar las tasas de quemado, los procedimientos de cálculos y hace mención que la determinación de las emisiones de material particulado, debe realizar utilizando el Método 5H ó 5G. Las determinaciones

de las emisiones de partículas totales provenientes del calefactor a leña se realizan utilizando el Método 5H, el cual mide simultáneamente el material particulado y los condensables, producto de la combustión de leña.

Con el Método 5H el material particulado es retirado proporcionalmente desde la chimenea del calefactor a leña y es recogido en dos filtros de fibra de vidrio separados por burbujeadores inmensos en un baño de hielo, especificándose las temperaturas a que se mantendrán dichos filtros o el gas que pasa por ellos. La masa particulada recolectada en la sonda de muestreo, los filtros y los burbujeadores se determinan gravimétricamente después de remover el agua no combinada.

Esta misma metodología se utilizó, para probar las briquetas de aserrín carbonizadas y crudas, con la salvedad, de que la humedad de las briquetas de carbón es de 3% y de las crudas es de 6%.

DETERMINACION DE LA TASA PONDERADA DE EMISIONES DE PARTICULAS

Para determinar la tasa de emisión ponderada se usa la siguiente ecuación:

$$E_p = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i E_i)}{\sum_{i=1}^n k_i}$$

donde:

- E_p : Tasa de emisión ponderada (g/h)
- E_i : Tasa de emisión para el ensayo y, usando el Método 5H (g/h)
- K_i : Factor de ponderación para el ensayo $i = P_{i+1} - P_{i-1}$
- n : Número de ensayos
- P_i : Probabilidad de tasa de quemado, durante la prueba i . Se obtiene de tabla publicada conjuntamente con el Método 28. (Nota: $P_0 = 0$ y $P_{n+1} = 1$). A continuación en tabla 2.1 se presenta un cuadro resumen de las mediciones

efectuadas al calefactor de leña. En la tabla se muestran el número de ensayo, la tasa de quemado (base seca) en Kg / h; las emisiones en g/h, (Ei), la probabilidad de tasa de quemado Pi, el factor de ponderación del ensayo Ki y el producto de las emisiones con el factor de ponderación (Ki Ei).

TABLA N°1

RESUMEN DE LAS MEDICIONES EFECTUADAS A UN CALEFACTOR A LEÑA

Marca :
 Tipo :
 Modelo :

CATEGORIA DE TASA DE QUEMADO	NUMERO DE DE ENSAYO	TASA DE QUEMADO BASE SECA (Kg/h)	Pi	Ei (g/h)	Ki	Ki Ei
1						
2						
3						
4						

De la Tabla N°1 se calcula la tasa de emisión interna que emite el calefactor a leña.

$$E \text{ ponderada} = \text{g/h}$$

Análisis de gases.

La determinación de gases SO₂, NO_x, CO, CO₂, O₂ y HCT, tanto en la caldera como en los calefactores de combustión lenta, se realizó mediante un monitoreo continuo, con un analizador de gases de chimenea, marca HORIBA, modelo ENDA 1000; el cual utiliza gases de calibración, certificados, cada vez que se requiere utilizar. Los principios de detección usados por este instrumento para los distintos gases son: infrarrojo no dispersivo para el SO₂, NO_x, CO y CO₂, fotometría de emisión de llama para los HCT, y magnetoneumático para O₂, aprovechando que es un gas paramagnético. Este equipo, cumple con la metodología expuesta en el método EPA 7-E para la detección de NO_x y con la establecida en el método 6-C para la determinación de SO₂, con el método 10 para la determinación de CO y con el método 18 para la determinación de HCT.

En chimenea se utilizó un analizador de gases continuo, marca TESTO, para la determinación de CO₂, CO y O₂, este equipo utiliza celdas electroquímicas en su principio de detección y fue chequeado con gases patrón antes del estudio y con un analizador de gases tipo ORSAT como respaldo.

3.2.3. Mediciones Isocinéticas del material particulado evacuados a la atmósfera por una caldera industrial.

La determinación de la concentración de partículas y, por ende, de los niveles de arrastre de sólidos en la corriente gaseosa, se realiza con un analizador isocinético de acuerdo al método 5 EPA. Este equipo hace posible tomar muestras según la velocidad variable que mantiene el gas en el ducto, de modo de no introducir distorsiones de mayor o menor concentración que la real que circula por la red en los momentos de muestreo; por tanto, permite detectar con exactitud la concentración de partículas en un volumen dado de gases aspirados.

El analizador isocinético determina en el mismo momento el flujo de gases, la humedad y temperatura.

El analizador isocinético, al igual que todo el tren de muestreo se encuentra debidamente calibrado y certificado por el Instituto de Salud Pública (ISP).

En términos generales, el trabajo de terreno se efectuó de la siguiente manera, usando el muestreador de acuerdo a la metodología de la Environmental Protection Agency, EPA :

- a) Determinación del número de estaciones de muestreo en la chimenea a medir.
- b) Caracterización del flujo de gases en cada ducto. Esto implica medir los siguientes parámetros:
 - Presión absoluta del ducto.
 - Temperatura de los gases.
 - Velocidad de los gases.
 - Humedad de los gases.
 - Composición de los gases (CO₂ y O₂)
- c) Preparación y ajuste del muestreador isocinético de acuerdo al régimen de velocidad y temperatura de los gases.
- d) Muestreo isocinético de las partículas, con el fin de determinar su concentración.

Análisis cromatográfico de Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (HAPs)

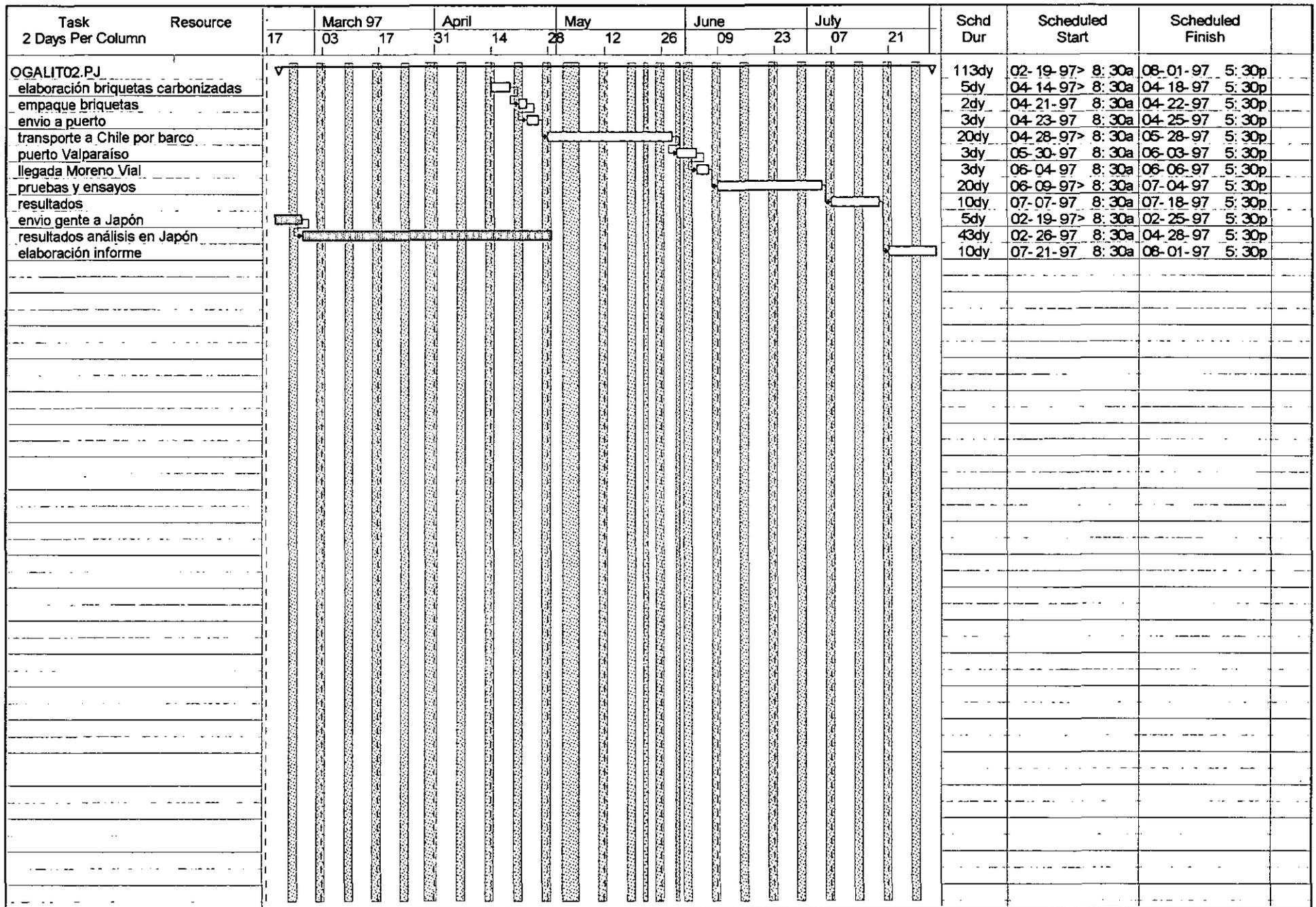
La detección de los HAPs se realizó con un detector UV a 254 nm y uno de fluorescencia.

La identificación se hizo por tiempos de retención y por comparación de los espectros de absorción de cada pico separado, con los de estándares de la chem station, mediante la técnica del diodo array.

Las muestras sólidas de los muestreos isocinéticos y de estufas; y sus aguas de lavado son sometidas a una extracción con diclorometano. Este extracto es sometido a análisis cromatográfico.

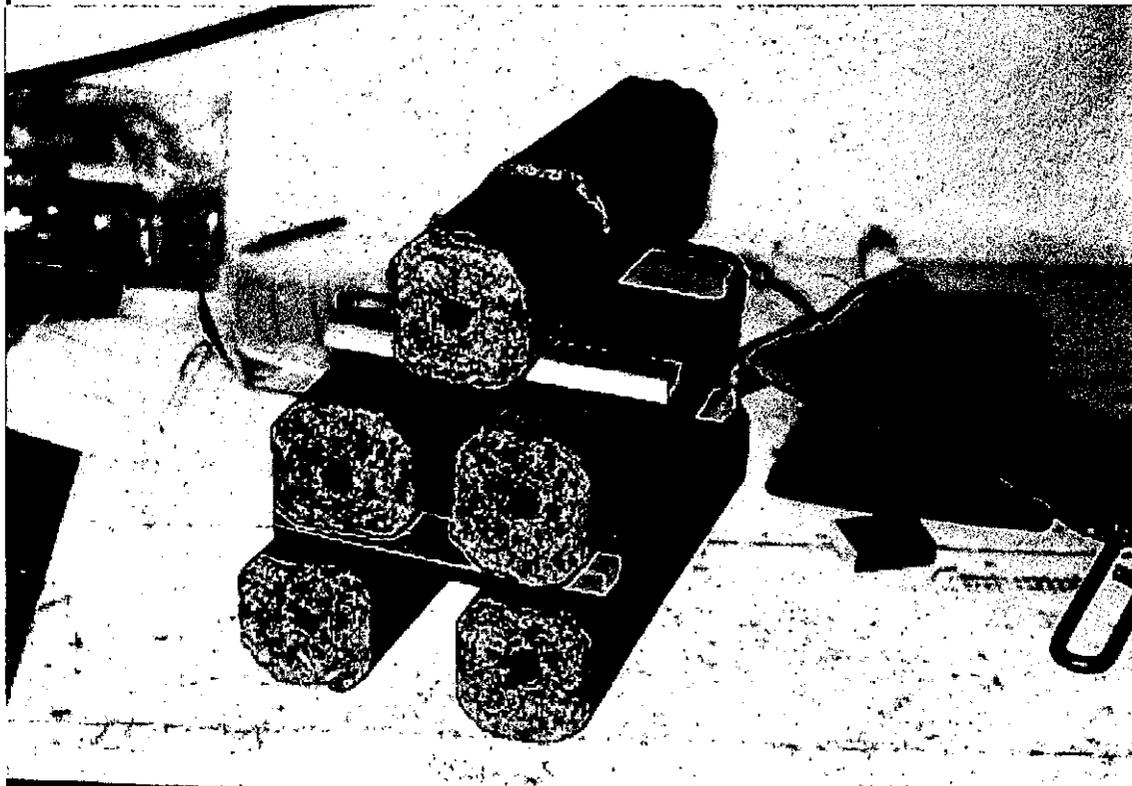
Los HAPs, que se pueden separar identificar y cuantificar son Naftaleno, Acenaftaleno, Acenaftaleno, Fluoreno, Antraceno, Fluoranteno, Benzo (a) Antraceno, Pireno, Criseno, Benzo (k) fluoranteno, Benzo (a) pireno, Dibenzo (a,h) antraceno, Benzo (ghi) perileno, Indeno (1,2,3 cd) pireno y Coroneno.

El término de HAPs totales se refiere a la concentración total detectada, utilizando una mezcla estándar de 16 HAPs. Lo mismo ocurre para los HAPs cancerígenos, para lo cual se utilizó una mezcla estándar con 6 HAPs cancerígenos.

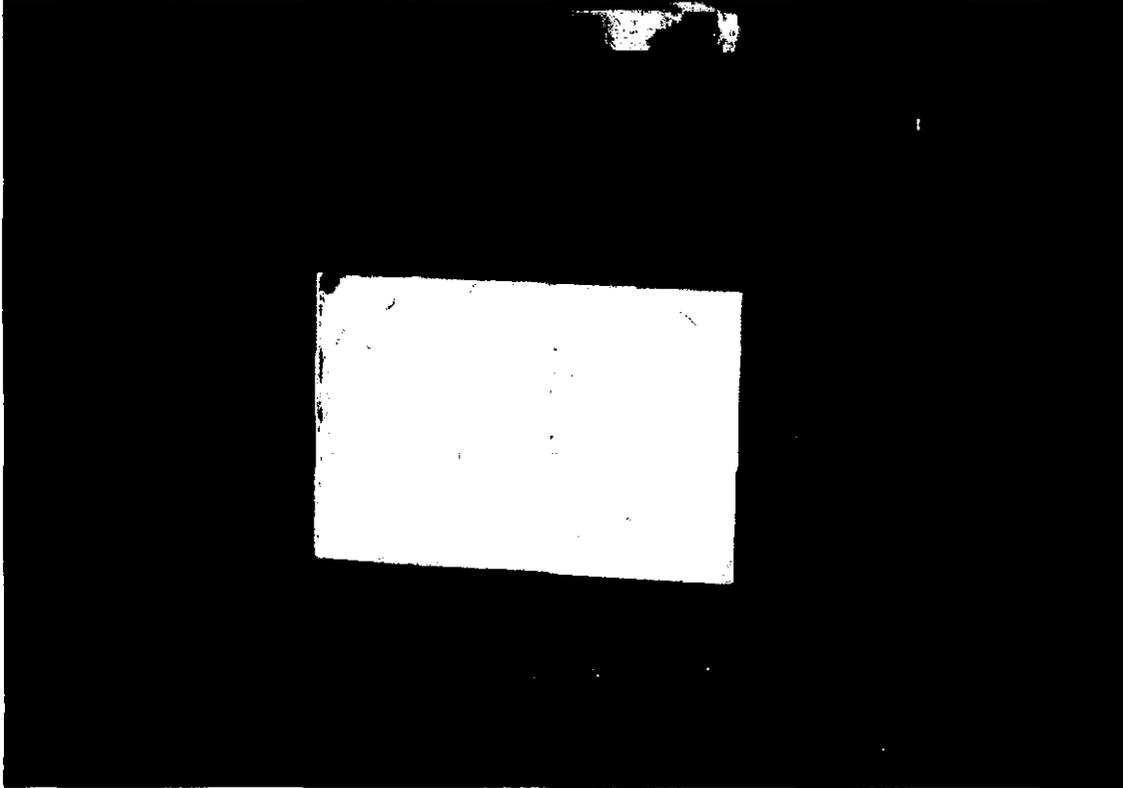


Las diferentes etapas del proceso de combustión se presentan a continuación:

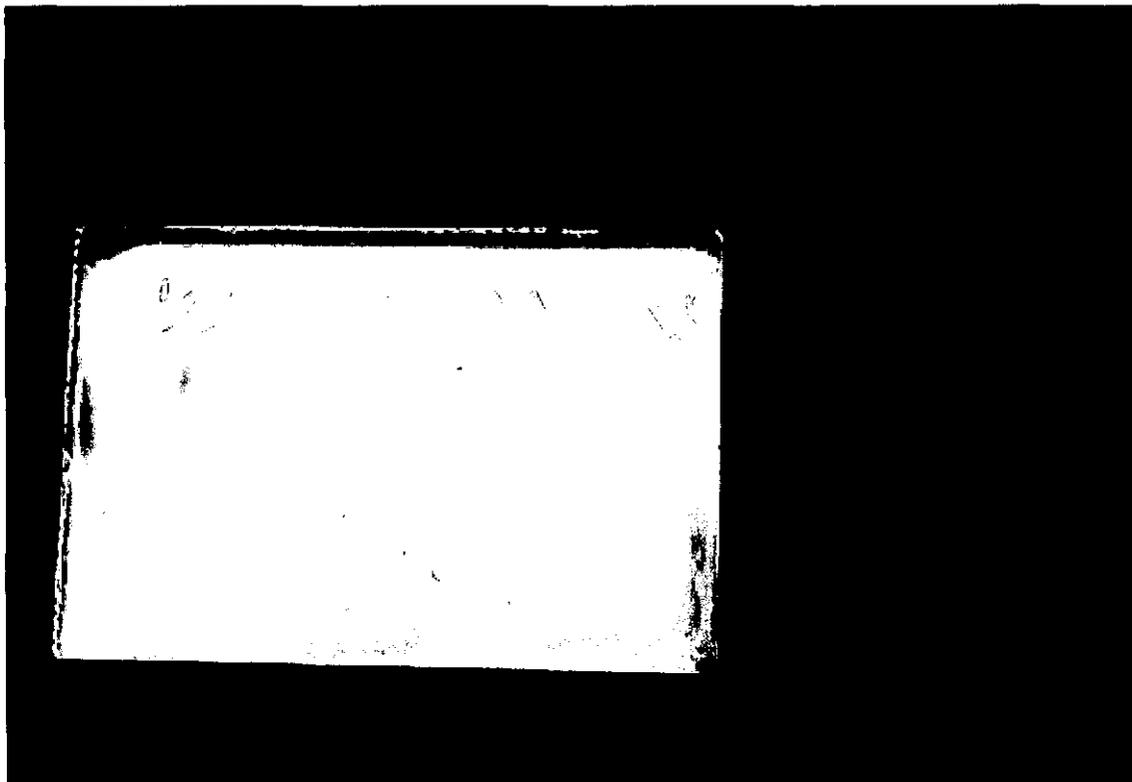
Briquetas no carbonizadas (crudas) para la estufa de doble cámara como carga previa:



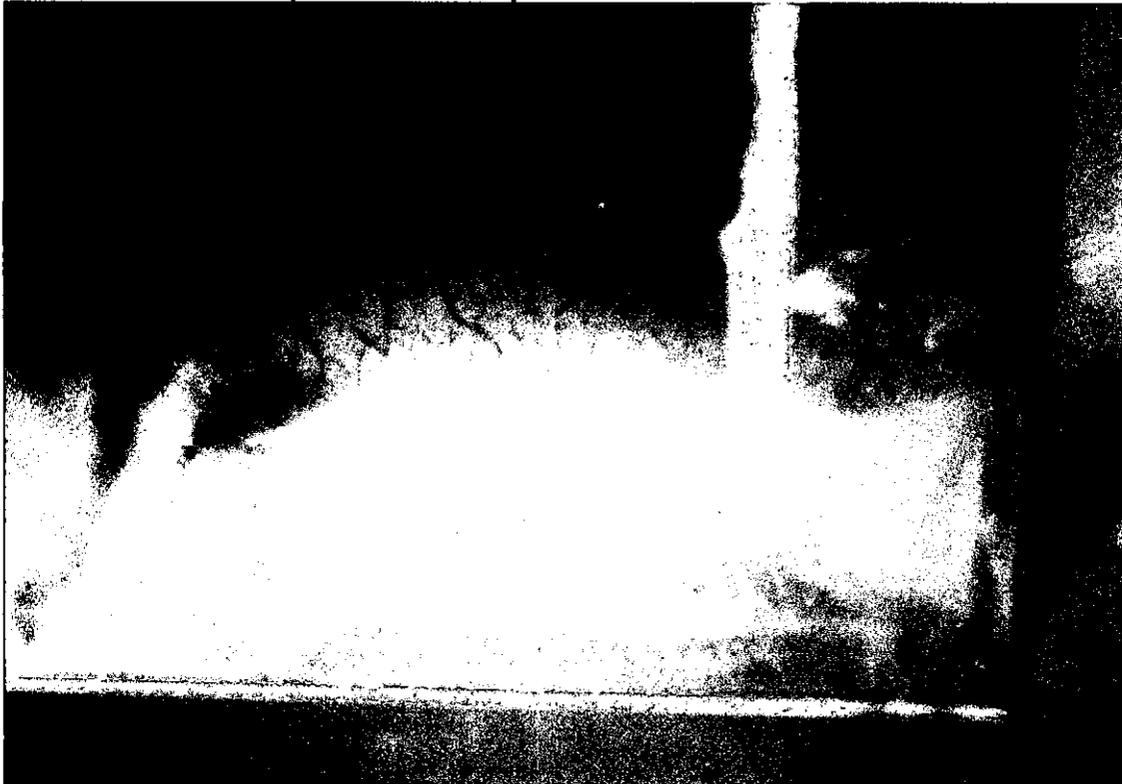
Combustión de las briquetas no carbonizadas (crudas) en la estufa de doble cámara:



Combustión de las briquetas no carbonizadas (crudas) donde se aprecia el efecto doble cámara:



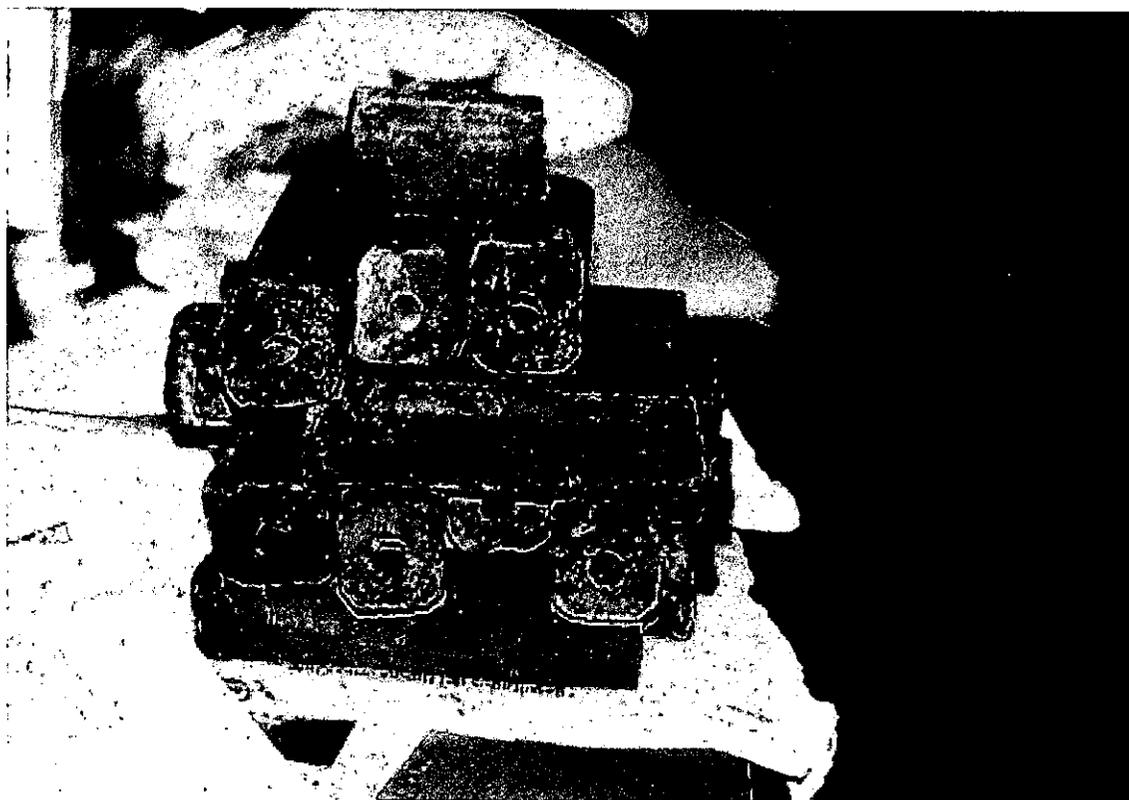
Combustión de las briquetas no carbonizadas (crudas) a nivel de brasas incandescente sin perder su compactación inicial:



La combustión aún no a finalizado pero la briqueta mantiene su forma:



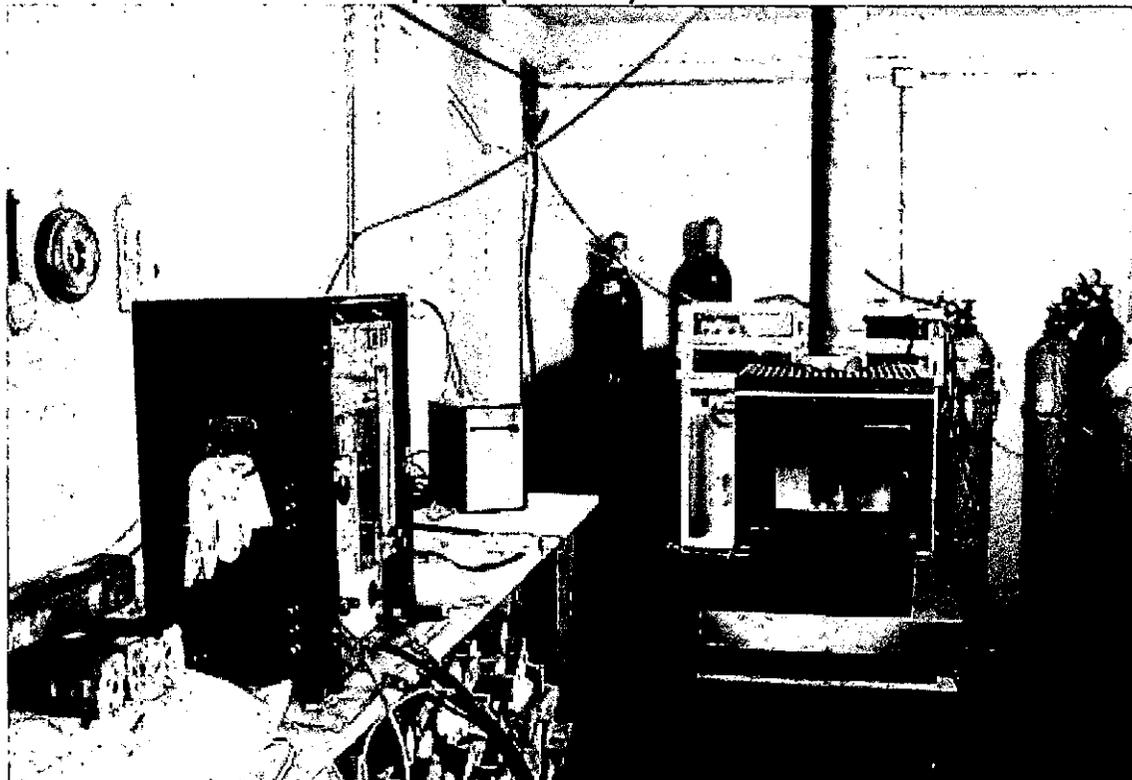
Carga de briquetas carbonizadas listas para ser utilizadas en la estufa de doble cámara:



Colocación de las briquetas carbonizadas dentro de la estufa doble cámara:



Sala de mediciones del Serpram (ex Intec):



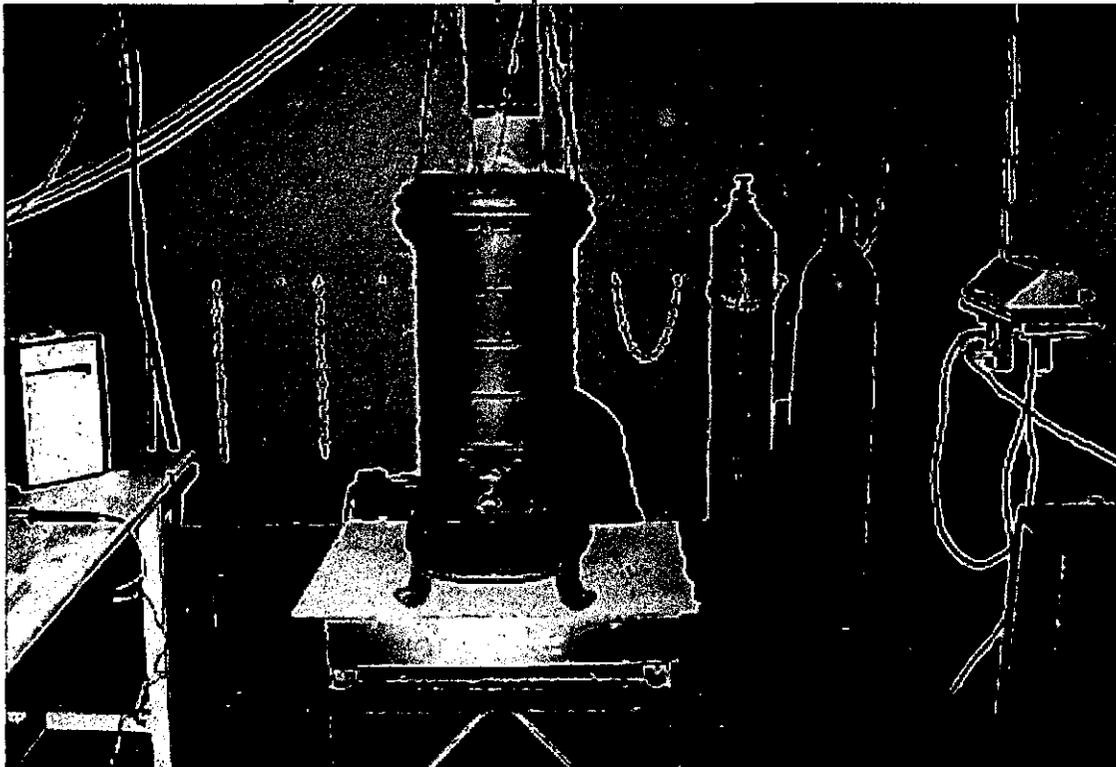
Combustión de las briquetas carbonizadas en la estufa doble cámara:



Combustión de las briquetas carbonizadas en una etapa sin llamas:



A continuación se presenta el equipo utilizado en la medición:



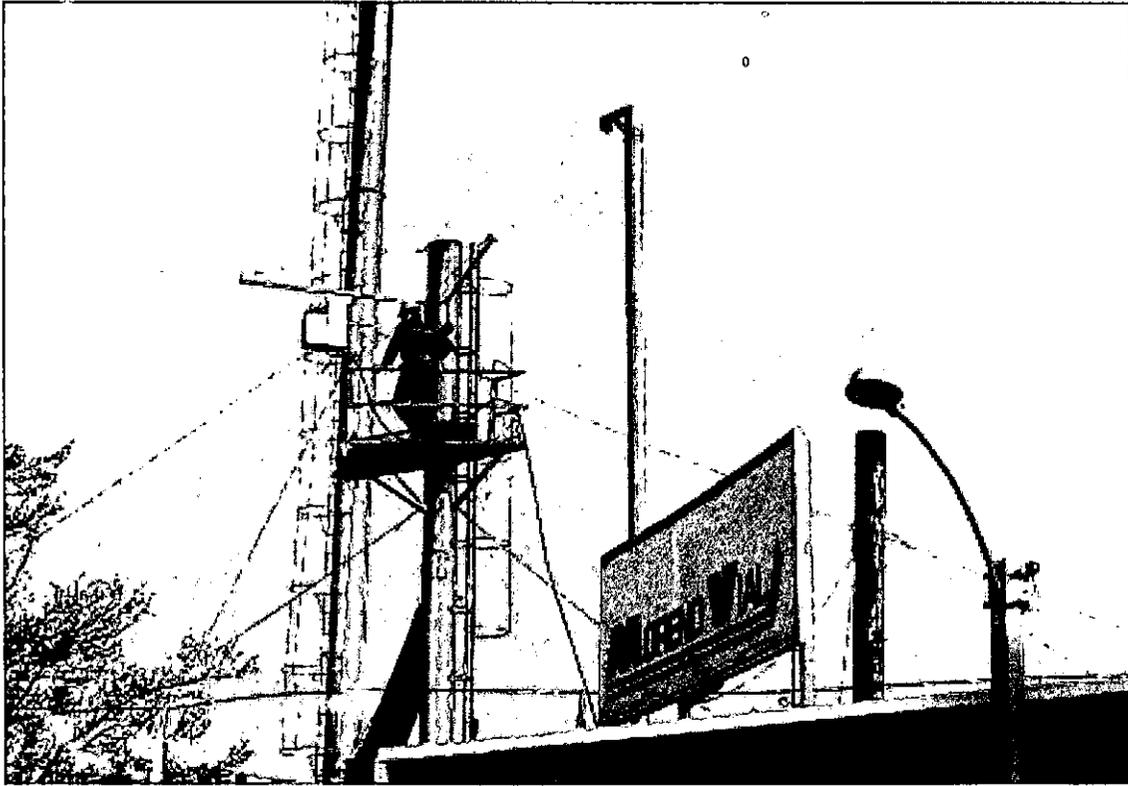
Combustión de la chimenea residencial (chimenea de hogar abierto) con briquetas carbonizadas:



Combustión de las briquetas no carbonizadas (crudas) en la chimenea residencial:



Imagen de la medición de la caldera industrial de Moreno Vial:



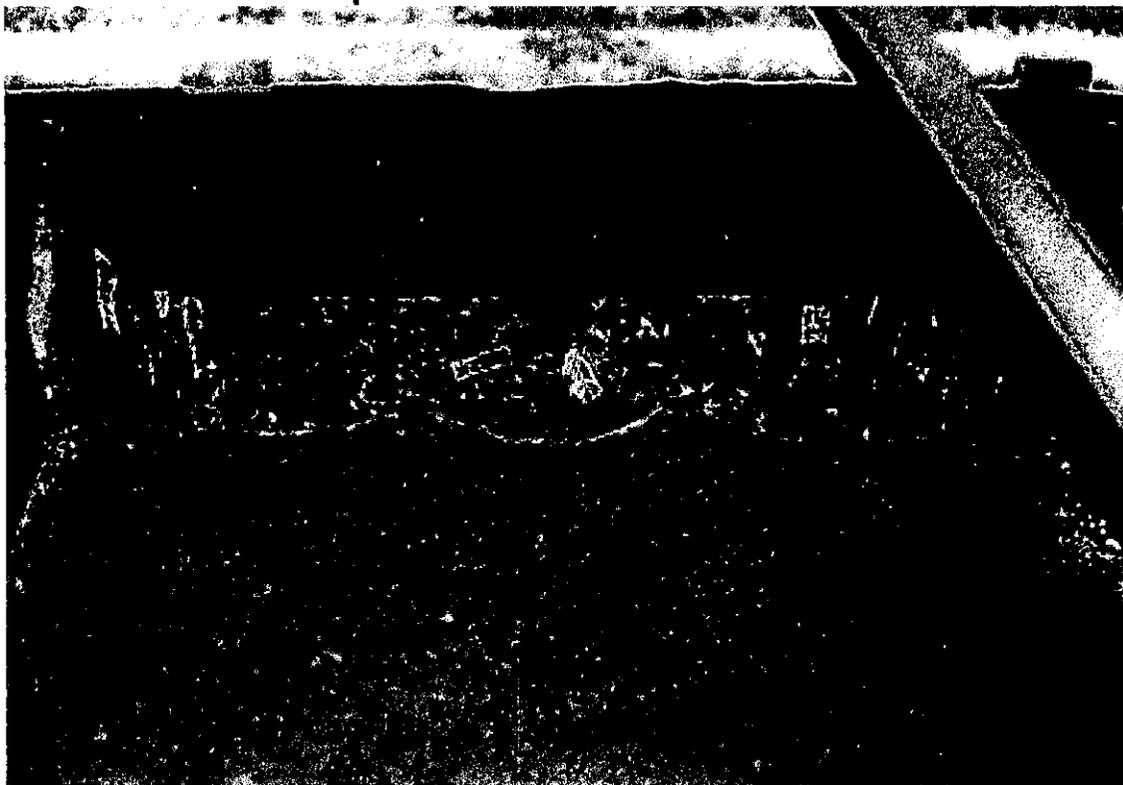
Alimentación de la caldera industrial de Moreno Vial con leña:



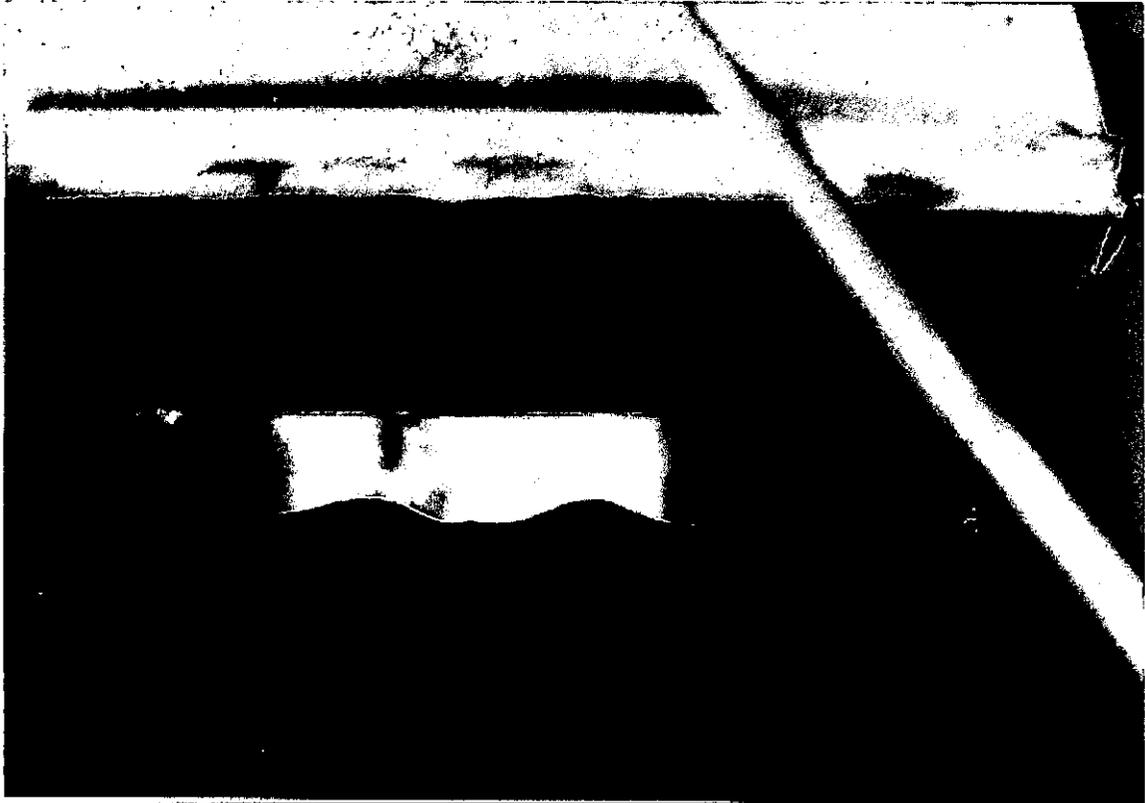
Cajas con briquetas carbonizadas que se utilizaron en la prueba:



Combustión de las briquetas carbonizadas en la caldera industrial:



Otra imagen de la combustión de las briquetas carbonizadas:



Embalaje de las briquetas carbonizadas:



Briquetas no carbonizadas (crudas) que presentaron problemas debido a la humedad que captaron durante su almacenamiento en Moreno Vial:



Detalle del cambio físico presentado por la briqueta no carbonizada (cruda):



Nivel de desagregación observado en la briqueta no carbonizada (cruda) debido a la absorción de humedad:



Carga de briquetas no carbonizadas (crudas) en la caldera industrial:



Carga de briquetas no carbonizadas (crudas) en la caldera industrial:



4 RESULTADOS

Los resultados de los ensayos son los siguientes:

a) Proceso de carbonización en Japón:

Los valores obtenidos a través de las mediciones efectuadas en Japón, son mayores a los valores permitidos para la Región Metropolitana, ya que generaron 402,25mg/m³N y 800,08mg/m³N.

Los hornos a instalarse en Chile serían de tecnología más moderna que los medidos en Japón. Además tendrían incorporado un equipo de control de emisiones (lavador de gases), con lo cual los resultados esperables de concentración se reducen en base al % de eficiencia del equipo. Considerando un equipo lavador de baja eficiencia (90%) la concentración debería corresponder a 40,23mg/m³N y 80,01mg/m³N respectivamente.

b) Calefactores domésticos:

La medición de los calefactores domésticos se realizó en el plazo programado, en el caso de la caldera industrial, esta quedó fuera de los plazos y se debió solicitar una prórroga. En el caso de los resultados de los ensayos realizados estos también tuvieron un retraso por parte de la Facultad de Medicina de la Universidad de Chile, la cual debía entregar los análisis de los hidrocarburos aromáticos polinucleares (HAP), por lo tanto se debió solicitar una segunda prórroga al FONTEC.

En la Región Metropolitana las probables normas de emisión de material particulado que se van a fijar a los calefactores de leña son: 9g/h para el primer año, 7,5 g/h para los dos años siguientes y de 5,5 g/h a partir del tercer año de que entre en vigencia la norma. En la IX Región (Temuco) se fijaron 9 g/h para el primer año y 7,5 g/h a partir de los dos años siguientes.

Por otra parte, existe el Decreto Supremo 811/93 del Ministerio de Salud que textualmente señala: "Prohíbese la utilización de chimeneas de hogar abierto destinadas a la calefacción de viviendas y de establecimientos públicos y privados que no estén provistos de sistemas de doble cámara o mecanismos de captación de partículas, en las siguientes comunas de Santiago: Cerro Navia, Conchalí, Estación Central, La Florida, La Cisterna, La Granja, Las Condes, La Pintana, La Reina, Lo Prado, Macul, Maipú, Ñuñoa, Peñalolén, Providencia, Pudahuel, Quinta Normal, Renca, Santiago, San Joaquín, San Miguel, San Ramón, Cerrillos, El Bosque, Huechuraba, Independencia, Lo Barnechea, Lo Espejo, Pedro Aguirre Cerda, Vitacura y Recoleta.

Los ensayos fueron realizados con una estufa doble cámara elegida al azar entre aquellos que están a la venta, con una salamandra que estaba guardada en bodega y con una chimenea de mampostería, la cual esta sin uso.

Por otra parte, de los resultados de las mediciones se puede inferir, que las emisiones disminuyen considerablemente cuando se usa como combustible briquetas carbonizadas.

Para el caso de las estufas doble cámara, la tasa ponderada de emisiones de PTS para la leña es de 4 g/h y para briquetas carbonizadas es de 0,38 g/h. Lo mismo ocurre con los gases CO y NOx. Para el caso de la salamandra las emisiones de PTS, disminuyen de 89 g/h, cuando se usa leña, a 4,2 g/h, cuando se queman briquetas carbonizadas; y para la chimenea de hogar abierto también ocurre lo mismo, las emisiones de PTS disminuyen de 143 g/h a 16 g/h. Los gases presentan este mismo comportamiento.

Las briquetas no carbonizadas (crudas) presentan un comportamiento similar al de la leña.

Por otra parte, en cuanto a los HAPs, se observa un comportamiento similar, las cantidades descienden bruscamente cuando se queman briquetas carbonizadas, con respecto a las briquetas no carbonizadas (crudas) y a la leña.

Las emisiones de contaminantes más bajas, se obtienen cuando se queman las briquetas carbonizadas, especialmente en los equipos de doble cámara de combustión.

b.1.) Calefactor a combustión lenta, doble cámara:

Teniendo en consideración la normativa de emisión de material particulado, **todas las mediciones realizadas con la estufa doble cámara la cumplen, sin importar el tipo de combustible.**

Las diferentes tasas de quemado para el calefactor de combustión lenta, doble cámara con leña, briquetas no carbonizadas (crudas) y briquetas carbonizadas como combustible se presentan a en las tablas N°2y N°3, a continuación:

TABLA 2

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMIANTES EN UNA ESTUFA DOBLE CÁMARA

COMBUSTIBLE	LENA				BRIQUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS				BRIQUETAS DE ASERRIN CRUDAS			
TASAS DE QUEMADO (Kg/h)	0.7	1.0	1.1	3.4	0.3	0.4	0.5	0.9	0.7	1.0	1.4	3.1
HUMEDAD COMBUSTIBLE (%)	9.5	9.7	11.5	10.8	3.0	3.0	3.0	3.0	6.8	6.5	6.5	6.6
TEMPERATURA GAS (°C)	73	91	126	251	60	82	117	181	59	72	128	258
FLUJO GAS (m ³ /h)	7.23	10.17	10.48	26.53	3.66	5.31	7.02	16.47	7.46	10.09	13.28	27.75
CONCENTRACION DE PTS (mg/m ³ N)	65	322	243	348	30	46	60	49	80	400	498	595
CONCENTRACION DE CO (mg/m ³ N)	20520	20520	13680	14820	4560	5700	9120	4560	16074	14820	12540	13680
CONCENTRACION DE NO _x (mg/m ³ N)	11	19	32	70	13	15	11	41	39	39	51	77
EMISIONES DE PTS (gr/h)	0.50	3.30	2.50	9.20	0.10	0.20	0.40	0.80	0.60	4.00	6.60	16.50
EMISIONES DE CO (gr/h)	148.30	208.61	143.41	393.19	16.70	30.24	64.04	75.11	119.83	149.50	166.49	379.59
EMISIONES DE NO _x (gr/h)	0.08	0.19	0.34	1.85	0.05	0.08	0.08	0.68	0.29	0.40	0.67	2.14
TASAS DE EMISIONES PONDERADA												
PTS (gr/h)		4.09				0.38				6.18		
CO (gr/h)		229				47				190		
NO _x (gr/h)		0.70				0.22				0.77		

TABLA 3

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES EN UNA ESTUFA DOBLE CAMARA
A TASAS MINIMAS DE QUEMADO DE COMBUSTIBLE

COMBUSTIBLE	LEÑA	BRIQUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS	BRIQUETAS DE ASERRIN CRUDAS
TASAS DE QUEMADO (Kg/h)	0.7	0.3	0.7
HUMEDAD COMBUSTIBLE (%)	9.5	3.0	6.8
TEMPERATURA GAS (°C)	73	60	59
FLUJO GAS (m ³ /h)	7.23	3.66	7.46
CONCENTRACION DE PTS (mg/h ³ N)	65	30	80
CONCENTRACION DE CO (mg/h ³ N)	2150	4500	16074
CONCENTRACION DE NO _x (mg/h ³ N)	11	13	39
EMISIONES DE PTS (gr/h)	0.60	0.10	0.60
EMISIONES DE CO (gr/h)	148	17	119.83
EMISIONES DE NO _x (gr/h)	0.08	0.05	0.29
RESULTADOS DE HAPs EN LA CHIMENEA	mg/h		
NAFTALENO	0.0000	0.0000	0.0000
ACENAFTALENO	0.0016	0.0000	0.0388
ACENAFTENO	0.0000	0.0000	0.0000
FENANTRENO	0.0095	0.0001	0.1122
ANTRACENO	0.0023	0.0000	0.0404
FLUORANTENO	0.0057	0.0002	0.0532
PIRENO	0.0043	0.0001	0.0468
BENZO(a)ANTRACENO (*)	0.0009	0.0001	0.0117
CRISENO	0.0006	0.0039	0.0019
BENZO(b)FLUORANTENO (*)	0.0004	0.0000	0.0014
BENZO(k)FLUORANTENO (*)	0.0002	0.0000	0.0022
BENZO(a)PIRENO (*)	0.0004	0.0000	0.0064
DIBENZO(a,h)ANTRACENO (*)	0.0000	0.0000	0.0008
BENZO(g,h)PERILENO	0.0000	0.0000	0.0005
INDENO(123-cd)PIRENO (*)	0.0000	0.0000	0.0016
HAPs TOTALES	0.0260	0.0046	0.3179
HAPs CANCERIGENOS	0.0019	0.0001	0.0242

(*) HAPs cancerígenos según OMS.

b.2.) Calefactor con control de aire (salamandra):

La salamandra o equipo con control de flujo de aire, para cumplir con la normativa, **sólo podría ser usada con briquetas carbonizadas.**

Luego se midió el calefactor con control de aire (salamandra), con las cuatro tasas que se utilizaron en el calefactor de doble cámara. Las diferentes tasas de quemado para este calefactor con leña, briqueta no carbonizada (cruda) y briqueta carbonizada se presentan a continuación en las tablas N°4 y N°5:

TABLA 4

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMIANTES EN UNA SALAMANDRA

COMBUSTIBLE	LEÑA				BRIQUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS				BRIQUETAS DE ASERRIN CRUDAS			
TASAS DE QUEMADO (Kg/h)	0.6	1.0	3.1	4.6	0.6	0.7	0.7	1.9	0.7	0.8	1.1	2.9
HUMEDAD COMBUSTIBLE (%)	14.0	14.0	16.5	13.0	3.0	3.0	3.0	3.0	6.0	6.0	6.0	6.0
TEMPERATURA GAS (°C)	64	80	185	307	96	103	108	240	64	95	83	278
FLUJO GAS (m3/h)	20.35	20.66	36.46	50.64	9.80	11.30	10.50	27.88	14.72	15.19	20.83	38.18
CONCENTRACION DE PTS (mg/m3N)	2268	3801	3490	251	171	192	288	354	3487	1841	5483	90
CONCENTRACION DE CO (mg/m3N)	7980	9120	1140	5700	5700	6840	5700	5700	9120	6840	10260	4560
CONCENTRACION DE NOx (mg/m3N)	17	21	71	120	25	21	24	51	21	36	51	107
EMISIONES DE PTS (gr/h)	46.20	78.50	127.20	14.70	1.70	2.20	3.00	9.90	51.30	28.0	114.2	3.40
EMISIONES DE CO (gr/h)	162.36	188.42	41.57	334.26	55.83	77.26	59.85	158.92	134.25	103.9	213.7	174.08
EMISIONES DE NOx (gr/h)	0.34	0.43	2.60	7.06	0.24	0.23	0.26	1.42	0.30	0.54	1.06	4.09
TASAS DE EMISIONES PONDERADA												
PTS (gr/h)		89.23				4.23				58.61		
CO (gr/h)		137				88				173		
NOx (gr/h)		1.16				0.54				1.78		

TABLA 5

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES EN UNA SALAMANDRA
A TASAS MINIMAS DE QUEMADO DE COMBUSTIBLE

COMBUSTIBLE	LEÑA	BRIQUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS	BRIQUETAS DE ASERRIN CRUDAS
TASAS DE QUEMADO (Kg/h)	0.6	0.6	0.7
HUMEDAD COMBUSTIBLE (%)	14.0	3.0	6.0
TEMPERATURA GAS (°C)	64	96	64
FLUJO GAS (m ³ /h)	20.35	9.80	14.72
CONCENTRACION DE PTS (mg/hm ³ N)	2268	171	3487
CONCENTRACION DE CO (mg/hm ³ N)	7980	5700	9120
CONCENTRACION DE NO _x (mg/hm ³ N)	17	25	21
EMISIONES DE PTS (gr/h)	46.20	1.70	51.30
EMISIONES DE CO (gr/h)	162	66	134.25
EMISIONES DE NO _x (gr/h)	0.34	0.24	0.30
RESULTADOS DE HAPs EN LA CHIMENEA	mg/h		
NAFTALENO	0.0000	0.0000	0.0000
ACENAFTALENO	0.0000	0.0001	0.0142
ACENAFTENO	0.0000	0.0000	0.0000
FENANTRENO	0.0116	0.0009	0.0105
ANTRACENO	0.0000	0.0000	0.0062
FLUORANTENO	0.0043	0.0014	0.0024
PIRENO	0.0030	0.0002	0.0030
BENZO(a)ANTRACENO (*)	0.0000	0.0008	0.0029
CRISENO	0.0000	0.0003	0.0000
BENZO(b)FLUORANTENO (*)	0.0000	0.0004	0.0003
BENZO(k)FLUORANTENO (*)	0.0000	0.0003	0.0002
BENZO(a)PIRENO (*)	0.0000	0.0010	0.0008
DIBENZO(ah)ANTRACENO (*)	0.0000	0.0001	0.0000
BENZO(ghi)PERILENO	0.0000	0.0002	0.0000
INDENO(123-cd)PIRENO (*)	0.0000	0.0003	0.0000
HAPs TOTALES	0.0189	0.0058	0.0394
HAPs CANCERIGENOS	0.0000	0.0028	0.0041

(*) HAPs cancerígenos según OMS.

BIBLIOTECA CORFO

b.3.) Calefactor chimenea residencial:

Finalmente se procedió a ensayar la chimenea residencial con una sola tasa de quemado, ya que este calefactor no cuenta con regulación de aire que permita distintas tasas de quemado, por lo que se tiene una sola tasa que depende del combustible y del tiraje del calefactor.

La chimenea de hogar abierto, no cumple con ninguna normativa.

Las diferentes tasas de quemado para una chimenea residencial con los distintos combustibles se presentan a continuación en las tablas N°6:

TABLA 6

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES EN UNA CHIMENEA DE HOGAR ABIERTO

COMBUSTIBLE	LEÑA	BRICUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS	BRICUETAS DE ASERRIN CRUDAS
TASAS DE QUEMADO (Kg/h)	10.7	2.0	6.7
HUMEDAD COMBUSTIBLE (%)	14.0	3.0	6.0
TEMPERATURA GAS (°C)	151	61	173
FLUJO GAS (m ³ /h)	958.12	700.58	559.05
CONCENTRACION DE PTS (mg/m ³ N)	147	22	67
CONCENTRACION DE CO (mg/m ³ N)	684	912	342
CONCENTRACION DE NOx (mg/m ³ N)	30	4	24
EMISIONES DE PTS (gr/h)	142.70	16.80	61.30
EMISIONES DE CO (gr/h)	662	646	191.20
EMISIONES DE NOx (gr/h)	29.04	2.83	13.42
RESULTADOS DE HAPs EN LA CHIMENEA	mg/h		
NAFTALENO	0.000	0.000	0.000
ACENAFTILENO	0.000	0.000	0.000
ACENAFTENO	0.000	0.000	0.000
FENANTRENO	0.192	0.033	0.087
ANTRACENO	0.036	0.016	0.009
FLUORANTENO	0.132	0.117	0.149
PIRENO	0.126	0.116	0.139
BENZO(a)ANTRACENO (*)	0.040	0.067	0.051
CRISENO	0.000	0.112	0.044
BENZO(b)FLUORANTENO (*)	0.024	0.016	0.024
BENZO(k)FLUORANTENO (*)	0.011	0.007	0.010
BENZO(a)PIRENO (*)	0.020	0.007	0.024
DIBENZO(a,h)ANTRACENO (*)	0.000	0.000	0.007
BENZO(g,h)PERILENO	0.021	0.019	0.019
INDENO(1,2,3-c,d)PIRENO (*)	0.007	0.006	0.014
HAPs TOTALES	0.643	0.607	0.676
HAPs CANCERIGENOS	0.106	0.094	0.129

(*) HAPs cancerígenos según OMS.

c) Caldera industrial:

La medición de la caldera industrial de Moreno Vial con el combustible actual, las briquetas y las briquetas carbonizadas se efectuó en los últimos días del mes de julio y a mediados del mes de agosto. Distintas razones postergaron una y otra vez el ensayo hasta que se logro realizar las pruebas. Dentro de las razones que hubo están: anegamiento de la caldera con el consiguiente desperfecto de las bombas eléctricas, rotura de las cañerías de la caldera al hacerla funcionar nuevamente, imposibilidad de medición por parte del organismo certificado en la nueva fecha, existencia de preemergencia en ciertos días.

Los ensayos efectuados en la caldera se realizaron con leña, briquetas no carbonizadas y briquetas carbonizadas.

La primera actividad fue colocar la caldera a punto, es decir controlar el aire primario y secundario de la caldera, ver la prueba hidráulica y dejarla en régimen. Una vez realizadas todas estas actividades se procedió a los ensayos.

Prácticamente todo el circuito de humos se encuentra a presión positiva (con pérdidas de flujo importantes) y sin infiltraciones, lo que no altera las mediciones de concentración de contaminantes, pero sí la cantidad.

Teóricamente la caldera, que cuenta con una superficie de calefacción de 58 m², debiera alcanzar una producción de 1500 kilos de vapor por hora, lo cual no fue posible debido a las pérdidas de carga existentes al operar con el ciclón cerrado y el lavador (ya que de otro modo no se podía medir con las instalaciones existentes), pues al quemar la cantidad de leña requerida para ello, gran parte del calor se pierde por la entrada del hogar hacia el exterior.

Sin duda, las mejores condiciones de operación (sin pérdidas al exterior) se logró con las briquetas carbonizadas. En esta prueba se quemaron 560 kg de briquetas, cuyo poder calorífico es de 7900 Kcal/Kg, durante un total de 6 horas, con un rendimiento de combustión de 80%, lo que implica una generación promedio de vapor del orden de 1000Kg de vapor/hora. La temperatura de salida de los gases de la caldera fue de 170°C y el exceso de aire promedio de operación fue cercano al 200%.

Cuando se usó briquetas no carbonizadas (crudas), se quemaron aproximadamente, 1135 kg en seis horas de operación, con un poder calorífico de 3900 Kcal/Kg, y finalmente cuando se utilizó los desechos de madera de carpintería de puertas, se quemaron, aproximadamente 1300 kg en seis horas, con un poder calorífico de 3400Kcal/kg.

El primer ensayo fue con leña y su objetivo fue tener los resultados para la base de comparación con los dos otros combustibles. Este ensayo se efectuó el día de julio,

realizándose tres mediciones o corridas en el día. Los resultados de esta medición se presentan en la siguiente tabla (tabla N°7).

TABLA 7

RESULTADOS MEDICIONES DE EMISIONES DE CONTAMINANTES EN UNA CHIMENEA DE UNA CALDERA INDUSTRIAL

COMBUSTIBLE	LEÑA	BRIQUETAS DE ASERRIN CARBONIZADAS	BRIQUETAS DE ASERRIN CRUDAS
CONCENTRACION DE MATERIAL PARTICULADO (mg/m ³ N)	87.0	95.0	59.0
CONCENTRACION CORREGIDA DE MATERIAL PARTICULADO (mg/m ³ N)	120.0	116.0	114.0
CONCENTRACION DE CO (mg/m ³ N)	621.3	444.6	278.7
CONCENTRACION DE SO ₂ (mg/m ³ N)	0	0	0
CONCENTRACION DE NO _x (mg/m ³ N)	156.00	22.56	28.00
CONCENTRACION DE HCT (mg/m ³ N como metano)	29	9	25
EMISIONES DE PTS (Kgr/h)	0.14	0.15	0.08
EMISIONES DE CO (Kgr/h)	995	651	3558
EMISIONES DE SO ₂ (Kgr/h)	0	0	0
EMISIONES DE NO _x (Kgr/h)	250	64	38
EMISIONES DE HCT (Kgr/h)	47	9	32
CAUDAL DE GASES ESTANDARIZADO (m ³ N/h)	1602.00	1502.00	1285.00
COMPOSICION QUIMICA DE LOS GASES DE COMBUSTION			
%O ₂	14.90	14.30	17.00
%CO ₂	4.70	5.60	3.30
%CO			
EXCESO DE AIRE (%)	246.00	204.00	382.00
HUMEDAD DE LOS GASES (%)	5.50	1.90	3.40
TEMPERATURA DE LOS GASES (°C)	102.00	92.00	87.00
VELOCIDAD DE LOS GASES (m/s)	5.20	4.60	3.90
RESULTADOS DE HAPs EN LA CHIMENEA	mg/h		
NAFTALENO	0.000	0.000	0.000
ACENAFTALENO	0.000	0.000	0.000
ACENAFTENO	0.000	0.000	0.000
FENANTRENO	0.379	3.239	2.263
ANTRACENO	0.000	1.006	0.760
FLUORANTENO	2.384	1.833	16.698
PIRENO	2.220	14.735	18.500
BENZO(a)ANTRACENO (*)	1.337	7.706	9.398
CRISENO	2.050	3.363	5.896
BENZO(b)FLUORANTENO (*)	3.476	4.698	0.710
BENZO(k)FLUORANTENO (*)	1.493	2.349	3.023
BENZO(a)PIRENO (*)	1.136	5.580	7.185
DIBENZO(a,h)ANTRACENO (*)	1.181	0.330	3.452
BENZO(ghi)PERILENO	3.077	4.182	8.341
INDENO(123-cd)PIRENO (*)	1.027	3.755	8.508
HAPs TOTALES	21.367	63.673	80.734
HAPs CANCERIGENOS	10.450	24.434	30.275

(*) HAPs cancerígenos según OMS.

Al comparar los resultados obtenidos, los cuales se presentan en la tabla N°7, de la caldera industrial de Moreno Vial, se puede inferir que no hay grandes diferencias en las concentraciones de material particulado emitido a la atmósfera, lo que está indicando que da lo mismo usar uno u otro combustible. Esto se debe probablemente al ingreso del aire de combustión por la parte inferior de la parrilla, el que arrastra cenizas. Otra causa de la poca variación de estos resultados es que el equipo medido tiene muchas fugas al exterior, debido a las pérdidas de carga que se producen al funcionar con la chimenea del ciclón cerrada y el lavador sin operar.

Por otra parte, los gases evacuados (CO, NOx y HCT) durante las mediciones presentan algunas variaciones de importancia al utilizar uno u otro combustible. Las emisiones de CO disminuyen de 995 Kg/h, cuando se usa desechos de madera, a 651 Kg/h, cuando se quema briquetas carbonizadas, y aumenta a 3556 Kg/h, cuando se queman briquetas no carbonizadas (crudas).

Los NOx, disminuyen de 250 Kg/h, cuando se usa desechos de madera, a 64 Kg/h cuando se quema briquetas carbonizadas, y disminuyen a 36 Kg/h, cuando se queman briquetas no carbonizadas (crudas).

Los HCT (hidrocarburos totales), disminuyen de 47 Kg/h, cuando se usa desechos de madera, a 9 Kg/h, cuando se quema briquetas carbonizadas, y disminuyen a 32 Kg/h, cuando se queman briquetas crudas.

Con respecto a los HAPs, totales y cancerígenos, se puede inferir que los valores son inferiores cuando las calderas funcionan con desechos de madera que cuando funcionan con briquetas, ya sea carbonizadas o no carbonizadas.

Al revisar la normativa ambiental en aire vigente en nuestro país se puede observar que existe actualmente en la Región Metropolitana de Decreto Supremo N°4, del Ministerio de Salud, el cual establece las normas de emisión de material particulado para fuentes estacionarias existentes, grupales y puntuales, de la Región Metropolitana, que deben cumplir a partir del 31 de diciembre de 1992 con la norma de concentración equivalente a 112 mg/m³N, en el caso de fuentes puntuales y 56 mg/m³N para las grupales no destinadas a calefacción respectivamente. Si aplicamos este D.S. a la caldera de Moreno Vial, usando los distintos tipos de combustibles, nos encontramos con que no cumplen con lo establecido en la normativa, para la concentración equivalente a los 112 mg/m³N. Importante es destacar que el Decreto establece en su artículo N°6 que las fuentes estacionarias puntuales existentes no podrán emitir más de la cantidad calculada de acuerdo a la fórmula que a continuación se indica después del 31 de diciembre de 1997, a menos que compensen la diferencia de emisiones mayor a la autorizada, con otras fuentes existentes.

$$E.D. = \text{Caudal (m}^3\text{/h)} \times 0,000056 \text{ (kg/ m}^3\text{)} \times 24 \text{ (h/día)}$$

Donde:

E.D.:	Emisión diaria
Caudal:	Caudal medido a plena carga, en condiciones estándar.
56:	Corresponde a la concentración de material particulado para determinar la emisión máxima diaria permitida de acuerdo a la expresión arriba señalada.
Unidad:	Miligramos por metro cubico (mg/m^3).
24:	Se considera para todas las fuentes una operación de 24 horas al día de funcionamiento.

De acuerdo a lo anterior, al comparar las emisiones de la caldera, utilizando distintos tipos de combustibles, no cumplirían la cota máxima de emisión, si funciona 24 horas continuadas, por superar en todos los casos los $56 \text{ mg}/\text{m}^3\text{N}$ de concentración máxima establecido en la expresión anterior.

Resumen de los Resultados del Proyecto:

De las mediciones efectuadas a los distintos equipos se puede concluir lo siguiente:

a) General:

1. La briqueta carbonizada presenta dificultades para su encendido inicial, pero una vez encendida tiene un comportamiento totalmente regular y homogéneo durante su combustión, con una duración más larga en comparación con el carbón vegetal normal.
2. Si se considera que la briqueta carbonizada se elabora a través de desechos y que no depreda al matorral y bosque de la zona central se presenta como una excelente alternativa frente al carbón vegetal normal.

b) Carbonización:

Los valores obtenidos $402,25\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ y $800,08\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ no cumplen con la norma ambiental.

c) Calefactores domésticos:

1. En los equipos de calefacción, estufas de doble cámara, salamandra y chimenea de hogar abierto, las emisiones de contaminantes (PTS, CO,

NOx y HAPs), son bastante inferiores cuando se queman briquetas carbonizadas, con respecto a las briquetas no carbonizadas (crudas) y a la leña.

2. Las briquetas no carbonizadas (crudas) y la leña, en los calefactores, tienen un comportamiento similar.
3. La normativa vigente para calefactores a leña, en la Novena Región, y la probable en la Región Metropolitana, se cumple con los equipos de doble cámara, independiente del tipo de combustible que se utilice; y en las salamandras, sólo cuando se queman briquetas carbonizadas.

d) Caldera industrial:

1. Las mediciones a la caldera de Moreno Vial, utilizando los distintos tipos de combustibles, no cumplen con el Decreto N°4 del Ministerio de Salud.
2. Las emisiones de contaminantes gaseosos en la caldera son inferiores, cuando se queman briquetas carbonizadas.
3. Por último, si uno analiza los resultados de las mediciones de los calefactores residenciales y los compara con los obtenidos en la caldera, se hubiera esperado que las concentraciones de material particulado hubieran descendido bruscamente en la caldera, al igual que en los calefactores, pero esto no ocurrió así. Las causas probables de estos malos resultados pueden ser, por un lado a que el 100% del aire ingresa por la parte inferior de la parrilla, provocando un arrastre de cenizas; y por otro, que la caldera no presentaba las mejores condiciones de operación, tenía fugas, pérdidas de cargas provocadas por injertos de equipos de control, los cuales no fueron diseñados adecuadamente.

5 IMPACTOS DEL PROYECTO

En la empresa Moreno Vial Ltda, hasta ahora no se generaron impactos de orden económico, debido a que la única caldera que la empresa tenía disponible en el momento de los ensayos arrojó resultados negativos, en consecuencia no existe impacto ambiental ni otras externalidades.

Una forma de implementar el proyecto es fomentar las briquetas carbonizadas en los calefactores domésticos tanto en estufas de doble cámara como en estufas con control de aire (salamandras), dado que estas disminuyeron notablemente la cantidad de emisiones que se generan.

Se debe hacer un análisis exhaustivo de las emisiones que se producen en el proceso de carbonización, puesto que si este proceso no cumple con la normativa ambiental vigente, no será posible su implementación.

6 ANEXOS