

Láminas fibroasfálticas

Investigadores Responsables: ITCR: Ing. Rolando Fournier Zepeda (Coordinador)
Ing. Aldo Ramírez Coretti
Ing. Sonia Vargas Calderón
NRCC: Dr. Om Dutt (Coordinador)

Resumen

Tecnología desarrollada entre 1988 y 1992 por medio de un proyecto de investigación conjunto entre el Instituto Tecnológico de Costa Rica y el National Research Council del Canadá. Se trata de una lámina corrugada para techo, fabricada con materiales fibroasfálticos, durable, de bajo costo, liviana y fácil de instalar, que representa una solución de cubierta de techo viable para proyectos de viviendas de interés social. Se fabrica con base en fibras orgánicas de desecho (papel o fibras de desecho de la agricultura y cartón), asfaltos oxidados y material de recubrimiento (pinturas o gránulos).

weathering conditions. They include asphalt saturation, tensile strength, bending strength, impact resistance, nail pull-out resistance, water absorption, weatherability or protective coating, effect of heat on bending strength, and cold temperature.

Samples from each of the materials were tested for these properties. It is seen from the test results that a significant variation exist between properties. This suggests that an international standard for asphalt corrugated sheets could be developed to help improve the quality. Presently, the test results are presented without attempting to correlate the properties with the types of sheets, and some test are recommended for the evaluation of performance properties.

Abstract

Asphalt-impregnated corrugated sheets (ACS) of organic fiber felts were studied for their performance requirements. Six sample materials from different countries two from North America, and one of each from Europe, Central America, South America and Asia- were procured for this purpose. The manufacturing of this type of roofing material in many countries, each one using somewhat different technology, indicates that the asphaltic sheets are adaptable to a wide range of climatic conditions from northern cold climates to tropical heat. Accordingly, a number of performance characteristics were considered that would satisfy the requirements for a variety of

Introducción

La disponibilidad de materiales para techo, durables y de bajo costo, sigue siendo una necesidad básica de los países en desarrollo, aún no resuelta en forma satisfactoria. El techo es la parte más importante de una casa, tanto técnica como funcionalmente, se usa comúnmente como símbolo de vivienda y da un sentido de seguridad y confort. Sin embargo, el techo ha sido, quizás, la parte más olvidada en términos de investigación y desarrollo en nuestros países.

La gran mayoría de los techos en Costa Rica se construyen con láminas corrugadas de hierro galvanizado. Según datos obtenidos de los permisos de construcción, entre 1984 y 1990

el 93,4% de las construcciones y ampliaciones realizadas se cubrieron con láminas de hierro galvanizado, el 2,3% con asbesto cemento, el 2,1% con tejas de concreto y de barro y el 2,2% con otros materiales. En general, todos los materiales para techo que se utilizan actualmente en Costa Rica presentan desventajas en cuanto a su comportamiento, durabilidad o costo.

En países de clima tropical y alto riesgo sísmico, como el nuestro, es conveniente el uso de láminas livianas de perfil acanalado, durables y de bajo costo, que permitan salvar luces amplias entre apoyos con buen comportamiento estructural y en pendientes reducidas (de hasta 15%), o sea, que requieran estructuras de apoyo (cerchas y clavadores) económicas.

En los países desarrollados desde hace muchos años se vienen utilizando materiales fibroasfálticos como cubierta de techos. Sólo en los Estados Unidos, por ejemplo, cubren cerca del 85% de las viviendas. Por lo general se trata de planchas con apariencia de tejas planas fabricadas con base en fibras orgánicas (celulosa) e inorgánicas (fibra de vidrio) impregnadas con asfaltos especiales y recubiertas superficialmente con gránulos o pinturas.

Si bien este tipo de cubiertas planas son una solución cara y hasta considerada de lujo para países en desarrollo, la lámina corrugada, basada en materias primas y tecnologías similares, sí es una alternativa promisoría. Países europeos, como Francia y Suiza, han desarrollado sofisticadas tecnologías que permiten garantizarlas por 20 a 25 años en servicio. Presentan, entre otras, las siguientes ventajas: son económicas, livianas, flexibles, pueden fabricarse en una amplia gama de acabados y colores, no se oxidan, tienen buen comportamiento térmico y acústico, son resistentes al impacto y al fuego y de fácil manipulación, instalación y mantenimiento. Se fabrican con base en asfalto y fibras orgánicas e inorgánicas utilizando procesos de impregnación en caliente.

Debe reconocerse que actualmente se fabrican láminas de este tipo en países en desarrollo, empleando tecnologías rudimentarias, casi artesanales, y con una vida útil limitada (3 a 5 años). Los estudios realizados en este proyecto demuestran que esta situación es superable y obedece básicamente a problemas tecnológicos.

Objetivo

Desarrollar una lámina corrugada para techo fabricada con materiales fibroasfálticos, durable y de bajo costo, que contribuya a proveer de facilidades adecuadas de vivienda a las familias de bajos ingresos.

Para lograr este objetivo se realizaron las siguientes actividades:

- Se investigaron características y propiedades de láminas fibroasfálticas corrugadas para techo nacionales e internacionales y de sus materias primas y se evaluaron los factores que afectan su comportamiento y durabilidad.
- Se realizaron estudios de caracterización de fibras orgánicas de desechos de la agricultura disponibles localmente (paja de arroz, bagazo de caña de azúcar y raquis de palma africana), a efecto de evaluar su utilización en la fabricación de las felpas.
- Se desarrollaron prototipos de laboratorio de láminas fibroasfálticas mediante estudios de combinación de fibras y asfaltos.
- Se llevaron a cabo estudios para determinar el proceso y tipo de asfalto más adecuados para la impregnación de las felpas.
- Se estudiaron materiales de recubrimiento (pinturas) disponibles localmente con el objetivo de mejorar la durabilidad de las láminas.
- Se realizaron estudios de mercado y de factibilidad técnica y económico-financiera para determinar el proceso de producción óptimo y la viabilidad del producto.

- Se elaboraron recomendaciones para el establecimiento de normas locales de control de calidad para láminas corrugadas fibroasfálticas para techo.

Instituciones ejecutoras

Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR)

Escuela de Ingeniería en Construcción

Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO).

National Research Council Canada (NRCC)

Institute for Research in Construction (IRC).

Financiamiento

Appropriate Technology International (ATI-USA), estudios preliminares (prefactibilidad).

International Development Research Centre (IDRC-Canadá)

Earth and Engineering Sciences Division

Ejecución del proyecto

Instituto Tecnológico de Costa Rica, fondos de contrapartida.

National Research Council Canada (NRCC), fondos de contrapartida.

Metodología

El Proyecto Láminas fibroasfálticas para techo se dividió en dos fases:

- Fase I: Tecnología del producto
- Fase II: Tecnología del proceso y factibilidad

Fase I: Tecnología del

Producto

El objetivo de esta fase fue establecer y desarrollar, a nivel experimental, la tecnología necesaria para lograr que el producto, láminas corrugadas fibroasfálticas para techo, fuera de calidad y durable.

Diagnóstico

Inicialmente se realizó un diagnóstico estudiando seis tipos de láminas procedentes de distintos países (dos de Norte América, una de Europa, una de América Central, una de América del Sur y una de Asia), con diferencias tanto en la materia prima como en el proceso de producción empleados.

Se seleccionaron y estudiaron propiedades dimensionales, físicas, mecánicas y de durabilidad de estas láminas, entre las que cabe mencionar las siguientes:

- Contenido y tipo de asfalto. El asfalto impermeabiliza la lámina y le da durabilidad y estabilidad dimensional ante el intemperismo. La cantidad de asfalto debe ser la óptima. Insuficiente asfalto hace que la felpa gradualmente absorba humedad y se deteriore progresivamente; mucho asfalto no solo aumenta el costo de la lámina sino que causa exudación en climas calientes. Para lograr una adecuada impregnación deben emplearse asfaltos especiales para techo, calentar el asfalto a una temperatura adecuada y uniforme, emplear tiempos adecuados de impregnación y seguir un proceso apropiado.
- Efectos de la humedad. Las láminas deben ser impermeables al agua. El agua afecta la durabilidad y resistencia de la lámina. Una lámina con alto contenido de vacíos absorbe más agua, lo que facilita la degradación de la matriz celulósica al ser atacada por hongos.
- Resistencia. La resistencia se requiere en las distintas etapas de producción, transporte, almacenaje, instalación y mantenimiento de las láminas. Por tanto, la lámina debe resistir sollicitaciones de tracción, flexión, impacto, carga de viento, etc.
- Intemperismo. Es esencial estudiar los efectos del intemperismo sobre las cubiertas de techo. Hay dos formas de hacerlo: sometiendo las láminas a intemperismo natural durante al menos seis meses

a un año; o someténdolas a ciclos de intemperismo acelerado, empleando sofisticados equipos.

- Cambios dimensionales durante la fabricación y después de la exposición. Los cambios dimensionales afectan la apariencia y serviciabilidad y generan esfuerzos que pueden acelerar la degradación. Se estudiaron estos cambios debidos a los efectos de la humedad (inmersión en agua) y del intemperismo.

Los siguientes son resultados de los estudios de diagnóstico:

- Las láminas analizadas, procedentes de distintas partes del mundo, muestran variaciones apreciables en sus propiedades.
- Debe mejorarse la producción de las láminas corrugadas fibroasfálticas por medio de la normalización y el control de calidad. Solo así se podrá mejorar su durabilidad.
- Se recomienda establecer los siguientes requerimientos mínimos:
 - Espesor: mínimo 3 mm
 - Contenido de asfalto: mínimo 45%
 - Absorción de agua (en 24 horas): máximo 12% en peso
 - Cambios dimensionales lineales: máximo 0,5%
 - Resistencia a la tracción: mínimo 10 MPa
 - Resistencia a la flexión del material: mínimo 8 MPa
 - Resistencia a la flexión de la lámina (carga de pie): mínimo 300 N
 - Resistencia a la extracción de clavo: mínimo 200 N por clavo
 - Impacto dinámico: mínimo 2,5 puntos
 - Resistencia al fuego: según los requerimientos locales

Las láminas fibroasfálticas están compuestas principalmente de tres elementos: la felpa, el asfalto y el recubrimiento.

Fibras y felpas

La felpa generalmente se fabrica con base en desechos de papel, que aportan fibra corta, y de cartón, que aportan fibra larga. En el proyecto también se estudiaron fibras provenientes de desechos de la agricultura (raquis de palma africana, bagazo de caña de azúcar y paja de arroz), con el propósito de determinar su potencial como fibras alternativas. Al efecto, estas fibras se caracterizaron, se determinó su grado de refinado y resistencia, su longitud y distribución de longitudes de fibra y se determinaron y estudiaron las combinaciones de cartón con papel y con fibras alternativas más apropiadas para la fabricación de felpas.

También se analizó la composición de las felpas de las láminas internacionales, principalmente en cuanto a su rango de distribución de longitudes de fibras. Ese rango sirvió como parámetro de comparación para establecer las combinaciones más apropiadas de cartón con otras fibras para la fabricación de felpas.

Entre los resultados de los estudios de fibras y felpas cabe mencionar los siguientes:

- Los porcentajes de fibra tienen un efecto significativo en las propiedades de las felpas. Tanto las propiedades físicas como mecánicas aumentan al pasar de una combinación de 50-50% a una de 72-25% de fibra alternativa con cartón.
- En general las propiedades mecánicas de todas las combinaciones son mejores que las de papel-cartón, son más resistentes las combinaciones 75-25% y, entre estas las mezclas bagazo-cartón y palma-cartón.
- Las combinaciones palma-cartón y bagazo-cartón en porcentaje 50-50% son las mejores opciones.

Asfalto

El asfalto es un componente esencial de las láminas fibroasfálticas para techo. Es responsable, en gran medida, de la impermeabilidad

y durabilidad del material, de su resistencia a la pudrición y descomposición. El tipo de asfalto empleado y el proceso de impregnación deben ser tales que garanticen la mejor respuesta del material ante los agentes del intemperismo y que todas las fibras y partículas de la felpa queden completamente cubiertas con asfalto.

Se estudiaron y caracterizaron los asfaltos empleados, tanto a nivel nacional como internacional, en la fabricación de este tipo de láminas. Asimismo, se analizaron los efectos del intemperismo sobre las propiedades del asfalto de las láminas.

En los estudios de impregnación se tomaron en consideración los siguientes parámetros: tipo de asfalto, presión de impregnación, temperatura de impregnación, tiempo de saturación, escurrido y secado de las muestras y uniformidad de impregnación.

Los resultados muestran que:

- El tipo de asfalto y el proceso de impregnación empleados inciden en las características físicas y mecánicas de las láminas.
- Para lograr un cubrimiento óptimo de las fibras y mejorar la calidad de las láminas se deben emplear procesos de impregnación al vacío.
- La aplicación de vacío durante el proceso de impregnación tiene un efecto positivo al incrementar el porcentaje de absorción de asfalto y reducir la capacidad de absorción de agua de las láminas.
- De los asfaltos oxidados o soplados para techo, el tipo I según la norma ASTM D-312 es el más apropiado para la impregnación de este tipo de láminas.
- Una opción, en caso de no poder emplearse asfaltos oxidados, sería utilizar asfalto de carreteras impregnado al vacío. Sin embargo, en climas calientes este asfalto puede exudar y manchar la superficie pintada.

Durabilidad

Para determinar el efecto del intemperismo sobre la durabilidad de las láminas, muestras

de cada una de ellas fueron expuestas a condiciones de intemperismo natural sobre un bastidor. Se llevaron a cabo registros periódicos de las características dimensionales, de la temperatura en servicio, pérdida de peso y comportamiento de la pintura, así como observaciones en cuanto a decoloración, exudación de asfalto, etc.

Se destacan las siguientes conclusiones:

- Todas las láminas presentaron algún grado de variación en sus características dimensionales al ser expuestas a condiciones de intemperismo natural.
- Todas las láminas experimentaron pérdida de peso.
- A mayor espesor de las láminas, mejor estabilidad dimensional ante los efectos del intemperismo.
- La presencia de un material de recubrimiento, como la pintura, ayuda a reducir los cambios dimensionales por efecto del intemperismo en las láminas.
- Las láminas fibroasfálticas deben poseer un material de recubrimiento capaz de soportar los efectos del intemperismo y, principalmente, de proteger el asfalto de la radiación ultravioleta.

Materiales de recubrimiento

El método generalmente empleado para mejorar la durabilidad de las cubiertas asfálticas es proteger la superficie expuesta de los efectos del intemperismo y, en particular, de la acción de los rayos ultravioleta del sol que deterioran el asfalto. La durabilidad de las láminas fibroasfálticas está íntimamente ligada a la calidad de los materiales de recubrimiento empleados.

Los recubrimientos superficiales deben mostrar buena adherencia a la felpa impregnada de asfalto y ser compatibles con los asfaltos utilizados, o sea, no reaccionar con el asfalto provocando la separación o degradación de sus aceites constituyentes.

Para este tipo de materiales se recomienda usar como recubrimiento pinturas con base

en resinas acrílicas de larga duración y en solución acuosa, de las que hay disponibles una amplia variedad en el mercado nacional. Pinturas de aceite no deben aplicarse directamente sobre las láminas porque sus solventes reaccionan con el asfalto.

Se seleccionaron trece distintas pinturas disponibles en el mercado nacional para determinar las más apropiadas; tres fueron formulaciones especialmente preparadas para el proyecto. Se aplicaron sobre láminas fibroasfálticas y expusieron a la intemperie y a pruebas de intemperismo acelerado para su posterior evaluación.

Se destacan las siguientes conclusiones:

- Todas las pinturas mostraron, en mayor o menor grado, cambio de tono y pérdida de brillo por efecto del intemperismo.
- Asfaltos de impregnación de baja viscosidad, como el de carreteras, tienden a exudar con el calor y manchar las superficies pintadas.
- Las pinturas con base en resinas acrílicas estirenadas, si bien tienen una gran elasticidad, presentan problemas de desprendimiento por mala adherencia con las superficies.
- Las pinturas que mostraron mejor comportamiento fueron las basadas en resinas 100% acrílicas en solución acuosa.
- Es recomendable aplicar la pintura con equipos tipo *airless* para lograr mayor uniformidad y mejor distribución sobre la superficie.

Fase II: Tecnología del proceso y factibilidad

El propósito de esta fase fue determinar el proceso de producción más adecuado y establecer la viabilidad técnica, económica y financiera del producto.

Proceso de producción

Para establecer el proceso de producción más adecuado se tomaron en cuenta los resulta-

dos de las investigaciones realizadas, se consultó a expertos y se visitaron plantas de productos similares. Se analizaron aspectos como modalidad del proceso (continuo o por lotes), calidad, tipo y combinación de fibras, procesamiento y limpieza de la pasta, proceso de formación de las felpas, proceso de corrugado y método de secado de las felpas, tipo de asfalto y proceso de impregnación, tipo y métodos de aplicación de los materiales de recubrimiento, así como controles de calidad. Se recomienda seguir un determinado proceso de producción y se indica el tipo de equipos por emplear y su costo aproximado.

Factibilidad

La demanda de cualquier opción de cubierta para techo depende de su competitividad frente a los materiales que tradicionalmente se han utilizado. Los factores determinantes son el precio, la calidad y la durabilidad.

Se realizó un estudio de factibilidad que tuvo como propósitos determinar el mercado existente y potencial; analizar regulaciones del país relacionadas con este tipo de actividades; evaluar aspectos técnicos necesarios para el funcionamiento de la planta (tecnología, proceso de producción, materia prima); determinar de manera global la viabilidad económico-financiera del proyecto; y estructurar un plan general de inversiones.

Los resultados más importantes, haciendo los análisis con base en tres escenarios de mercado predefinidos (pesimista, realista y optimista), fueron los siguientes:

- El proyecto reúne las condiciones necesarias para que se adopte una decisión favorable por parte de posibles inversionistas.
- Se requiere una inversión en activos fijos cercana al millón de dólares estadounidenses.
- El proyecto es muy sensible a las variaciones de volumen y en menor grado a

variaciones de precio. Es atractivo para volúmenes de venta a nivel de escenarios realistas y con precios de venta de ¢700 y ¢800 por lámina (precios de 1992). En estos casos la tasa interna de retorno es de 27% y 40%, respectivamente.

- Es un proyecto de riesgo moderado, al involucrar un producto existente, un mercado establecido, pero una nueva tecnología.
- En los escenarios realista y optimista los flujos de efectivo son positivos todos los años. En el pesimista el flujo es negativo el primer año y positivo los siguientes.
- Debe realizarse una campaña publicitaria agresiva, actividades de divulgación y venta técnica. Se recomienda destacar sus características de bajo costo, resistencia, fácil manejo, bajo peso, variedad de colores, buen comportamiento ante ruido y temperatura, resistencia a la corrosión y durabilidad.
- Exportando a la región (Centro América y el Caribe) los volúmenes de venta se incrementarían y el proyecto se haría más rentable.
- El proyecto contribuye con el reciclaje de desechos de papel, cartón y material celulósico.
- Según constructores de vivienda y distribuidores de materiales de construcción, estas láminas tienen un gran potencial de mercado siempre y cuando se demuestre que tienen una calidad y precio similar o mejor que la de hierro galvanizado.

Patentamiento

El proceso de producción de láminas fibroasfálticas desarrollado en este proyecto se encuentra en estos momentos en trámites de patentamiento.

Referencias bibliográficas

- Fournier, R. *Informe sobre el Plan Nacional de Vivienda Popular*. ITCR. 1986.

- Instituto Nacional de Vivienda y Urbanismo INVU. *Encuesta de Demanda Efectiva*. 1985
- INVU. *Boletín Estadístico del INVU*. 1984.
- INVU. *Organización, Objetivos. El Problema de la Vivienda, Realizaciones, Aspectos Financieros, Planes de Vivienda, Planeamiento Físico*. Mayo de 1986.
- INVU. *Encuesta de Demanda Efectiva*. 1984.
- Lola, Carlos. *Asphalt Roofing*. June 1985.
- Ketelhohn, W. *Pre-feasibility Study on Asphalt Roofing Sheets Production in Costa Rica*. 1986.
- Ramírez, Aldo. *Utilización de Residuos Fibrosos de la Agricultura para la Fabricación de Elementos de Vivienda Económica*. Centro de Investigación en Vivienda Económica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 1986.
- "Propiedades del Cemento Asfáltico Utilizado en Costa Rica en la Fabricación de Láminas Fibroasfálticas para Techo" -RECOPE-. *Asfaltos I. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo*. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Febrero de 1990. (IN: Appendix 4 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). *Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 2*. No. CR-5685.2. Ottawa. July 27 of 1990).
- "Propiedades Físicas y Mecánicas Básicas de Láminas Fibroasfálticas Superflex." *Láminas Planas I. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo*. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Mayo de 1989. (IN: Appendix 5 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). *Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 2*. No. CR-5685.2. Ottawa. July 27 of 1990).

- *"Efecto del Procedimiento de Asfaltado sobre las Propiedades Mecánicas de las Láminas Fibroasfálticas Superflex."* Láminas Planas II. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Marzo de 1990. (IN: Appendix 6 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 2. No. CR-5685.2. Ottawa. July 27 of 1990).
- *"Propiedades morfológicas: materiales empleados en láminas Superflex, fibras alternas de posible sustitución."* Fibras y Felpas I. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Agosto de 1990. (IN: Appendix 5 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- *"Características de Refino y Resistencia: materiales empleados en la fabricación de láminas Superflex, fibras alternas de posible sustitución."* Fibras y Felpas III. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Marzo de 1991. (IN: Appendix 7 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- *"Características geométricas y resistencia a la flexión de láminas fibroasfálticas disponibles en el mercado nacional."* Láminas Corrugadas I. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Febrero de 1990. (IN: Appendix 7 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 2. No. CR-5685.2. Ottawa. July 27 of 1990).
- *"Comportamiento al intemperismo natural de láminas Superflex y Vulcano."* Láminas Corrugadas III. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Diciembre de 1990. (IN: Appendix 10 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- *"Efecto del intemperismo natural sobre láminas expuestas por diferentes períodos de tiempo."* Láminas Corrugadas IV. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Diciembre de 1990. (IN: Appendix 9 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- *"Métodos de extracción y recuperación de asfaltos extraídos de láminas fibroasfálticas internacionales para techo."* Asfaltos III. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Abril de 1991. (IN: Appendix 3 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- *"Propiedades de asfaltos extraídos de láminas fibroasfálticas para techo internacionales."* Asfaltos IV. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Mayo de 1991. (IN: Appendix 4 of Client

- Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
- "*Propiedades morfológicas: materiales empleados en la fabricación de láminas fibroasfálticas internacionales*". Fibras y Felpas II. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Setiembre de 1991. (IN: Appendix 6 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
 - "*Características dimensionales y propiedades físicas y mecánicas de láminas fibroasfálticas para techo internacionales*." Láminas Corrugadas II. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Setiembre de 1991. (IN: Appendix 8 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
 - "*Pinturas Apropriadas para Láminas Fibroasfálticas para Techo Disponibles en el Mercado Nacional*" Recubrimientos I. Proyecto Láminas Fibroasfálticas para Techo. Departamento de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. Noviembre de 1990. (IN: Appendix 6 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
 - "*Evaluation of Performance Properties of Asphalt-Impregnated Corrugated Sheets*." (IN: Appendix 1 of Client Report for International Development Research Centre (IDRC). Asphalt Roofing Sheets (Costa Rica) - Part 3. No. CR-5685.3. Ottawa. July 22 of 1991).
 - TAPPI. *Fiber Analysis of paper and paperboard*. TAPPAI-401 om-82.
 - TAPPI. *Fiber length of pulp by projection*. TAPPI-232 cm-85.
 - TAPPI. *Forming handsheets for reflectance tests of pulps*. TAPPI-218 om-83.
 - TAPPI. *Freeness of pulp*. TAPPI-227 om-85.
 - TAPPI. *Laboratory Processing of Pulp (Beater Method)*. TAPPI-200 os-70.
 - *Roof Construction for Housing in Developing Countries*. Report on a Research Study in Central America, Published by German Agency for Technical Cooperation, Eschborn/Ts. Federal Republic of Germany, p.165,1982.
 - *Cement Based Roof Sheeting Containing Continuous Networks of Polypropylene Film*. International Symposium of Roofs and Roofing: New materials, Industrial Applications, Uses and Performance, J.O. May, Editor, Ellis Horwood Limited Publishers, Chichester, 1988.
 - *Studies on the Surface temperatura variations of Bituminous Roofing Sheets in Tropics*. Aslam, M. and Jaim, Sp.P. Proceedings of the Second International Symposium, RILEM, Budapest, pp.315-323, Setember 1975.
 - *Fibre Concrete Roofing*). A Comprehensive Report on the Potencial of Fibre Concrete Roofing, The Limits of Applications. The State-of-the-Art, Swiss Center for Appropriate Technology, University of Saint-Gall, Switzerland, 1987.
 - *Evaluation, Testing and Standard for Modified Bitumen*. 8th Conference on Roofing Technology, National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, Md., p. 91-98, April 1987.

- *Population Reference Bureau, World Population Data Sheet. 25 th Edition, Washington, D.C., 1987.*
- *Appropriate Technology for Building materials from Argo Wastes and Natural*

Fibres. Report Number THA/CDT 80/2, Washington University, St. Louis, Mo., p. 201, 1980.