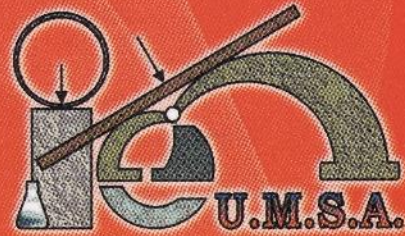




Universidad Mayor de
San Andrés



Instituto de Ensayo de Materiales
"Ing. Hugo Mansilla R."
1946 - 2014

ISSN 2078 - 7731

Carrera de Ingeniería Civil - UMSA

Revista del Instituto de Ensayo de Materiales

INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Septiembre 2014
La Paz - Bolivia

Nro.

8

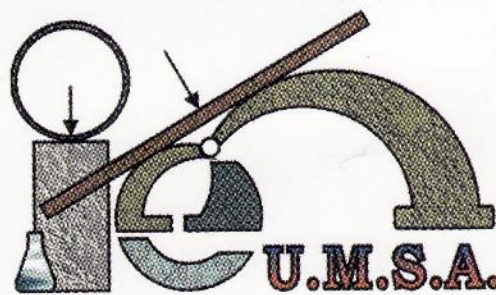


La Paz - Bolivia, Septiembre 2014 N° 8

Carrera de Ingeniería Civil - UMSA

Investigación y Desarrollo

Revista del Instituto de Ensayo de Materiales



"Ing. Hugo Mansilla R."
1946 - 2014

COORDINADOR

Ing. Ángel Ramos Maita

DIRECTOR INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

REVISION Y ESTRUCTURACION

Ing. Verónica Gallardo Tapia

INSTITUTO DE ENSAYO DE MATERIALES

Av. Villazón 1995

Teléfono: 2444086

E-mail: iem@umsa.bo

Web: www.iem.umsa.bo

DISEÑO E IMPRESION

Visión Gráfica Publicidad s.r.l.

Teléfonos: 2493903 - 2493864

E-mail: visiongraficapublicidad@yahoo.es

La Paz - Bolivia

ISSN 2078 - 7731

DEPOSITO LEGAL 4-3-26-10

"El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores"

La Paz, septiembre de 2014

La Paz - Bolivia



El Instituto de Ensayo de Materiales "Hugo Mansilla Romero", siguiendo con su política de difusión de resultados de sus investigaciones, pone a consideración de docentes, estudiantes y demás personas interesadas en el rubro de la construcción, el el 8vo. número de su revista "Investigación y Desarrollo".

En esta revista se exponen cinco artículos sobre algunos de los trabajos de investigación realizados en el I.E.M. por docentes y estudiantes investigadores, que mancomunadamente, realizan investigación científica aplicada y proyectos de desarrollo tecnológico en el campo de la construcción civil.

Esperamos que los artículos presentados sean de su interés, y sobre todo, culminen con una aplicación práctica por parte de consultores y/o constructores, para que produzcan una mejora en la actividad ingenieril de nuestra sociedad.

Deseamos agradecer a la "Cooperación Sueca" por la donación de equipos de laboratorio, mismos que se utilizaron en investigaciones que se presentan.

Con el compromiso de cumplir con la función social que tiene la universidad pública, aprovechamos esta oportunidad para invitar a los lectores, a proponer nuevos temas de interés para ser investigados en los laboratorios del I.E.M.

Ing. Angel Ramos Maita
DIRECTOR IEM - UMSA

Presentación

Contenido

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MEMBRANAS ASFÁLTICAS DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS, SEGÚN LA NORMA IRAM 6693	9
ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TABLEROS CONTRACHAPADOS FENÓLICOS PRODUCIDOS EN BOLIVIA Y UTILIZADOS EN ENCOFRADOS	26
OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE REMOJO DE LADRILLOS CERÁMICOS EN FUNCIÓN DE LA ADHERENCIA AL MORTERO DE CEMENTO	36
ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL DISTRITO MUNICIPAL 14 DE LA CIUDAD DE EL ALTO	45
HORMIGÓN CON BAJO PORCENTAJE DE FINOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO AEROPORTUARIO, UTILIZANDO RESIDUOS DE ESCORIA DE ESTAÑO COMO AGREGADO	56

ESTUDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DE MEMBRANAS ASFÁLTICAS DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS, SEGÚN LA NORMA IRAM 6693

Ricardo Alcón Chavez
Edson Flores Rojas
Verónica Gallardo Tapia
Jorge Echazú Cortez

vgallardo@umsa.bo - jechazuco@gmail.com

RESUMEN.-

La presente investigación permitió determinar las propiedades físicas y mecánicas más importantes de las membranas asfálticas de diferentes características utilizadas en nuestro medio. Comparando los valores obtenidos, con los requerimientos mínimos establecidos en la norma IRAM 6693 y ASTM, se observó que un 75% de los productos ensayados cumplió con estos requisitos. Asimismo, se realizó un estudio técnico económico que reveló que los productos importados de Chile y Brasil presentan la mejor relación entre costo y calidad. Finalmente se elaboró una propuesta de norma boliviana para el control de calidad a partir de la implementación de ensayos y especificaciones técnicas para membranas asfálticas.

1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la tecnología ha introducido materiales cada vez más novedosos y sofisticados para las diferentes aplicaciones relacionadas con la construcción. Las cubiertas, sean estas transitables o no, son uno de los puntos más sensibles en toda edificación, por ello muchos de los denominados “nuevos materiales” en la construcción tienen aplicaciones relacionadas con la impermeabilización de cubiertas. En nuestro país, si bien existe una amplia gama de productos impermeabilizantes para cubiertas y superficies en general, hasta ahora, no se realizaron ensayos de manera sistemática para verificar las propiedades físicas y mecánicas de estos productos y en particular de las membranas asfálticas.

En el mercado nacional, se cuenta con pocos proveedores de membranas asfálticas, en contraste con la superioridad y experiencia que tienen los países vecinos como Argentina, Brasil y Chile en la producción, comercialización y utilización de estos productos.

En la actualidad, las diferentes estrategias de emplazamientos de techos son de gran valor y utilidad, más aún, si se tiene en cuenta que los distintos tipos de techos pueden presentar agrietamientos, a consecuencia de: movimientos sísmicos, efectos del sol y numerosas prácticas de realización al momento de la construcción.

De ahí que, los diferentes materiales de techado, incluso la losa de hormigón, encuentran en las membranas asfálticas un valioso aliado, que en efecto, se constituye en un elemento más de lucha contra la humedad y los diversos elementos de desgaste constante.

Tanto es así, que muchos especialistas ya proponen la implementación de la membrana asfáltica, para realizar una acometida eficiente en contra de las goteras y la humedad.

1.2. JUSTIFICACION

Como se mencionó antes, se cuenta con pocos proveedores de membranas asfálticas y estas empresas no cuentan con productos certificados en nuestro medio. Entre los principales importadores de membranas a nivel local tenemos a los siguientes:

- SYKA BOLIVIA. Importa membranas asfálticas SYKA de procedencia Argentina. No cuenta con informes de laboratorio realizados en nuestro medio, sin embargo cuenta con informes de control de propiedades expedidos por la fábrica.
- TECNOPLAN SRL. Importa membranas asfálticas DYNAL de procedencia Chilena. No cuenta con informes realizados en el país, sin embargo cuenta con informes no actualizados realizados en Chile.

- **HONNEN LTDA.** Importa membranas asfálticas **ORMIFLEX** de procedencia Argentina. No cuenta con informes de laboratorio realizados en nuestro medio, sin embargo cuenta con informes de control de propiedades expedidos por la fábrica.
- **HUMEREZ S.G.** Importa membranas asfálticas **MEGAFLEX** de procedencia Argentina. No cuenta con informes de laboratorio realizados en nuestro medio, sin embargo cuenta con informes de control de propiedades expedidos por la fábrica.
- **GRUPO MULEY SERTEXCOM.** Importa membranas asfálticas **VIAPOL** de procedencia brasilera. No cuenta con informes de laboratorio realizados en nuestro medio, sin embargo cuenta con informes de control de propiedades expedidos por la fábrica.
- **SYNERGY.** Importa membranas asfálticas **EMAPI** de procedencia Argentina. No cuenta con informes de laboratorio realizados en nuestro medio, sin embargo cuenta con informes de control de propiedades expedidos por la fábrica.

En el presente trabajo se estudiaron las propiedades físicas y mecánicas de las membranas asfálticas, puesto que, en nuestro medio, ha comenzado a observarse el crecimiento en el uso de estos productos como una buena práctica constructiva, con amplias opciones y de acuerdo a las más diversas necesidades, sean éstas: climáticas, estructurales o de resistencia.

Asimismo la inexistencia de normativa nacional para el control de calidad de estos productos, es otra razón importante para haber emprendido esta investigación, con miras a elaborar una propuesta de normativa propia.

1.3. FINES

Como la membrana asfáltica es un elemento de creciente necesidad en el campo de la impermeabilización, se pretende darle al constructor en general una fuente de información confiable y aplicable, para ejercer mejor el control de calidad de estos productos, considerando además, los diferentes proveedores en el mercado local: La Paz.

1.4. ESTADO DEL ARTE.

- Actualmente en el Instituto de Ensayo de

Materiales no se han desarrollado investigaciones ni ensayos de manera sistemática sobre membranas asfálticas; sin embargo, se ejecutaron ensayos particulares de manera esporádica a requerimiento de algunos clientes.

- En la Universidad del Valle, La Paz, se realizó el siguiente estudio el año 2005: "Análisis Comparativo Técnico de las membranas asfálticas empleadas en la impermeabilización de edificaciones en la Ciudad de La Paz." Autor: Oscar Mateo Ilijic Crosa.

El estudio se refiere a las distintas opciones existentes en La Paz y evalúa las cualidades técnicas de las membranas asfálticas como sistemas de impermeabilización prefabricados en el clima paceño. Propone además, la implementación de una guía para la impermeabilización de edificaciones civiles con sistemas prefabricados, la misma que abarca desde el tratamiento y acabado previo de las superficies a proteger, las obras civiles intermedias anteriores a la instalación del sistema impermeabilizante, la instalación de la membrana asfáltica, el tratamiento de uniones y la protección y mantenimiento del sistema adquirido.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades físicas y mecánicas más importantes de las membranas asfálticas de diferentes características, utilizadas en nuestro medio para la impermeabilización de superficies, comparando los valores obtenidos con los requerimientos mínimos establecidos en la norma IRAM 6693 y ASTM según corresponda.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las membranas asfálticas más comercializadas por 6 proveedores del mercado local, según los siguientes ensayos:
 - Determinación de la masa por metro cuadrado y espesor.
 - Determinación de la resistencia a tracción en el sentido longitudinal y transversal al rollo.

- Determinación de la capacidad de plegado en condiciones extremas.
 - Determinación de la resistencia al punzonamiento dinámico.
 - Determinación de la resistencia al calor.
 - Determinación de la estabilidad dimensional.
2. Realizar una comparación entre los valores obtenidos y los especificados en la norma: IRAM 6693 y ASTM D 6162, 6163, 6164, 6298, 6223, 6222.
 3. Realizar una comparación técnico-económica entre los productos estudiados en la presente investigación.

1.6. ALCANCE Y LIMITACIONES

- El presente trabajo abarca la evaluación y estudio de las propiedades físicas y mecánicas de las membranas asfálticas comercializadas en la ciudad de La Paz.
- Las muestras para los ensayos fueron provistas por las empresas:

EMPRESA	LÍNEA	PROCEDENCIA	PRODUCTOS			
HONNEN LTDA	ORMIFLEX	ARGENTINA	CON ALUM			
TECNOPLAN SRL	DYNAL	CHILE		SIMPLE		GRAVILLADA
HUMERES SG	MEGAFLEX	ARGENTINA	CON ALUM	SIMPLE	GEOTEXTIL	
SYNERGY	ENAPI	ARGENTINA	CON ALUM	SIMPLE		
SIKA BOLIVIA	SYCA	ARGENTINA	CON ALUM	SIMPLE		
GRUPO MULEY	WIAPOL	BRASIL	CON ALUM			

Tabla N° 1 Universo de Muestras Fuente: Propia

2. MARCO TEORICO

2.1. MEMBRANAS

Existen varios tipos de membranas que pueden ser aplicadas a los techos, como es el caso de la membrana asfáltica, que le permite al ingeniero implementar este producto de amplia adaptación y versatilidad, en cualquier tipo de techos, y que además, aporta con buenos resultados, esencialmente en los materiales sólidos como el hormigón.

En muchas construcciones se busca evitar filtraciones utilizando las membranas asfálticas, las que aportarán además, su facilidad de aplicación, resistencia y durabilidad.

2.2. CLASIFICACIÓN DE LAS MEMBRANAS

Existen tres tipos de membranas:

MA 1 (Membrana de asfalto oxidado Clase 1).
Membrana que requiere instalación con protección adicional.

MA 2 (Membrana de asfalto oxidado Clase 2).
Membrana resistente a la intemperie, no necesita protección adicional, pero no es transitable dada la baja resistencia mecánica del revestimiento.

MA 3 (Membrana de asfalto oxidado Clase 3).
Membrana resistente a la intemperie y de alta resistencia mecánica, que puede o no ser transitable; serán transitables las que presenten revestimiento de geotextil.

2.3. MANO DE OBRA

Se conoce que los distintos tipos de membranas asfálticas tienen numerosas particularidades y características de construcción; asimismo, se conoce que la instalación de la membrana asfáltica exige mano de obra especializada; pero además, que se sigan procedimientos necesarios para llevar adelante la buena implementación del producto.

Al respecto, muchos constructores, dejan la instalación de membranas asfálticas en manos de plomeros, o albañiles tradicionales, sin tomar en cuenta que su aplicación requiere cierto conocimiento que asegure y garantice la buena instalación del producto y la durabilidad del mismo.

De modo que, conseguir mano de obra especializada es tan importante como el mismo producto. El gran valor y utilidad de la calidad del servicio y de la obra en general, se traducirá en el avance y reducción de tiempos de la obra, y como resultado, mejorar el aprovechamiento de recursos.

3. MARCO PRÁCTICO.

CODIFICACION DE LOS MATERIALES						TIPO DE MEMBRANA
CODIGO	REVEST. SUP.	TIPO DE MASTICO	ARMADURA	REVEST. INF.	SEGUN IRAM 6693	
A-AL	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-2
A-NO	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-1
B-NO	POLIETILENO	ASF. PLASTICO.SBS	FILTRO DE POLIESTER	POLIETILENO		MA-3
B-GR	GRAVILLA	ASF. PLASTICO.SBS	FILTRO DE POLIESTER	POLIETILENO		MA-3
C-AL	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-2
D-NO	POLIETILENO	ASF. PLASTICO.APP	FILTRO DE POLIESTER	POLIETILENO		MA-3
E-GT	GEOTEXTIL	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-3
E-NO	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-1
E-AL	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-2
F-AL4	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-2
F-AL3	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-2
F-NO3	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO		MA-1

Tabla N° 2. Codificación de probetas.

3.1. ENSAYO: OBTENCION DE PROBETAS Y DETERMINACION DE LA MASA POR METRO CUADRADO Y ESPESOR (IRAM 1577-1)

a) Obtención y preparación de las Probetas.

La muestra se despaca y se extiende cuidadosamente sobre una superficie plana.



Fotografía N°1 Desempacado y Extensión del Rollo.

Se observa a simple vista y se informa si se presentan ampollas, cortes, orificios, falta de material o pliegues.



Fotografía N°2 Inspección de la Membrana, tramo a tramo.

b) Determinación de la Masa por Metro Cuadrado y del Espesor

Para determinar la masa por metro cuadrado, se pesa la probeta de 1000mm x 1000mm, asegurando el 1% de su masa y se informa este valor como la masa por metro cuadrado. Se informa el resultado en Kilogramos por metro cuadrado.



Fotografía N°3 Colocación de la Probeta de 1m x 1m sobre la balanza.

Para determinar el espesor, sobre la probeta obtenida, se efectúan mediciones al 0,1mm, en diez puntos equidistantes entre sí, y como mínimo a 60mm de los bordes.



Fotografía N°4 Disposición de los puntos para la Medición del Espesor.



Fotografía N°5 Medición de Espesores con ayuda de un Vernier Digital.

Se calcula la media aritmética de diez valores.

3.2. ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN (NORMA IRAM 1577-2)

Se utilizan 20 probetas obtenidas de acuerdo a lo establecido en la norma IRAM 1577-1. En el caso de membranas asfálticas pre elaboradas, se toman probetas de 200mm x 50mm de la siguiente manera:

- 10 probetas en dirección longitudinal respecto a la dirección del rollo.
- 10 probetas en dirección perpendicular respecto a la dirección del rollo.



Fotografía N°6 Colocación de la Probeta en el Equipo de Ensayo.

Se aplica la carga hasta producir la rotura de la probeta registrando los valores con una precisión de 2N, verificando que la velocidad de separación de las mordazas en todo instante sea de 300 mm/min \pm 10mm/min.



Fotografía N° 7 Aplicación de Carga de Tracción

Se calcula la resistencia a la tracción de cada probeta, aplicando la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \frac{Q_t \cdot 5}{l}$$

Donde:

σ_t : La resistencia a la tracción de cada probeta, en Newtons por cada 5 centímetros.

Q_t : La carga aplicada en el momento de la rotura, en Newtons.

l : El ancho de la probeta, en centímetros.

Se calculan los promedios de los valores obtenidos.

3.3. ENSAYO DE PLEGADO. (NORMA 1577-4)

Se necesita un prisma de ensayo de madera dura o de metal de dimensiones normalizadas. Además, un equipo capaz de mantener una temperatura de ensayo de 0°C \pm 1°C.

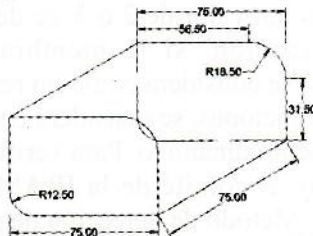
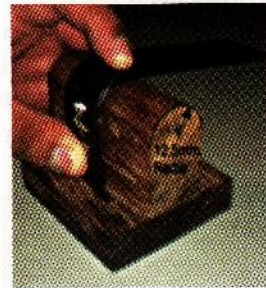


Figura N°1 Mandril de Plegado.

Se utilizan 10 probetas extraídas de acuerdo a IRAM 1577-1, de las características siguientes:

- 5 probetas de 150mm x 25mm, cuyo lado mayor debe coincidir con el eje longitudinal del rollo.
- 5 probetas de 150mm x 25mm, cuyo lado mayor debe ser transversal al eje longitudinal del rollo.

Se acondicionan las probetas y el dispositivo de ensayo dentro del equipo termostatzado a 0°C durante 2 horas. Luego se procede a plegar las muestras de la membrana sobre el dispositivo para el ensayo, con la cara del revestimiento en contacto con el dispositivo. Las probetas se pliegan sobre el borde de 12.5mm de radio. El plegado se realiza con un ángulo de 90° en forma manual o mecánica, en 3 segundos y con velocidad uniforme.



Fotografía N° 8 Mandril de Plegado y Ensayo de una Probeta

Se deben examinar las probetas a simple vista, reportar cualquier grieta, fisura o rotura en las membranas por efecto del plegado.

3.4. ENSAYO DE PUNZONAMIENTO DINAMICO. (NORMA IRAM 1577-5)

Se precisa de un equipo normalizado de punzonamiento dinámico.



Fotografía N° 9 Equipo de Punzonamiento Dinámico



Fotografía N° 10 Masa utilizada para el ensayo de Punzonamiento.

El pistón de punzonamiento es un cuerpo cilíndrico de acero, con superficie plana circular de 1cm² como base.

Se obtienen cuatro probetas de 100mm x 100mm de la membrana de ensayo, extraídas y preparadas de acuerdo con la IRAM 1577-1.

Se ensayan tres probetas como mínimo. Se acondicionan las probetas a 23°C ± 2°C durante 24 horas. Se coloca la membrana asfáltica de forma que quede en contacto con una placa metálica. Se levanta la carga de masa igual a 1Kg a una altura especificada según norma y se la deja caer sobre la probeta.



Fotografía N° 11 Plancha de apoyo de la probeta, en posición para efectuar el ensayo.

Se realiza un impacto por probeta del material ensayado, se observan las zonas impactadas a simple vista.



Fotografía N° 12 Probeta ensayada y observación del daño causado por la Masa de 1Kg.

La altura a la cual se debe levantar la pesa, va de acuerdo a lo siguiente:

Si se desea aplicar 4,9[Joules], se adopta una altura de 50cm, para membranas Clase 3.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{m \cdot g \cdot h}{100} \\
 &= \frac{1[\text{Kg}] \cdot 9,81[\text{m/s}^2] \cdot 50[\text{cm}]}{100} \\
 &= 4,905[\text{joules}]
 \end{aligned}$$

Por lo tanto la membrana resiste a punzonamiento 4,9 [Joules].

Si se desea aplicar 2,45[Joules], se adopta una altura de 25cm, para membranas Clases 1 y 2.

$$\begin{aligned}
 R &= \frac{m \cdot g \cdot h}{100} \\
 &= \frac{1[\text{Kg}] \cdot 9,81[\text{m/s}^2] \cdot 25[\text{cm}]}{100} \\
 &= 2,4525[\text{joules}]
 \end{aligned}$$

Por lo tanto la membrana resiste a punzonamiento 2,45 [Joules].

Se evalúan los resultados de los ensayos efectuados sobre las 3 probetas asignándoles valores de 1 a 4, de acuerdo con la tabla a continuación:

VALOR	CALIFICACIÓN
1	Perforación de la membrana, fácilmente visible a simple vista.
2	Perforación posible de la membrana, no visible a simple vista.
3	Leve marca en la membrana, que podría representar perforación.
4	Ninguna perforación y ninguna marca a simple vista.

Tabla N° 3 Tabla de Calificaciones para el Ensayo de Punzonamiento.

Los criterios de interpretación del ensayo son los siguientes:

- Si se obtiene un valor de 1, se la debe considerar como no resistente al punzonado dinámico solicitado.
- Si se obtiene un valor de 2 ó 3, se debe hacer una nueva verificación: si la membrana presenta perforaciones, se considera como no resistente, si no presenta perforaciones, se considera como resistente al punzonamiento dinámico. Para verificar la validez de este punto, el comité de la IRAM, propone la IRAM 1595 - Método de detección de perforaciones mediante una descarga eléctrica. Debido a la dificultad de aplicación de esta norma, se procedió a pasar aire a través de las membranas ensayadas, con el fin de determinar si estas presentan o no perforación.
- Si se obtiene un valor de 4, la membrana debe ser considerada como resistente al punzonamiento dinámico solicitado.

• Se calcula la resistencia al punzonamiento de las membranas consideradas resistentes mediante la fórmula siguiente:

$$R = \frac{m \cdot g \cdot h}{100}$$

Siendo:

R: la resistencia al punzonamiento en Joules.
m: la masa de la carga en kilogramos (1Kg).
g: la aceleración de la gravedad (9.81m/s²).
h: La altura con la que se realizó el ensayo, en centímetros.

Introduciendo los valores indicados anteriormente, la fórmula se transforma en:

$$R = 0.0981 \cdot h$$

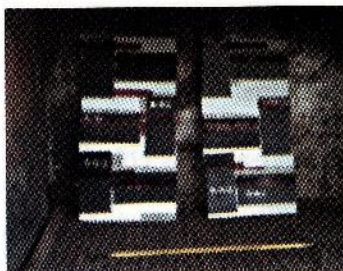
3.5. ENSAYO DE RESISTENCIA AL CALOR. (IRAM 6693)

Se cortan dos probetas de 100mm x 50mm, una en el sentido longitudinal con respecto a la dirección de los rollos, y la otra en el sentido transversal. La probeta se coloca sobre una placa metálica, sujetándola mediante una cinta adhesiva en el tercio superior de esta. Se coloca un trozo de papel milimetrado, entre la probeta y la placa, en el tercio inferior en el sentido de mayor longitud, de modo que una de las líneas coincida perfectamente, antes del calentamiento, con el borde inferior de la probeta.



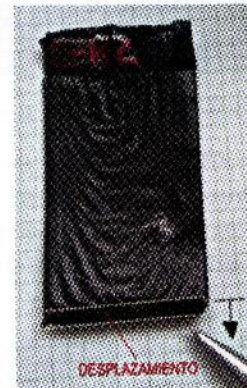
Fotografía N° 13 Colocación de la Probeta en la Plancha y el papel Milimetrado.

Se coloca el conjunto dentro de la estufa, en forma vertical, colgándolo mediante un gancho ubicado sobre el borde de la placa o de algún otro modo conveniente.



Fotografía N° 14 Colocación de las Probetas en el horno y control de la Temperatura.

Se mantiene el conjunto durante 2 horas en la estufa; se retira, se deja como mínimo 1 hora a temperatura ambiente en posición horizontal y se registra la máxima longitud de cada probeta, midiendo sobre el papel milimetrado.



Fotografía N° 15 Observación del desplazamiento del mastic después del ensayo.

Se observa si se produjo flujo del recubrimiento asfáltico (deslizamiento), ampollado u otros defectos.

Se calcula el deslizamiento con la siguiente fórmula:

$$d = l_m - l_o$$

Siendo:

d: El deslizamiento en milímetros.

l_m : El largo final máximo de la probeta, en milímetros.

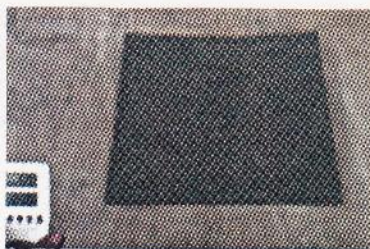
l_o : El largo inicial de la probeta, en milímetros.

3.6. ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL. (ASTM D5147-10 y ASTM D 1204)

En este ensayo se trabajó con la norma ASTM en lugar de la IRAM, debido a que el I.E.M. no cuenta con el equipo necesario para realizar el ensayo según método de la norma IRAM.

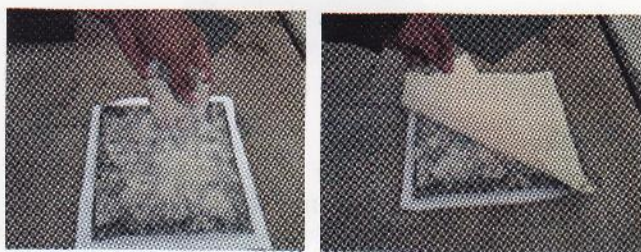
Para ejecutar este ensayo según método de ASTM, se cortan 5 probetas de 25cm x 25cm, 2 en cada extremo del rollo, y 3 en partes aleatorias del rollo. Cada probeta debe ser marcada en el sentido longitudinal del rollo y en el sentido transversal. El punto medio de cada extremo debe ser marcado para usarse como referencia para la medición final.

Las probetas deben acondicionarse a 23°C +/- 2°C por una hora.



Fotografía N° 16 Probeta acondicionada en un ambiente a 23°C.

Se colocan las probetas sobre el papel empolvado de talco y se cubren con otro papel de las mismas dimensiones y características. Se sujeta el conjunto con clips para papel, sin hacer presión sobre las probetas.



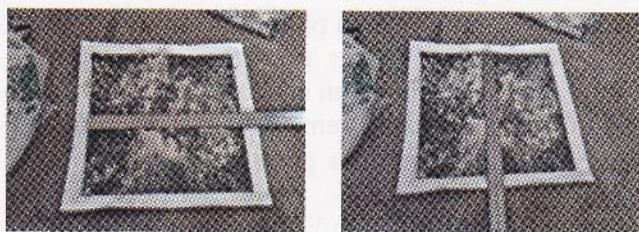
Fotografía N° 17 Probeta espolvoreada con talco y cubierta con cartulina.

Se coloca el conjunto en el horno de forma horizontal a una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ por 24 horas \pm 15 minutos.



Fotografía N° 18 Probeta en el interior del horno

Se retiran las probetas del horno y se dejan enfriar a temperatura ambiente por 1 hora. Se mide la distancia entre lados opuestos de cada probeta en ambos sentidos con una precisión de 0.25mm.



Fotografía N° 19 Medición de la probeta en Sentido Longitudinal y Transversal.

Se calcula la Estabilidad Dimensional, en porcentaje, según:

$$DIF. LINEAL \% = \left[\frac{(D_f - D_o)}{D_o} \right] \cdot 100$$

Siendo:

D_f : Largo (ancho) de la probeta en mm, después del ensayo.

D_o : Largo (ancho) de la probeta en mm, antes de realizar el ensayo.

Valores negativos denotan contracción de la membrana, mientras que valores positivos refieren expansión de la membrana.

Se anotan los resultados tanto del sentido longitudinal como del sentido transversal de la probeta.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1. ENSAYO: OBTENCIÓN DE PROBETAS Y DETERMINACIÓN DE LA MASA POR METRO CUADRADO Y ESPESOR

a) Inspección visual

La Tabla N° 4 resume las observaciones surgidas de la inspección visual:

PRODUCTO	ASPECTO GENERAL ENROLLADO	ESTADO DEL REVESTIMIENTO EXTERNO	ESTADO DEL REVESTIMIENTO INTERNO	OBSERVACION DE PLEGADURAS	OBSERVACION DE AMPOLLAS	CORTES O RASPONES	FALTA DE MATERIAL	CALIFICACION N FINAL
A-AL	9	10	8	4	10	6	10	8,4
A-NO	9	8	8	9	10	9	10	9,0
B-NO	6	7	9	10	8	6	7	7,4
B-GR	6	8	8	10	10	5	10	8,1
C-AL	9	9	9	5	10	9	10	8,7
D-NO	7	8	8	10	6	3	8	7,1
E-GT	8	9	8	7	10	10	10	8,9
E-NO	8	9	8	5	10	10	10	8,6
E-AL	8	9	8	5	10	10	10	8,6
F-AL4	10	10	10	6	10	10	10	9,4
F-AL3	10	10	10	4	10	10	10	9,1
F-NO3	10	10	10	3	10	10	10	9,0

Tabla N° 4 Calificación del Estado de las Probetas.

Donde la valoración utilizada, representa:

0-2 = Rollo muy dañado y abolladuras persistentes, carencia del revestimiento externo, carencia del revestimiento interno, plegaduras profundas en toda la superficie y a lo largo del rollo, ampollas muy notorias, cortes profundos con pérdida de material y raspones con desprendimiento de recubrimiento casi en todo el rollo, falta de material en varios sectores del rollo y en gran extensión, Calificación General, material inutilizable para uso específico ni para ensayos.

3-5 = Rollo dañado y con algunas abolladuras, revestimiento externo con pérdida de material, revestimiento interno con pérdida de material, plegaduras profundas en algunos lugares del rollo, ampollas dispersas, cortes semi profundos con pérdida de material y raspones con desprendimiento de recubrimiento en algunos sectores, falta de material en algunos sectores del rollo y en pequeño tamaño, Calificación General, material no apto para ensayos.

6-8 = Rollo con algunas abolladuras y/o suciedad, revestimiento externo de aparente buen aspecto general pero con algunos cortes a detalle, revestimiento interno de aparente buen aspecto general pero con algunos cortes a detalle, plegaduras superficiales en algunos lugares del rollo, algunas o ninguna ampolla, cortes en el revestimiento superficial sin pérdida de material y raspones superficiales en el recubrimiento que no representan pérdida de material ni desprendimientos, falta de material en algunos sectores casi imperceptible. Calificación General, material apto para ensayos y utilización para uso específico con deficiencia en el almacenaje.

9-10 = Rollo con aspecto visual prolijo con/sin algo de suciedad, revestimiento externo con aspecto bueno o excelente, revestimiento interno con buen aspecto sin raspones, plegaduras imperceptibles y en cantidad reducida, no se presentan ampollas, no se presentan cortes en el revestimiento superficial, con o sin raspones leves, falta de material imperceptible, Calificación General, material apto para ensayos y utilización para uso específico con adecuadas condiciones de almacenaje.

A fin de mostrar de forma adecuada la calificación final, se tiene la Figura N° 2:



Figura N° 2 Calificación General de los Productos.

A continuación, tenemos las imágenes de las membranas:



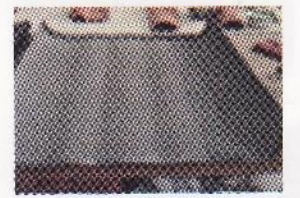
Fotografía N° 20 Membrana A-NO Anverso y reverso



Fotografía N° 21 Membrana A-AL. Anverso y reverso



Fotografía N° 22 Membrana B-NO. Anverso y reverso



Fotografía N° 23 Membrana B-GR. Anverso y reverso



Fotografía N° 24 Membrana C-AL. Anverso y reverso



Fotografía N° 25 Membrana D-NO. Anverso y reverso



Fotografía N° 26 Membrana E-GT. Anverso y reverso



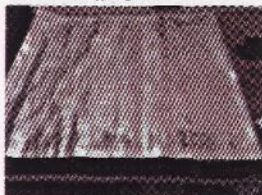
Fotografía N° 27 Membrana E-AL. Anverso y reverso



Fotografía N° 28 Membrana E-NO. Anverso y reverso



Fotografía N° 29 Membrana F-AL4. Anverso y Reverso



Fotografía N° 30 Membrana F-AL3. Anverso y Reverso



Fotografía N° 31 Membrana F-NO3. Anverso y Reverso

b) Determinación de la masa por metro cuadrado y del espesor.

A continuación se muestra la diferencia que hay en los valores de la masa por metro cuadrado obtenidos en laboratorio, el valor de la Norma y los valores especificados por los fabricantes.

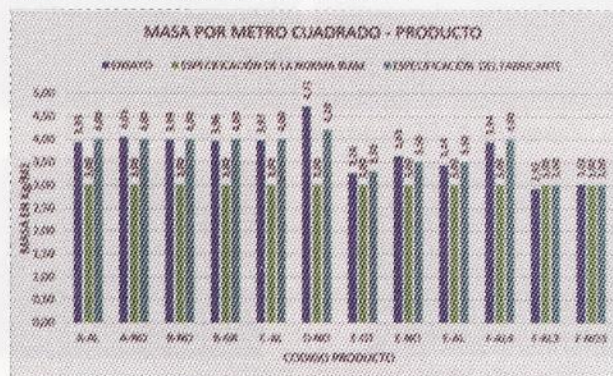


Figura N° 3 Resultados de Masa por metro cuadrado según producto.

En la figura N° 2 se observa que algunos productos presentan masas por metro cuadrado bastante mayores al valor especificado en la Norma IRAM; mientras que algunos otros, tienen valores muy cercanos o incluso menores a la especificación. En la gran mayoría de los casos, el resultado de laboratorio es correspondiente a la especificación técnica del fabricante.

Por otro lado, en el caso del espesor de la membrana, a continuación se muestra la diferencia que hay entre los valores del espesor promedio (obtenido de los datos del ensayo), el valor especificado en la norma y los valores especificados por los fabricantes.

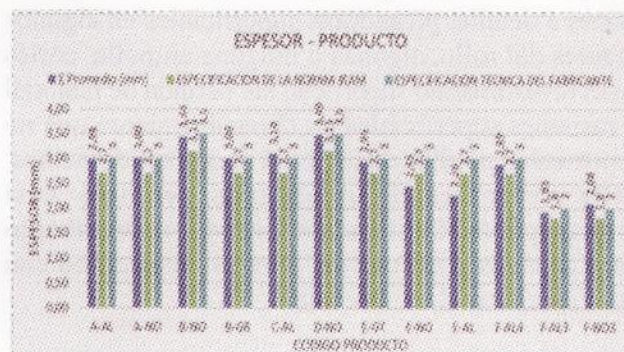


Figura N° 4 Resultados Espesor según producto

Se observa que la mayoría de los productos, tienen espesores mayores a los especificados en la Norma IRAM; asimismo, estos mismos productos cumplen de forma precisa o con leves variaciones con el valor especificado por el Fabricante. También encontramos que 2 de los productos presentan espesores menores al especificado por la norma IRAM, y menores que el valor especificado por el Fabricante.

Comentarios:

- El aspecto visual de las membranas debe ser prolijo, ya que la presencia de raspones, cortes y abolladuras, puede perjudicar su desempeño.
- Los plegamientos reducen el espesor de la membrana.
- Debe exigirse al proveedor membranas que cumplan con los estándares de espesor y masa.

4.2. ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN

En la tabla N° 5 se resumen los promedios de los

valores de la resistencia a tracción, para cada uno de los productos. Asimismo se muestran los valores especificados en norma, de acuerdo a la Clase a la que pertenece la membrana (según especificación del fabricante).

		RESISTENCIA A LA TRACCIÓN					
TIPO DE MEMBRANA		ENSAYOS		NORMA IRAM 1577-2		FABRICANTE	
NOM.	SEGUN IRAM 6693	LONG(15 cm)	TRANS(15 cm)	LONG(15 cm)	TRANS(15 cm)	LONG(15 cm)	TRANS(15 cm)
A-AL	MA - 2	162,71	155,16	150,00	150,00	150,00	150,00
A-NO	MA - 1	125,00	91,03	140,00	140,00	140,00	140,00
B-NO	MA - 3	1104,79	428,63	280,00	280,00	700,00	550,00
B-GR	MA - 3	941,16	542,09	280,00	280,00	650,00	320,00
C-AL	MA - 2	159,02	171,70	150,00	150,00	150,00	150,00
D-NO	MA - 3	563,72	264,34	280,00	280,00	400,00	300,00
E-GT	MA - 3	627-23	337,60	280,00	280,00	280,00	280,00
E-NO	MA - 1	121,00	100,60	140,00	140,00	140,00	140,00
E-AL	MA - 2	195,04	187,61	150,00	150,00	150,00	150,00
F-AL4	MA - 2	161,13	155,79	150,00	150,00	150,00	150,00
F-AL3	MA - 2	140,68	158,32	150,00	150,00	150,00	150,00
F-NO3	MA - 1	92,63	67,66	140,00	140,00	140,00	140,00

Tabla N° 5 Resultados ensayo de Tracción

Para realizar un correcto análisis de los datos, se debe realizar varias comparaciones entre productos, considerando el tipo de mástico asfáltico, el tipo de armadura, el tipo de revestimiento y el espesor, con este fin, se plantean las siguientes gráficas:



Figura N° 5 Resistencia a Tracción según el Revestimiento



Figura N° 6 Resistencia a Tracción según el Tipo de mástico Asfáltico

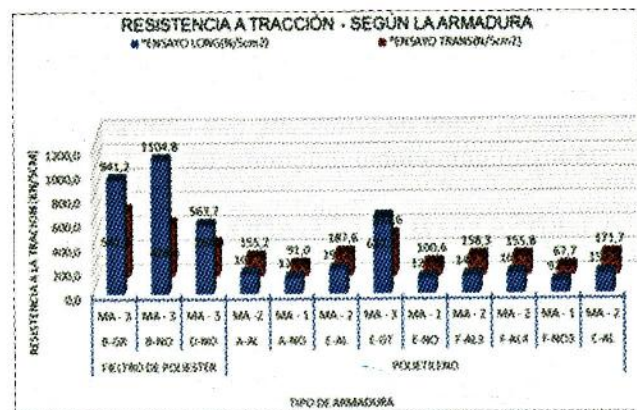


Figura N° 7 Resistencia a Tracción según el Tipo de Armadura



Figura N° 8 Resistencia a Tracción según el Espesor de la Membrana.

De los resultados antes mostrados y graficados, se establece que:

- La resistencia a Tracción en membranas asfálticas depende de diferentes factores, son de carácter preponderante, por orden de importancia: el tipo de asfalto, el tipo de armadura y aparentemente el revestimiento de la membrana.
- Se reporta mayor resistencia en el sentido longitudinal de las probetas que en el sentido transversal.
- Según el tipo de asfalto, las membranas con Asfaltos Modificados SBS y APP, reportan valores mayores de resistencia a tracción que las membranas con asfaltos plásticos.
- Según el tipo de armadura, las membranas con armadura de FielTRO de Poliéster, reportan valores mayores de resistencia a tracción que las membranas con armadura de Polietileno.
- Según el tipo de Revestimiento, la membrana con revestimiento de Geotextil, reportó mayor

resistencia que las membranas con el mismo tipo de mástic asfáltico y armadura, aparentemente debido a que el revestimiento actuó como una segunda capa de armadura, que contribuyó con la resistencia global del producto.

4.3. ENSAYO DE PLEGADO.

En la tabla N° 6 se muestran los resultados para el ensayo de plegado:

CAPACIDAD DE PLEGADO			
NOM.	ENSAYOS	NORMA IRAM 1577-2	FABRICANTE
A-AL	SIN OBSERVACIONES. NO PRESENTAS FISURAS NI AGRIETAMIENTOS A 0° C	SIN OBSERVACIONES. NO PRESENTAS FISURAS NI AGRIETAMIENTOS A 0° C	SIN OBSERVACIONES. NO PRESENTAS FISURAS NI AGRIETAMIENTOS A 0° C
A-NO			
B-NO			
B-GR			
C-AL7			
D-NO			
E-GT			
E-NO			
E-AL			
F-AL4			
F-AL3			
F-NO3			

Tabla N° 6 Resultados Ensayo de Plegado

En el caso de la Membrana A-NO, para el plegado en sentido transversal, se observó que el revestimiento de polietileno adquirió un color blanquecino por efecto de la tracción generada por el plegado. Asimismo es importante mencionar, que este revestimiento es derretido en el momento de la aplicación de la membrana.

Podemos concluir que todas las membranas estudiadas son capaces de ser plegadas a bajas temperaturas, sin sufrir daño alguno que afecte la capacidad impermeabilizante del producto.

4.4. ENSAYO DE PUNZONAMIENTO DINAMICO.

DENOMINACIÓN DE LOS MATERIALES					TIPO DE MEMBRANA SEGUN IRAM 6693
NOM	REVESTIMIENTO	TIPO DE MASTICO	ARMADURA	REVEST.INF.	
A-AL	ALUMINIO	ASF.PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 2
A-NO	POLIETILENO	ASF.PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 1
B-NO	POLIETILENO	ASF. MODIF.SBS	FIELTRO DE POLIESTER	POLIETILENO	MA - 3
B-GR	GRAVILLA	ASF. MODIF.SBS	FIELTRO DE POLIESTER	POLIETILENO	MA - 3
C-AL	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 2
D-NO	POLIETILENO	ASF. MODIF.SBS	FIELTRO DE POLIESTER	POLIETILENO	MA - 3
E-GT	GEOTEXTIL	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 3
E-NO	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 1
E-AL	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 2
F-AL4	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 2
F-AL3	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 2
F-NO3	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	POLIETILENO	MA - 1

Tabla N° 7. Clasificación de las Membranas estudiadas según IRAM 6693.

A partir de la clasificación, se establecieron las alturas de ensayo, mediante las cuales, se determinó la capacidad resistente de cada membrana.

PUNZONAMIENTO DINAMICO						
RESISTENCIA AL PUNZONAMIENTO DINAMICO						
NOM.	TIPO DE MEMBRANA SEGUN IRAM 6693	ENSAYO	NORMA IRAM 6693	FABRICANTE	CALEFICACION	OBSERVACION
A-AL	MA - 2	2.45	2.45	N/E	3	RESISTENTE
A-NO	MA - 1	2.45	2.45	N/E	3	RESISTENTE
B-NO	MA - 3	4.50	4.50	N/E	4	RESISTENTE
B-GR	MA - 3	4.50	4.50	N/E	4	RESISTENTE
C-AL	MA - 2	2.45	2.45	N/E	3	RESISTENTE
D-NO	MA - 3	4.50	4.50	N/E	3	RESISTENTE
E-GT	MA - 3	4.50	4.50	N/E	3	RESISTENTE
E-NO	MA - 1	2.45	2.45	N/E	2	NO RESISTENTE
E-AL	MA - 2	2.45	2.45	N/E	2	NO RESISTENTE
F-AL4	MA - 2	2.45	2.45	N/E	3	RESISTENTE
F-AL3	MA - 2	2.45	2.45	N/E	2	NO RESISTENTE
F-NO3	MA - 1	2.45	2.45	N/E	2	RESISTENTE

Tabla N° 8 Resultados Ensayo de Punzonamiento Dinámico

En el caso de las membranas que obtuvieron valores de Calificación entre 2 y 3, el comité de la IRAM, propone la norma IRAM 1595 - Método de detección de perforaciones mediante una descarga eléctrica. Debido a la dificultad de aplicación de esta norma, se procedió a pasar aire a través de las membranas ensayadas, con el fin de determinar si estas presentan o no perforación. Las membranas que permitieron el paso de aire a través de sí mismas fueron observadas como NO RESISTENTES.

De los resultados obtenidos, corresponde concluir lo siguiente:

- Según el examen de aspecto visual de las membranas y el paso de aire a través de ellas, las membranas E-NO, E-AL y F-AL3, reportaron perforación del revestimiento, y del mástic asfáltico, perdiendo la capacidad de impermeabilidad, por lo tanto, no son resistentes al Punzonamiento Dinámico.
- Las membranas B-GR y B-NO, no presentaron perforación ni marcas apreciables a simple vista, presentando excelente desempeño ante el efecto de punzonamiento.
- Las membranas A-AL, A-NO, C-AL, D-NO, E-GT, F-AL4, F-NO3, presentaron leves marcas en el revestimiento; sin embargo, no se produjo el paso de aire a través de las membranas, por lo tanto, son resistentes al punzonamiento dinámico.
- Finalmente, podemos concluir que no todos los productos son capaces de resistir solicitaciones de punzonamiento, comprometiendo la estabilidad global del sistema de impermeabilización y afectando severamente la durabilidad del mismo.

4.5. ENSAYO DE RESISTENCIA AL CALOR

En las fotografías a continuación se muestran las probetas antes y después del ensayo de resistencia al calor:



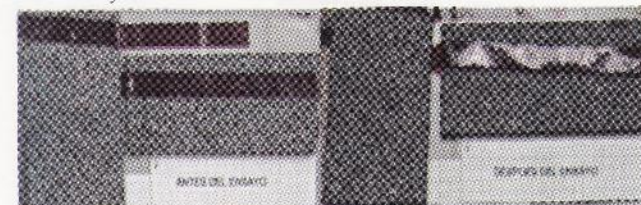
Fotografía N° 32 Probetas Antes y después del Ensayo, producto A-AL-R1 y R2



Fotografía N° 33 Probetas Antes y después del Ensayo, producto A-NO-R1 y R2



Fotografía N° 34 Probetas Antes y después del Ensayo, producto B-NO-R1 y R2



Fotografía N° 35 Probetas Antes y después del Ensayo, producto B-GR-R1 y R2



Fotografía N° 36 Probetas Antes y después del Ensayo, producto C-AL-R1 y R2



Fotografía N° 37 Probetas Antes y después del Ensayo, producto D-NO-R1 y R2



Fotografía N° 38 Probetas Antes y después del Ensayo, producto E-GT-R1 y R2



Fotografía N° 39 Probetas Antes y después del Ensayo, producto E-NO-R1 y R2



Fotografía N° 40 Probetas Antes y después del Ensayo, producto E-AL-R1 y R2



Fotografía N° 41 Probetas Antes y después del Ensayo, producto F-AL4-R1 y R2



Fotografía N° 42 Probetas Antes y después del Ensayo, producto F-AL3-R1 y R2



Fotografía N° 43 Probetas Antes y después del Ensayo, producto F-NO3-R1 y R2

A continuación se muestra la tabla N° 9 con los resultados del ensayo de Resistencia al calor.

PROD *	E(mm)	REVESTIM.	TIPO DE ASF.	ARMADURA	AL (mm) AR-1	AT (mm)AR-2	Máximo IRAM 6693	Máximo FABRICANTE
A-AL	3,00	ALUMINIO	ASF.PLASTICO	POLIETILENO	2	1	2	8
A-NO	3,00	POLIETILENO	ASF.PLASTICO	POLIETILENO	2	1	2	8
B-NO	3,50	POLIETILENO	ASF. MODIF. SBS	FILTRO DE POLIESTER	1	1	2	NE*
B-GR	3,00	GRAVILLA	ASF. MODIF.SBS	FILTRO DE POLIESTER	1	1	2	NE*
C-AL	3,00	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	6	2	2	2
D-NO	3,50	POLIETILENO	ASF. MODIF. APP	FILTRO DE POLIESTER	0	0	2	0
E-GT	3,00	GEOTEXTIL	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	0	0	2	5
E-NO	3,00	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	4	7	2	5
E-AL	3,00	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	8	4	2	5
F-AL4	3,00	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	4	4	2	2
F-AL3	2,00	ALUMINIO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	x	x	2	2
F-NO3	2,00	POLIETILENO	ASF. PLASTICO	POLIETILENO	1	2	2	2

* El fabricante no especifica parámetros

x : no se pudo determinar por presentarse escurrimiento

Tabla N° 9 Resumen de datos del Ensayo de Resistencia al Calor

Para realizar un correcto análisis de los datos, se deben realizar varias comparaciones entre productos, considerando el tipo de asfalto, el tipo de armadura y el tipo de revestimiento. Con este fin, se plantean las siguientes gráficas:

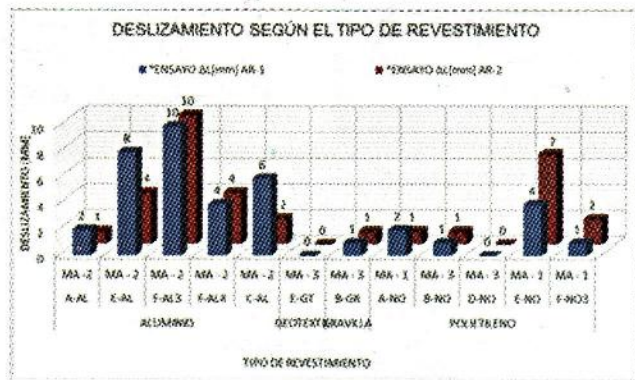


Figura N° 9 Deslizamiento según el tipo de Revestimiento



Figura N°10 Deslizamiento según el tipo de mástico Asfáltico

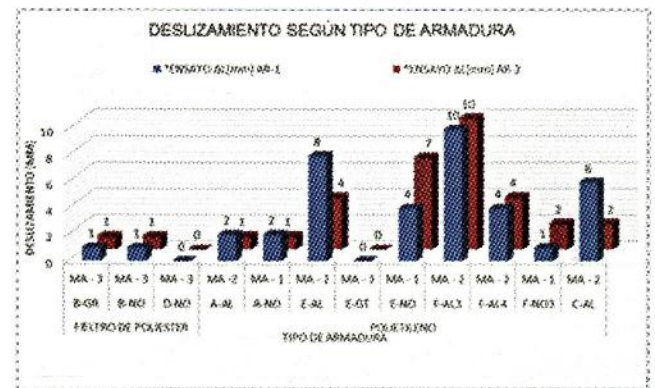


Figura N° 11 Deslizamiento según el tipo de Armadura

De los resultados antes mostrados y graficados, se establece que:

- Se observó que el producto F-AL3 presentó flujo del mástico asfáltico en ambas probetas, por lo tanto esta membrana no es resistente a la acción del calor, incumpliendo con los 2 mm de deslizamiento máximo especificado.
- Según la Figura N° 9, observamos que la mayoría de las membranas que presentan mayores deslizamientos, corresponden al grupo de aquellas revestidas por Aluminio. Debido a que el aluminio es un buen conductor del calor, se genera un nuevo transmisor de éste, que llega a solicitar más a la membrana ante la acción del calor. En el caso de las demás membranas, es posible observar un comportamiento casi uniforme que fluctúa entre 0mm y 2mm para las membranas

revestidas con Geotextil, Gravilla y Polietileno, sin embargo, ente este último, se observa que el material E-NO, presenta deslizamientos mayores en comparación a los demás productos revestidos por polietileno.

- Según la Figura N° 10, los productos que tienen mástic con asfaltos modificados, presentaron menores deslizamientos que los productos de asfalto plástico; sin embargo, dentro del grupo de productos de asfaltos plásticos, el producto E-GT presenta deslizamientos menores que los demás.
- Según la Figura N° 11, las membranas con armadura de Filtro de Poliéster, presentan mejor desempeño ante la acción del calor, que las membranas con armadura de polietileno. Sin embargo la membrana E-GT, con armadura de polietileno y revestimiento de Geotextil, presenta deslizamientos menores.

4.6. ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL.

La Fotografía N° 44 refleja el aspecto general de todas las probetas después del ensayo.



Fotografía N° 44 Aspecto General de las probetas después del ensayo de Estabilidad Dimensional

La tabla N° 10 muestra el resumen de resultados obtenidos en el ensayo de estabilidad dimensional.

		ESTABILIDAD DIMENSIONAL		
TIPO DE MEMBRANA SEGUN IRAM 6693		PROMEDIO		NORMA ASTM
NOM.		LONGITUDINAL	TRANSVERSAL	
A-AL	MA - 2	0.42	0.58	N/E
A-NO	MA - 1	3.50	0.42	N/E
B-NO	MA - 3	0.14	0.38	1.0%
B-GR	MA - 3	0.22	0.06	1.0%
C-AL	MA - 2	0.63	0.44	N/E
D-NO	MA - 3	0.13	0.45	1.0%
E-GT	MA - 3	0.47	0.82	N/E
E-NO	MA - 1	0.69	0.78	N/E
E-AL	MA - 2	0.44	0.50	N/E
F-AL4	MA - 2	0.55	0.42	N/E
F-AL3	MA - 2	1.64	3.56	N/E
F-NO3	MA - 1	0.43	0.50	N/E

Tabla N° 10 Resumen de datos del Ensayo de Estabilidad Dimensional

De los resultados antes mostrados, se establece que: o La estabilidad dimensional que ofrecen los productos ensayados, se puede comparar con la especificación de norma, sólo en el caso de los que tienen mástic de asfalto modificado: B-NO, B-GR (asfalto SBS) y D-NO (asfalto APP), cuyos valores de variación dimensional son menores que los máximos especificados en norma ASTM. Los resultados obtenidos para las membranas con mástic de asfalto plástico, son útiles únicamente con fines comparativos.

5. ANÁLISIS ECONÓMICO

La armadura, el recubrimiento o el espesor son determinantes para la comparación de precios entre membranas, pero también son importantes otros aspectos como: si el precio incluye la instalación con mano de obra calificada, si incluye el imprimante o capa de imprimación previa a la instalación, si incluye asesoramiento técnico y supervisión de campo y si incluye una garantía sobre producto e instalación probada por pruebas de estanqueidad durante 3 días.

NOM.	PRECIO Bs/m ²	INSTALACION + IMPRIMANTE Bs/m ²	PRECIO FINAL Bs/m ²	ASESORIA TECNICA	GARANTIA
A-AL	50,00	12,00*	62,00	SIN COSTO	1 AÑO
A-NO	40,00	12,00*	52,00	SIN COSTO	1 AÑO
B-NO	83,50	76,60	160,10	SIN COSTO	2 AÑOS
B-GR	83,50	76,60	160,10	SIN COSTO	2 AÑOS
C-AL	50,00	15,00*	65,00	SIN COSTO	^
D-NO	62,00	8,00**	70,00	SIN COSTO	8 AÑOS
E-GT	60,00	30,00	90,00	SIN COSTO	^
E-NO	40,00	30,00	70,00	SIN COSTO	^
E-AL	50,00	30,00	80,00	SIN COSTO	^
F-AL4	36,00	NO INCLUYE ***	36,70	SIN COSTO	^
F-AL3	31,80	NO INCLUYE ***	31,80	SIN COSTO	^
F-NO3	29,40	NO INCLUYE ***	29,40	SIN COSTO	^

* La empresa solo realiza la venta de las membranas e imprimante, sin instalación.

** La empresa realiza la venta y colocado de las membranas, sin uso de imprimante.

*** La empresa realiza la venta, solamente de las membranas.

^ La empresa solo otorga la Garantía de certificación de sus productos.

Tabla N° 11 Precio de los Productos Estudiados

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en el Capítulo 4, corresponde concluir lo siguiente:

6.1.1. OBSERVACIÓN VISUAL, MASA POR M2 Y ESPESOR.

- El resultado obtenido para las membranas en el aspecto visual, en general es bueno, obteniéndose valores finales entre 7.1 y 9.4 (sobre 10).

- Solamente uno de los productos estudiados (F-AL3) no cumple con la especificación de la norma IRAM en cuanto a la masa por metro cuadrado.
- Dos de los productos estudiados (E-NO y E-AL) presentan espesores menores al especificado por la norma IRAM.

6.1.2. DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN.

- En general, se reporta mayor resistencia en el sentido longitudinal de las probetas, por lo que se recomienda el colocado de las mismas paralelas al sentido de la pendiente, cuando se utilizan en superficies inclinadas.
- Las membranas A-NO, E-NO, F-NO3, todas Clase 1, no cumplieron con la resistencia a tracción especificada en la norma IRAM.
- La membrana F-AL3, Clase 2, no cumplió con el requisito de resistencia en el sentido longitudinal.
- La membrana D-NO obtuvo un valor de resistencia menor al especificado para la Clase 3, en el sentido transversal.

6.1.3. ENSAYO DE PLEGADO

- Según el examen de aspecto visual de las membranas, no se observó agrietamiento ni fisuras en el mástic de las probetas ni en su revestimiento, por lo que se puede concluir que todos los productos son capaces de ser plegados a bajas temperaturas, sin sufrir daño alguno que afecte la capacidad impermeabilizante del producto.

6.1.4. ENSAYO DE PUNZONAMIENTO DINÁMICO

- Según el examen de aspecto visual de las membranas y el paso de aire a través de ellas, las membranas E-NO, E-AL y F-AL3, reportaron perforación del revestimiento, y del mástic asfáltico, perdiendo la capacidad de impermeabilidad, por lo tanto, no son resistentes al Punzonamiento Dinámico.

6.1.5. ENSAYO DE RESISTENCIA AL CALOR

- Se observó que el producto F-AL3 presentó flujo del mástic asfáltico en ambas probetas, por lo tanto, esta membrana no es resistente a la acción del calor.

- Las membranas E-NO, E-AL y F-AL4 presentaron valores de desplazamiento superiores a los permitidos en la norma, en ambos sentidos.

- La membrana C-AL no cumplió con la especificación de normativa en el sentido longitudinal.

6.1.6. ENSAYO DE ESTABILIDAD DIMENSIONAL

- Todos los productos con mástic de asfalto modificado, cumplen con la normativa americana. Para el caso de los demás productos (con mástic de asfalto plástico) no se puede verificar el cumplimiento de la especificación debido a la no existencia de una norma ASTM para este tipo de material.
- La membrana F-AL3 es la que reportó mayor variación dimensional en relación a todas las membranas estudiadas. La membrana A-NO reportó una variación dimensional importante en el sentido longitudinal.
- Los sistemas de impermeabilización establecidos para la comercialización en nuestro medio, deben ser capaces de resistir la variabilidad térmica de nuestro clima, proveniente de la exposición prolongada al intemperismo, la exposición directa a los rayos UV, radiación solar y las temperaturas que se presentan en cubiertas y superficies.

Los sistemas de impermeabilización con membranas asfálticas, constituyen una buena alternativa entre los sistemas de impermeabilización tradicionales por:

- Economía, en comparación a otros sistemas de impermeabilización más sofisticados.
- Rapidez, debido a que es un sistema que utiliza insumos prefabricados (rollos de 1x10 metros). El rendimiento promedio es de 40 m²/día.

6.2. RECOMENDACIONES

- En el momento de elegir una membrana, deben tomarse en cuenta varios conceptos, tales como la calidad del mástic asfáltico y si éste es modificado con polímeros, el tipo de refuerzo, el espesor total de la membrana, el revestimiento y el precio final del producto con instalación,

supervisión, pruebas de estanqueidad, la garantía sobre el producto e instalación con mano de obra calificada.

- Todas las membranas utilizadas en el presente estudio, reflejan una parte de la gran variedad y aplicabilidad de productos comercializados en el rubro de las membranas asfálticas, de todas ellas, cada una presenta particularidades especiales y específicas para su implementación en distintos sectores de la construcción en general. Por lo tanto se recomienda hacer un estudio detallado de las aplicaciones de todas y cada una de las tipologías encontradas en el mercado Boliviano, considerando la continua ampliación de stock que realizan los importadores de estos productos.
- La presente investigación ha cumplido con todos sus objetivos. Es uno de los primeros trabajos serios sobre impermeabilización y el uso de los sistemas prefabricados en la protección contra el agua y sus dañinos efectos. Pretende también ser el detonante para la investigación profunda de las membranas asfálticas con el desarrollo de nuevos ensayos como los de durabilidad, carga de soporte, punzonamiento estático y la verificación de la perforación de membranas mediante descarga eléctrica; todos ellos ensayos de largo aliento que necesitan mayor tiempo de estudio y evaluación.
- Se recomienda realizar una adecuada capacitación a los usuarios de los sistemas de impermeabilización con membranas asfálticas, con el fin de evitar el mal empleo de estos productos.
- Se recomienda profundizar el presente estudio, considerando efectuar ensayo con los asfaltos que materializan al mástico asfáltico, ensayos que demuestren las cualidades del producto aplicado en diferentes superficies, asimismo verificar la necesidad o no del uso de imprimantes.

BIBLIOGRAFÍA

- IRAM 6693. «CLASIFICACION.» En MEMBRANAS DE ASFLATO OXIDADO. 2002.
- IRAM1577. «IRAM 1577.2005.» 2005.
- Muley Matcos, Luis Miguel. «Membranas Asfálticas.» Presupuesto y Construcción No 49, ABRIL 2010.

- Fichas técnicas de los fabricantes.
- http://images03.olx.es/ui/2/66/23/f_29616323_1.jpeg. s.f.
- <http://membranaasfaltica.com/>. s.f.
- <http://membranaslamiplas.com/impermeabilizar/>. s.f.
- <http://www.asfalchile.com/>.
<http://www.asfalchile.com/frecuentlyaskcdquestions.php>. 2010.
- http://www.carreteros.org/normativa/pg3/articulos/2/ii/a_214b.htm.
www.carreteros.org. s.f.
http://www.carreteros.org/normativa/pg3/articulos/2/ii/a_214b.htm (último acceso: 2013).
- <http://www.easphalt.com/membranas/membranas.htm>. 2012.
- http://www.geora.es/frontend/images/quienes-somos/patologias/Foto-20-cubierta-cn-revestimiento-acrilico-con-humedad_g.jpg. s.f.
- «<http://www.suplementoimpermeabilizate.com/2011/07/historia-de-la-impermeabilizacion/>»
Noviembre 2012.
- <http://www.texsa.com/preguntasfrecuentes.pdf>.s.f.
- <http://www.visitacasas.com/techos/usos-utilidades-membrana-asfaltica-techos/>. s.f.
- www.anayetvertical.com. 2013.
<http://www.anayetvertical.com/blog/wp-content/>.
- www.demudanzas.org/reparaciones/colocacion-de-membrana-asfaltica.php. s.f.
- www.diccionario.motorgiga.com. s.f.
<http://diccionario.motorgiga.com/diccionario/impermeabilidad-definicion-significado/gmx-niv15-con194425.htm#QzA10vB2ue2BmJjm>.

ESTUDIO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DE TABLEROS CONTRACHAPADOS FENÓLICOS PRODUCIDOS EN BOLIVIA Y UTILIZADOS EN ENCOFRADOS

Ismael Chalco Condo
Adolfo Castro Vega

iem@umsa.bo

RESUMEN.-

Para el diseño de encofrados, una de las verificaciones a realizar y que define el comportamiento del elemento, es el cálculo de las deformaciones. Para la determinación de estas deformaciones, es necesario conocer el módulo elástico del material utilizado. En nuestro medio, desde hace algún tiempo atrás, se vienen usando los tableros contrachapados para construir encofrados. Este material es fabricado en el país y sus propiedades no son conocidas, por ello se adoptan valores que da la bibliografía, dando como resultado acabados que no son los más adecuados. Mediante el presente estudio, se pudo determinar la resistencia admisible a flexión y el módulo elástico de los tableros contrachapados de procedencia nacional. Los valores obtenidos son menores que los utilizados en el extranjero, e incluso varían según la orientación de las fibras.

1. GENERALIDADES

1.1. JUSTIFICACION SOCIAL Y TECNICA DEL PROYECTO.

Los tableros contrachapados de fabricación nacional, son muy utilizados en encofrados; sin embargo, todavía no se conocen sus propiedades físicas y mecánicas, por lo que existen inconvenientes en el empleo apropiado de estos materiales en la industria de la construcción en el país, razón por la cual se realizó el presente estudio para encontrar las propiedades físicas y mecánicas más importantes de este tipo de material. En nuestro medio, generalmente la construcción de diferentes tipos de obras civiles es efectuada por contratistas y albañiles que tienen poca experiencia en aspectos técnicos, por ello no toman en cuenta algunos factores importantes que influyen en la industria de la construcción. Se requiere de información técnica adecuada y sistematizada de las propiedades físicas y mecánicas de los derivados de la madera para que la misma pueda servir de apoyo al proyectista y que los materiales sean empleados adecuadamente, optimizando su uso.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Ante la escasez de información respecto a los tableros contrachapados utilizados como encofrados, el estudio pretende determinar sus principales propiedades físico- mecánicas.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el módulo elástico de los tableros, en razón a que se sabe que la verificación más importante en los encofrados es la deformación.
- Determinar la resistencia a flexión de los tableros antes indicados.

1.2.3. OBJETIVOS COMPLEMENTARIOS

- Determinar el contenido de humedad de los tableros antes indicados.
- Determinar la densidad de los tableros antes indicados.
- Determinar la hinchazón en grosor y la absorción de los tableros antes indicados.

1.3. ALCANCE Y LIMITACIONES

Los tableros objeto del presente estudio, corresponden a los tableros contrachapados fenólicos (multilaminados fenólicos o colamarina) que produce la empresa CIMAL, cuyas instalaciones están en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra-Bolivia. Son elaborados por superposición de láminas encoladas por una resina termoendurecible a base de fenol - formaldehído. En la Tabla 1 se detallan las características dimensionales del producto.

TIPO DE TABLERO	Nº de tableros utilizados en el estudio (Unidades)	Espesor nominal del tablero (mm)	Nº de chapas que tiene el tablero (chapas)	DIMENSIONES COMERCIALES		PROCEDENCIA
				Ancho nominal (m)	Largo nominal (m)	
Contrachapado fenólico	4	17	9	1,22	2,44	Empresa CIMAL
Contrachapado fenólico	4	17	9	1,22	2,44	Empresa CIMAL

Tabla 1

Todos los ensayos se hicieron en laboratorios del Área de Materiales del IEM. En la Tabla 2 se detallan, la cantidad de ensayos realizados por cada tipo de tablero y la norma internacional utilizada en cada ensayo, debido a que Bolivia no posee una norma propia.

Para el estudio se compraron dos tableros en la ciudad de El Alto y otros dos en la ciudad de La Paz, en agencias de la misma empresa CIMAL, es decir, no se realizó el muestreo de los mismos, por su elevado costo y por no contar con el apoyo de las empresas productoras.

ESPEJOR DE TABLERO	TIPO DE ENSAYO	Nº de probetas por tablero	Nº total de tableros por espesor	Nº total de probetas por tipo de ensayo	NORMA UTILIZADA
Tablero contrachapado de 17 mm	Resistencia a Flexión longitudinal	2	4	8	UNE EN 789
	Resistencia a Flexión transversal	2		8	UNE EN 789
	Contenido de humedad	3		12	UNE EN 322
	Densidad	3		12	UNE EN 323
	Hinchazón en grosor del tablero	3		12	UNE EN 317
Tablero contrachapado de 19 mm	Resistencia a Flexión longitudinal	2	4	8	UNE EN 789
	Resistencia a Flexión transversal	2		8	UNE EN 789
	Contenido de humedad	3		12	UNE EN 322
	Densidad	3		12	UNE EN 323
	Hinchazón en grosor del tablero	3		12	UNE EN 317

Tabla 2

2. DESARROLLO DEL ESTUDIO.

2.1. TRABAJOS PRELIMINARES

Obtención de probetas: La obtención de las probetas para los diferentes ensayos, se realizó siguiendo lo especificado en la norma UNE EN 789.

2.2. ENSAYO DE FLEXION

Las normas elegidas como base de nuestro trabajo son la UNE - EN 789 y la UNE EN 1058 (ver bibliografía).

Todas las probetas fueron acondicionadas hasta obtener masa constante, en una atmósfera de 65 ± 5 % de humedad relativa y una temperatura de 20 ± 2 °C. Seguidamente se comprobó que las dimensiones reales de las probetas cumplan con la tolerancia establecida en norma, con relación a las dimensiones nominales mostradas en la Tabla 3.

Tipo de tablero	Nº de tableros empleados	Tipo de ensayo	Nº de probetas utilizadas Por tablero	Nº total de probetas utilizadas Por tipo de tablero	Dimensiones nominales Norma UNE EN 789		
					Ancho b' (mm)	Largo b'' (mm)	Espeor t' (mm)
Tablero contrachapado de 17 mm	4	Flexión longitudinal	2	8	300	900	17
		Flexión transversal	2	8	300	900	17
Tablero contrachapado de 19 mm	4	Flexión longitudinal	2	8	300	900	17
		Flexión transversal	2	8	300	900	17

Tabla 3

Para medir las deformaciones durante el ensayo se utilizó un extensómetro electrónico que viene incorporado a la máquina INSTRON-5582 disponible en el I.E.M. Un esquema de la forma de aplicación de las cargas y una fotografía de la probeta dispuesta para el ensayo se muestran en las Figuras 1 y 2 respectivamente. En la Figura 3 se muestra el detalle del dispositivo para la medición de las deformaciones.

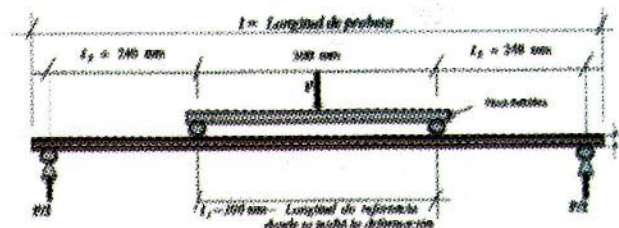


Figura 1 Esquema de aplicación de las cargas

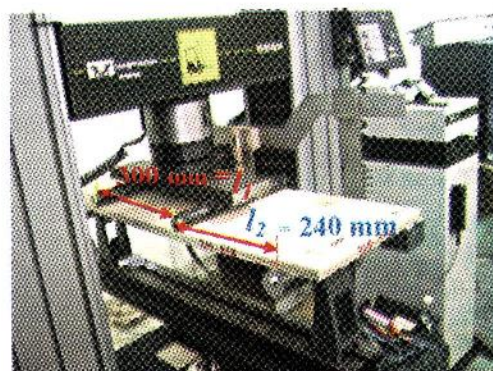


Figura 2 Probeta dispuesta para el ensayo



Figura 3 Dispositivo para la medición de las deformaciones

Procedimiento. En este tipo de ensayos, donde las cargas a utilizar son muy bajas, es importante la velocidad con que se incrementan las mismas. La carga máxima (P_{max}) se debe aplicar en un tiempo de 300 ± 120 segundos establecido por la norma. Las longitudes l_1 y l_2 mostradas en las Figuras 1 y 2 deben materializarse con una tolerancia de 1 mm. La deformación debe medirse en el punto medio del tramo, sobre la zona de momento uniforme, con precisión de 0.01 mm. En la Figura 4 se muestra una probeta en pleno ensayo.



Figura 4 Probeta sometida al ensayo de flexión

Determinación del Módulo de Elasticidad E_m El módulo de elasticidad en flexión de la probeta, se calcula según la fórmula:

Donde:

$$E_m = \frac{(P_2 - P_1) \times l_1^2 \times l_2}{16 \times (\delta_2 - \delta_1) \times I} = \frac{3 \times (P_2 - P_1) \times l_1^2 \times l_2}{4 \times (\delta_2 - \delta_1) \times b \times t^3}$$

E_m = módulo de elasticidad (N/mm²)

l_1 = longitud de referencia (300 mm)

l_2 = distancia entre los puntos de carga y los apoyos (mm)

I = momento de inercia en mm⁴

b = ancho de la probeta (mm)

t = espesor de la probeta (mm)

$P_2 - P_1$ = incremento de fuerza (N) en la parte lineal de la curva de carga/ desplazamiento, ver Figura 5

$\delta_2 - \delta_1$ = incremento de deformación correspondiente a $P_2 - P_1$, ver Figura 5

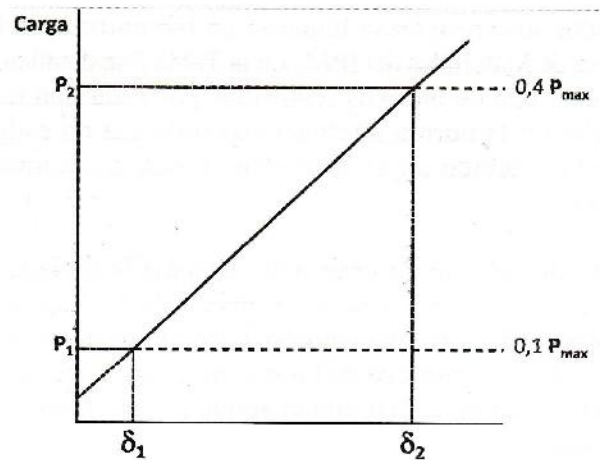


Figura 5 Curva de carga / desplazamiento en la zona de comportamiento elástico

Determinación de la resistencia a flexión. La resistencia a flexión de la probeta se determina según la fórmula:

$$f_m = \frac{P_{max} \times l_2}{2 \times W} = \frac{3 \times P_{max} \times l_2}{b \times t^2}$$

P_{max} = Carga máxima (N).

l_2 = 240 mm = distancia entre los puntos de carga y los apoyos (mm)

$$W = \frac{b \times t^2}{6} = \text{Módulo resistente (N/mm}^3\text{)}$$

2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de las probetas ensayadas es un parámetro importante para conocer las condiciones en que se efectuaron los ensayos de flexión antes indicados. La norma empleada para esta determinación fue la UNE EN 322. En el estudio se emplearon 3 probetas por tablero con el objeto de tener un resultado más confiable. El tamaño de las probetas utilizadas es de 50 ± 1 mm de arista.

En primer lugar se pesó cada probeta en las condiciones naturales, para obtener el peso húmedo o peso inicial, para ello se utilizó una balanza con una precisión de 0.1 gramo. Posteriormente se introdujeron las probetas en un horno (ver Figura 6) para proceder con el secado hasta conseguir un peso constante. El horno debe estar provisto de un termostato que regule la temperatura a $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, y tener una buena circulación de aire.



Figura 6 Probetas en proceso de secado

Antes de cada pesada para determinar el peso seco, se debe dejar enfriar las probetas en ambiente absolutamente seco con la ayuda de un desecador como el cloruro de calcio.

El contenido de humedad se expresa en porcentaje del peso seco de la probeta y se determina mediante la relación:

$$H = \frac{P_h \times P_s}{P_s}$$

Donde:

P_h = peso húmedo (gr)

P_s = peso seco al horno (gr)

H = contenido de humedad (%).

Los contenidos de humedad de cada tablero se obtienen calculando la media aritmética de los contenidos de humedad de las tres probetas ensayadas

2.4. DENSIDAD.

La densidad en la madera, por ser higroscópica, varía con el contenido de humedad; por lo que resulta importante expresar la condición bajo la cual se obtiene la densidad. Esta es una de las características físicas más importantes, ya que está directamente relacionada con las propiedades mecánicas y la durabilidad de la madera. La norma empleada para el ensayo es la UNE - EN 323 y se utilizaron 3 probetas de 50 x 50 mm para cada tablero.

Las probetas de ensayo se acondicionan hasta una masa constante en una atmósfera con una humedad relativa del (65±5) % y una temperatura de (20±2) °C.

Luego se pesan con una precisión de 0,01 g. Seguidamente se mide el espesor t en la intersección de las diagonales, y las dimensiones del largo y ancho en forma paralela a los bordes de la probeta, a lo largo de líneas que pasan a través de los centros de los bordes opuestos. En el estudio, la medición se realizó con vernier de 0.02 mm de precisión.

La densidad ρ de cada probeta se expresa en (Kg/m³) y se determina mediante la relación:

$$\rho = \frac{m}{b_1 \times b_2 \times t} \times 10^6$$

Donde:

ρ = densidad en (Kg/m³).

m = es la masa de la probeta de ensayo (gr)

b_1 , b_2 y t = dimensiones (mm).

La densidad de un tablero se obtiene calculando la media aritmética de las densidades de tres probetas tomadas de cada tablero.

2.5. HINCHAMIENTO

La hinchazón en espesor se determina midiendo el incremento en el espesor de la probeta de ensayo después de inmersión completa en agua por un período de 24 horas. La norma empleada para el ensayo es la UNE-EN 317. Se ensayaron 3 probetas de 50 x 50 mm para cada tablero.

Las probetas de ensayo se acondicionan hasta obtener una masa constante en una atmósfera con una humedad relativa del 65 ±5% y una temperatura de 20±2 °C. El espesor de cada probeta de ensayo se mide con una precisión de 0,01 mm en la intersección de las diagonales. A continuación se sumergen las probetas en agua limpia, con un pH de 7±1 y una temperatura de (20±2) °C. Esta temperatura se mantiene durante todo el período de ensayo que es de 24 horas. Los bordes superiores de las probetas deben estar cubiertos por (25±5) mm de agua durante todo el ensayo, para ello se puede utilizar una disposición como la que se muestra en la Figura 7. Después se sacan las probetas del agua y se mide su espesor después de secarlas superficialmente.

El hinchamiento en grosor se determina de acuerdo con la siguiente expresión:

$$G = \frac{t_2 - t_1}{t_1} \times 100$$

Donde:

G = Hinchazón en grosor (%)

t_1 = espesor de la probeta antes de la inmersión (mm)

t_2 = espesor de la probeta después de la inmersión (mm)

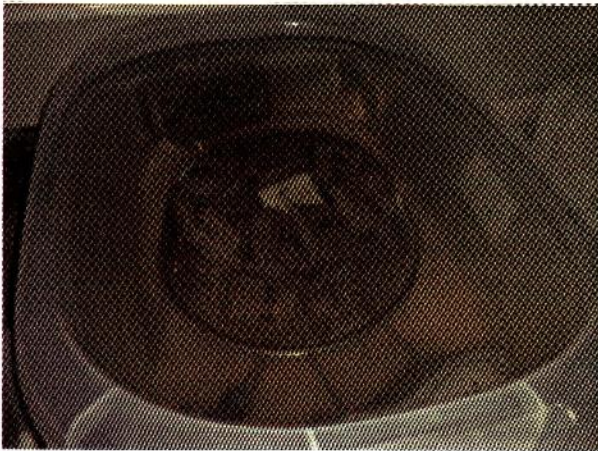


Figura 7 Probetas en el ensayo de hinchamiento en espesor.

El hinchamiento en espesor de un tablero es la media aritmética de los resultados de tres probetas ensayadas.

3. EVALUACION DE RESULTADOS

3.1. ENSAYO DE FLEXION

En las Tablas 4 y 5, se muestra un resumen de los valores promedio y característicos del módulo de elasticidad y la resistencia a flexión, además la tensión admisible de los tableros utilizados en el estudio.

Tipo de tablero	Tipo de ensayo	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
		Módulo de elasticidad promedio E_m (N/mm ²)	Valor característico 5º percentil E_{k5p} (N/mm ²)	Valor máximo (N/mm ²)	Valor mínimo (N/mm ²)
TABLERO DE 17 mm	Flexión longitudinal	4666,94	3733,55	6270,61	3632,79
	Flexión transversal	7295,77	5836,62	9222,50	5203,28
TABLERO DE 19 mm	Flexión longitudinal	7501,37	6001,10	10364,0	6339,06
	Flexión transversal	7524,15	6019,32	9864,49	5918,28

Tabla 4

Tipo de tablero	Tipo de ensayo	RESISTENCIA A FLEXIÓN				
		Resistencia a flexión promedio f_m (N/mm ²)	Valor característico 5º percentil f_k (N/mm ²)	Valor máximo (N/mm ²)	Valor mínimo (N/mm ²)	Tensión Admisible σ_{adm} (N/mm ²)
TABLERO DE 17 mm	Flexión longitudinal	17,98	9,10	27,76	13,25	6
	Flexión transversal	33,67	28,44	38,41	29,02	14
TABLERO DE 19 mm	Flexión longitudinal	24,29	22,22	26,61	22,75	11
	Flexión transversal	20,89	21,10	30,09	23,40	11

Tabla 5

Para determinar el valor característico del módulo de elasticidad, se utilizó el quinto percentil propuesto por la norma UNE EN 12369-2, que viene definido por:

$$E_{k5p} = 0,8 \times E_m$$

Donde:

E_m = Módulo de elasticidad promedio.

Los valores característicos de la resistencia se definen como los valores correspondientes al quinto percentil de la población, utilizando probetas con una humedad de equilibrio higroscópico correspondiente a una temperatura de 20 ± 2 °C y una humedad relativa del 65 ± 5 %. El quinto percentil viene definido por la siguiente expresión:

$$5p = \bar{x} - 1,645 \cdot s$$

Donde:

$5p$ = valor correspondiente al quinto percentil

\bar{x} = valor promedio

s = desviación estándar

Para la determinación de las tensiones admisibles se recurrió a la razones de resistencia que son factores de reducción de la resistencia por defectos permitidos, aplicados por la APA (American Plywood Association) y de acuerdo a la expresión:

$$\sigma_{adm} = RR \cdot f_k$$

Donde:

σ_{adm} = Tensión admisible o de cálculo.

f_k = Resistencia característica que corresponde al 5º percentil.

RR = Razón de resistencia (APA) = 0.5

Analizando la Tabla 5, se puede decir que el tablero contrachapado de 17 mm de espesor, tiene mayor resistencia a flexión en sentido transversal que en el sentido longitudinal al igual que el módulo de elasticidad; mientras que en los tableros de 19 mm de espesor, se puede observar que los valores de resistencia a flexión son casi similares, al igual que el módulo elástico.

Para tener certeza en cuanto a los resultados obtenidos, se procedió a la realización de ensayos adicionales en sentido longitudinal y transversal en probetas obtenidas de un nuevo tablero de 17 mm de espesor. Los resultados obtenidos confirmaron que, el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión en el sentido transversal son mayores que en el sentido longitudinal. Esos nuevos resultados fueron adicionados para el cálculo de los valores característicos del tablero de 17 mm de espesor.

Es probable que el lote de producción de los tableros estudiados, haya tenido deficiencias en el proceso de encolado y prensado de las chapas. También es necesario indicar que, para las probetas ensayadas, las chapas que se encontraban en sentido transversal tenían espesores algo mayores en relación a las chapas de sentido longitudinal. Todos los factores mencionados pudieron influir en los resultados obtenidos, ya que teóricamente, los resultados de los ensayos de probetas transversales y longitudinales, deberían ser similares como en el caso de los tableros de 19 mm y como se indica en la bibliografía.

Finalmente, es bueno comentar que, gracias a las gestiones realizadas ante la empresa CIMAL por el Ing. Silverio Viscarra, se pudo obtener 2 tableros de 17 mm de espesor, en calidad de donación. De esos tableros, se obtuvieron 8 probetas, 4 en sentido longitudinal y 4 en sentido transversal. Esas probetas fueron ensayadas a flexión, y los resultados obtenidos del módulo de elasticidad y la resistencia a flexión en ambos sentidos son similares. Estos nuevos tableros presentaban uniformidad en sus chapas y mejor apariencia.

3.2. CONTENIDO DE HUMEDAD

En la Tabla 6, se muestran los contenidos de humedad de los tableros utilizados en el presente estudio.

TIPO DE TABLERO	Nº DE TABLERO	Humedad Promedio de cada tablero h_p (%)	Humedad Promedio de la muestra H_p (%)
Tablero contrachapado de 17 mm de CIMAL	TABLERO Nº 1	15,4	15,4
	TABLERO Nº 2	15,4	
	TABLERO Nº 3	15,6	
	TABLERO Nº 4	15,2	
Tablero contrachapado de 19 mm de CIMAL	TABLERO Nº 1	14,8	14,4
	TABLERO Nº 2	14,3	
	TABLERO Nº 3	13,8	
	TABLERO Nº 4	14,7	

Tabla 6

Como se puede ver, los tableros de menor espesor tuvieron un mayor contenido de humedad. Se hace notar que el contenido promedio de humedad de equilibrio en la ciudad de La Paz es de 10%.

3.3. DENSIDAD.

En la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos para la densidad.

Tipo de tablero	Nº de tablero	Densidad Promedio de cada tablero ρ (Kg/m ³)	Densidad Promedio de la muestra ρ_p (Kg/m ³)	Desviación Estandar de la densidad S (Kg/m ³)
Tablero contrachapado fenólico de 17 mm de CIMAL	TABLERO Nº 1	572,122	562,224	17,608
	TABLERO Nº 2	579,826		
	TABLERO Nº 3	539,982		
	TABLERO Nº 4	556,965		
Tablero contrachapado fenólico de 19 mm de CIMAL	TABLERO Nº 1	490,458	474,578	11,729
	TABLERO Nº 2	467,557		
	TABLERO Nº 3	476,148		
	TABLERO Nº 4	464,150		

Tabla 7

Los tableros de 17 mm de espesor presentaron mayor densidad respecto a los tableros de 19 mm.

3.4. HINCHAMIENTO

En la Tabla 8, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de hinchamiento en grosor.

Tipo de Tablero	Nº de pieza	HINCHAMIENTO EN EL GROSOR (%)			
		Promedio tablero	Promedio muestra	Valor máximo	Valor mínimo
17 mm	1	2.4	2.2	2.6	1.72
	2	2.1			
	3	2.2			
	4	2.1			
19 mm	1	2.7	2.4	2.8	1.8
	2	2.0			
	3	2.3			
	4	2.6			

Tabla 8

Se puede decir que el hinchamiento es el mismo en ambos tableros.

3.5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN

Para el fondo del encofrado de una losa llena o viga, se utiliza un tablero que va apoyado en vigas de madera transversales (costillas), cuya separación (ℓ) se determina por las siguientes relaciones:

$$l = \sqrt{\frac{5}{3} \times \frac{\sigma_{fmax} \times b \times e^2}{q}} \quad (1)$$

Donde:

ℓ = Longitud de separación

e = espesor de la tabla de madera

σ_{fmax} = Tensión admisible en flexión, en (kg/mm²).

ω_{nec} = Módulo resistente necesario, igual a $b \cdot e^2/6$, en mm³.

q = (Peso del H°A° + Cargas de construcción), en (kg/m)

Considerando la deformación máxima admisible, la longitud entre costillas se determina por:

$$l = \sqrt[3]{\frac{4}{135} \times \frac{E \times b \times e^3}{q}} \quad (2)$$

Donde:

ℓ = Longitud de separación permisible máxima

e = espesor de la tabla de madera

E = Módulo de elasticidad en N/mm²

I = Momento de Inercia, $be^3/12$, en mm⁴

q = (Peso del H°A° + Cargas de construcción), en (N/m)

3.5.1. CASO DE LOSA MACIZA.

Adoptamos:

Peso específico del hormigón = 2.400 kg/m³

Espesor de losa = e_{losa} = 25 cm

Entonces en un metro cuadrado el peso de la losa será:

$$P_{losa} = 600 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Cargas de construcción (sobrecarga) = SC

$$SC = 200 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Valor adoptado para encofrados convencionales y vaciados con equipo normal.

Despreciando el peso propio del encofrado, la carga de cálculo será:

$$q = 800 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

1) Usando madera tipo C.

En la Tabla 9, se tiene los esfuerzos admisibles propuestos por el Grupo Andino:

GRUPO	Esfuerzo admisible en flexión		Módulo de elasticidad				Densidad
	f _m		E _{promedio}		E _{os} ó E _{min}		d
	kg/cm ²	N/mm ²	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	kg/cm ³
A	210	20.58	130000	12740	95000	9310	750
B	150	14.70	100000	9800	75000	7350	650
C	100	9.80	90000	8820	55000	5380	450

Tabla 9

En encofrados generalmente se utilizan maderas del grupo C, entonces:

$\sigma_{fadm} = 100 \text{ kg/cm}^2$ y $E = 55\,000 \text{ kg/cm}^2$

Adoptamos:

$e = 1''$ (espesor nominal de tabla)

Para los cálculos se utiliza el espesor real = $3/4'' = 1,905 \text{ cm}$ (McCormac)

La separación entre costillas permisible por flexión:

$$l = \sqrt{\frac{5}{3} \times \frac{100 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 1(m) \times (1,905cm)^2}{800 \left(\frac{kg}{m} \right)}}$$

$$= 0,87 (m) = 87 (cm)$$

Considerando la deformación admisible:

$$l = \sqrt[3]{\frac{4}{135} \times \frac{55000 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 100(cm) \times (1,905cm)^3}{800 \left(\frac{kg}{m} \right)}}$$

$$= 52 (cm)$$

Por esto es que generalmente se adopta 50 cm de separación entre costillas.

2) Usando tablero contrachapado de 17 mm

En la Tabla 10, se tiene los esfuerzos admisibles obtenidos en el estudio:

TIPO DE TABLERO	Tensión admisible en flexión		Módulo de elasticidad		Espesor real del tablero
	σ_{adm}		Valor característico 5 percentil E_{k5p}		
	(N/mm ²)	(kg/cm ²)	(N/mm ²)	(kg/cm ²)	(mm)
Tablero contrachapado 17 mm	5	51,02	3700	37755,1	16,65
Tablero contrachapado 19 mm	11	112,24	6000	61224,5	18,65

Tabla 10

Por flexión la separación será:

$$l = \sqrt{\frac{5}{3} \times \frac{51,02 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 1(m) \times (1,665cm)^2}{800 \left(\frac{kg}{m} \right)}}$$

$$= 0,54 (m) = 54 (cm)$$

Considerando la deflexión:

$$l = \sqrt[3]{\frac{4}{135} \times \frac{37755,1 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 100(cm) \times (1,665cm)^3}{800 \left(\frac{kg}{m} \right) \times \frac{1 (m)}{100 (cm)}}}$$

$$= 40 (cm)$$

3.5.2. SEPARACION MAXIMA DE COSTILLAS PARA ENCOFRADO DE VIGA.

Si adoptamos:

Peso específico del hormigón = 2.400 kg/m³ Sección de viga = 0,30 m x 0,40 m

Entonces en un metro lineal el peso de la viga será:

$$P_{viga} = 0,30 (m) \times 0,40 (m) \times 2400 \left(\frac{kg}{m^3} \right)$$

$$= 288 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

Cargas de construcción (sobrecarga) = SC

$$SC = 100 \left(\frac{kg}{m^2} \right)$$

Si despreciamos el peso del encofrado, el peso total ó carga de cálculo será:

$$q = 388 \left(\frac{kg}{m} \right)$$

1) Para madera tipo C

$$\sigma_{fadm} = 100 \text{ kg/cm}^2$$

$$E = 55 \text{ 000 kg/cm}^2$$

Adoptamos:

$e = 1''$ (espesor nominal de tabla)

Para los cálculos se utiliza el espesor real:

$e = 3/4'' = 1,905 \text{ cm}$ (McCormac)

Separación máxima por momento flector:

$$l = \sqrt{\frac{5}{3} \times \frac{100 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 0,30(m) \times (1,905cm)^2}{388 \left(\frac{kg}{m} \right)}}$$

$$= 0,68 (m) = 68 (cm)$$

La separación máxima para evitar deflexiones excesivas:

$$l = \sqrt[3]{\frac{4}{135} \times \frac{55000 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 30(cm) \times (1,905cm)^3}{388 \left(\frac{kg}{m} \right) \times \frac{1 (m)}{100 (cm)}}}$$

$$= 44 (cm)$$

2) Con tablero de 17 mm

La longitud por momento:

$$l = \sqrt{\frac{5}{3} \times \frac{51,02 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 0,30(m) \times (1,665cm)^2}{388 \left(\frac{kg}{m} \right)}}$$

$$= 0,43 (m) = 43 (cm)$$

Mientras que por deflexión:

$$l = \sqrt[3]{\frac{4}{135} \times \frac{37755,1 \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \times 30(cm) \times (1,665cm)^3}{388 \left(\frac{kg}{m} \right) \times \frac{1 (m)}{100 (cm)}}}$$

$$= 34 (cm)$$

De forma similar se obtuvieron los valores para el caso del tablero de 19 mm. En la Tabla 11 se muestra un resumen de los cálculos efectuados.

TIPO DE OBRA		Madera tipo C	Tablero 17 mm	Tablero 19 mm
		(cm)	(cm)	(cm)
Losa maciza	$e_{\text{losa}} = 25 \text{ cm}$	52	40	53
Viga	Sección $b = 30 \text{ cm}$ $h = 40 \text{ cm}$	44	34	45

Tabla 11

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir de los resultados obtenidos en el estudio se puede decir:

- En los tableros de 19 mm de espesor, el módulo de elasticidad y la resistencia a flexión en ambos sentidos son similares. Los valores obtenidos comprueban lo que indica la bibliografía. No ocurre lo mismo en el caso de los tableros de 17 mm de espesor.
- Respecto al contenido de humedad de los dos tipos de tableros estudiados, se evidenció que el contenido de humedad de cada tablero individual varía respecto de los otros del mismo espesor, esto es debido a que no son homogéneos en su elaboración y almacenamiento. Además, los valores obtenidos fueron mayores al 10 % que es el contenido de humedad de equilibrio promedio en la ciudad de La Paz. En el estudio, los tableros de 17 mm presentaron un contenido de humedad de 15,4 %, y los tableros de 19 mm, 14,4 %, es decir son similares.
- En base a los resultados del ensayo de densidad para los dos tipos de tableros fenólicos de CIMAL, se puede afirmar que la densidad de los tableros contrachapados es diferente para cada espesor, aunque sean fabricados por la misma empresa, es así que los tableros de 17 mm de espesor tienen mayor densidad en un 15 % que los tableros de 19 mm de espesor. Esto seguramente se debe a que se utilizan diferentes especies de maderas en la elaboración de los tableros. Las dimensiones reales de longitud, ancho y espesor de los tableros

de 17 mm y 19 mm de espesores respectivamente, están dentro del rango de tolerancias dimensionales establecidas en la norma UNE EN 315.

- En resumen: para el diseño estructural se pueden adoptar los valores dados en la Tabla 12, para el caso de:

Tablero Contrachapado Fenólico	Módulo de Elasticidad Característico en flexión E_k (N/mm ²)	Tensión admisible en flexión σ_{adm} (N/mm ²)	Densidad Característica ρ_k (Kg/m ³)
17 mm longitudinal	3700	5.0	530
17 mm transversal	5800	14.0	530
19 mm	6000	11.0	450

Tabla 12

RECOMENDACIONES

Con la finalidad de mejorar los resultados y por la observación del acabado de estos tableros sería conveniente continuar con esta investigación pero con un mayor número de muestras. En vista de que el costo de los tableros es muy elevado es necesario que las empresas productoras de los mismos colaboren para que de esta manera mejoren la calidad de sus productos, lo que incidirá en una mayor demanda para su uso, pues es bien sabido que cuando el acabado de los elementos estructurales de hormigón armado es uniforme, entonces se requiere de menor espesor de los revestimientos de estuco o mortero, además de facilitar su ejecución, esto influye en el costo final de una obra.

BIBLIOGRAFIA Y ANEXOS

- AENOR. Norma española UNE - EN 789, Determinación de las propiedades mecánicas de los tableros derivados de la madera.
- AENOR. Norma española UNE-EN 1058, Tableros derivados de la Madera. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y de la densidad.
- AENOR. Norma española UNE-EN 323, Tableros derivados de la Madera. Determinación de la densidad. Madrid. s/p
- AENOR. Norma española UNE-EN 322, Tableros derivados de la Madera. Determinación del contenido de humedad. Madrid. s/p

- AENOR. Norma española UNE-EN 310, Tableros derivados de la Madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de resistencia a la flexión, Madrid. s/p
- AENOR. Norma española UNE-EN 317, Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación de la hinchazón en espesor después de inmersión en agua, Madrid. s/p
- AENOR. Norma española UNE EN 326-1, Tableros derivados de madera- Muestreo, corte e impresión- Parte 1: Muestreo y despiece de probetas y expresión de los resultados.
- Chan M., M. H.; Araujo M. O.; Azueta G., M. y Solís R., L. E. 2004. Tableros de Madera de Partículas. Ingeniería, Revista Académica. 8(3):39-46. Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México.
- FAO. 1968. Tableros contrachapados y otros paneles a base de madera. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 250 p.
- López Sánchez Elia, Propiedades físico-mecánicas de nueve tableros contrachapados de pino, Chapingo, Texcoco, Edo. De Mexico. 2000, Tesis.
- Concreto Reforzado, Jack McCormac. 4ta. Edición.
- Estructuras de madera, diseño y cálculo, Asociación de de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. AITIM.
- Vicente Pérez G - Propiedades físicas y mecánicas del contrachapado, Universidad de Santiago de Chile, volumen 10, N°1, 1996/7
- Clasificación, utilización e importancia del encofrado en la Construcción, R. Ayala, C. Chimbo, Ecuador-2010, Tesis.
- Diseño de cimbra para encofrados de losa plana, Jorge Lobo Hernández, Universidad Pontificia de Comillas, Tesis.
- Fabricación de OSB y Contrachapado, Patricio Arcos Sánchez,- Javier Allen Merello. Concepción-2005, Tesis.
- Manual de la construcción de viviendas en madera, Corporación chilena de la Madera (CORMA), Unidad 1: La Madera.
- Manual de diseño para maderas del Grupo Andino.

OPTIMIZACIÓN DEL TIEMPO DE REMOJO DE LADRILLOS CERÁMICOS EN FUNCIÓN DE LA ADHERENCIA AL MORTERO DE CEMENTO

Romer Wilfredo Chambi Canqui

Verónica Gallardo Tapia

Jorge Echazú Cortez

vgallardo@umsa.bo - jechazuco@gmail.com

RESUMEN.-

En la presente investigación se determinó el tiempo óptimo de remojo de ladrillos cerámicos procedentes de tres fábricas proveedoras del mercado local en función de su adherencia al mortero de cemento. Para determinar la adherencia se trabajó en base a la norma ASTM C 1583. Se estudiaron tres diferentes rangos de absorción para cada fábrica, mismos que variaron entre 6 y 16 %. El resultado obtenido es similar para las tres fábricas y muestra que el tiempo de remojo de 8 minutos proporciona la mayor adherencia y es independiente de la absorción.

1. GENERALIDADES

1.1. JUSTIFICACION

En nuestro medio, el ladrillo es el material de construcción más utilizado para la construcción de cerramientos y paredes divisorias; sin embargo no se cuenta con un manual de buenas prácticas nacional, que de lineamientos sobre la forma óptima de colocación de este tipo de mampuesto. Usualmente se deja a criterio del albañil todo el procedimiento necesario para el levantamiento del muro.

Una manera muy usual para trabajar con este material es remojar el ladrillo antes de colocar el mortero de junta para que el ladrillo adquiera humedad en sus poros, caso contrario, éste succionará agua del mortero de junta haciendo que disminuya su resistencia a la adherencia.

Las viviendas de albañilería, para tener un buen comportamiento estructural, deben ser construidas con procedimientos apropiados. Se debe mostrar recomendaciones para asegurar un buen control de calidad en la obra, para ello se necesita elaborar una Propuesta de Código de Buenas Prácticas de Construcción de Mampostería de Ladrillos Cerámicos para que ayude a mejorar nuestra tecnología constructiva en viviendas de albañilería.

El Área de Materiales del I.E.M. tiene una línea de Investigación centrada en los ladrillos cerámicos y el control de su calidad. En la presente investigación se busca ver el efecto del tiempo de remojo de los ladrillos cerámicos fabricados en nuestro medio en la adherencia al mortero de cemento. Se busca

optimizar ese tiempo de remojo en los ladrillos cerámicos de 3 fábricas locales para conseguir las mejores adherencias.

1.2. ESTADO DEL ARTE

En nuestro medio se han realizado investigaciones en el Instituto de Ensayo de Materiales con relación a este tema:

- Quisberth N., R.G.; Echazú C., J. "Evaluación de los porcentajes de absorción en ladrillos de relleno y su influencia en la resistencia a la compresión, adherencia al mortero y durabilidad." En este estudio, se vio cómo influye la variación del porcentaje de absorción en la resistencia a compresión, adherencia y durabilidad al congelamiento y descongelamiento tomando como referencia el intervalo de valores indicados en la Norma Boliviana para ladrillos cerámicos (NB1211001).
- Calle A., A.; Echazú C., J. "Optimización de morteros de cemento, cal y arena para revestimientos de muros de ladrillo." En el estudio de este tema se establecieron dosificaciones óptimas de morteros de cemento, cal y arena desde el punto de vista de la adherencia a tracción y la permeabilidad para su aplicación como revestimiento en muros de ladrillo para exteriores, bajo condiciones de laboratorio.
- Mamani M., A.; Echazú C., J.; Gallardo T., V. "Correlación entre la succión de ladrillos y la adherencia a morteros de revestimiento y junta".

En el estudio de este tema se determinó la correlación entre la succión o tasa inicial de absorción de ladrillos cerámicos y la adherencia al mortero, implementando el ensayo de succión como parámetro de control de calidad en ladrillos cerámicos y además se dio valores para el rango en el que debería estar la succión de manera que la adherencia máxima sea garantizada.

1.3. FINES

En esta investigación se busca establecer un rango de tiempo de remojo para garantizar una buena adherencia al mortero, proponiendo como una de las exigencias el remojo del ladrillo cerámico antes de su colocado.

Esta metodología será incorporada a un Código de Buenas Prácticas de construcción de mampostería de ladrillo cerámico.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Establecer tiempos óptimos de remojo para ladrillos cerámicos en función de la adherencia al mortero de cemento.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la *absorción y succión* de 100 ladrillos de 6 huecos de cada una de las 3 fábricas seleccionadas.
- Realizar ensayos de adherencia por tracción directa en probetas elaboradas con un "mortero tipo" y ladrillos de fábricas proveedoras de la ciudad, sometidos a remojo durante diferentes intervalos de tiempo.
- Establecer el comportamiento de la adherencia ladrillo-mortero, en función del tiempo de remojo del ladrillo (para ladrillos con la misma absorción).
- Determinar los intervalos de tiempo óptimos de remojo de los ladrillos en función a la adherencia con el mortero de cemento.
- Establecer la relación entre el tiempo óptimo de remojo y la absorción para los ladrillos estudiados.

1.5. ALCANCE Y LIMITACIONES

Los ensayos fueron ejecutados con equipos y dispositivos del Instituto de Ensayo de Materiales.

Se tomaron como referencia las siguientes Normas nacionales e internacionales:

a) Para la Caracterización de los Materiales

- Norma Boliviana NB 1211002 Ladrillos cerámicos- Métodos de ensayo.
- ASTM C67 Métodos de ensayos normalizados para el muestreo y ensayo de elementos estructurales de arcilla.

b) Para los Ensayos Principales

- ASTM C 1583 Método de ensayo para la resistencia a tracción de superficies de concreto y resistencia de adherencia o resistencia a tracción de reparaciones de concreto y materiales de revestimiento por tracción directa: Método "Pull off".
- Norma Belga NBN813-05 "Método estándar para el ensayo de adherencia"

El estudio se realizó con los materiales que se describen a continuación:

Mortero.- Para los ensayos de adherencia se usó el mortero de junta con la dosificación en peso obtenida en una anterior investigación: Calle, A; Echazú, J.

"Dosificación de morteros de cemento, cal y arena para revestimientos de muros de ladrillo", realizada en el I.E.M. a nivel de proyecto de grado. Se trata de un mortero rico en cemento para lograr elevados valores de adherencia que puedan ser registrados en el equipo disponible con mayor precisión.

Relación agua/cemento :	0,53
Proporción 1 : 3 (cemento, arena) en peso.	

Tabla N° 1: Dosificación de mortero de junta utilizada en el estudio.

Arena.- La arena, libre de materia orgánica, fue procedente de la cantera de Mallasilla. Se tamizó la arena a través del tamiz # 4 para que cumpla los requisitos granulométricos de la norma ASTM C-144.

Agua.- Se utilizó agua proveniente del servicio público que cumple con los requisitos de ser bebible, limpia, libre de sustancias deletéreas, ácidos, álcalis y materia orgánica.

Cemento.- Se trabajó con el Cemento IP-30 Viacha Estándar.

Ladrillos.- Se usaron ladrillos de relleno (6 huecos lisos) de las fábricas: *TECERBOL*, *INCERPATZI* y *CERÁMICAS AVAROA*.

2. MARCO TEORICO Y MARCO CONCEPTUAL

2.1. TIEMPO DE REMOJO

Es el tiempo que se sumerge los ladrillos cerámicos para conseguir su saturación parcial, de manera que el ladrillo adquiera su propia humedad y no succione el agua del mortero. Si no se remoja el ladrillo cerámico, disminuye su adherencia al mortero de cemento. Por otro lado, si el ladrillo está completamente saturado, también disminuye la adherencia debido a que no hay suficiente penetración de pasta de cemento en los poros del ladrillo para garantizar el engrape mecánico.

2.2. ABSORCIÓN

La absorción es un parámetro importante para controlar la calidad de los productos cerámicos, ya que permite estimar la porosidad del material y con ello su capacidad de resistir a los ciclos de hielo y deshielo y también su adherencia a otros materiales como los morteros. La norma boliviana establece que la absorción de los ladrillos huecos no debe ser menor a 8 % ni mayor a 15%. Una absorción demasiado pequeña indica una porosidad muy baja que afecta la adherencia, en tanto que una absorción muy elevada hace al material demasiado poroso para resistir convenientemente los ciclos de hielo y deshielo y por tanto afecta su durabilidad, además disminuye sus resistencias mecánicas, aumenta la propensión a que se produzcan indeseadas eflorescencias y también puede disminuir la adherencia debido al aumento de la relación agua-cemento en la interfaz mortero-ladrillo.

2.3. ADHERENCIA

Es probablemente una de las propiedades más importantes de los morteros de junta en estado endurecido. Es también la más inconstante e impredecible. El mortero tiene que desarrollar

suficiente adherencia con los ladrillos para resistir los esfuerzos a tracción producidos por las cargas de la estructura, del terreno, las ondas sísmicas y el viento; los cambios de volumen de los ladrillos y los cambios de temperatura.

La adherencia proviene del anclaje de cristales de cemento hidratado en los poros de los ladrillos cerámicos, es decir es de naturaleza exclusivamente mecánica, más que química o molecular. Una manera de determinar la resistencia a adherencia es el método que consiste en aplicar una fuerza de tracción al mortero hasta que éste se separe del sustrato, obteniendo de esta manera, la resistencia a adherencia entre mortero y ladrillo.

En el presente estudio se utilizó el procedimiento descrito en la ASTM C 1583, también conocido como "Pull off".

3. MARCO PRÁCTICO

3.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Los ladrillos producidos en las fábricas semiartesanales, que son precisamente el objeto del presente estudio, tienen diferentes grados de cocción y por tanto diferentes absorciones. En vista de que la absorción es un factor que influye en la adherencia al mortero, en primer lugar se procedió a agrupar los ladrillos de las diferentes fábricas en función de su absorción. Para cada fábrica se formó tres grupos, a los que se denominó: Grupo A (piezas de coloración clara que presentan los mayores grados de absorción), Grupo B (piezas de una coloración más intensa con relación a la anterior que presentan absorciones medias) y Grupo C (piezas de coloración oscura, con valores de absorción inferiores a los dos anteriores).

Todas las muestras fueron sometidas al ensayo de absorción, según la NB 1211002.

Una vez conocido el valor de la absorción de cada ladrillo, estos fueron codificados, ordenados y destinados a los ensayos programados.



Fotografía N° 1 Identificación de grupos para una de las Fábricas

3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.

Los materiales utilizados en el presente estudio fueron caracterizados en base a normativa vigente a nivel nacional e internacional.

La arena del banco de Mallasilla fue caracterizada mediante los siguientes ensayos:

- Granulometría (ASTM C 136)
- Peso específico y absorción (ASTM C 128)

Para el cemento Viacha Estándar se realizó el ensayo de densidad en base a la norma ASTM C 188.

Con la ayuda de los valores obtenidos se procedió a realizar la dosificación del mortero utilizado en la investigación. Antes del vaciado del mismo, se determinó su trabajabilidad en base a la norma ASTM C 1437.

Los ladrillos de las tres fábricas indicadas fueron primeramente limpiados para retirar las rebabas e imperfecciones notorias. Luego se realizaron en ellos los siguientes ensayos:

- Determinación de dimensiones (NB 1211002)
- Absorción (NB 1211002)
- Succión (ASTM C 67)

3.2.1. ENSAYO DE ABSORCIÓN

El procedimiento para determinar la absorción consiste en sumergir en agua los ladrillos por lo menos 24 horas, hasta conseguir la condición SSS (saturados superficialmente secos), para luego pesarlos y secarlos en un horno hasta peso constante a una temperatura de 110 C°. Finalmente se halla el porcentaje de agua que es capaz de retener el ladrillo en estado SSS, con relación al peso seco al horno, con ayuda de la siguiente expresión.

$$\%h = \frac{(P_{SSS} - P)}{P} * 100$$

Dónde:

h = Absorción (%)

P = Peso de la probeta secada al horno (g)

P_{SSS} = Peso de la probeta saturada superficialmente seca (g)



Fotografía N° 2 Probetas en saturación para ensayo de absorción



Fotografía N° 3 Probetas secando en el horno



Fotografía N° 4 Probeta en la balanza

3.2.2. ENSAYO DE SUCCIÓN

La succión es el agua absorbida por un ladrillo en contacto con el agua, a una altura de 1/8 de pulgada, durante un minuto. Se calcula con la fórmula:

$$X = \frac{(193.55 * W)}{(L * B)}$$

Se tomaron las dimensiones de los Ladrillos en centímetros para hallar el incremento de peso corregido "X"

$$W = P_{SSS1} - P_{seco}$$

Donde:

x = Incremento en peso corregido en base a 30 pulgadas² (193.55 cm²) de área plana, en g / 1min / 30pulg².

W = Incremento de peso actual de la probeta, en g.

L = Longitud de la probeta, en cm.

B = ancho de la probeta, en cm.

P_{ss1} = Peso del ladrillo con agua absorbida en un minuto, en g.

P_{seco} = Peso del ladrillo seco en g. al horno durante 24 horas.



Fotografía N° 5 Ladrillo en pleno ensayo de succión

3.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

El procedimiento seguido para el desarrollo de la presente investigación fue el siguiente:

- Se tomaron e identificaron 100 ladrillos de cada fábrica (3 fábricas), teniendo el cuidado para que las piezas seleccionadas tengan diferentes grados de cocción (diferentes coloraciones).
- Se determinó su absorción según NB 1211002 (Ladrillos cerámicos- Métodos de ensayo) y su succión ASTM C67 (Métodos de ensayos normalizados para el muestreo y ensayo de elementos estructurales de arcilla).
- Se clasificaron los ladrillos de acuerdo a su absorción y se ordenaron los valores de forma descendente para formar 3 grupos de absorciones diferentes: absorción alta, absorción media y absorción baja ("rango de absorción" para el diseño del experimento).
- Dentro de cada grupo se escogieron los 12 ladrillos con valores de absorción más representativos para realizar los ensayos de adherencia.
- Con los ladrillos seleccionados y el mortero indicado, se prepararon las probetas para los ensayos de adherencia por tracción directa (en el Bond tester), haciendo variar el tiempo de remojo de los ladrillos en 2, 5, 8 y 11 minutos.

Estos tiempos de remojo fueron tomados de una investigación anterior. En la Tabla 2 se muestra el diseño del experimento que se utilizó de manera separada para cada una de las fábricas estudiadas.

		RANGO DE ABSORCIÓN (%)		
		A	B	C
TIEMPO DE REMOJO (MIN)	2	repetición 1	repetición 1	repetición 1
		repetición 2	repetición 2	repetición 2
		repetición 3	repetición 3	repetición 3
	5	repetición 1	repetición 1	repetición 1
		repetición 2	repetición 2	repetición 2
		repetición 3	repetición 3	repetición 3
	8	repetición 1	repetición 1	repetición 1
		repetición 2	repetición 2	repetición 2
		repetición 3	repetición 3	repetición 3
	11	repetición 1	repetición 1	repetición 1
		repetición 2	repetición 2	repetición 2
		repetición 3	repetición 3	repetición 3

Tabla N° 2 Diseño del experimento para los ensayos de tracción directa en probetas de cada una de las fábricas estudiadas

Cada repetición es el promedio de 5 determinaciones en probetas como las que se muestran en la Fotografía N° 6.



Fotografía N° 6 Probetas para ensayo de adherencia

- Una vez obtenidos los resultados, se realizó un análisis de Varianza (ANOVA) del tipo factorial con 2 factores: Rangos de absorción y tiempo de remojo. El Rango de absorción tenía 3 niveles y el tiempo de remojo, 4 niveles.
- Posteriormente se realizó la Prueba de Duncan para establecer dónde existían diferencias significativas entre los resultados obtenidos.
- Se estableció la relación entre la adherencia y el tiempo de remojo para cada intervalo de absorción seleccionado. Se obtuvo el valor óptimo del tiempo de remojo.
- Se estableció la relación entre el tiempo óptimo

de remojo y la absorción para cada grupo de ladrillos estudiados, para cada fábrica.

3.4. ENSAYOS PRINCIPALES

En los ensayos principales, el trabajo de laboratorio se realizó poniendo el mayor cuidado en mantener las mismas condiciones de ensayo que aquellas en las cuales se realizaron las investigaciones previas, la mayoría de estas condiciones se rige según la Norma Boliviana NB y Norma norteamericana ASTM, y son actualmente utilizadas en los ensayos cotidianos del Instituto de Ensayos de Materiales.

La preparación del mortero se realizó con la dosificación anteriormente indicada y en base a especificaciones de la Norma ASTM C 305. Previo al vaciado de las probetas, los ladrillos fueron sumergidos en agua por intervalos de tiempo de 2, 5, 8 y 11 minutos, luego se secaron con un paño húmedo.

El vaciado se realizó sobre la cara de mayor superficie del ladrillo con la ayuda de unos moldes de madera que permitieron obtener un espesor de 2 cm y se moldearon las probetas con ayuda de un tubo de PVC de aproximadamente 2 pulgadas de diámetro después de 4 horas del vaciado.

Las fotos N° 8 a N° 14 a continuación, muestran la secuencia del proceso de preparación de probetas para el ensayo de adherencia por tracción directa.



Fotografía N° 7 Ladrillos en remojo



Fotografía N° 8 Ladrillo con molde para el vaciado



Fotografía N° 9 Vaciado del mortero en el ladrillo



Fotografía N° 10 Enrasado del mortero recién vaciado



Fotografía N° 11 Moldeado de probetas con tubo de PVC d= 2"



Fotografía N° 12 Ladrillo con 5 probetas para ensayo de adherencia

Las probetas adheridas a los ladrillos fueron trasladadas a una habitación en la que permanecieron, a temperatura y humedad natural del ambiente, hasta la hora del ensayo de adherencia. Fueron curadas rociándolas con agua dos veces al día (mañana y tarde) hasta los 24 días, dejándolas secar 4 días para posteriormente ensayarlas a los 28 días.



Fotografía N° 13 Curado de Probetas

Después de terminado el almacenamiento en un ambiente controlado, se pegaron los cabezales de tracción a los ladrillos mediante un adhesivo de alta adherencia. Luego se niveló el soporte del equipo Bond Tester, con ayuda de niveles de burbuja, y se procedió a realizar el ensayo (Ver Fotografía N° 14).



Foto 14 Ensayo con el Bond Tester

Se determinó la adherencia por tracción directa ejerciendo con el aparato indicado una fuerza a velocidad constante de (250 ± 50) N/s, hasta conseguir el desprendimiento en la interfaz mortero-sustrato (ladrillo).

La adherencia mortero ladrillo se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Adherencia} = \frac{T}{A}$$

Dónde:

T = Carga registrada en el BOND TESTER [N]

A = Área de la interfaz mortero-ladrillo [1963.5 mm^2]

$\text{Adherencia} = [\text{MPa}]$

Para cada probeta ensayada, se debe registrar la carga y el tipo de falla para constatar que ésta no se haya producido en la interfaz adhesivo-mortero ni en la interfaz adhesivo-cabezal (en cuyos casos se debe rechazar el valor obtenido). Luego se calcula el promedio de las 5 probetas ensayadas en cada ladrillo.

En los resultados de los ensayos de adherencia se hicieron dos tipos de depuraciones:

- Por el tipo de falla, de acuerdo a lo explicado anteriormente.
- Por la dispersión en los resultados: Se eliminaron los valores que diferían en más de 20% con relación a la tensión promedio.

4. ANALISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se presenta un resumen de los resultados obtenidos para su respectiva comparación y análisis.

En cuanto a los resultados de los ensayos de caracterización de los materiales, estos se encuentran disponibles en el documento final de la presente investigación.

En las Tablas N° 3, N° 4 y N° 5 así como en los gráficos N° 1, N° 2 y N° 3 a continuación, se muestran los resúmenes de resultados para los ensayos de adherencia por tracción directa. En las tablas se muestran además los rangos de absorción de cada grupo para cada una de las fábricas estudiadas:

		Factor A RANGO DE ABSORCIÓN (%)		
		A [15.1-14.5]	B [13.4-12.6]	C [7.0-6.9]
Factor B TIEMPO DE REMOJO (MIN)	2	0.465	0.495	0.571
	5	0.583	0.604	0.579
	8	0.608	0.742	0.653
	11	0.468	0.544	0.518

Tabla N° 3. Resultados de ensayos de adherencia INCERPATZI

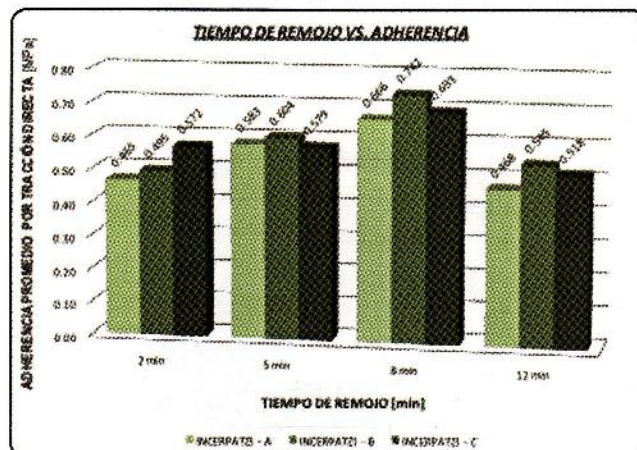


Gráfico N° 1 Resultados INCERPATZI

		Factor A RANGO DE ABSORCIÓN (%)		
		A [15.1-14.5]	B [13.4-12.6]	C [7.0-5.9]
Factor B TIEMPO DE REMOJO (MIN)	2	0.465	0.495	0.571
	5	0.583	0.604	0.579
	8	0.656	0.742	0.633
	11	0.468	0.544	0.518

Tabla N° 4 Resultados ensayos de adherencia AVAROA

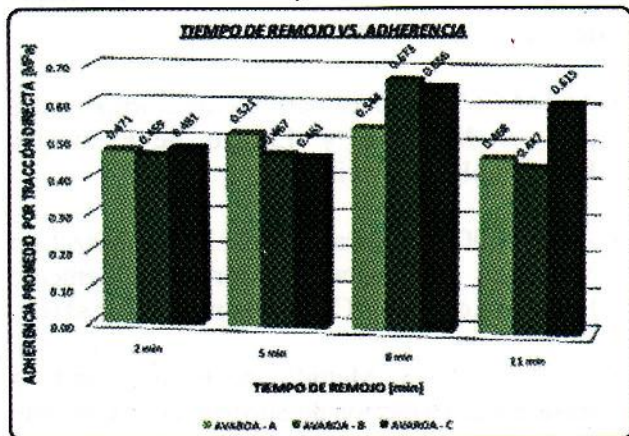


Gráfico N° 2 Resultados AVAROA

		Factor A RANGO DE ABSORCIÓN (%)		
		A [13.2-12.1]	B [11.0-10.3]	C [8.8-6.9]
Factor B TIEMPO DE REMOJO (MIN)	2	0.454	0.386	0.547
	5	0.464	0.452	0.564
	8	0.628	0.561	0.688
	11	0.469	0.454	0.590

Tabla N° 5 Resultados ensayos de adherencia TECERBOL

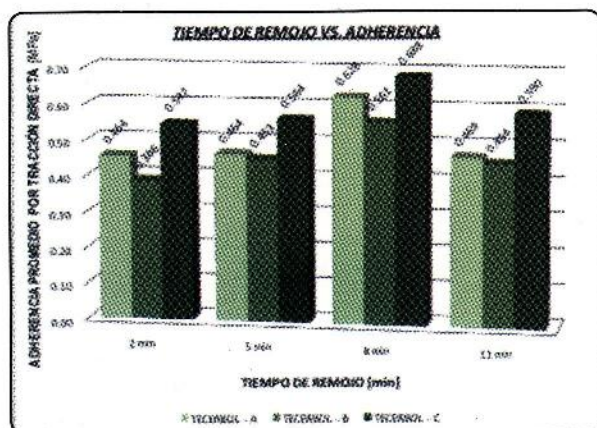


Gráfico N° 3 Resultados TECERBOL

Como se puede apreciar, en todos los casos se obtuvieron valores mayores de adherencia para un tiempo de remojo de 8 minutos independientemente del grupo de absorción y de la fábrica proveedora. El análisis de varianza ANOVA y la prueba de DUNCAN fueron aplicados a los resultados de las tablas precedentes y se observaron diferencias significativas entre los resultados de adherencia para 8 minutos y para todos los demás tiempos de remojo.

Se puede establecer que la relación entre el tiempo óptimo de remojo y la absorción para los ladrillos estudiados es una recta con pendiente nula y valor constante igual a 8 minutos, ya que en los rangos estudiados, el tiempo óptimo no es función de la absorción.

En la tabla N° 3 se aprecia que las adherencias alcanzadas por los ladrillos del rango C de absorción (7%-5.9%) no se alejan de los correspondientes a los grupos A y B. Se debe tomar en cuenta que la norma nacional especifica un valor mínimo de 8% para la absorción de ladrillos, con el fin de garantizar una buena adherencia al mortero de junta.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Se alcanzaron los objetivos planteados realizando los ensayos de laboratorio necesarios para obtener el tiempo óptimo de Remojo de los Ladrillos Cerámicos, aplicando procedimientos actualmente empleados en el I. E. M. según normas vigentes y correspondientes para cada caso.

- Se puede observar claramente que los valores Máximos de Adherencia por tracción directa para las tres Fábricas estudiadas, se producen cuando el tiempo de remojo es de 8 minutos.
- Para dar una practicidad en obra, se determinó un rango de tiempo óptimo de remojo de ladrillos de 6 a 10 minutos.
- En el presente proyecto de investigación se demostró que el tiempo óptimo de remojo es el mismo para todos los rangos de absorción estudiados y para las tres fábricas estudiadas.

5.2. RECOMENDACIONES

- Profundizar la investigación con relación a la

adherencia ampliando los rangos de absorción de los ladrillos cerámicos y/o implementando otros métodos de resistencia a la adherencia.

- Profundizar el presente Estudio realizando investigaciones con otras Fábricas proveedoras de nuestra Ciudad y otros tipos de mortero en lo que concierne a su dosificación, materiales y componentes.
- Se recomienda realizar una nueva investigación para determinar la succión en diferentes caras del ladrillo y su influencia en la adherencia.
- Se recomienda investigar la pertinencia de cambiar el límite inferior del rango especificado en la Norma NB 1211001 para la absorción de ladrillos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ladrillo, Producción y Comercialización del. Monografias.com.mht. [En línea]
- Beall, Christine. "Mortero Cómo Especificar y Utilizar Mortero para Mampostería". s.l. : The Aberdeen Group, 1994. 3.
- Velásquez G., Raúl. INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN.
- Freund, Jhon. Probabilidad y Estadística para Ingenieros.

- Spigel, Shaum Murray. ESTADÍSTICA. Echazú C., Jorge. MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. La Paz - Bolivia : s.n., 2007.
- García S., Carlos A. Metodología de la investigación y Diseño estadístico de experimentos. Instituto de Ensayo de Materiales. La Paz - Bolivia. 2001.
- Cerruto A., Fernando M. Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón. La Paz-Bolivia : s.n., 2009.

NORMAS DE REFERENCIA

- ASTM C67. Métodos de Ensayos Normalizados para el Muestreo y Ensayo de Elementos Estructurales de Arcilla.
- ASTM C305. Práctica Estandar Para el Mezclado Mecánico de Pastas y Mortero de Cemento Hidráulico de Consistencia Plástica.
- ASTM C 1583. Método de Ensayo para la Resistencia a Tracción de Superficies de Concreto y Resistencia de Adherencia o Resistencia a Tracción de Reparaciones de Concreto y Materiales de Revestimiento por Tracción Directa Método "Pull Of".
- IBNORCA. Norma Boliviana 1211002 "Ensayo de Absorción en Ladrillos Cerámicos" .

ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL DISTRITO MUNICIPAL 14 DE LA CIUDAD DE EL ALTO

Juan Constancio Cabrera Alvarez

Félix Estaca Paco

Víctor Eduardo Bermejo Franco

vicosue@yahoo.es

RESUMEN.-

El proyecto: "ESTUDIO GEOTÉCNICO DEL DISTRITO MUNICIPAL 14 DE LA CIUDAD DE EL ALTO", permitió realizar la zonificación geotécnica, con la elaboración de mapas: geotécnico, geológico, geomorfológico y de riesgo del Distrito Municipal 14 de la ciudad de El Alto. En ese sentido se realizaron en el IEM-UMSA, los ensayos de: SPT, granulometría, límites de Atterberg, hidrometría, densidad de trozos inalterados, peso específico relativo, corte directo rápido, permeabilidad, consolidación, densidad en sitio, esponjamiento, pH del suelo. Compactación y C.B.R., bajo las normas ASTM y AASHTO. El presente estudio, permitirá contar con una base de datos a los técnicos de la Alcaldía de El Alto y sub alcaldía del Distrito municipal 14 de la ciudad El Alto, mismos que serán de utilidad en la elaboración y diseño de proyectos de obras civiles ingenieriles

1.1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día es cada vez más concluyente el hecho, de que ningún ingeniero que sienta la responsabilidad técnica y moral de su profesión deje de efectuar un estudio de las condiciones del subsuelo cuando diseña estructuras de cierta importancia. Es por eso que en los proyectos de construcción se desprende la necesidad de contar, tanto en la etapa de proyecto, como durante la ejecución de la obra, con datos confiables, seguros y abundantes respecto a las propiedades del suelo que se está tratando. El conjunto de estos datos debe llevar al proyectista a adquirir una concepción razonablemente exacta de las propiedades físico-mecánicas del suelo que hayan de ser consideradas en sus análisis.

Ahora bien, en el presente proyecto, se puede señalar que debido a varios factores, entre ellos el socioeconómico y la migración campo-ciudad, en los últimos años, la ciudad de El Alto presenta un crecimiento demográfico notable y por ende una expansión en la ocupación superficial del radio urbano de la ciudad, de una manera bastante acelerada. Entonces, debido a la gran variabilidad de los suelos y la gran importancia de su conocimiento es que se hace necesario realizar estudios geotécnicos, para contar con una base de información de los datos del suelo para que en función de ésta se puedan tomar decisiones a la hora de implantar las diferentes obras civiles, tales como vías (calles y avenidas), edificaciones (casas y viviendas) y otras.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Realizar un estudio geotécnico del Distrito Municipal 14 de la ciudad de El Alto, información que permitirá tomar previsiones para la construcción de obras civiles dentro del distrito mencionado, permitiendo realizar la zonificación geotécnica, con la elaboración de mapas: geotécnico, geológico, geomorfológico y de riesgo de dicho Distrito.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

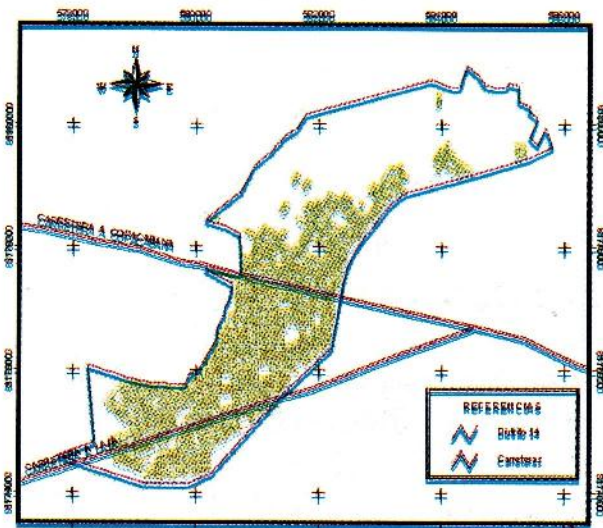
- Determinar las características físico mecánicas tales como: Densidad, humedad, granulometría, límites de Atterberg, peso específico, capacidad de soporte, ángulo de fricción interna, cohesión, compactación, relación de soporte California (C.B.R.), a través de los ensayos correspondientes ya sean de laboratorio o ensayos in situ.
- Clasificar los suelos, por el método Unificado y AASHTO.
- Realizar la zonificación geotécnica del distrito mencionado.
- Realizar el análisis del pH de los distintos suelos del distrito 14.
- Determinar las áreas de riesgo

2. UBICACIÓN DEL AREA DE LA INVESTIGACIÓN

Bolivia en la actualidad se encuentra dividida políticamente en 9 departamentos, en 112 provincias y en 327 municipios.

La ciudad de La Paz, cuenta con una superficie territorial de 133.985 kilómetros cuadrados, la misma se encuentra dividida en 20 provincias y 82 municipios, uno de los cuales es el municipio de El Alto.

El Alto es la Cuarta sección municipal de la provincia Murillo, del departamento de La Paz, tiene como capital a la ciudad de El Alto. Se encuentra al suroeste de la sede de gobierno, en las coordenadas 8176000N y 579000E, con una altura aproximada de 4100 m.s.n.m. Geográficamente se halla comprendida entre 16°31' de latitud Sur y 68°13' de longitud Oeste. Este distrito tiene una superficie aproximada de 1684 ha. en su área urbana, con una población de 1,184.942 habitantes, según el Instituto Nacional de Estadística (INE) 2012, divididos en habitantes nacidos del lugar y producto de migraciones del sector rural, centros mineros y del interior del país.



Mapa 1. Ubicación del distrito 14 de la ciudad de El Alto

2.1. DESCRIPCIÓN TOPOGRÁFICA

La Topografía del área, presenta características de morfología irregular, con pendientes moderadas, de dirección Noreste-Sudoeste, así como sectores relativamente sub horizontales, particularmente el terreno motivo del presente estudio, muestra una urbanización de reciente asentamiento, donde se puede evidenciar, que los suelos sufrieron cambios morfológicos, como consecuencia del movimiento de tierras y cortes de terreno, que procuraron la nivelación del sector mostrando actualmente un paisaje característico de: Terrazas sub horizontales en desniveles de aproximadamente dos metros

precisamente sobre la avenida Panamericana (carretera Copacabana).

En la parte baja del distrito a la orilla del río Seke, se pudo evidenciar un relleno artificial que posiblemente sean restos de un botadero anterior.

2.2. DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA

El área de Estudio, presenta como característica, complejidad Geológica, determinada por la presencia de depósitos de materiales heterogéneos, considerando aspectos tanto litológicos como morfo-estructurales y principalmente aquellos procesos Geodinámicos, que dejaron huellas de deslizamientos antiguos, que muestran materiales disturbados, por lo que es muy necesario tomar las previsiones que el caso aconseje, y que permitan la edificación de estructuras estables. De acuerdo a las observaciones realizadas en el área de estudio, así como en las auscultaciones de los materiales del subsuelo, mediante la excavación a cielo abierto de veinte pozos de investigación y la evaluación del pequeño talud, de aproximadamente dos metros de desnivel con relación a la rasante de la Avenida Panamericana (carretera a Copacabana), y producto de nivelación y corte de tierra a fin de habilitar áreas de edificación, se evidenció la presencia de diversas unidades Geológicas bien definidas y que corresponden a:

- Unidad Geológica Torrente de Barro.
- Depósitos de origen Aluvial.
- Depósitos de origen Coluvial.
- Depósitos de Relleno Artificial.

a) Unidad Geológica “Torrente de Barro”.- Esta unidad tiene su origen en antiguos fenómenos de Remoción en Masa, deslizamientos que afectados por procesos de la Geodinámica externa, depositaron materiales limo arcillo gravosos, que suprayacen a sedimentos arcillosos; depósitos de origen Aluvial, producidos por efecto del arrastre; y depósito de materiales por los ríos Larka jawira y Seke, que caracterizaron la zona con la formación de Terrazas Aluvionales.

b) Depósitos de origen Aluvial.- Estos depósitos, de origen Aluvial, tienen sus orígenes en las partes altas constituidos por materiales heterogéneos, principalmente gravas de origen glacial, gravas de origen fluvial, producto del transporte de las corrientes de agua, con orígenes en las cabeceras, incluyen

también pequeños remanentes de materiales deslizados. Presentan escorrentía rápida, alta velocidad de infiltración, drenaje interno bueno y requieren de un buen sistema de drenaje en áreas de edificación.

c) Depósitos de origen Coluvial.- Este tipo de depósitos, característicos de acumulaciones por efecto de transporte, principalmente debido a la gravedad, aparecen conformando una cubierta superficial, están constituidos principalmente por materiales heterogéneos: limos, arcillas, gravas, etc. los mismos que no presentan condiciones favorables para efectos de construcciones, por lo tanto se los debe deschar como suelos de fundación.

d) Depósitos de Relleno Artificial.- Estos materiales de composición heterogénea, se hallan en forma superficial, originados principalmente por rellenos para nivelación y habilitación de tierras, con la finalidad de utilizar áreas para edificaciones y construcción de áreas de recreación; sin embargo, el tratamiento de estos suelos de relleno son especiales y determinantes para su posible uso en construcciones, de lo contrario, al no proceder a este tipo de trabajos, los suelos manifestarán una serie de riesgos Antrópicos.

El material empleado para relleno y nivelación de estos suelos, está principalmente constituido por arcillas, limos y grava gruesa, sin ninguna selección.

2.3. NÚMERO Y TIPO DE LAS CALICATAS

El número de pozos se determinó según la Norma Boliviana para Estudios Geológicos - Geotécnicos, elaborada, por la Asociación Boliviana de Ingeniería Geotécnica (ABIG), la cual establece en su acápite Apertura de pozos, lo siguiente:

PARA EDIFICACIONES:

SUPERFICIE (m ²)	Nº DE POZOS
a) De 100 a 400	2
b) De 401 a 900	3
c) De 901 a 1500	4
d) De 1501 a 3000	5

Fuente: ABIG 2007

PARA URBANIZACIONES:

SUPERFICIE (m ²)	Nº DE POZOS
a) De 3000 a 10000	9
b) De 10000 a 30000	15
c) De 30000 a adelante	20

Fuente: ABIG 2007

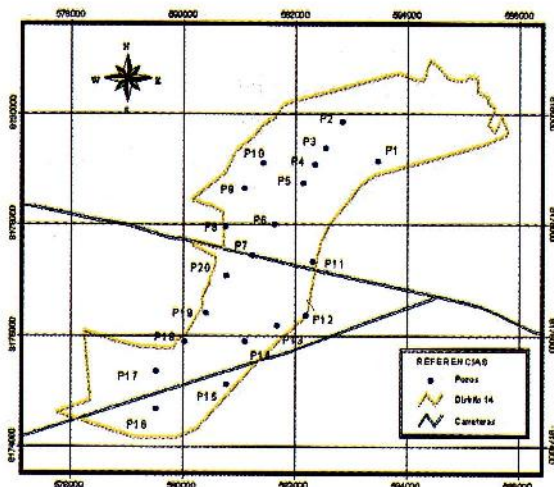
3. ENSAYOS DE LABORATORIO e IN SITU

Se realizaron los ensayos de laboratorio de Mecánica de suelos basados en la norma AASHTO y ASTM, desarrollándose estos ensayos en los laboratorios de Mecánica de Suelos y Geotecnia del Instituto de Ensayo de Materiales (IEM). Los ensayos realizados son:

- Ensayos de penetración estándar (SPT).
- Ensayos de contenido de humedad.
 - a) Humedad natural.
 - b) Humedad higroscópica.
- Ensayos de granulometría por tamizado.
- Ensayos de Hidrometría.
- Ensayos de Límites de Atterberg.
 - a) Límite Líquido.
 - b) Límite Plástico.
 - c) Índice de plasticidad.
- Ensayos de densidad de suelos.
 - a) Método de la Parafina.
- Ensayos de peso específico.
- Ensayo de Corte Directo Rápido.
- Clasificación de suelos.
 - a) Sistema Unificado de Clasificación de suelos.
 - b) Clasificación AASHTO.
- Ensayos de permeabilidad.
 - a) Método de carga constante.
- Ensayos de compactación T180D Proctor Modificado.
- Ensayos de CBR.
- Ensayos de consolidación.
- Ensayos de expansión o esponjamiento del suelo.
- Ensayos de pH de suelos

3.1. UBICACIÓN DE LOS POZOS DENTRO EL DISTRITO MUNICIPAL 14 DE LA CIUDAD DE EL ALTO

La ubicación de los pozos se muestra en el siguiente mapa, esta distribución se hizo de tal manera de cubrir toda el área en estudio. Las coordenadas de cada pozo se muestran en la Tabla 1.1



3.2. RESULTADOS OBTENIDOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

a) Humedad natural.-

La determinación del contenido de humedad natural, tiene un valor mínimo de 3.79% que corresponde al pozo 14, siendo un suelo GW, y un valor máximo de 13.92% correspondiente al pozo 10, para un suelo tipo GC. Ver Tabla 1.1.

b) Límites de Atterberg.-

Los límites líquidos (LL) obtenidos en los ensayos están en el rango del 16.10 a 32.90%, lo que indica que se tratan de suelos con finos de baja plasticidad. Por otro lado, los límites plásticos (LP) están comprendidos entre 15.67 y 21.58% teniendo dos muestras inoperables (NP) pertenecientes a las muestras de los pozos 12 y 14. Ver Tabla 1.1.

POZO N°	COORDENADAS		Hn (%)	LIM. DE ATTERBERG		
	NORTE	ESTE		LL	LP	IP
1	8179136	583489	11.32	23.10	16.74	6.36
2	8179849	582841	12.80	29.70	20.45	9.25
3	8179369	582543	9.37	27.70	19.30	8.40
4	8179068	582351	9.79	28.00	19.06	8.94
5	8178747	582151	9.82	27.10	19.14	7.96
6	8177990	581636	11.43	29.70	21.34	8.36
7	8177444	581252	9.52	29.40	20.52	8.88
8	8177965	580773	10.38	32.90	21.58	11.32
9	8178651	581096	11.17	28.20	20.39	7.81
10	8179111	581439	13.92	30.50	20.28	10.22
11	8177322	582318	10.82	29.00	19.89	9.11
12	8176366	582191	6.56	19.30	NP	NP
13	8176180	581693	8.44	26.20	18.68	7.52
14	8175899	581124	3.79	16.10	NP	NP
15	8175117	580785	8.93	22.80	19.07	3.73
16	8174674	579523	6.97	26.80	18.97	7.83
17	8175352	579523	8.93	28.90	19.87	9.03
18	8175901	580035	7.15	17.60	15.67	1.93
19	8176413	580422	10.52	28.70	21.30	7.40
20	8177070	580786	10.40	29.10	18.96	10.14

Tabla 1.1 Coordenadas, Humedad natural y límites de Atterberg.

c) Análisis granulométrico.-

Los resultados nos muestran que el 55% de las muestras de suelo corresponde a suelos compuestos mayormente de grava "G"; y que el restante 45% corresponde a suelos constituidos en su mayoría por arena, ya que están dentro de la clasificación "S". Sin embargo se ha evidenciado la presencia de un matrix constituido por limos "M" y arcillas "C", suelos que en general pueden ser bien graduados "W" o mal graduados "P".

d) Clasificación de suelos según el Sistema S.U.C.S.

Con los resultados del análisis granulométrico y los Límites de Atterberg, se procedió a clasificar los suelos por el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, obteniendo los siguientes resultados:

- GC (Grava arcillosa), en seis pozos.
- GW (Grava bien graduada), en tres pozos.
- GW - GC (Grava bien graduada con arcilla y arena), en un pozo.
- GW - GM (Grava bien graduada con limo y arena), en un pozo.
- SC (Arena arcillosa con grava), en ocho pozos.
- SM - SC (Arena limo arcillosa con grava), en un pozo.

Con estos resultados de clasificación de suelos podemos concluir que en el distrito municipal 14 existe una predominancia de suelos del tipo GC y SC. La clasificación GC corresponde a suelos gravo arcillosos, que son mezcla de grava arena y arcilla; y la clasificación SC corresponde a suelos areno - arcillosos, los resultados se muestran en la Tabla 1.2.

e) Clasificación de suelos según AASHTO.-

De acuerdo a los análisis granulométricos y los Límites de Atterberg, se clasificó los suelos por el sistema AASHTO, obteniendo los siguientes resultados:

- A - 1 - a, en tres pozos.
- A - 2 - 4, en cinco pozos.
- A - 4, en once pozos.
- A - 6, en un pozo.

Se ha obtenido una predominancia de suelos del tipo A-4 y A-2-4. La clasificación A-4 corresponde a suelos en los que más del 35% pasa por el tamiz N°200; indica que se trata de un suelo limoso no

plástico o moderadamente plástico, también se incluyen en este grupo los suelos constituidos por mezclas de suelo fino limosos; pueden tener una calidad para subrasante de regular a malo. La clasificación A-2-4 corresponde a suelos que contienen un 35% o menos de material que pasa por el tamiz N° 200 y cuya fracción que pasa por el tamiz N° 40 tiene las características de los grupos A-4 y A-5. En estos subgrupos están incluidos los suelos compuestos por grava y arena gruesa con contenidos de limo e Índices de plasticidad por encima de las limitaciones del grupo A-1, y los suelos compuestos por arena fina con una proporción de limo no plástico que excede la limitación del grupo A-3; la calidad como subrasante de este subgrupo es de buena a excelente, los mismos se muestran en el Tabla 1.2.

f) Tensión admisible.-

Los valores de la tensión admisible del suelo, obtenidos mediante los ensayo de SPT, fueron realizados a una profundidad de dos metros, utilizando en todos los ensayo "la punta" por la presencia de bolones. Estas tensiones admisibles se encuentran incluidos en un rango de 0.95 a 2.35 (kg/cm²), como se muestran en la Tabla 1.2.

POZO N°	(% PASA)		CLASIFICACION		N	σ_{adm} (kg/cm ²)
	No. 4	No. 200	USCS	AASHTO		
1	74.35	21.84	SM-SC	A-4 (0)	8	0.95
2	75.19	47.47	SC	A-6 (2)	14	1.35
3	67.63	40.71	GC	A-7-5 (0)	15	1.50
4	71.48	44.65	GC	A-7-5 (1)	10	1.15
5	62.50	31.99	GC	A-4 (0)	31	2.25
6	69.05	42.16	GC	A-7-5 (0)	15	1.50
7	75.43	46.72	SC	A-7-5 (2)	17	1.60
8	73.67	46.39	SC	A-6 (3)	21	1.80
9	76.44	46.72	SC	A-7-5 (0)	11	1.25
10	71.24	48.53	GC	A-7-5 (2)	14	1.43
11	60.31	29.70	GC	A-4 (0)	12	1.33
12	31.66	4.80	GW	A-3 (0)	11	1.55
13	75.63	47.94	SC	A-7-5 (1)	28	2.23
14	41.19	2.89	GW	A-3 (0)	22	1.63
15	36.84	4.27	GW	A-1-a (0)	18	1.38
16	39.22	6.25	GW-GC	A-4 (0)	12	1.33
17	75.52	48.22	SC	A-7-5 (2)	32	2.35
18	51.09	10.15	GW-GM	A-4 (0)	24	1.55
19	73.32	42.59	SC	A-7-5 (0)	16	1.55
20	74.53	44.95	SC	A-7-5 (1)	17	1.65

Tabla 1.2 Valores del SPT obtenidos (σ_{adm} (kg/cm²))

g) Peso Específico.-

El peso específico de los suelos, oscila entre los valores de 2.655 a 2.734, obteniendo el máximo valor

en la muestra correspondiente al pozo 20, y el Peso específico mínimo pertenece a la muestra del pozo 12, como se detalla en la tabla 1.3.

h) Cohesión.-

La cohesión del suelo en el distrito 14 varía entre un mínimo valor de 0.16 kg/cm² en el pozo 4, que tiene predominancia de grava, y el máximo valor obtenido del pozo 13 igual a 1.41 kg/cm², habiéndose evidenciado una mayor presencia de partículas finas. Ver Tabla 1.3.

i) Angulo de fricción interna.-

El ángulo fricción de los suelos del Distrito 14 varía en el rango de 15.95° a 42.35°, lo que indica que corresponde a suelos arenosos y gravosos en un matrix esencialmente arcilloso, tal como se determinó a través de los ensayos de granulometría y límites. Ver Tabla 1.3.

Pozo N°	Peso Específico Gs	Grado de saturación Natural (%)	Cohesión C (Kg/cm ²)	Angulo de Fricción interna (Φ)
1	2.72	85.29	0.27	20.38
2	2.67	90.68	0.70	39.35
3	2.72	80.68	0.57	15.95
4	2.70	77.61	0.16	21.09
5	2.73	85.14	0.63	38.76
6	2.72	84.22	0.86	32.50
7	2.72	89.49	1.16	40.79
8	2.67	87.81	1.32	27.35
9	2.69	86.53	0.81	25.91
10	2.68	83.10	0.41	22.36
11	2.69	86.73	0.71	37.34
12	2.66	45.87	0.24	29.62
13	2.70	64.08	1.41	32.15
14	2.69	35.48	0.19	41.90
15	2.68	55.03	0.31	39.16
16	2.68	47.29	0.19	42.35
17	2.72	77.83	1.28	26.57
18	2.69	82.56	0.28	25.77
19	2.71	82.99	1.07	40.32
20	2.73	69.65	0.59	24.70

Tabla 1.3 valores de Peso Específico, saturación, Cohesión y Angulo de Fricción Interna

j) Permeabilidad.-

El ensayo de permeabilidad de carga constante ha sido realizado en laboratorio tomando en cuenta cada zona geotécnica, obteniéndose los siguientes resultados: en las zonas altas tenemos permeabilidad muy baja, por tratarse de suelos con matrix arcilloso,

y en la parte bajas se tiene un grado de permeabilidad baja porque se trata de suelos granulares compuestos de arenas y gravas bien graduadas (según Tabla 1.4). La permeabilidad mínima obtenida es de $2.101\text{E}-06$ (cm/s), obtenido en la zona 1; y la máxima permeabilidad alcanzada es de $5.258\text{E}-05$ (cm/s), obtenido en la zona geotécnica 6. Ver Tabla 1.4.

ZONA Nº	POZO Nº	PERMEABILIDAD PROMEDIO "K" (cm/s)	TIPO DE SUELO	Grado relativo de Permeabilidad	PROPIEDADES DE DISEÑO
1	1	$2.101\text{E}-06$	ARENA LIMO ARCILLOSA CON GRAVA	Muy Bajo	Franca a pobre
2	2	$2.637\text{E}-06$	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA	Muy Bajo	Franca a pobre
3	5	$2.732\text{E}-06$	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA	Muy Bajo	Franca a pobre
4	14	$1.411\text{E}-05$	GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA	Bajo	Pobre o prácticamente imperceptible
5	16	$5.061\text{E}-05$	GRAVA BIEN GRADADA CON ARCILLA Y ARENA	Bajo	Pobre o prácticamente imperceptible
6	18	$5.258\text{E}-05$	GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA	Bajo	Pobre o prácticamente imperceptible

Tabla 1.4 valores de permeabilidad obtenida

k) Compactación.-

En el ensayo de compactación realizado, en cada zona, se obtuvieron los siguientes resultados: En cuanto a la humedad óptima encontrada, éstas varían desde un 5.80% hasta un máximo de 7.55% y están estrechamente relacionadas con la humedad natural in situ; es decir, ambos porcentajes de humedad son casi los mismos, lo que quiere decir que en algunos casos en el proceso de compactación fue necesario aumentar agua y en otros hacer un proceso de oreo, pero en ambos casos en mínima proporción. Tal como muestran los resultados en la tabla 1.5.

l) Esponjamiento.-

La parte superior o zona norte del Distrito 14 tiene suelos con esponjamientos mayores a los 20%, mientras que la zona inferior o zona sur del distrito, tiene suelos con esponjamientos menores a 20%. Esto es porque en la zona norte del distrito existe predominancia de suelos de grano fino formados por arena, limo y arcilla; en cambio en la zona sur del distrito existe predominancia de suelos gravosos.

El coeficiente de esponjamiento encontrado, está comprendido entre los valores de 16.12% y 25.79%, lo que concuerda con el tipo de suelo del lugar estudiado. Ver tabla 1.5.

GRUPO Nº	POZO Nº	PROF. TOMA DE MUESTRA (m)	HUM. NAT. (%)	PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN (%)	ESPONJAMIENTO (%)
I	1	Superficial	6.48	74.17	25.49
II	2	Superficial	4.41	73.76	25.79
III	5	Superficial	4.89	85.66	21.28
IV	14	Superficial	2.83	81.39	18.76
V	16	Superficial	4.14	75.00	16.12
VI	18	Superficial	3.62	83.00	23.40

Tabla 1.5 Compactación y esponjamiento

m) C.B.R.-

Las zonas 1, 2 y 3 tienen un CBR menor al 10%, y en consecuencia no son aptos como materiales de sub-rasante, tampoco como material para base granular o carpeta de rodadura. En cambio las zonas 4, 5 y 6 tienen CBR mayores al 40%, y son aptos como materiales para sub-base (Según tabla 1.6). Los valores de CBR obtenidos para las humedades óptimas respectivas, varían desde un 7.80% hasta un máximo de 48 % para el 100% de la densidad seca máxima. Ver tabla 1.6.

GRUPO Nº	HUM. OPT. (%)	DEN. MAX. (Kg/dm ³)	CBR T 180 D (8.1%)		CBR T 180 D (0.1%)	
			100%	95%	100%	95%
I	6.60	2.238	9.00	3.80	12.30	5.20
II	7.15	2.210	8.30	4.70	10.60	5.80
III	7.55	2.218	7.80	4.30	11.30	4.70
IV	5.80	2.310	44.20	22.80	58.00	30.00
V	5.95	2.320	48.00	31.50	60.18	37.50
VI	6.78	2.253	44.00	27.50	55.00	34.80

Tabla 1.6 valores de CBR.

n) Consolidación.-

Los valores de la presión de preconsolidación obtenidas están en un rango de 1.5 a 3.8 (kg/cm²), correspondientes a un suelo pre-consolidado como se puede ver en la Tabla 1.7.

GRUPO Nº	POZO Nº	PROF. TOMA DE MUESTRA (m)	Presión de consolidación (kg/cm ²)	TIPO DE SUELO
I	1	2.00	3.80	ARENA LIMO ARCILLOSA CON GRAVA
II	2	2.00	2.00	ARENA ARCILLOSA CON GRAVA
III	5	2.00	1.50	GRAVA ARCILLOSA CON ARENA
IV	14	2.00	3.10	GRAVA BIEN GRADADA CON ARENA
V	16	2.00	2.40	GRAVA BIEN GRADADA CON ARCILLA Y ARENA
VI	18	2.00	2.60	GRAVA BIEN GRADADA CON LIMO Y ARENA

Tabla 1.7 valores de consolidación

o) pH del suelo.-

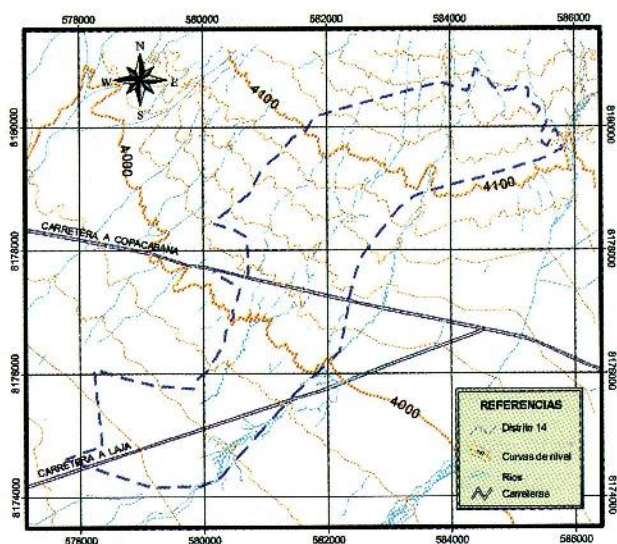
En la parte alta del distrito se ha obtenido un pH mayor a 7, lo que indica que se trata de suelos básicos a débilmente básicos; en cambio en la parte baja del distrito los suelos tienen un pH menor a 7, lo que significa que son suelos débilmente ácidos. Los valores de pH de los suelos del distrito municipal 14, varían entre el mínimo valor de 5.80 en la zona 4, y el máximo valor de 7.79 en la zona 3. Ver tabla 1.8.

GRUPO N°	POZO N°	PROF. TOMA DE MUESTRA (m)	PH DEL SUELO	DESCRIPCION
I	1	2.00	7.10	Básico
II	2	2.00	7.08	Básico
III	5	2.00	7.79	Débilmente básico
IV	14	2.00	5.80	Débilmente Ácido
V	16	2.00	6.28	Débilmente Ácido
VI	18	2.00	6.56	Débilmente Ácido

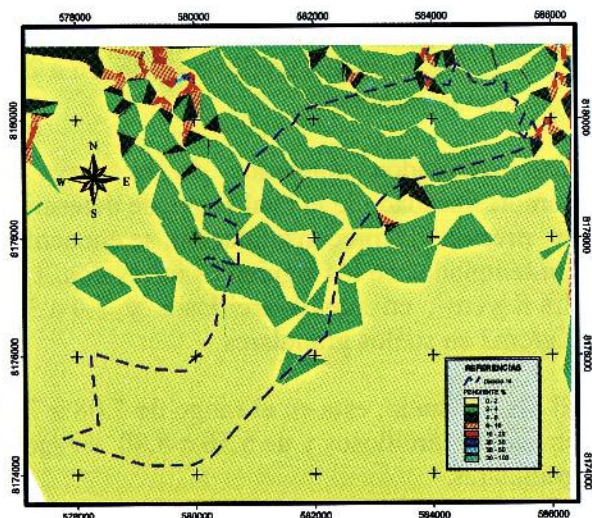
Tabla 1.8 valores de pH obtenidos del ensayo

4. MAPAS

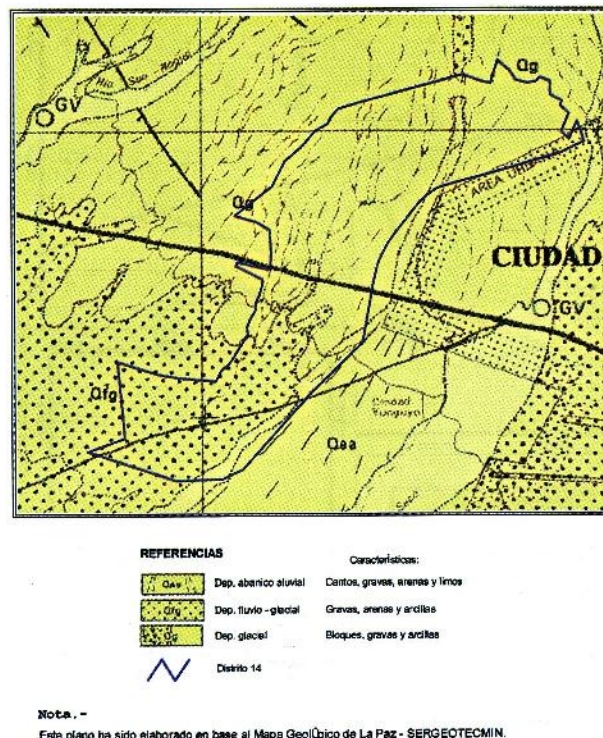
a) **Mapa Topográfico.-** La Topografía del área, ha sido elaborada en base a una imagen satelital y levantamientos topográficos, la cual nos muestra unas pendientes moderadas a planas.



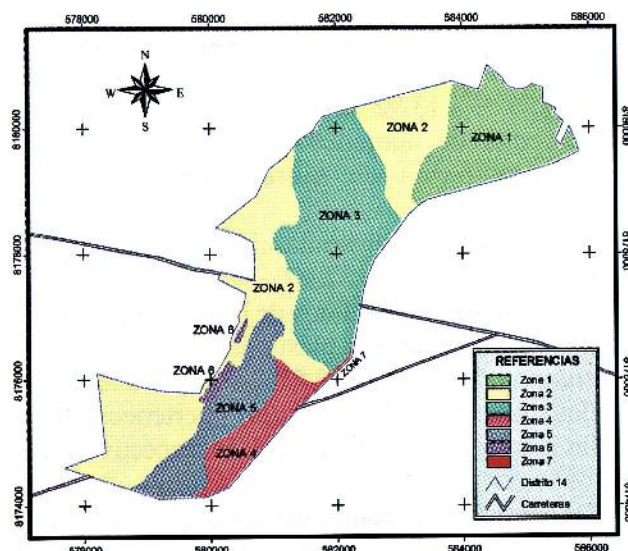
b) **Mapa Geomorfológico.-** El mapa geomorfológico ha sido elaborado en base al mapa topográfico y el mapa geológico que nos muestra pendientes moderadamente bajas a planas.



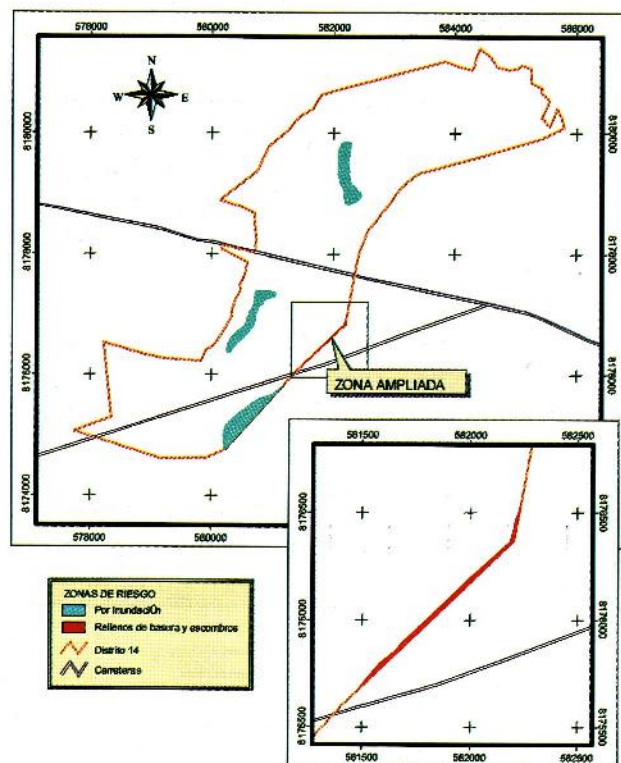
c) **Mapa geológico.-** El mapa se elaboró en base al mapa geológico de SERGEOTECMIN, donde para el área en estudio se muestra: Qaa: depósitos de abanico aluvial, Qfg: depósito fluvio-glaciales, y Qg: depósito glacial.



d) **Mapa Geotécnico.-** Elaborado en base a la clasificación unificada del suelo, y el relevamiento geotécnico del área de estudio.



e) Mapa de Riesgos.- El mapa de riesgos ha ido elaborado en base a los peligros que éstos presentan como son los riesgos de inundación y depósitos de desechos sólidos.



5. CONCLUSIONES

La exploración geotécnica mediante pozos o calicatas a cielo abierto y la realización de ensayos in situ y en laboratorio, ha permitido determinar los siguientes parámetros de caracterización físico-mecánica de suelos:

- Los valores obtenidos de contenido de humedad a la profundidad están comprendidos en el rango de 3,79 % a 13,92 %, corroborando así el contenido de humedad mayor en las arcillas y valores bajos en materiales granulares.
- En cuanto a los límites líquidos (LL) están en el rango del 16,10% a 32,90%, lo que indica que se tratan de suelos con finos de baja plasticidad. Por otro lado, los límites plásticos (LP) están comprendidos entre 15,67% a 21,58% teniendo dos muestras inoperables (NP) pertenecientes a las muestras de los pozos 12 y 14 respectivamente.
- De acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.), luego de haber realizado el

análisis correspondiente, se encontraron 6 tipos de suelo más una zona que corresponde a rellenos contaminados, es decir 7 zonas geotécnicas.

- Con estos resultados de clasificación de suelos podemos concluir que en el Distrito municipal 14, existe una predominancia de suelos del tipo GC y SC. La clasificación GC corresponde a suelos gravo arcillosos, que son mezcla de grava arena y arcilla; y la clasificación SC que corresponden a suelos areno - arcillosos.
- Según la clasificación por el método AASHTO, podemos concluir que en el distrito 14 existe una predominancia de suelos del tipo A-4 y A-2-4.
- Realizado el estudio geotécnico del suelo, se ha determinado que la capacidad portante corresponde a suelos que varían entre 0,95 a 2,35 kg/cm², respectivamente.
- De acuerdo a los ensayos de peso específico relativo se tienen valores que están en el rango de 2,62 a 2,65 para suelos granulares y de 2,67 a 2,73 para suelos arcillosos.
- La densidad del suelo húmedo está incluida en el rango de 2,17 a 2,31 g/cm³, así mismo la densidad del suelo seco en un rango de 1,79 a 2,12 g/cm³.
- Dado que el suelo del Distrito 14 es gravoso-arenoso en su mayoría, los ángulos de fricción interna varían de 15,95° a 42,35° en estado natural y de 13,96° a 32,74° en estado de saturación.
- Los resultados obtenidos de los ensayos de permeabilidad están incluidos en el rango de 1,41E-05 a 2,73E-06 cm/s.
- El esponjamiento obtenido para los suelos es de 21 a 25% para suelos arcillosos y de 16 a 23% para suelos granulares.
- Los resultados obtenidos de la curva de compresibilidad, de la cual se puede determinar la presión de preconsolidación, se encuentran contemplados en los siguientes intervalos: 1,5 a 3,8 Kg/cm², en suelos arcillosos y 2,4 a 3,10 Kg/cm² en suelos granulares.
- El pH del suelo, está en el rango de 7,08 a 7,79 en suelos arcillosos y de 6,56 a 5,80 en suelos granulares.

- El C.B.R., obtenido para 0.1 pulg. de penetración y al 100% de la densidad seca máxima, varía entre 7.8 a 9.0% para suelos arcillosos y de 44 a 48% para suelos granulares.
- En el área de estudio, se ha evidenciado la presencia de unidades geológicas, que corresponden a:
 - Unidad Geológica Torrente de Barro.
 - Depósitos de origen Aluvial.
 - Depósitos de origen Coluvial.
 - Depósitos de Relleno Artificial
- Geológicamente, en el terreno se determinó la presencia de materiales disturbados, correspondientes al Torrente de Barro antiguo, aflorando como remanentes de sedimentos, sometidos antiguamente a fenómenos de Remoción en Masa, cuyos procesos Geodinámicos originaron una serie de cambios morfoestructurales.
- Dada la presencia de niveles de agua, en los pozos que corresponden a las zonas geotécnicas 1, 2 y 5, podría suponerse que estos son originados en los abanicos aluviales, que afloran topográficamente en las partes altas y la parte más baja del área de estudio.
- Respecto a las humedades óptimas, de acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que las mismas son muy cercanas a las humedades naturales, lo que significa que a la hora de realizar la compactación, no se necesitará añadir bastante agua, lo que permite ahorrar este líquido elemento y por tanto disminuir costos.
- Desde el punto de vista de los Riesgos en esta zona, se tendrá que considerar lo siguiente: la pendiente, la presencia de materiales arcillo-arenosos del Torrente de Barro, materiales de Relleno Artificial, los mismos que son susceptibles a la erosión, a la saturación y a la posibilidad de formar flujos húmedos (mazamoras) además de constituir fuentes de contaminación para la salud de la población de dicho distrito.
- La zonificación geotécnica presentada en este estudio representa la caracterización físico-mecánica del suelo del Distrito Municipal 14 de la ciudad de El Alto, en consecuencia, su

utilización está orientada a la planificación del crecimiento urbano, en el diseño y construcción de enlosetado de calles, pavimentado de avenidas, alcantarillado sanitario y pluvial, embovedados de ríos, así mismo a la construcción de viviendas de interés social.

- El presente estudio, permitirá contar con una base de datos a los técnicos de la Alcaldía de El Alto y sub alcaldía del Distrito Municipal 14 de la ciudad de El Alto, los mismos que serán de mucha utilidad en la elaboración y diseño de proyectos de obras ingenieriles.

6. RECOMENDACIONES

De acuerdo a él análisis de los resultados del presente proyecto de grado, se recomienda lo siguiente:

- a) Las zonas geotécnicas identificadas representan el comportamiento del suelo, por lo tanto se recomienda tomar estas características para orientar el crecimiento de la ciudad y reglamentar los tipos de estructuras a construir en áreas apropiadas.
- b) Debido a las características hidrogeológicas del sector, así como la naturaleza de los materiales que constituyen el subsuelo del terreno, para el diseño de las cimentaciones se recomienda realizar la verificación de la capacidad portante del suelo de fundación, y para la construcción de edificaciones de mayor importancia se recomienda realizar estudios geotécnicos en función a la envergadura de la construcción, para garantizar la seguridad de la estructura.
- c) Lo establecido según las especificaciones de AASHTO para el uso del suelo como material de sub rasante debe ser que $20 < \text{C.B.R.} < 30$; para capa sub base $30 < \text{C.B.R.} < 50$ y para capa base $50 < \text{C.B.R.} < 80$; por lo que se recomienda realizar el cambio de material, o mejoramientos en los suelos arcillosos, mientras que los suelos granulares son aptos como material para sub base.
- d) Con el propósito de evitar la saturación progresiva del suelo que tienda a alterar sus propiedades físico-mecánicas, se recomienda evacuar las aguas hacia los canales más cercanos o implementar redes de alcantarillado pluvial.

- e) En las construcciones de terraplenes, se sugiere estrictamente realizar la verificación del grado de compactación de ensayo in situ.
- f) Las autoridades del Distrito municipal 14 de la ciudad de El Alto, deben implementar planes y programas para mitigar las consecuencias de los cambios en el curso de los ríos; implementar políticas de gestión de riesgos mediante embovedados, canalizaciones u otras formas de evacuar el agua de manera segura, ya que en este distrito existe gran cantidad de ríos intermitentes.
- g) Se recomienda incrementar el control, por parte de las autoridades del Distrito, en obras en las que interviene el movimiento de tierras, que como se describió en la parte de peligros provocados, estos pueden generar deslizamientos, y en consecuencia, generar daños económicos, materiales y de salud a quienes fueran afectados.

Por lo que se recomienda que estos trabajos se ejecuten bajo la supervisión de un técnico especialista.

- h) Implementar políticas ambientales para intervenir la ZONA GEOTÉCNICA 7, que por tratarse de RELLENOS CONTAMINADOS, son un peligro no solo para cualquier construcción, sino también para la salud de quienes habitan en los alrededores.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Manuales técnicos de construcción de carreteras Administradora Boliviana de Carreteras (ABC) Vol. 1 al 4.
- "Fundamentos de la Mecánica de suelos", Tomo I. Juárez Badillo, Rico Rodríguez.
- "Mecánica de suelos" Crespo Villalaz Carlos.
- "Mecánica dos solos", Homero Pinto Caputo.
- Mecánica de Suelos, Lambe, W. (1991).
- Mecánica Se Suelos y Cimentaciones. Fernando M. Labad.
- Fundamentos de ingeniería geotécnica, Braja M. Das.

- Principio de Ingeniería de Cimentaciones, Braja M. Das.
- Geotecnia I, Hugo Coral.
- Geología y Geotecnia Aplicada A La Ingeniería Civil. Orlando Mendieta P. y José Poncc V.
- Ensayos De Suelos Fundamentales Para La Construcción. Internacional Road Fedcration.
- Geología. Jacinto Meritano Arenas.
- Geología. Antonio Ma. Sempere.
- Normas ASTM y AASHTO para la ejecución de ensayos en laboratorio de Mecánica de suelos
- Mecánica de Suelos, Terzaghi - Rick - Mersi.
- Mecánica de suelos e Ingeniería de fundaciones, Ramiah Chikanagappa.
- Mecánica de suelos, Gregory Ptscheboturioff
- Mecánica de Suelos , Savioli
- Mecánica de suelos en la Ingeniería Práctica, K.Terzaghi y R.B. Peck. Ed. El Ateneo 1955.
- Mecánica de Suelos, Jiménez Salazar. Ed. Dossat, 1954
- La ingeniería de suelos en las vías terrestres, Rico Del Castillo. Noriega Editores México 1996
- Fundaciones de Estructuras y Obras de Tierra, Gregory Ptscheboturioff.
- Resistencia al corte de Suelos, Carlos de Sousa Pinto.
- Norma de la Asociación Boliviana de Ingeniería Geotécnica (A.B.I.G.) del año 2007.
- Guía de laboratorio de mecánica de suelos y geotecnia IEM-UMSA.
- Carreteras, Calles y aeropistas, Raúl Valle Rodas
- Diseño de Pavimentos: Método AASHTO - 93. Instituto Boliviano del Cemento y Hormigón.

- Seminario: "IMPORTANCIA DE LA PROSPECCIÓN GEOTÉCNICA EN LA INGENIERÍA CIVIL." Ing.MSc. Víctor Bermejo - Ing. Hernán Flores.
- Carreteras, calles y aeropistas. Raúl Valle Rodas.
- Mecánica teórica de suelos. Terzaghi kart.
- Ingeniería geológica. Vallejo, Ferrer, Oteo.
- Calculo de Estructuras de Cimentación. J. Calavera.
- Apuntes de clase de Suelos I y II.

HORMIGÓN CON BAJO PORCENTAJE DE FINOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO AEROPORTUARIO, UTILIZANDO RESIDUOS DE ESCORIA DE ESTAÑO COMO AGREGADO

Gustavo Marcelo Michel Llanos

Ángel Ramos Maita

Fernando Cerruto Anibarro

aramos@umsa.bo - fcerruto@umsa.bo

RESUMEN

Se estudió un tipo de hormigón empleando residuos de escoria de estaño como agregado, para así, evaluar su utilización en pavimentos rígidos aeroportuarios. En la investigación se determinaron las propiedades físico-mecánicas de los agregados; asimismo, en base a un Diseño Experimental (hexágono) se realizaron dosificaciones de prueba, analizando sus propiedades en estado fresco (peso unitario y consistencia) y endurecido (flexión, compresión y porosidad), para lo que se confeccionaron probetas y vigas que fueron ensayadas a 28 días. El análisis de resultados, permite concluir que es posible la utilización del residuo de escoria de estaño en la elaboración de hormigones para mezclas con bajo porcentaje de finos, que pueden ser utilizadas en pavimentos rígidos. Sin embargo, para su aplicación, debe efectuarse un análisis técnico-económico en cada caso particular.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de pavimentar en el presente, la primera idea que se tiene es un hormigón asfáltico u hormigón hidráulico, pero actualmente en varios países, denominados "del primer mundo" (EUA, Inglaterra, Francia, etc.) y sobre todo en regiones que están expuestas a cambios climáticos adversos (fuertes variaciones de temperaturas, altas precipitaciones pluviales y nevadas intensas como es el caso de Estados Unidos e Inglaterra), existe un nuevo concepto denominado Hormigón Permeable, aplicado en carreteras expuestas a los anteriores agentes externos, en superficies específicas como avenidas, calles, estacionamientos, distribuidores de tráfico ligero, banquetas y áreas peatonales; haciendo que el pavimento tradicional sea cosa del pasado e incluso estudiando las propiedades de éste para temas concretos de mayor carga. Sus beneficios no sólo son económicos y estructurales, ya que también ayuda al medio ambiente.

El hormigón con bajo contenido de finos, viene existiendo desde hace 150 años, pero hasta hace 20 años que fue exitosamente puesto en práctica en varias aplicaciones de diversos lugares de los Estados Unidos, donde las principales funciones que se le ha dado son: en la pavimentación de muchas calles, avenidas y carreteras, sobre todo en lugares que están expuestos a climas adversos que provienen de los efectos invernaderos recientes, donde se debe destacar climas de intensas nevadas, de mucho hielo y además de precipitaciones pluviales elevadas, pero también se le ha dado usos muy comunes en áreas donde se busca una reducción de escurrimientos pluviales por el aumento de la permeabilidad.

La mezcla de estos compuestos producirá un hormigón endurecido poroso con diámetros de 2 a 8 mm que permiten que el agua lo atraviese fácilmente. El contenido de aire puede variar entre 18 y 35%, con resistencias a la compresión típicas de entre 2.8 a 28 MPa. La tasa de drenaje del pavimento permeable varía de acuerdo al tamaño del agregado y la densidad de la mezcla pero generalmente puede estar en el rango de 81 a 730 litros/min./m², evidenciándose el gran impacto que puede generar el empleo de los diversos tipos de materiales constitutivos.

1.1. HISTORIA DEL PAVIMENTO RÍGIDO

El uso de los pavimentos rígidos se remonta hace más de 100 años. George Bartholomew, un norteamericano de Ohio, realizó las primeras pruebas en una faja experimental de 2.44 metros de ancho. Éste descubrimiento dio inicio al proyecto de obras públicas más grande en la historia de la humanidad: el sistema de carreteras inter-estatal de los Estados Unidos de Norteamérica, con aproximadamente 27.500 Km de longitud.

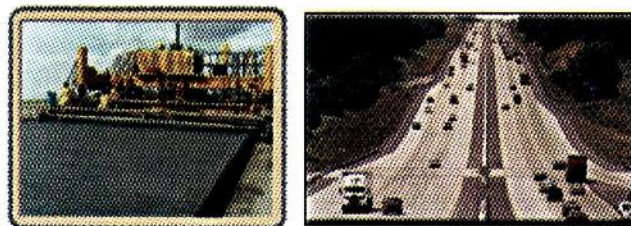


Figura 1 Pavimentos rígidos tradicionales en el campo de la Ingeniería Civil.

En América del Sur, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido. Bolivia, recién hace unos años empezó a interesarse en éste tipo de pavimento, comenzando con el pavimentado de extensas superficies en calles y avenidas de sus ciudades capitales, pero sin optar al mismo tiempo por éste método en carreteras. La ciudad de Santa Cruz es considerada la pionera en utilizar esta técnica en gran escala, con más de dos millones de metros cuadrados hasta el año 2011; le sigue Cochabamba, con más de un millón de metros cuadrados. Otras ciudades en las que se ha dado gran impulso al pavimento rígido, son: Sucre, Potosí, Caranavi, Achacachi y San Borja, mientras que la ciudad de El Alto tenía planeado pavimentar 400.000 metros cuadrados durante el año 2012.

El primer pavimento de hormigón para uso en aeropuertos se construyó durante 1927 y 1928 en la Terminal Ford en Dearborn, estado de Michigan (USA). Desde entonces, los pavimentos de hormigón se han utilizado ampliamente para construir pistas, calles de rodaje y plataformas de estacionamiento en aeropuertos. Los procedimientos de diseño y construcción empleados en pavimentos de aeropuertos han evolucionado con la experiencia, la práctica, las pruebas de campo y la aplicación de las consideraciones teóricas. Los pavimentos de hormigón poseen un largo y exitoso historial de uso en aeropuertos civiles y en acródomos militares en Estados Unidos.



Figura 2 Pista de aeropuerto

Los deterioros en pavimentos de hormigón de aeropuertos incluyen a los siguientes:

- Fisuración (en esquinas, longitudinal, transversal, relacionada con la durabilidad o los materiales).
- Relacionados con las juntas (desprendimiento, bombeo, daños en el sellado de juntas).
- Defectos en la superficie (descascarado, protuberancia, fisuración en bloque).

Para minimizar el desarrollo de deterioros en pavimento de hormigón se debe:

1. Seleccionar el espesor adecuado de pavimento.
2. Proporcionar un adecuado soporte fundacional que incluya una base no erosionable y con drenaje libre.
3. Efectuar una adecuada distribución e instalación de las juntas.
4. Diseñar e instalar una adecuada transferencia de carga en las juntas.
5. Seleccionar componentes apropiados para el hormigón.
6. Asegurar una consolidación adecuada del hormigón.
7. Proporcionar una terminación correcta a la superficie del hormigón.
8. Mantener el sellador de juntas en buenas condiciones.



Figura 3 El uso de pavimento rígido en aeropuertos, puede hacerse conjuntamente con el flexible.

(Fuente: <http://www.absolut-brasil.com/>)

1.2. ANTECEDENTES

En los últimos tiempos, países tales como: Alemania, España, Holanda, Estados Unidos han puesto todo su empeño e investigación en lograr estudios a mancha de unificar las propiedades de ciertos tipos de hormigones porosos, tal es el ejemplo más claro sobre el Brite-EURAM BE - 3415, denominado "Optimización de las características de la superficie de Vías con Hormigón". Los ensayos de laboratorio y los análisis estructurales de éste estudio fueron logrados a través del Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA). Asimismo, el Instituto de los Materiales e Investigación en el Ambiente (Holanda), como también el INTRON de la Universidad Politécnica de Cataluña (España) y finalmente el Instituto de Investigación de la Industria Alemana de Cemento (VDZ).

1.3. FINES

La finalidad de este Proyecto, es estudiar la posibilidad de utilizar los residuos de escoria de Estaño de fundición como agregado del hormigón para el uso de Pavimento Rígido, hormigones que se pretende someter a ciertos ensayos (flexión, compresión y porosidad) de laboratorio para poder determinar la pertinencia o no de tal uso. Asimismo, en la dosificación se empleará un menor porcentaje de agregado fino para intentar otorgarle otras propiedades distintas a las que comúnmente se tienen en uno convencional.

Por otra parte, el estudio podría plantear una nueva alternativa de Pavimento Rígido Aeroportuario. El cual sea durable, poroso (en función de la resistencia mínima a Flexión), más resistente y que, de ser factible su utilización y ponerse en marcha el empleo de la Escoria como agregado en un futuro cercano, podría llegar a ser posible mitigar en gran medida el impacto ambiental que hasta ahora está generando la metalúrgica de Vinto.

Finalmente, será trascendental corroborar los conceptos e ideas fijadas en la investigación de hormigones de alta prestación vial que han empezado a utilizar otros países, lo cual, se pretende lograr en esta investigación, sometiendo probetas cilíndricas y vigas a ensayos de laboratorio para probar los supuestos planteados, que tendrán íntima relación con factores externos como internos, también ligados con aspectos meteorológicos y climáticos.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar un Hormigón empleando residuos de Escoria de Estaño como agregado grueso y fino para posteriormente evaluar su posible utilización en pavimento rígido aeroportuario.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar un hormigón en el que se utilice residuo de Escoria de Estaño (procedencia: Metalúrgica de Vinto - Oruro) con bajo porcentaje de agregado fino.
- Obtener una dosificación óptima de hormigón que alcance el valor mínimo exigido a flexión (600 psi ó 4,22 MPa) para pavimentos rígidos aeroportuarios y determinar su resistencia a compresión.
- Evaluar la Porosidad de las diferentes mezclas de estudio, efectuando para tal efecto el correspondiente Ensayo de Porosidad.

- Analizar los costos referenciales de este tipo de hormigones.

1.5. JUSTIFICACIÓN

En la actualidad, el residuo de escoria de Estaño está acumulado en grandes cantidades cerca de la fundición de Vinto, cuya superficie se aproxima a las 7 a 8 hectáreas, misma que prácticamente no tiene ningún uso. Por este motivo y prosiguiendo con los diferentes estudios ya realizados en el Instituto de Ensayo de Materiales (IEM), y en base a investigaciones de otros países respecto al uso de la escoria como agregado, es que, se vio por conveniente un nuevo estudio, pretendiendo remplazar los agregados tradicionales (grava y arena) para el uso de Pavimentos Rígidos con el residuo de Escoria de Estaño.

En los últimos años, muchos países a nivel mundial han adelantado sus investigaciones y conocimientos respecto al estudio de este material, y más aún en el caso de los hormigones con contenido mínimo o nulo de agregado fino, otorgando en muchas ocasiones resultados benéficos. Este material, para ser considerado apto en la elaboración de hormigones, debe cumplir ciertas cualidades físico-mecánicas adecuadas a las normas y especificaciones establecidas para su correcto empleo. El pavimento con bajo contenido de finos (según estudios internacionales y algunos ya realizados en el IEM), entre sus principales características tiene: el permitir la infiltración de agua a través de su superficie y proporcionarle a éste un almacenamiento temporal para su posterior evacuación al sistema de drenaje o infiltración en el terreno.

Finalmente, destacar que la posible utilización de residuos de escoria de fundición, podría ayudar a disminuir o incluso evitar mayor afectación al medio ambiente en la zona expuesta ubicada en la metalúrgica de Vinto y sus alrededores. Todo ello, mediante estudios de este componente, que datan desde 1962. Se buscará dar un buen uso a la escoria, la cual se podría optimizar en la preparación de hormigones para su posterior uso como pavimento rígido aeroportuario.

1.6. ALCANCE Y LIMITACIONES

1.6.1. ALCANCE

Adquirir un mejor conocimiento respecto de este tipo de hormigones y para ello obtener mediante los conceptos detallados en líneas posteriores un mayor grado de investigación y proyectar mayores parámetros para futuras investigaciones.

- Determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados, en éste caso el residuo de Escoria de Estaño como agregado grueso y fino.
- Determinar las propiedades del hormigón fresco como son la Confección y Curado de probetas, el Peso Unitario y la consistencia a través del Cono de Abrams.
- Determinar las propiedades del hormigón endurecido, como ser: Ensayos a flexión, a compresión y Porosidad, a través de los vacíos del Hormigón (método relacionado al porcentaje de vacíos, similar al de Peso Específico).

Antecedentes y datos de importancia:

Para poder encarar el presente estudio y con la finalidad de lograr los objetivos y metas trazadas, se abordarán análisis similares que se hubieran realizado en hormigones para la fabricación de pavimentos rígidos. Asimismo, se analizará la naturaleza de todos los materiales a emplear, sus propiedades y proporciones con el fin de encontrar la dosificación ideal para este estudio.

Se elaborarán mezclas con diferentes proporciones en base a un criterio empírico y experiencias que puedan asemejarse a esta.

1.6.2. LIMITACIONES

De acuerdo a la experiencia que se tiene al realizar dosificaciones y más para el uso de Hormigones en Pavimentos Rígidos, se determinó que el cemento de mejor comportamiento, es el cemento Portland (Tipo I), pero debido a que ha dejado de producirse en el país, se hace imposible poder contar con éste material. De la misma forma, por el elevado costo en la fabricación del Cemento Viacha Especial IP-40, éste ha desaparecido del mercado tradicional, por lo cual para el presente estudio se emplearán los siguientes materiales:

- a) Cemento Viacha Estándar (Tipo IP - 30).
- b) Agregado grueso de origen artificial (residuo de Escoria de Estaño), cuya procedencia es la Metalúrgica de Vinto (departamento de Oruro).
- c) Agregado fino de origen artificial (residuo de Escoria de Estaño), cuya procedencia es la Metalúrgica de Vinto (departamento de Oruro).
- d) Agua, se trabajará con el "agua potable" que distribuye normalmente la empresa EPSAS, la cual

será utilizada en las tres fases principales del diseño de hormigones, que son, limpieza de agregados, elaboración del hormigón (como materia prima) y finalmente en el respectivo curado de las probetas y vigas a ensayar.

e) Otros.

Equipos:

En cuanto al equipo, dadas las características de éste proyecto de grado, se podrá observar una diferencia entre lo que es el laboratorio y lo que vendría a ser la fabricación en masa y de planta de un pavimento que vaya a ser utilizado y diseñado para un aeropuerto. Tal es el caso de los equipos de terminado y acabado que se utilizan en Pavimentos Rígidos, los cuales son mucho más potentes y de mejor aplicabilidad para tales hormigones.

2. MARCO TEÓRICO

Ocasionalmente el hormigón poroso (sin finos, o con baja cantidad de estos) permite fácilmente el flujo de agua a través de sí mismo - se diseña para aplicaciones especiales. En estos hormigones, el agregado fino se reduce grandemente o incluso se remueve totalmente produciendo un gran volumen de huecos de aire. Ha sido utilizado en canchas de tenis, pavimentos, lotes para estacionamientos, invernaderos y estructuras de drenaje. El hormigón excluido de finos también se ha empleado en edificios, gracias a sus propiedades de aislamiento térmico y muchísimas otras más, que irán detallándose conforme se vea.

Historia y sus usos.

El hormigón permeable ha existido desde hace 150 años, pero hasta hace 20 años que fue exitosamente puesto en práctica en varias aplicaciones en diversos estados de los Estados Unidos, sus usos más comunes son: en áreas cercanas a árboles, en áreas donde se busca una reducción de escurrimientos pluviales.



Figura 4 Forma, aspecto y textura de un hormigón poroso con agregados naturales. (Fuente: <http://www.gespavi.com>).

hidráulicos, los cuales generalmente permiten obtener resistencias a la compresión de unos 15 MPa a los 28 días de curado, con lo cual se resiste el desgaste por abrasión al tráfico.

- La mezcla debería ser capaz de resistir los agentes agresivos contenidos en el agua; esto se obtiene asegurando el aglutinante entre los agregados mediante un mortero compacto, contrariamente a los hormigones porosos comunes, donde el ligante está constituido únicamente por cemento. Éste resultado se logra introduciendo a la mezcla una cantidad de arena entre los 150 a 200 Kg/M³ y dependiendo del tipo de mezcla que se requiera y la obra a la cual esté destinada.
- Finalmente, se debe mencionar que muchas investigaciones incluyen las medidas de la penetración debajo del agua bajo una fuerte lluvia simulada y la evaluación de la capacidad estructural de la superficie del pavimento a realizar. El rango obtenido es del orden de 1x10⁻⁴ m/s como mínimo para hormigones drenantes. (Shackel, Bryan; Kalingis, J.O., Infiltration and Structural Tesis of Permeable Eco-Paving).

2.4. PERMEABILIDAD DE LOS HORMIGONES

Una de las principales y más importantes características de los hormigones porosos, se le atribuye a la alta permeabilidad que puede llegar a tener en función de las propiedades y resistencia que se le otorgue a la mezcla al momento de diseñar la misma. Esa propiedad se la adquiere y verifica por el paso del agua a través de los vacíos de la mezcla. Por ello, se debe tener en cuenta que será muy importante conocer la funcionalidad de estos vacíos que se sitúan al interior del hormigón. Sola y únicamente de esa manera se tendrá un correcto análisis de la permeabilidad. (Imagen-Fuente: Buscador de imágenes de Google).

2.5. SIMBOLOGÍA

Un E-HPEE-4 significará Hormigón Poroso con Escoria de Estaño de relación Grava/cemento (Gr/c) igual a 4 con cantidad de cemento de 350 Kg/M³ (Cemento Tipo IP-30) y 15 % en peso del agregado fino.

2.6. ESCORIAS DE VINTO

Se conoce o define como Escoria, a aquel nombre aplicado al material fundido formado por las reacciones químicas entre la materia prima, los materiales incluidos a los hornos o la fundidora y las impurezas oxidadas durante el refinado del metal que se obtenga.

La Escoria tiene una misión principal que consiste en atrapar las impurezas obtenidas y separarlas del metal, las cuales pueden ser resultado de un amplio abanico de procedencias como de la metalurgia del hierro, acero, níquel, estaño, etc. Sin embargo las más utilizadas como bien ya mencionamos antes en la construcción son las del hierro y el acero.

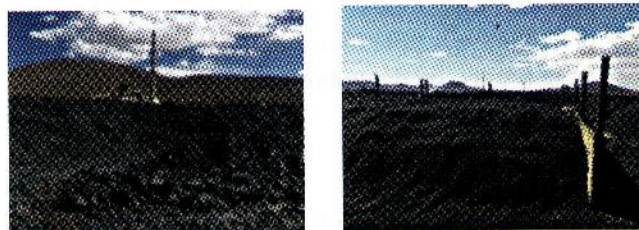


Figura 7 Escoria gruesa y granular, respectivamente; ubicadas en la Metalúrgica de Vinto - Oruro con aproximadamente 7 a 8 Ha de superficie (Fuente: IEM - UMSA).

2.7. DEFINICIÓN DE HORMIGÓN CON ESCORIA DE FUNDICIÓN

Toda vez que ya definimos lo que significa Hormigón convencional, debemos mencionar que ahora detallamos lo que quiere decir Hormigón con Escoria de fundición; lo que no es más que una mezcla de hormigón cuyos componentes finales son: cemento, agua y agregados, estos últimos producto de la reutilización de la Escoria de Estaño, procedente de Vinto, los cuales se han mezclado de acuerdo a una dosificación empírica en cantidades derivadas de la mejor mezcla obtenida mediante ensayos de laboratorio. Claro está, que esta mezcla ha sido corregida de acuerdo al contenido de humedad que hubieran presentado los agregados al momento de proceder con el preparado de la mezcla.

2.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN POROSO

2.8.1. VENTAJAS

1. Reducción considerable de los riesgos debido al hidroplaneo.
2. Mejora en la visibilidad, ya que se reduce notablemente la película de agua que se genera debido a precipitaciones pluviales u otro tipo de agente externo.
3. Menor reflexión luminosa, ya que se llega a eliminar el deslumbramiento y obteniéndose así una mejor visualización y optimizando los dispositivos de señalización horizontal.

4. Reducción notoria de los niveles de ruido provenientes del tráfico.
5. Disminución de la distancia de frenado en vehículos, especialmente ante condiciones climáticas y ambientales adversas.
6. Las posibles juntas requeridas para un hormigón poroso, difieren de las convencionales, ello ya que el pavimento poroso presenta menos de un tercio de la retracción de un hormigón común.

Económicas:

1. Bajo costo de instalación comparado con un sistema de drenaje pluvial.
2. Incrementa el uso de terreno, debido a que ya no se requiere lagunas de retención y pendientes.
3. Reduce la necesidad de incrementar la capacidad de drenaje pluvial.
4. Tiene una vida promedio de 20-30 años según su correcta instalación.

Ambientales:

1. Recarga los mantos acuíferos directamente.
2. Filtra los agentes contaminadores que pueden corromper las aguas subterráneas y dañar ecosistemas.
3. Absorbe el agua en vez de crear charcos o masas de agua.
4. Reduce el efecto invernadero (no absorbe tanto calor como el hormigón asfáltico e hidráulico).

2.8.2. DESVENTAJAS

Uno de los principales problemas hallado en las investigaciones sobre pavimentos drenantes es la colmatación de los poros con el transcurrir de la vida útil; ya que estos van reduciendo su capacidad y rendimiento conforme pasan los años a la vez que se muestra una notable disminución de sus funciones acústicas y sobre todo auto drenantes. Para mantener en un nivel aceptable esas propiedades, se debe realizar un mantenimiento preventivo, lo que incluye una

limpieza periódica de los poros. En la actualidad existen muchos equipos de limpieza, diseñados exclusivamente para preservar las propiedades, que además son imprescindibles en el concepto mismo de lo que hace a éste Hormigón.

2.9. PROCEDIMIENTO Y MODELOS EXPERIMENTALES

En la actualidad existe un conjunto de diseños de experimentos que se adaptan a diversas situaciones, lo que permite de forma bastante fácil decidir cuál de ellos utilizar ante determinadas circunstancias y objetivos de la investigación. En sentido general cuando se habla de diseñar un experimento se debe entender todo aquello relacionado con la planificación o planeamiento de éste para su ejecución y el análisis de los resultados obtenidos, dando respuesta a distintas interrogantes.

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN - PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- Se obtuvieron las propiedades de agregados y otros estudios previos.
- Se elaboraron probetas, obteniendo datos para ampliar o corroborar el estudio.
- Se vaciaron revolturas de prueba, con las variables cantidad de cemento por M3 y relación a/c, seguidamente se trabajó con Gr/c y a/c, y para todos los casos 15% de arena.
- Obtenida la resistencia a Flexión (4,22 MPa), se fijó como parámetro esa dosificación para efectuar el Diseño Experimental, y así seleccionar las variables y rangos, para traducirlos en un Modelo multitasas (hexágono). Utilizando a/c y Gr/c y el 15% de fino.
- Utilizando como valor, el promedio de tres vigas y tres probetas. El análisis estadístico fue el de 28 días y el de 7 para el comportamiento.
- La compresión no se utilizó en el hexágono.
- La porosidad a 28 días.
- Obtenidos los datos, se procedió al gabinete: lectura, análisis y evaluación.

Datos obtenidos en Laboratorio:

ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS AGREGADO GRUESO			
Ensayo	Valor	Unidad	ASTM
Peso específico:	3,427	gr/cm ³	C127
Absorción del agregado:	0,531	%	C127
PU suelto:	1810	Kg/M ³	C 29
PU compactado:	1930	Kg/M ³	C 29
% huecos suelto:	47,18	%	C 29
% huecos compactado:	43,68	%	C 29
% de desgaste LA:	19,96	%	C 131, C535
TMN	3/4	Pulg.	C136, C33

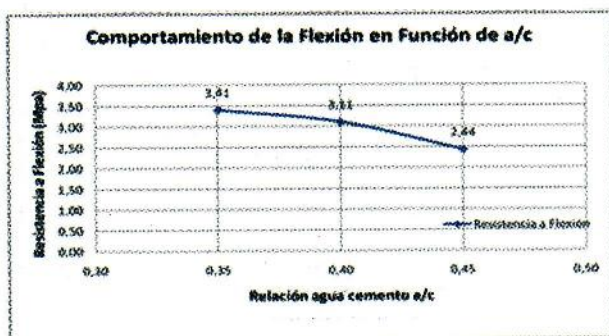
Tabla N° 1 Ensayos físico mecánicos del agregado grueso

ENSAYOS FÍSICO-MECÁNICOS AGREGADO FINO			
Ensayo	Valor	Unidad	ASTM
Peso específico:	3,463	gr/cm ³	C128
Absorción del agregado:	0,376	%	C128
PU suelto:	1920	Kg/M ³	C 29
PU compactado:	2035	Kg/M ³	C 29
% huecos suelto:	44,76	%	C 29
% huecos compactado:	41,47	%	C 29
Módulo de Finura	3,88	N/A	C136

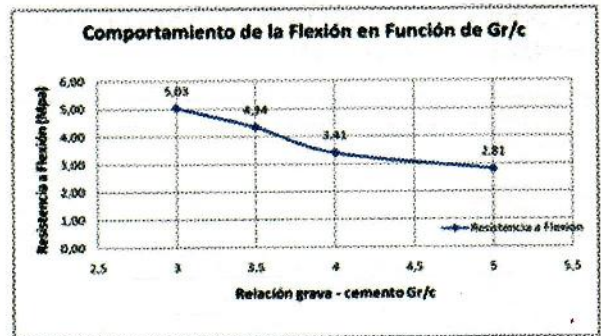
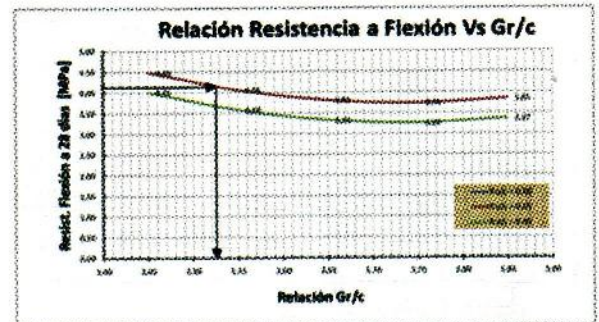
Tabla N° 2 Ensayos físico mecánicos del agregado fino

4. RESULTADOS OBTENIDOS, CÁLCULOS Y ANÁLISIS - EVALUACIÓN**4.1. FLEXIÓN EN FUNCIÓN DE A/C, PARA UNA MISMA GR/C:**

Mezcla	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M ³ (Kg)	Resistencia Final a Flexión (Mpa)
1	E-HPEE-4	0,35	350	3,41
4	E-HPEE-4	0,40	350	3,11
5	E-HPEE-4	0,45	350	2,44

**4.2 RESULTADOS PARA UNA MISMA A/C Y DIFERENTE GR/C:**

Mezcla	Identificación	Relación Grava/cemento (Gr/c)	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M ³ (Kg)	Resistencia Final a Flexión (Mpa)
3	F-HPEE-3	3	0,35	350	5,03
6	E-HPEE-3,5	3,5	0,35	350	4,34
1	E-HPEE-4	4	0,35	350	3,41
2	E-HPEE-5	5	0,35	350	2,81

**4.3. OBTENCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA**

Resumen de las cantidades finales:

Material	Peso seco p/ 1 M ³ de H ^o (Kg)
Cemento	350,00
Grava	1235,50
Arena	185,32
Agua	122,50
Total	1893,32

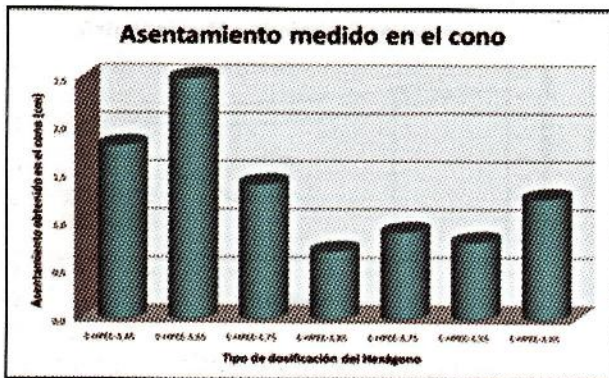
4.4. PESO UNITARIO DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

PESO UNITARIO DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA (INCLUIDOS TIPOS DE CARGUO DE LOS MATERIALES)						
Mezcla	Identificación	Relación a/c	Relación Gr/c	Cantidad de cemento p/M ³ (Kg)	Fecha de Variado	Asestamiento (cm)
1 Dosificación Óptima (Grava-Arena-Grava)	E-HPEE-3,53	0,35	3,53	350	15/05/2012	0,7
2 Dosificación Óptima (Primeros al Mortero)	E-HPEE-3,53	0,35	3,53	350	17/05/2012	1,0



4.5. ASENTAMIENTO O CONSISTENCIA DEL HORMIGÓN

Mezcla	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M3 (Kg)	Fecha de Vaciado	Asentamiento (cm)
1	E-HPEE-3,45	0,35	350	20/03/2012	1,8
2	E-HPEE-3,55	0,40	350	22/03/2012	2,5
3	E-HPEE-3,75	0,40	350	26/03/2012	1,4
4	E-HPEE-3,85	0,35	350	03/04/2012	0,7
5	E-HPEE-3,75	0,30	350	10/04/2012	0,9
6	E-HPEE-3,55	0,30	350	14/03/2012	0,8
7	E-HPEE-3,65	0,35	350	11/03/2012	1,0
8	E-HPEE-3,65	0,38	350	28/03/2012	1,2
9	E-HPEE-3,65	0,55	350	04/04/2012	1,4
10	E-HPEE-3,65	0,35	350	12/04/2012	1,4



En ningún caso siguen una tendencia, fluctuando entre 0,7 y 2,5 cm.

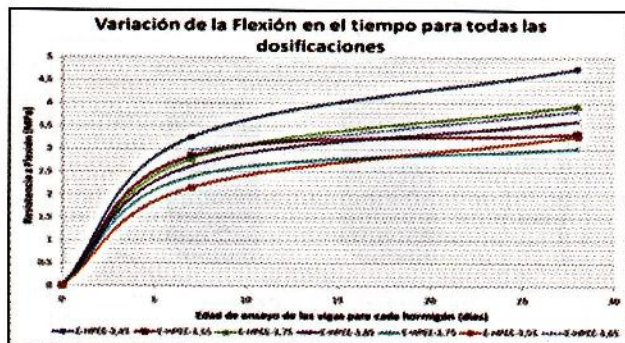
Encontrando los mayores cuanto superior sea a/c y menor Gr/c.

Para la dosificación óptima, se encontró 0,7 y 1 cm.

Las mezclas pertenecerían a la clasificación "hormigón seco" (0-2 cm).

4.6. HORMIGÓN ENDURECIDO

4.6.1. INCREMENTO DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN EN EL TIEMPO



4.6.2. FLEXIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA.

Mezcla	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M3 (Kg)	Edad de Ensayo (días)	Resistencia Final a Flexión 1 (Mpa)	Resistencia Final a Flexión 2 (Mpa)	Resistencia Promedio Flexión 1 (Mpa)	Resistencia Promedio Flexión 2 (Mpa)
Óptima Encontrada	E-HPEE-3,53	0,35	350	7	3,04	2,77	2,95	2,91
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,96	3,02		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,91	2,94		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,89	2,91		
Óptima Encontrada	E-HPEE-3,53	0,35	350	28	4,27	4,23	4,34	4,26
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,34	4,24		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,33	4,33		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,42	4,25		

4.6.2.1. VERIFICACIÓN DE LAS VIGAS

Especificación AASANA: La resistencia a flexión debe cumplir con:

- El promedio de cualquier serie de 4 pruebas consecutivas de resistencia a la flexión probadas al finalizar 28 días, tiene que ser igual o mayor que la resistencia especificada a la flexión.
- No más del 20 % de las vigas probadas al finalizar los 28 días deben tener una resistencia a la flexión menor que la resistencia especificada.

4.6.3. COMPRESIÓN DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Mezcla	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M3 (Kg)	Resist. A Compresión a 7 días (Kg/cm2)	Resist. A Compresión a 7 días Prom (Kg/cm2)	Resist. A Compresión a 28 días Prom (Kg/cm2)	Resist. A Compresión a 28 días Prom (Kg/cm2)
1 Grava-arena-grava	E-HPEE-3,53	0,35	350	261,81	260,72	336,83	327,74
	E-HPEE-3,53	0,35	350	251,00		323,50	
	E-HPEE-3,53	0,35	350	260,36		322,79	
2 Primerico el mortero	E-HPEE-3,53	0,35	350	215,02	230,09	273,37	262,48
	E-HPEE-3,53	0,35	350	240,25		295,58	
	E-HPEE-3,53	0,35	350	231,01		277,88	
Porcentaje de Incremento entre probetas de 7 a 28 días				A 7 días =	113,31	A 28 días =	116,02

4.6.4. POROSIDAD DE LA DOSIFICACIÓN ÓPTIMA

Mezcla	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M3 (Kg)	Fecha de Vaciado	Asentamiento (cm)	Porcentaje de Porosidad a % de vacíos
1 Dosif: Grava-Arena-Grava	E-HPEE-3,53	0,35	350	15/05/2012	0,7	32,84
2 Dosif: 1º el Mortero	E-HPEE-3,53	0,35	350	17/05/2012	1,8	33,66



Para el carguío: la porosidad para los dos tipos de carguío dan valores estadísticamente iguales.

La porosidad disminuye a medida que Gr/c decrece. Otro factor fue a/c, que también afecta la misma, pero poco.

Para encontrar mayores porcentajes, se debe aumentar Gr/c cuanto sea posible, aspecto ligado a las características de diseño.

Muestra	Identificación	Relación a/c	Cantidad de cemento p/M3 (Kg)	Edad de Ensayo (días)	Resistencia final a Flexión 1 (Mpa)	Resistencia final a Flexión 2 (Mpa)	Resistencia Promedio Flexión 1 (Mpa)	Resistencia Promedio Flexión 2 (Mpa)
Óptima Encontrada	E-HPEE-3,53	0,35	350	7	3,04	2,77	2,96	2,91
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,96	3,02		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,91	2,94		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		2,93	2,91		
Óptima Encontrada	E-HPEE-3,53	0,35	350	28	4,27	4,23	4,34	4,26
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,34	4,24		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,33	4,33		
	E-HPEE-3,53	0,35	350		4,42	4,25		

Resistencias a flexión para ambos métodos de carguío (1) grava-fino-grava y (2) grava-fino o método tradicional.

Analizada la flexión, compresión y porosidad, la mejor secuencia sería la del carguío I (grava-fino-grava).

4.7. ANÁLISIS DE COSTOS PARA ESTE TIPO DE HORMIGÓN (REFERENCIALES)

Estos pueden variar en función de muchos factores no considerados por las limitaciones existentes: cantidad de hormigón que se llegara a necesitar en obra, pudiendo abaratar costos cuanto más grande sea. El tipo de transporte - capacidad de la volqueta. La función de la obra (estatal o privada).

Las condiciones de cada obra, uso de materiales y lejanía, hacen que los costos merezcan un tratamiento diferenciado.

4.7.1. EL COSTO REFERENCIAL POR 1 M3 DE HORMIGÓN SERÍA:

Costos por m³ de Hormigón, Dosificación de la Presente Investigación*

Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (Bs.)	Precio Unitario (USD)	Precio Unitario p/ 1 M3 de Ho (Bs.)	Precio Unitario p/ 1 M3 de Ho (USD)
Cemento	KG	350	1,22	0,18	426,91	61,25
Grava	M3	0,633	16,03	2,30	10,94	1,57
Arena***	M3	0,097	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	M3	0,123	5,69	0,82	0,70	0,10
Aditivo de aire	KG	0	0,00	0,00	0,00	0,00
Total:			22,94	3,29	438,55	62,92

* Costo aproximado por M3 situado en la misma metalúrgica de Vinto (Ciudad de Oruro - Bolivia).

Cuyo costo no incluye transporte ni utilidades de ningún tipo, ello pensando en una posible instalación de planta dosificadora de hormigones.

** Tipo de cambio para la cotización 6,97 Bs.

*** La arena no tiene ningún costo, por el hecho de que esta ha sido enfrida de manera rápida conforme lo explicado en el punto 2.6.2 del Capítulo Nº 2 de la presente investigación. Esc. Granular.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El objetivo general, ha sido cumplido, tras haber estudiado un hormigón de características especiales, empleando para su diseño el residuo de escoria. Se utilizó: 11 bolsas de cemento, 1,8 M3 de gruesa, 0,4 M3 de fina y vaciando 1,3 M3 de hormigón. Todo en 7 meses de investigación.
- Se ha podido elaborar hormigones con residuo de escoria a través de dosificaciones empíricas, para diseñar mezclas de características "especiales"; y ser utilizadas, si es el caso, en determinadas obras. A diferencia de la ACI (hormigón compacto), O'Reilly y Faury, se manejaron factores de proporción y relación entre materiales, utilizando un buen control estadístico (Hexágono), que permitió verificar tales criterios.
- Se trabajó con escoria gruesa y fina como fueron traídas desde Vinto, obteniendo ciertas características muy buenas, y otras, algo alejadas de Normas, sin embargo se ha demostrado que es apta para la elaboración de hormigones de esta índole.
- Respecto al agregado grueso, la granulometría (ASTM C136), satisface las condiciones de ASTM C33 (límites granulométricos); siendo su TMN de 3/4. El ensayo de desgaste Los Ángeles (ASTM C131), dio 19,96 %, menor al exigido, que es 40 %, concluyendo que éste material sería bastante resistente y un hormigón con escoria, podría ser más durable que uno convencional.
- Para las partículas planas y alargadas, el resultado fue de 3.95 %, más bajo que el exigido (8 %). No se sufriría de "flexión interna".
- En el agregado fino, conforme ASTM C33; la granulometría no ingresa en los límites exigidos. El módulo de finura encontrado fue 3.88 (fuera de 2.3 a 3.1), aspecto no importante, al recordar que se quiso buscar nuevas metodologías de dosificación. Se concluye que es más grueso, sin embargo su utilización no afectó la elaboración del hormigón.
- Se utilizaron relaciones a/c de 0.35, 0.40 y 0.45; obteniendo mejores resultados para 0,35, ya que menores valores, afectarían la trabajabilidad.

- La relación Gr/c es importante para obtener buenas resistencias: 1) cuanto mayor sea, menores resistencias y mayor porosidad se hallará y 2) a menor Gr/c, mayores resistencias, pero menor será el porcentaje de vacíos.
- Definida la posibilidad de elaborar hormigones de éste tipo, a través de mezclas basadas en un principio estadístico para encontrar una dosificación óptima, que satisfaga los requerimientos (flexión), se halló la misma.
- La resistencia mínima a flexión fue 4,22 (MPa). Al obtener: 4,34 y 4,26 (MPa) y verificar las condiciones de pavimentos (AASANA). La dosificación óptima **cumple satisfactoriamente los requerimientos**.
- La porosidad en ambas mezclas fue encima del 20 %, concluyendo que las mismas son consideradas "hormigón poroso".
- Analizadas la compresión, flexión y porosidad para las formas de carguío; los dos últimos son similares, a compresión, el carguío grava-arena-grava es 16 % mayor, concluyendo que ésta, es la mejor forma de colocar los materiales (tiempo de 3,5 min. La resistencia a flexión sería un 14% aproximadamente de la resistencia a compresión. Este valor puede ser útil para diseñar mezclas a partir de la resistencia a compresión. Es conveniente tomar este valor como base de nuevas investigaciones para corroborar lo afirmado.
- Se desarrolló el cálculo de costos, considerando únicamente el costo constructivo como materia prima. Se obtuvo un valor para 1 M3, en Vinto, de 438,55 Bs (62,92 USD); mientras que en La Paz y Santa Cruz, sería de 878,92 Bs. (126,10 USD), y 1658,72 Bs. (237,98 USD). Al ser referenciales y para esta Investigación, deben verificarse para cada obra y en sus condiciones.
- Finalmente, como la más importante conclusión, indicamos que **es posible la utilización de residuo de escoria en la elaboración de hormigones para pavimento rígido, y es viable efectuar mezclas con bajo contenido de finos**, que ocasionan la generación de poros y otorgan cualidades especiales.

Habiendo efectuado investigaciones adicionales más allá del alcance y objetivos de este estudio, se presenta

a manera de comparación, las siguientes conclusiones a las que se llegó, al ejecutar la dosificación del aeropuerto de Rurrenabaque:

- Realizado el ensayo de infiltración se vio que sí puede ser atravesado por el agua, y ser capaz de escurrirla. El caudal de infiltración sería 13,16 l/min o 789,42 l/Hr, por M². Verificando una de las principales funciones: auto-drenante o permeable.
- Comparando los resultados obtenidos, con los de la dosificación proporcionada por AASANA. Para una misma cantidad de cemento, se obtiene para la 2da 4,42 (MPa) a flexión, 260,31 (Kg/cm²) a compresión y porosidad de 9,71 %; y la investigada: 4,34 (MPa), 327,73 (Kg/cm²) y 32,84 %. Si bien la flexión es ligeramente inferior; la compresión y porosidad son mayores, obteniendo un hormigón de mejores características.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda la utilización de éste tipo de hormigones en pavimentos aeroportuarios, empleando la escoria, y que requieran condiciones especiales, logrando un pavimento auto-drenante.

- Se recomienda las dosificaciones empíricas para hormigones "especiales".
- Ejecutar hormigones con estas cualidades, utilizando la escoria gruesa y fina como fueron traídas. Asimismo, para quienes requieran adquirir mejores resistencias en hormigones, se recomienda emplear este agregado (escoria de Vinto).
- La relación a/c no debe ser inferior a 0.35, de lo contrario, se tendrá menor trabajabilidad. Analizar la utilización de aditivos reductores en otra investigación.
- Con referencia a Gr/c, buscar el equilibrio de esta variable; en función de los requerimientos para cada obra, para éste proyecto se utilizaron 3,5 a 3,65.
- La mejor forma de ejecutar el mezclado, será utilizando la secuencia de colocado de agregados: grava-fino-grava, con tiempo de 3,5 min por ciclo (50 l), contemplando un ciclo toda la etapa de dosificación desde el tiempo de vaciado de

materiales hasta el mezclado final en la máquina dosificadora. Ésta deberá ser estudiada para cada obra, uso o no de aditivos, y herramientas para el colocado, transportado y terminado del hormigón.

- Este material podría ser más durable que uno convencional, por lo que se debe verificar este aspecto elaborando hormigones con las mismas proporciones y distintos agregados para ver la Durabilidad, según el Proyecto de Grado, del Ing. Nina, donde se trata la durabilidad de hormigones con escoria.
- Se recomienda que se amplíe el estudio a 56 y 91 días para flexión.
- Se debe investigar el uso de adiciones. Así como investigar lo que sucedería con cementos Tipo I e IP-40.
- La cantidad de hormigón teórica y real, debe ser verificada para cada obra.
- De ejecutarse hormigones similares al estudiado, será necesario contar con los equipos especiales de terminado y acabado.
- Hormigones similares, al estudiado deben presentar asentamientos iguales o poco mayores, para lograr mejores resultados en cuanto a la trabajabilidad y buena resistencia se refiere.
- Se debe elaborar un mayor análisis de costos, incluyendo todas las variables de la etapa del proyecto.
- Finalmente, trazar líneas de investigación que continúen el estudio de pavimentos rígidos aeroportuarios utilizando la escoria de estaño.

6. BIBLIOGRAFÍA

Libros:

- Los Pavimentos en las Vías Terrestres: Calles, Carreteras y Aeropistas (José Céspedes Abanto, 2002).
- Introducción al Diseño de Mezclas de Hormigón (Fernando M. Cerruto A., 1999).
- Guía de Ensayos (Agregados - Hormigón) (Fernando M. Cerruto A., 1999).
- Materiales de Construcción (Ing. Jorge Echazú Cortez, 2004).
- Hormigón Armado 14a Edición basada en la EHE, Ajustada al código modelo y al eurocódigo (Pedro Jiménez Montoya, Álvaro García Meseguer y Francisco Morán Cabré, 2005).
- Diseño y construcción de aeropuertos y cálculo de firmes. Notificación ACN/PCN (Marcos García Cruzado).
- Libro Postgrado en Estructuras y Materiales, Módulo VIII, Dr. Ing. Jorge Acevedo Catá (2001).

Proyectos de Grado:

- Estudios de las Propiedades Físico-Mecánicas del Hormigón Poroso con fibra de polietileno (Ing. Freddy Sumi).
- Estudio de la Durabilidad en Hormigones con Agregados de Escoria de Fundición (Ing. Eddy Renán Nina Melendez).
- Estudio de la Durabilidad en Hormigones Livianos con Piedra Pómez como agregado grueso (Ing. Wilmer Contreras).

Manuales:

- American Concrete Institute. 2006. "Pervious Concrete." ACI Manual of Concrete Practice 522R-06. Committee 522.
- Mejores prácticas para la construcción de pavimentos de concreto de cemento Portland (Pavimento rígido para aeropuertos) (IPRF, 2003).

Normas:

- ASTM C39 Resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de hormigón.
- ASTM C78 Pruebas de resistencia a la flexión del hormigón (Usando una viga simple con 3 puntos de carga).
- ASTM C131 Pruebas de resistencia a la abrasión de agregados de pequeño tamaño empleando la máquina Los Angeles.

- ASTM C143 Prueba de asentamiento del hormigón de cemento portland.
- ASTM C172 Muestreo de hormigón fresco.
- ASTM C535 Prueba de resistencia a la abrasión de agregados gruesos con la máquina de Los Angeles.
- ASTM C33 Especificación para agregados de hormigón.
- ASTM C94 Especificación para hormigón recién mezclado.
- ASTM C150 Especificación para cemento portland.

- ASTM C171 Especificación para materiales laminares para curado del hormigón.

Especificaciones Técnicas:

- Especificaciones Técnicas para el Ítem de Pavimentos Rígidos (Proporcionado por AASANA - Bolivia).

Revistas:

- Revista de la Carrera de Ing. Civil Tecnología, Investigación y Docencia No. 5
- Revista del Instituto de Ensayo de Materiales - Investigación y Desarrollo No. 5