



Universidad Mayor de
San Andrés



Instituto de Ensayo de Materiales
"Ing. Hugo Mansilla R."
1946 - 2006

Carrera de Ingeniería Civil - UMSA

Investigación y Desarrollo

Revista del Instituto de Ensayo de Materiales

La Paz - Bolivia, octubre de 2007 • Año 2 - N° 2



El Instituto de Ensayo de Materiales dependiente de la Facultad de Ingeniería - UMSA, pone en consideración de los profesionales y estudiantes relacionados con la Ingeniería Civil, el segundo número de su Revista "INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO", dando continuidad al proceso de difusión de investigaciones en el campo de los Materiales de Construcción, iniciado en el I.E.M. en la gestión 2006.

No me queda más que agradecer el interés y el esfuerzo demostrado por los Docentes - Investigadores, Tesistas y Personal administrativo del IEM, sin cuyo trabajo no sería posible materializar iniciativas como la presente.

Finalmente deseo expresar mi reconocimiento a todas las empresas que han depositado su confianza en nuestra Institución.

Ing.Esp.Victor Bermejo Franco
DIRECTOR

Rehabilitación de Pilares con Encamisado de Hormigón Armado (Primera Parte)	3
Comparación de las propiedades Físico - Mecánicas de Morteros Normalizados Utilizando las normas ASTM C-109 y la ISO-679	20
Estudio de las características Físico-Mecánicas de las Baldosas Cerámicas que se Fabrican y Ofertan en el Mercado Nacional	27
Uso de Azúcar como Modificador del Tiempo de Fraguado en Hormigones de Cemento Pórtland y Pórtland Puzolánico	39
Estudio de Morteros para Revestimiento de Muros de Ladrillos	46
A propósito de la Teoría del Riesgo	53



Rehabilitación de Pilares con Encamisado de Hormigón Armado

(Primera parte)

Dr. Ing. Boris V. Herrera

Resumen

La presente investigación intenta explicar de manera simple y clara los procesos de transmisión entre el pilar original y su encamisado, para lo cual se realizó una extensa revisión bibliográfica de la cual podemos destacar las fórmulas propuestas en (Mattock 2001), donde se explica el comportamiento de una interfase sometida a tensiones altas del esfuerzo rasante, cuando la aplicación de la carga es paralela a la dirección de la interfase del elemento. Esta transmisión se basa en el mecanismo de corte-fricción, que es el mecanismo más dúctil y más sensible a la rugosidad y al tratamiento de la superficie. Se analizaron ocho pilares rectangulares encamisados, en tres fases, en las cuales se observaron las diferentes características de falla de los elementos, sus desplazamientos relativos, las deformaciones del pilar, las deformaciones del encamisado y las deformaciones de los refuerzos transversales del encamisado, utilizando para ello transductores de desplazamiento, bandas extensométricas embebidas en el hormigón y bandas extensométricas adheridas a las armaduras. Se realizó un modelo teórico donde se observó que, el comportamiento de la transmisión de esfuerzos del pilar al encamisado, corresponde a dos estados en función de la capacidad de transmisión de tensiones rasantes que tiene la interfase, además de un valor límite para la rotura por bielas de compresión.

1. Introducción

La técnica del recrecido de la sección, que llamaremos encamisado de hormigón armado, consiste en colocar un recrecido de hormigón alrededor del pilar para que transfiera, a través de la superficie de contacto pilar-encamisado, los esfuerzos que primeramente resistía el pilar, este tipo de encamisado se refiere a la provisión de una capa de hormigón con armadura (longitudinal y transversal) alrededor del pilar existente, para transmitir la capacidad resistente del pilar al encamisado. Los encamisados se usan también para recuperar la capacidad de carga original de un pilar ante un daño o deterioro en el tiempo.

El hormigón armado nos da ventajas económicas, compatibilidad con el sustrato original de hormigón, capacidad de mejorar la durabilidad e impartir protección al fuego, y compatibilidad

de deformaciones entre el encamisado y los elementos de la estructura. Una desventaja de los encamisados de hormigón armado es la pérdida de espacio en los pisos, debido al crecimiento de la sección del pilar, a pesar de las desventajas, es común el uso de los encamisados para el refuerzo y la reparación de pilares.

Esta investigación busca el análisis del efecto corte-fricción que se observa en este tipo de rehabilitación de pilares, debido a la diferencia entre las amasadas de hormigones del pilar y el encamisado cuyas características serán diferentes, por las diferentes edades de hormigonado, también influirán la resistencia a tracción del hormigón de la camisa, la rugosidad de la superficie, la longitud de la superficie de contacto, el grado de retracción alcanzado por la camisa y el confinamiento otorgado por la armadura transversal del refuerzo, entre otras.

Para estudiar la transmisión del esfuerzo de compresión del pilar al refuerzo se han ensayado en laboratorio 8 pilares reforzados, con distintas disposiciones de armaduras y configuración de adherencia entre el pilar y refuerzo. En base a los resultados se propone un modelo de cálculo para el estudio de transferencia del pilar al encamisado.

2. Relevancia de la Investigación

Los problemas de patología en estructuras de hormigón, en especial en elementos verticales como los pilares, que sufren fallos catastróficos, justifican plenamente el estudio de las diversas técnicas de rehabilitación de las mismas, por ejemplo a través del encamisado de hormigón armado de pilares con el mismo material, que es una de las técnicas más comúnmente usadas para el refuerzo y la reparación de pilares.

El estudio de los mecanismos de transmisión del pilar al encamisado, nos proporciona un conocimiento más preciso de las características, virtudes y limitaciones de este tipo de refuerzo de pilares. Las normas vigentes no nos proporcionan líneas adecuadas para el análisis y diseño de los encamisados de pilares, por lo que se pretende reunir los avances sobre los mecanismos de transmisión de esfuerzos tangenciales. Podemos observar que en nuestro caso, tenemos diferencias notables con la teoría actual de esfuerzo rasante, como la no existencia de fuerzas externas que compriman la interfase, la no existencia de armadura que pase a través de la interfase, el esfuerzo principal es paralelo a la interfase, existe una mayor incidencia de la fluencia, la distribución de las fuerzas de apriete provistas por los estribos en la interfase tiene un comportamiento propio y la forma geométrica de la sección del pilar varía la distribución de las fuerzas de compresión en la interfase.

Esta investigación se realiza con el objeto de poder crear modelos de cálculo que consideren los diferentes factores influyentes en esta

transmisión y optimizar la utilización de los materiales de refuerzo.

3. Programa Experimental

3.1 Propiedades de los Materiales

La determinación de la resistencia característica del pilar de la investigación de 15 MPa responde a la resistencia de los pilares comúnmente realizados en la época de los 70's y 80's, y a un valor bajo, comúnmente encontrado en pilares que son los que generalmente necesitan de una reparación. El encamisado tendrá unas características de construcción más controladas. Con la utilización de aditivos fluidificantes y áridos controlados de menor tamaño máximo, con mejores controles de ejecución, son muy comunes resistencias superiores a los 35 MPa en hormigones de reparación. Para ambos hormigones se estableció una consistencia en Cono de Abrams entre 10 y 15 cm, es decir una consistencia fluida.

Para el control de los hormigones se realizó el análisis de sus características mecánicas a los 7, 21 y 28 días, así como el día del ensayo, con un curado estándar y otro con arpillera húmeda en las mismas condiciones del elemento. También se determinaron los módulos de deformación.

El acero utilizado es un acero corrugado soldable dúctil de construcción con un límite elástico de 500 MPa, el resto de sus características corresponden a las admisibles por las normas vigentes. Para su control se determino el límite elástico, el límite de rotura, el módulo de elasticidad y el alargamiento final.

3.2 Elementos Estructurales de Prueba

Para obtener la geometría de los elementos se utilizaron encofrados metálicos hechos de plancha de acero de 5 mm que nos proporcionan una estanqueidad total.

Con el objeto de transmitir las cargas, se han dispuesto dos pletinas de acero tanto en la parte

superior del pilar, como en la parte inferior del encamisado, que van soldadas a las barras longitudinales respectivas de ambos elementos.

El elemento estructural utilizado tiene las características observadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Características geométricas de los elementos.

ELEMENTO	SECCIÓN	ALTURA	LONG DE TRANSFERENCIA	PLETINAS DE ACERO
Pilar	200x200 mm	1000 mm	700 mm	200x200x20 mm
Encamisado	400x400 mm espesor 100 mm	900 mm	700 mm	400x400x20 mm - 200x200x20 mm

Los pilares sometidos a refuerzo poseen en general secciones reducidas y el encamisado más comúnmente usado es el de 10 cm de espesor, debido a las necesidades de recubrimiento y a las facilidades de hormigonado, la longitud de transferencia fue determinada de las experiencias de (Navarrete 2002; Navarrete y Calavera 2004) donde se observa que la longitud para la transmisión de la carga máxima del pilar al encamisado se estabiliza a partir de los 700 mm.

El elemento estructural a ensayar está conformado por un pilar y su encamisado, en el cual consideramos que la transmisión de los esfuerzos del pilar al encamisado se realizará en su mayoría por las esquinas del elemento. Para tal efecto se ha procedido a realizar el despunte y posterior picado de esta superficie con el objeto de producir una rugosidad, tal que pueda desarrollarse la deformación necesaria en la armadura transversal del encamisado. Esta rugosidad se midió mediante un equipo específico para tal fin, basándonos en la Norma Sueca (SIS-812005 1973), pero con algunas diferencias.

Las superficies de contacto no picadas entre el pilar y el encamisado han sido cubiertas con un plástico, en ambas caras, con el objeto de evitar la adherencia y crear una superficie lisa de contacto, **excepto en el caso del pilar del elemento P4 que posee rugosidad en todo el contorno.** Obsérvese las características de la superficie en la Fig. 1.

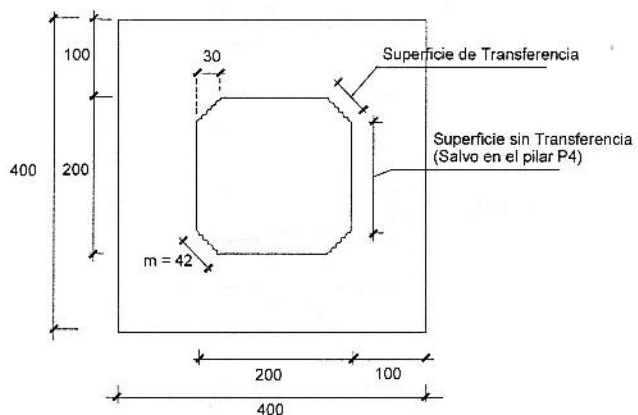


Fig. 1. Características de la superficie de contacto

Se realizó un total de 8 elementos estructurales de análisis divididos en tres fases, en la Figura 2 podemos observar la distribución y características de la armadura de los diferentes elementos. El curado de los elementos estructurales se realizó por 7 días con el uso de arpilleras húmedas. La preparación y medición de las superficies del pilar se realizó a los 10 días. A 21 días de hormigonado el pilar se procedió a hormigonar el encamisado.

3.3 Método de Ensayo

Para la realización de las experiencias de laboratorio se han definido tres fases, la primera fase consta del ensayo de tres elementos estructurales (P1, P2 y P3). En la segunda fase de la experimentación, realizamos tres ensayos más (P4, P5 y P6) con una serie de variaciones en las cuantías de estribos del pilar y las áreas

de transmisión. En la tercera fase de la experimentación realizamos dos ensayos más (P7 y P8) con una variación en la continuidad del hormigón del encamisado, el cual fue interrumpido

para observar el trabajo aislado de compresión de los estribos y prescindir de la tracción en la corona de hormigón. En la Tabla 2 puede verse las características de los elementos ensayados.

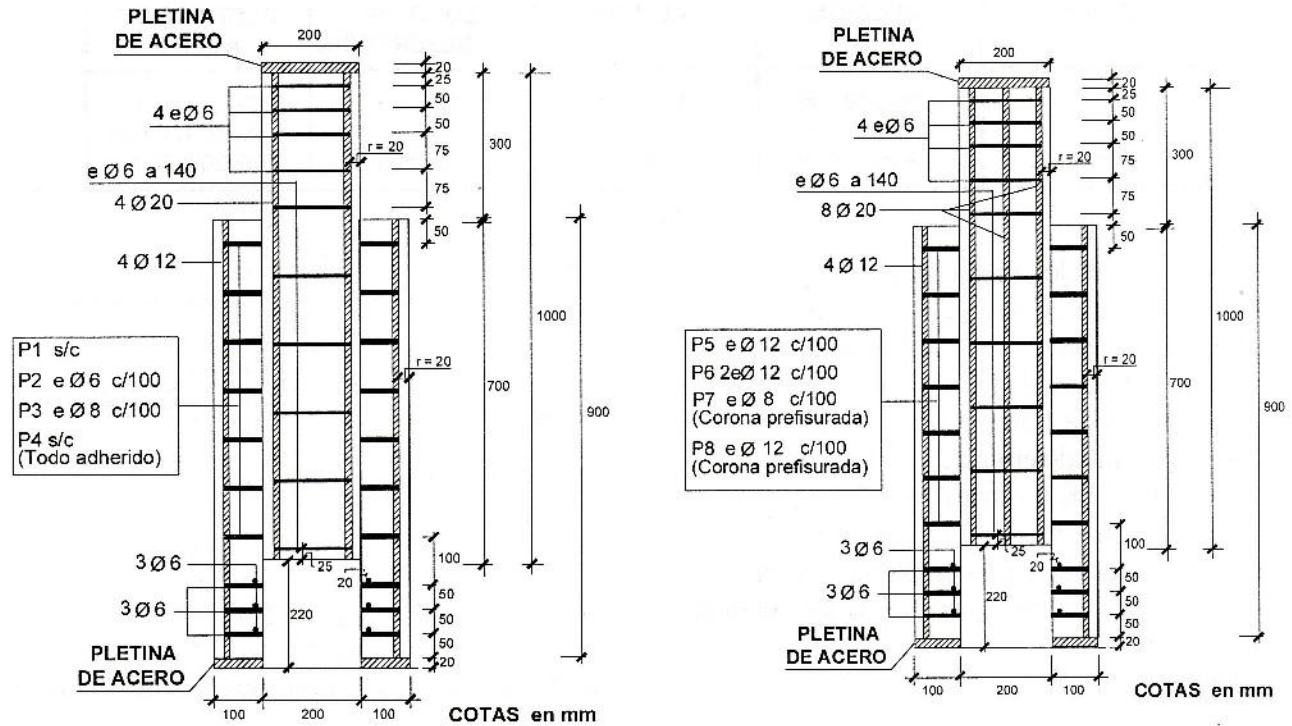


Fig. 2. Detalles de la armadura de los diferentes elementos

FASE	PILAR	ARMADURA TRANSVERSAL	OBSERVACIONES
I	P1	Sin estribos	Adherencia en esquinas Cuantía baja de estribos
	P2	$\varnothing 6$ a 100	
	P3	$\varnothing 8$ a 100	
	P4	Sin estribos	Adherencia en toda la superficie
II	P5	$\varnothing 12$ a 100	Adherencia en esquinas Cuantía alta de estribos
	P6	2 $\varnothing 12$ a 100	
III	P7	$\varnothing 8$ a 100	Adherencia en esquinas Corona de hormigón prefisurada
	P8	$\varnothing 12$ a 100	

Tabla 2. Características de los elementos estructurales ensayados.

Para la instrumentación de los elementos, se utilizaron transductores electrónicos de desplazamiento de 0,01 mm de precisión para medir los corrimientos entre el pilar y el encamisado, bandas extensométricas embebidas

en el hormigón para medir las deformaciones internas del pilar y del encamisado en sentido vertical y en sentido transversal. La disposición del instrumental en el elemento se muestra en la Figura 3.

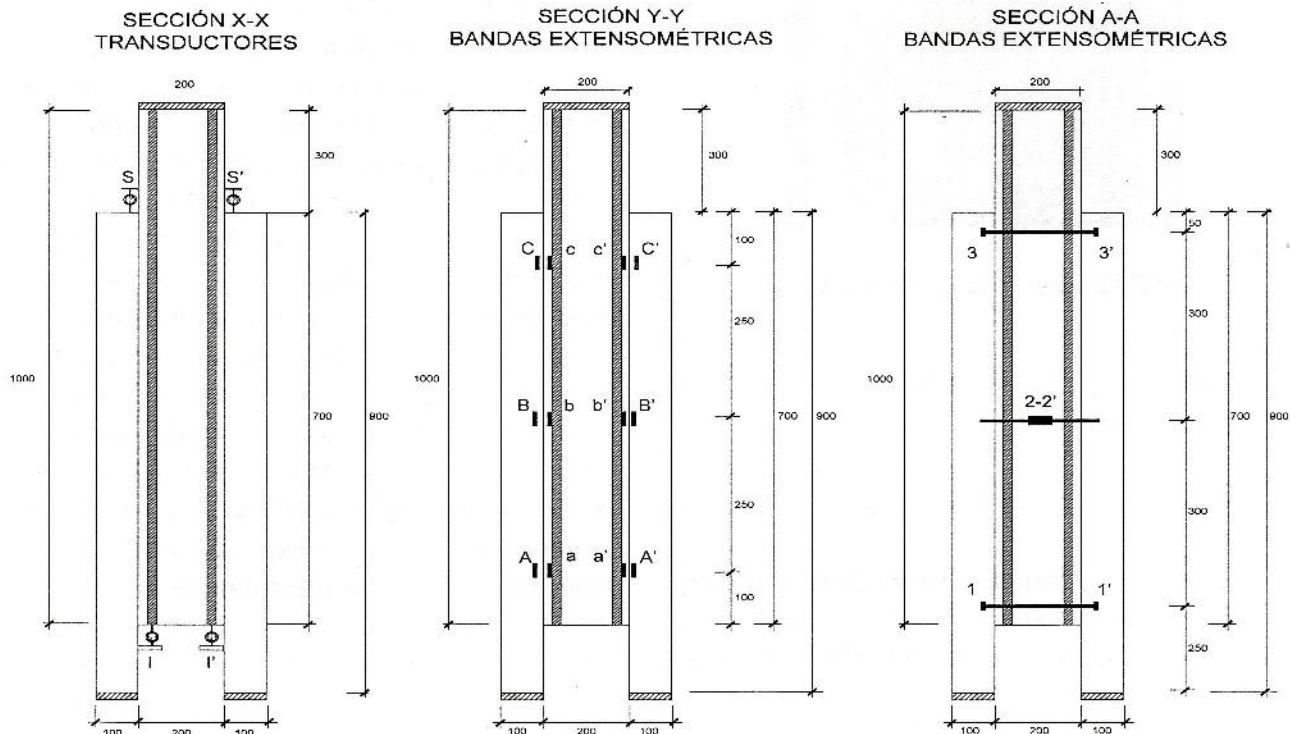


Fig. 3. Disposición de la instrumentación

Los elementos se ensayaron a más de 21 días de hormigonado el encamisado, la carga se aplicó con dos variaciones en los escalones de carga, cada escalón duró 5 minutos de los cuales: 2 minutos fueron a razón de 55,55 Kg/s hasta los 9000 Kg y 27,77 Kg/s hasta el colapso, con una espera entre escalones de 3 minutos.

En las Figuras 4a y 4b podemos observar al elemento (P1) preparado para el ensayo y luego del ensayo.

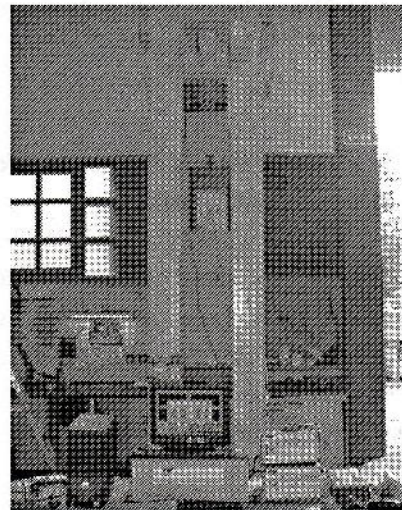


Fig. 4a Elemento preparado para el ensayo.

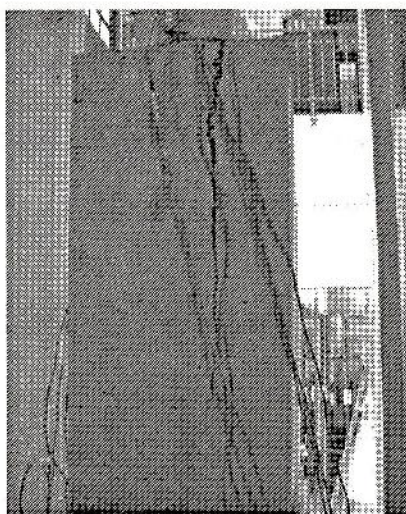


Fig. 4b. Elemento luego de ensayado

4. Resultado de las Pruebas y Comparaciones

4.1 Resultados de los Materiales

Los valores de la tensión de rotura de las probetas de hormigón fueron aproximadamente las establecidas de 15 MPa para el pilar y 35 MPa para el encamisado, con un valor medio del módulo de elasticidad de 25.000 N/mm². Los datos correspondientes a las características de las probetas de acero ensayadas, que fueron 8, obtuvieron los siguientes valores: límite elástico medio de 544 N/mm², carga de rotura media de 666 N/mm², módulo de elasticidad medio de 195 KN/mm², la calidad del acero fue B500SD.

4.2 Características de los Modos de Fallo de los Elementos Estructurales

Los elementos estructurales ensayados presentaron modos de fallo con marcadas discrepancias debidas a las diferencias en las cuantías de cercos del refuerzo, a la adherencia del perímetro y a la continuidad del encamisado.

En el caso del elemento P1 sin cercos en el encamisado, el colapso fue el más frágil de todos,

resaltando un sonido metálico a manera de campana en el momento del colapso, además se pudo observar que el encamisado tuvo una fisura por cara, siendo la abertura en la parte superior del orden de los 8 mm y en la parte inferior de 0,1 mm. En el caso del elemento P2 con estribos $\phi 6c/100$ el colapso fue menos frágil y la fisuración fue algo más distribuida. El elemento P3 con estribos $\phi 8c/100$ en el encamisado tuvo un colapso suavemente dúctil, con una distribución de fisuras en todas las caras. El elemento P4 sin cercos en el encamisado y con todo el perímetro adherido tuvo un colapso suavemente dúctil, con sólo una fisura en dos caras contiguas. El elemento P5 con $\phi 12c/100$ en el encamisado tuvo un colapso dúctil, mostrando una fisuración muy distribuida en todas las caras. El elemento P6 con estribos $2\phi 12c/100$ en el encamisado presentó un colapso muy dúctil, con una distribución de las fisuras en todas sus caras, este colapso fue repentino debido al fallo del mecanismo de las bielas de compresión, como veremos más adelante. Los elementos P7 y P8 con estribos de 8 mm y 12 mm de diámetro, respectivamente, separados 100 mm en el encamisado que tienen la corona de hormigón interrumpida, mostraron un colapso dúctil y una distribución de las fisuras en todas sus caras.

En los últimos años el modo de fallo adquirió una gran importancia, ya que la ductilidad de la estructura y el aviso de colapso son vitales en una construcción segura (Wu et al. 2003), claramente la capacidad de aviso ante el fallo aumenta al aumentar la cuantía de estribos. Una relación adecuada de capacidad de aviso, a la vista de los ensayos y medida como carga de la 1ª FISURA/carga MÁXIMA, estaría entre 0,80 y 0,75, lo cual puede conseguirse para una cuantía igual o mayor a $\phi 8 c/100$ mm.

Los valores de la fuerza máxima alcanzada por estos elementos se observan en la Tabla 3, conjuntamente con los valores de tensión rasante media bajo carga máxima.

Tabla 3. Fuerza máxima de transmisión de las pruebas de laboratorio

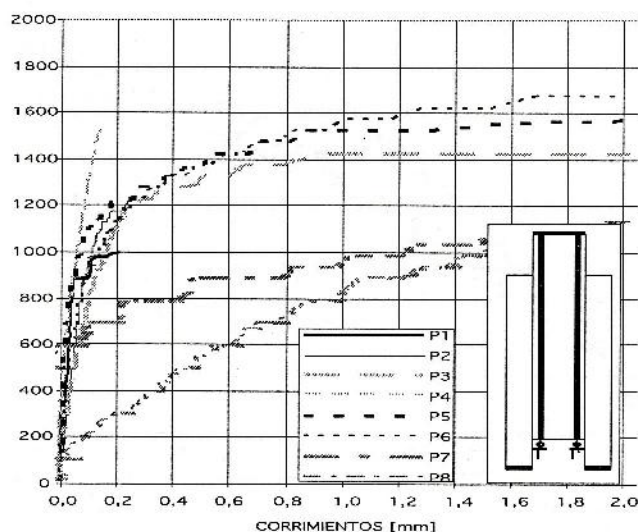
ELEMENTO	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
FUERZA [KN] TENSIÓN RASANTE MEDIA BAJO CARGA MÁXIMA [N/mm ²]	999	1225	1434	1519	1568	1813	1290	1470
	8,5	10,4	12,2	3,0	13,3	15,4	11,0	12,5

4.3 Comparaciones de los Desplazamientos

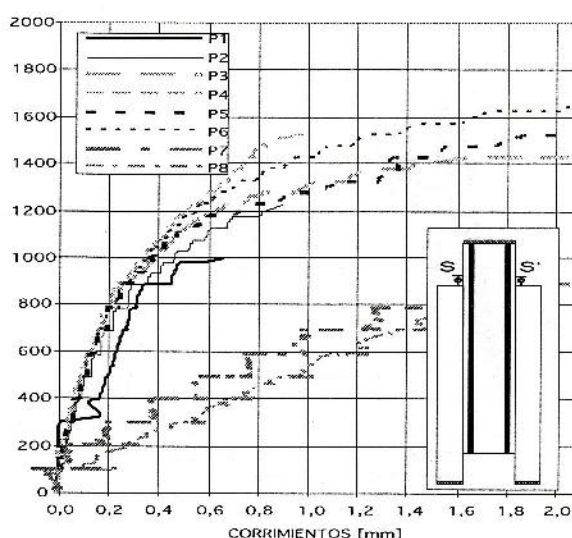
Podemos observar en la Figura 5 una comparación entre los datos obtenidos por los transductores de desplazamiento, localizados en la parte inferior I-I' y los localizados en la parte superior S-S', correspondientes a los 8 elementos.

En la Figura 5(a) observamos de igual manera la fragilidad de los elementos P1 y P4, y el poco desplazamiento hasta el colapso que tuvieron

estos, los demás elementos aumentaron su ductilidad proporcionalmente al aumento de la cuantía de estribos en el encamisado. Los elementos P1, P2 y P4 llegan a desplazamientos menores a los 0,2 mm. También se observa la mayor ductilidad de los elementos P7 y P8, en comparación con los elementos P3 y P5 de las mismas cuantías de estribos en el encamisado, respectivamente, pero sin la interrupción del hormigón del encamisado.

Fig. 5 Comparación entre los desplazamientos.


a) inferiores I-I'



(b) superiores S-S'

En la Figura 5(b) observamos la mayor fragilidad de los elementos sin estribos del encamisado. Esta rotura frágil es muy evidente en los elementos P1 y P4, observándose un aumento del desplazamiento para producir el fallo en los elementos con más cuantía de estribos. Los elementos P7 y P8 muestran una ductilidad muy grande, producida por la interrupción del encamisado en las cuatro caras.

Se puede deducir de ambas figuras que el desplazamiento medido en la parte superior, al inicio, es mayor que en la parte inferior, mostrándonos que el inicio de la penetración del pilar al encamisado se produjo por la parte superior, mediante un proceso progresivo.

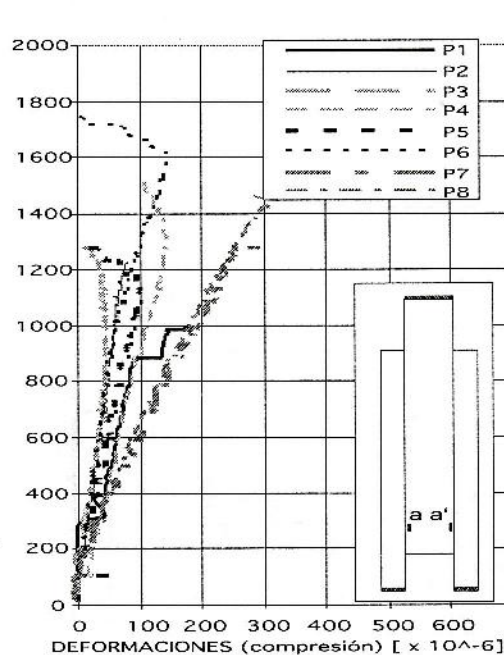
4.4 Comparaciones de las Deformaciones del Pilar

Podemos observar en la Figura 6 los datos obtenidos de las bandas extensométricas verticales

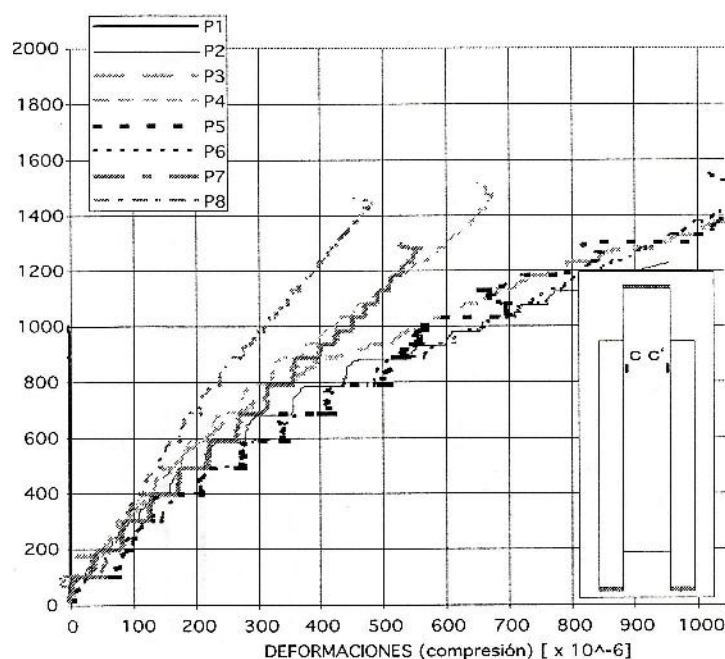
colocadas en los pilares, ubicadas en la parte inferior a-a' y las dispuestas en la parte superior c-c', correspondientes a los 8 elementos.

En la Figura 6(a) observamos que la deformación vertical en la parte inferior del pilar es mayor para el caso de los elementos sin estribos en el encamisado, es decir P1 y P4. El desarrollo de los demás elementos es similar, se puede ver que en el caso de los elementos P7 y P8 la deformación del pilar es más dúctil.

En la Figura 6(b) observamos las deformaciones en la parte superior del pilar, donde el desarrollo fue mayor en el caso de mayor cuantía de los estribos del encamisado. En el caso del elemento P4 con adherencia total, la deformación fue menor. En el caso de los elementos P7 y P8 con interrupción en el hormigón del encamisado, la deformación fue muy pequeña.



(a) inferiores a-a'



(a) inferiores a-a'

Fig. 6. Comparación entre las deformaciones del pilar.

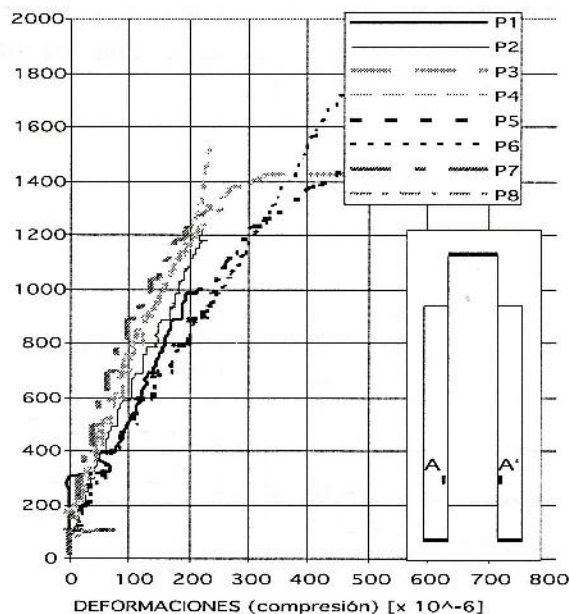
4.5 Comparaciones de las Deformaciones del Encamisado

Podemos observar en la Figura 7 una comparación entre los datos obtenidos por las bandas extensométricas verticales colocadas en los encamisados, ubicados en la parte inferior A-A' y las ubicadas en la parte superior C-C'.

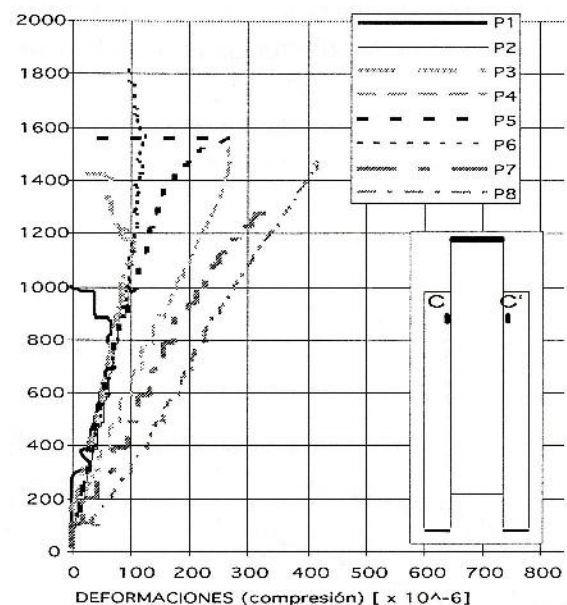
En la Figura 7(a) observamos como los valores de deformación vertical en la parte inferior del encamisado son pequeños para el caso de los elementos P1, P2 y P4, siendo para el resto de los casos P3, P5 y P6 mayores debido a la ductilidad del fallo. Las deformaciones en el caso

de los elementos P7 y P8 que tiene el encamisado interrumpido, son pequeñas, debido a que el encamisado tiene un efecto menor de compresión.

En la Figura 7(b) observamos que las deformaciones verticales en la parte superior del encamisado son similares en los elementos que sólo están adheridos por las esquinas. En el caso de P4 donde la adherencia es en todo el perímetro, la deformación es mayor. Los elementos P7 y P8 muestran una ductilidad mayor, ya que al estar interrumpido el hormigón de los encamisados, los estribos pueden estar en carga en toda la longitud.



(a) inferiores A-A'



(b) superiores C-C'

Fig. 7. Comparación entre las deformaciones del encamisado.

4.6 Comparaciones de las deformaciones en los estribos del encamisado

Podemos observar en la Figura 8 una comparación entre los datos obtenidos por las bandas

extensométricas horizontales colocadas en los estribos del encamisado, ubicados en la parte inferior 1-1' y las ubicadas en la parte superior 3-3', correspondientes a los elementos P2, P3, P5, P6, P7 y P8.

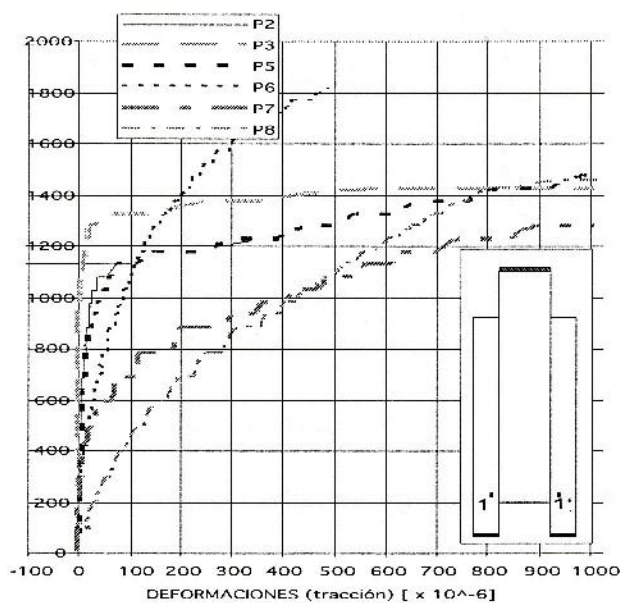
En la Figura 8(a) observamos que la deformación para un mismo nivel de carga de los estribos en la parte inferior del encamisado es muy pequeña, en el caso de P2, P3 y P5 desarrollan una deformación mayor, y en el caso de P6 no se logra desarrollar la capacidad de los estribos. Los elementos P7 y P8 muestran una ductilidad mayor, ya que no tiene continuidad el hormigón del encamisado.

En la parte media, donde P2 sufre una deformación muy pequeña, P3 y P5 logran desarrollar sus capacidades, mientras que P6 falla antes de que se desarrolle la capacidad total del estribo, P7 y P8 muestran una ductilidad mayor.

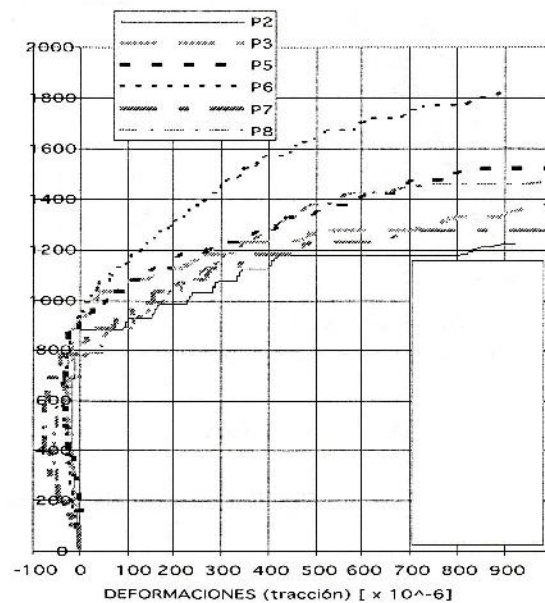
En la Figura 8(b) observamos el desarrollo de los estribos en la parte superior, donde podemos ver una compresión hasta los 900 KN coincidente con la rotura de la adherencia en los elementos P2, P3, P5, P6, P7 y P8. El desarrollo de sus deformaciones es directamente proporcional a la cuantía de estribos del encamisado.

Las deformaciones en los estribos de la parte inferior son menores que los de la parte superior. El fallo frágil del elemento P2 muestra que no se desarrollan las capacidades de sus estribos, mientras en los elementos P3 y P5, sí se observa un trabajo hasta el límite elástico de los estribos, en el caso del elemento P6 no se pudo desarrollar las capacidades totales de los mismos debido a un colapso por compresión de las bielas de hormigón. Los elementos P7 y P8 muestran mayor ductilidad ya que el hormigón del encamisado está interrumpido.

Claramente el comportamiento de los refuerzos, salvo en los casos de camisa interrumpida, donde se detecta tensiones mayores en los estribos de la parte superior, mostrando que la ley de tensiones tangenciales en la superficie de contacto debe ser decreciente, desde un máximo muy cercano a la parte superior hasta anularse, una vez rota la adherencia en la interfase.



(a) inferiores 1-1'



(b) superiores 3-3'

Fig. 8. Comparación de las deformaciones de los estribos del encamisado.

5. Análisis de la transferencia

5.1 Análisis de la deformación de los Estribos del Encamisado.

Cuando se produce un desplazamiento en la superficie, ésta intenta cabalgar sobre la otra produciéndose una separación entre ambas, como muestra la Figura 9.



Fig. 9. Relación separación w y desplazamiento s .

1° Caso.

El acero llega a su límite elástico

$$\frac{2 \cdot w}{l} \geq \frac{f_y}{E_s} \quad (1)$$

2° Caso.

El acero no llega a su límite elástico

$$\frac{2 \cdot w}{l} < \frac{f_y}{E_s} \quad (2)$$

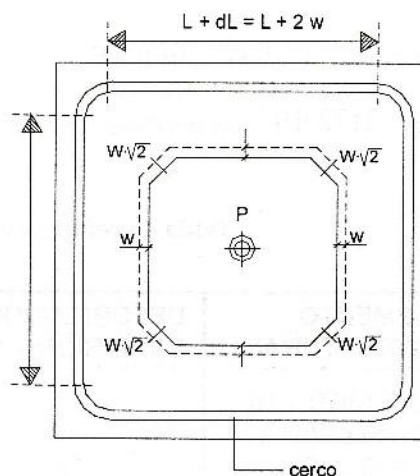
donde w = longitud de deformación a cada lado de una rama del estribo del encamisado [mm]; l = longitud de una de las ramas de los estribos [mm]; f_y = tensión en el límite elástico del acero de los estribos [N/mm²]; E_s = módulo de elasticidad del acero de los estribos [N/mm²]. Si despejamos el valor de w en (1) tenemos:

$$w \geq \frac{f_y \cdot l}{2 \cdot E_s} \quad (3)$$

$$\text{En nuestro caso } w \geq \frac{544 \cdot 360}{2 \cdot 19500}$$

operando $w \geq 0,50 \text{ mm}$.

Se puede asumir que la deformación a la que está sometido el estribo después de un desplazamiento s entre el pilar y el encamisado es de $2 \cdot w$, con lo cual se observan dos casos en los cuales el acero de los estribos del encamisado está trabajando.



Como ya dijimos el valor de deformación de los estribos es $2 \cdot w$, es decir, la deformación para que el acero del estribo alcance su límite elástico debe ser mayor a 1 mm, entonces la deformación unitaria es,

$$\epsilon_{sy} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{1}{360}$$

$$\text{es decir } \epsilon_{sy} \geq 2777 \cdot 10^{-6}$$

Tenemos que considerar que la deformación necesaria dentro del hormigón para lograr la fluencia del acero será menor, debido al efecto de la tenso-rigidez. Para nuestro caso utilizaremos las fórmulas propuestas en el Código modelo (CEB-FIB 1990).

$$\epsilon_{s,m} = \epsilon_{s2} - \beta_1 (\epsilon_{sr2} - \epsilon_{sr1}) \quad (4)$$

donde $\epsilon_{s,m}$ = deformación media del acero en el hormigón; ϵ_{s2} = deformación del acero en la fisura, es decir, sin restricciones = ϵ_{sy} ; β_1 = coeficiente que varía según la duración de las cargas = 0,4 (cargas de larga duración); ϵ_{s2} =

deformación del acero cuando se alcanza la

fisuración del hormigón; $\epsilon_{sr2} = \frac{\epsilon_{sm}}{1,3}$

ϵ_{sr1} = deformación del acero cuando no se produce la fisuración del hormigón

$\epsilon_{cr} = 0,00015$.

Reemplazando y despejando $\epsilon_{s,m}$ tenemos

que $\epsilon_{s,m} = 2172 \cdot 10^{-6}$. Es necesario por lo menos

una deformación del acero de los estribos mayor a $\epsilon_{s,m}$, para que el acero de los estribos llegue a su límite elástico. Esta deformación aproximadamente es la reflejada por las bandas extensométricas colocadas sobre los estribos; debe advertirse que estos valores deben ser tomados con mucho criterio debido a las variaciones que la fisuración produce en los mismos.

Tabla 4. Deformación máxima de los estribos en el colapso.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	DEFORMACIÓN 1-1' INFERIOR x 10-6	DEFORMACIÓN 2-2' MEDIA x 10-6	DEFORMACIÓN 3-3'
SUPERIOR x 10-6			
P2 eØ6 c/100	100	332	922
P3 eØ8 c/100	1980	3590	2250
P5 eØ12 c/100	2270	2400	1521
P6 2eØ12 c/100	493	1230	905
P7 eØ8 c/100 (*)	2330	2320	2020
P8 eØ12 c/100 (*)	2200	2320	2040

(*) Elementos con el hormigón del encamisado interrumpido

En la Tabla 4 se recogen los valores de deformación máxima en los estribos en el momento de fallo. En este momento, y al producirse un fallo progresivo, ya se detecta la transferencia de tensiones de rasante máximas a la parte más inferior del encamisado. Podemos observar como sólo los elementos P3 y P5 en algunos lugares, llegan a superar la deformación en el límite elástico de los aceros, en el caso de P7 y P8 donde el hormigón del encamisado está interrumpido, la deformación de los aceros aumenta, ya que no está presente el efecto de la tenso-rigidez. Para la formulación nominal, una limitación de su resistencia a $f_y = 420$ MPa según Alan Mattock en la norma (ACI.318 2005) como valor máximo, es necesaria y justificada. La deformación unitaria necesaria para esta tensión

es $\epsilon_{sy} = \frac{420}{195000} = 2154 \cdot 10^{-6}$ y reemplazando

en la ecuación (4) tenemos:

$$\epsilon_{s,m} = 1693 \cdot 10^{-6}$$

En el caso del elemento P6 los estribos del encamisado no pudieron desarrollar su resistencia debido al fallo prematuro del hormigón del pilar por biela comprimida.

5.2 Análisis del desplazamiento del pilar dentro del encamisado.

En la Figura 10 podemos observar, un gráfico del corrimiento vertical superior Vs. la deformación del estribo superior del encamisado, en el cual se ve un aumento de la pendiente en proporción al aumento de diámetro del estribo, mostrándonos que para una igual deformación del estribo es necesario un mayor corrimiento al aumentar su

diámetro, esto para los elementos P2, P3, P5 y P6, con un principio de deformación para corrimientos de 0,2 mm. Los elementos P7 y P8 con interrupción en el hormigón del encamisado,

presentan una mayor pendiente que los pilares de igual cuantía con el encamisado intacto, y muestran un principio de deformación para corrimientos del orden de 1,5 mm.

Comparación corrimiento Vertical Superior Vs Deformacion del Estribo Superior del Encamisado

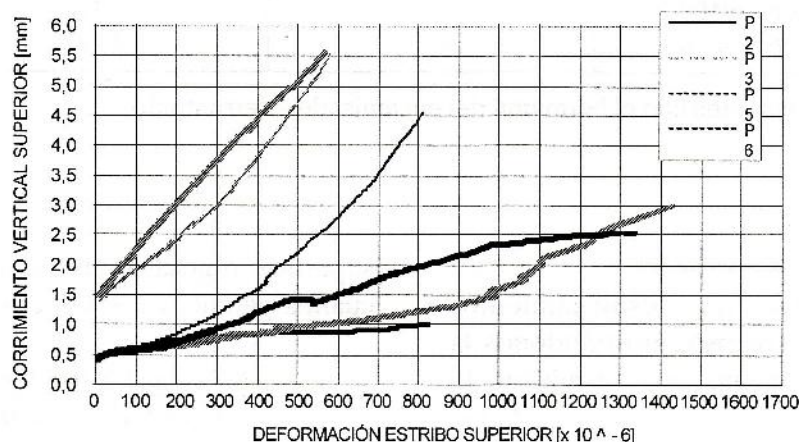


Fig. 10. Corrimiento vertical superior Vs. deformación del estribo superior

Según la (FIP 1992) una relación experimental aceptable para w y s , para superficies rugosas es la siguiente:

$$w = 0,6 \cdot s^{\frac{2}{3}} \quad (5)$$

Donde:

w = separación entre superficies [mm];

s = desplazamiento relativo [mm].

Reemplazando (5) en (1) y despejando s podemos determinar el valor del desplazamiento mínimo entre superficies, para hacer que el acero de los estribos trabaje con la tensión en el límite elástico.

$$s \geq \left(\frac{f_y \cdot l}{1,2 \cdot E_s} \right)^{\frac{3}{2}} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

Con los mismos significados explicados anteriormente. En nuestro caso y según los datos de las probetas de acero, tenemos

$$\text{que } s \geq \left(\frac{544 \cdot 360}{1,2 \cdot 195000} \right)^{\frac{3}{2}} \text{ es decir}$$

$$s \geq 0,76 \text{ mm}$$

Podemos observar que el valor de 0,76 mm es relativamente más pequeño que los valores experimentales encontrados, esto debido a que la fórmula es totalmente teórica y no contempla la totalidad de los parámetros que influyen en los ensayos, además la (FIP 1992) plantea como máximo desplazamiento los 2,5 mm en superficies rugosas.

Tabla 5. Desplazamiento máximo de los elementos durante el colapso.

ELEMENTO ESTRUCTURAL	DESPLAZAMIENTO INFERIOR I-I' [mm]	DESPLAZAMIENTO SUPERIOR S-S' [mm]
P1 s/c	0,21	0,66
P2 eø6 c/100	0,26	0,90
P3 eø8 c/100	1,02	1,95
P4 s/c T/A	0,15	0,98
P5 eø12 c/100	1,32	2,67
P6 2eø12 c/100	3,05	5,00
P7 eø8 c/100 (*)	6,62	9,17
P8 eø12 c/100 (*)	8,44	9,78

(*) Elementos con el hormigón del encamisado interrumpido

En la Tabla 5 los elementos P1 y P4, que no tienen estribos, muestran desplazamientos pequeños hasta su colapso, mostrándonos la fragilidad del mecanismo de transmisión. El elemento P2, con una cuantía muy baja de estribos, tiene un comportamiento muy frágil, semejante al de los refuerzos sin estribos. A partir de los refuerzos armados con ø8 c/100 el colapso es más dúctil. Además a mayor cuantía de estribos aumenta el corrimiento último. Los pilares prefisurados tiene un corrimiento último mucho mayor. **Como ya hemos visto, el corrimiento último por sí solo no garantiza que los estribos alcancen el límite elástico y debe limitarse la tensión máxima de trabajo de estos.**

Según los datos de desplazamientos determinados en ensayos nuestros y de otros investigadores, la utilización de un método de diseño basado en el mecanismo de corte-fricción está justificada, siempre con las correcciones debidas a la consideración de la tensión del acero.

5.3 Análisis de la influencia de la cuantía de los estribos del encamisado en la carga de colapso de los elementos estructurales

En este análisis utilizaremos la cuantía de los estribos del encamisado en función al área de la

superficie rugosa de una esquina del pilar. La cuantía geométrica rasante, se representa por:

$$\rho = \frac{\text{Área de acero de los estribos}}{\text{Área de rasante del pilar (una esquina)}} \quad (7)$$

En este caso el área de rasante del encamisado es el ancho de la superficie rugosa de las esquinas por la distancia entre estribos del encamisado, es decir 42 mm x 100 mm.

La cuantía mecánica rasante, tomando los valores correspondientes a cada caso es:

$$w = \rho \frac{f_y}{f_{c,pilar}} \quad (8)$$

Determinando los valores de las cuantías y comparándolos con las tensiones máximas obtenidas¹ para el caso de los elementos P1, P2, P3, P5, P6, P7 y P8, que son aquellos que transmiten el esfuerzo rasante por las esquinas del encamisado, y comparando con las tensiones rasantes obtenidas en laboratorio, tenemos la Figura 11.

¹ Suponiendo distribución triangular de tensiones, con máximos en la parte superior del encamisado. Los valores son el doble de los expuestos en la Tabla 3.

La capacidad del encamisado como anillo de hormigón armado para comprimir la superficie de transferencia, depende de la capacidad mecánica del acero y de la capacidad mecánica del hormigón en tracción. Si esta última es superior a la anterior, la compresión total se obtiene por contribución de ambos, pero si la capacidad mecánica del acero es superior a la del hormigón, en rotura, sólo ésta se deberá considerar.

El punto límite se determina como:

$$U_s > U_c \quad (9)$$

$$\text{área de acero} \cdot f_y > \text{área de hormigón del encamisado} \cdot f_{ct}$$

$$= \frac{\pi \cdot d^2}{4} f_y > e \cdot h \cdot f_{ct}$$

donde

d = diámetro del estribo [mm];

f_y = límite elástico del acero, en nuestro caso 420 N/mm², por aplicación de la limitación;

e = espesor del encamisado, en nuestro caso 100 mm;

h = altura o separación entre estribos del encamisado, en nuestro caso 100 mm;

f_{ct} = resistencia a tracción del hormigón del encamisado, en nuestro caso 0,137,3 N/mm².

Reemplazando con los valores medios de nuestros elementos y despejando d , tenemos que

$$d > \sqrt{\frac{4 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 0,137,3}{\pi \cdot 420}}$$

es decir $d > 10,6 \text{ mm}$

En el caso de encamisados con características similares a los nuestros, el aporte de la resistencia del hormigón del encamisado desaparece para diámetros mayores a 10,6 mm, es decir, a partir de diámetros de 10 mm. Este es el cambio de tendencia que se aprecia en la Figura 11.

Este punto de cambio de tendencia en nuestro caso, prácticamente coincide con el límite de rotura de las llaves de corte, en la cual los modelos dejan de considerar su contribución en el cálculo a corte-fricción. Este límite en términos de tensión tangencial, se corresponde con 13 f_{ct} , siendo f_{ct} la resistencia a tracción del hormigón más débil.

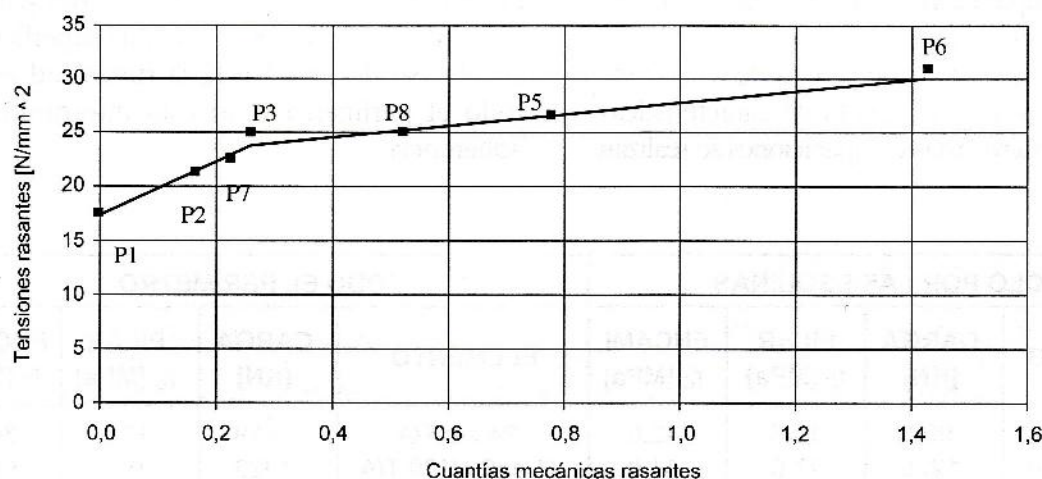


Fig. 11. Tensiones rasantes Vs. Cuantías mecánicas rasantes de los estribos

5.4 Análisis de la transmisión de esfuerzo rasante por las esquinas de los elementos estructurales

La transmisión de los esfuerzos de compresión, que producen los estribos del encamisado al pilar no es constante ni lineal, responde a una ley

parabólica, pudiendo transmitir este efecto sólo por las esquinas o por las esquinas y las caras paralelas del pilar. Esta transmisión es función de la distancia entre la esquina interna de los estribos del encamisado y las paredes del pilar, como se observa en la Figura 12.

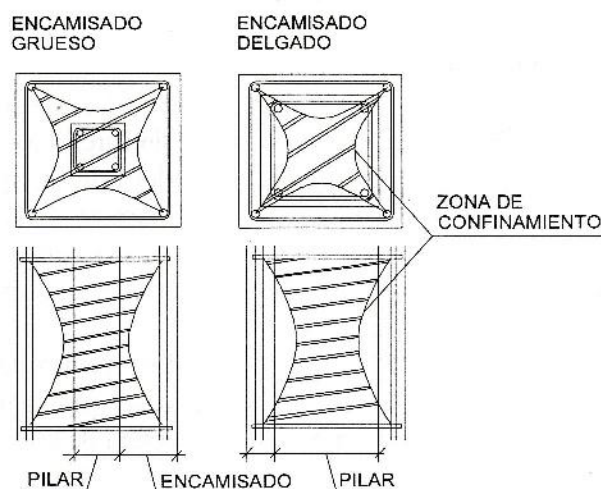


Fig. 12. Transmisión de los esfuerzos transversal del encamisado al pilar (Ong et al. 2004).

Para determinar el porcentaje de la transmisión de esfuerzo rasante transmitido por las esquinas, compararemos nuestros elementos P1 y P4. Además, compararemos nuestros elementos P2 y P3 con los elementos I1 e I2 respectivamente, estos últimos obtenidos de la tesis de (Navarrete 2002) que ensayó un modelo de características similares (Tabla 6). Estas comparaciones se realizan

en elementos de iguales características geométricas, igual longitud de transferencia, igual armadura, similar resistencia de los materiales, con la salvedad de que P1, P2 y P3 tienen las paredes paralelas del pilar sin adherencia y con una superficie lisa, en el caso de P4, I1 e I2 la rugosidad está en todo el perímetro y no está interrumpida la adherencia.

SOLO POR LAS ESQUINAS				TODO EL PERÍMETRO			
ELEMENTO	CARGA [KN]	PILAR f_c [MPa]	ENCAMI. f_c [MPa]	ELEMENTO	CARGA [KN]	PILAR f_c [MPa]	ENCAMI. f_c [MPa]
P1 s/c	999	19,6	42,0	P4 s/c T/A	1519	17,8	34,6
P2 eø6 c/100	1225	17,0	41,0	I1 eø6 c/100 T/A	1920	9,4	50,2
P3 eø8 c/100	1432	19,2	33,9	I2 eø8 c/100 T/A	1980	11,8	47,2

Tabla 6. Características de los elementos a comparar

Para determinar el porcentaje de carga que se transmite por las esquinas, dividiremos las cargas de los elementos que transmitieron el esfuerzo sólo por las esquinas, entre los elementos similares que transmitieron el esfuerzo rasante por todo el perímetro.

Podemos considerar, como un valor algo conservador, que un 60% de la transmisión de esfuerzos rasantes se realiza por las esquinas, en elementos estructurales similares, este valor está acorde con otras investigaciones como las de (Ersoy et al. 1993).

Comparación de las propiedades Físico- Mecánicas de Morteros normalizados utilizando las normas ASTM C-109 y la ISO-679

Ing. Nicanor Polo Cruz
Ing. Verónica Gallardo Tapia
Ing. Adolfo Castro Vega

Resumen

Por el presente trabajo se obtuvo una ecuación matemática para relacionar las resistencias a compresión del cemento, obtenidas con el uso de la Norma ASTM C-109 y con la Norma ISO-679. Para el estudio se trabajó con cementos producidos en nuestro país y dos bancos de arena: para la Norma ASTM, con la proveniente de Ottawa; mientras que para la ISO se utilizó un yacimiento nacional.

1. Introducción

La norma Boliviana NB-470 (*Determinación de la resistencia a compresión del cemento*), es un método de ensayo que se efectúa con probetas cúbicas preparadas con mortero de cemento y arena silícea; dicha norma tiene su fundamento en la norma norteamericana ASTM C-109. Sobre esta norma es que rigen las especificaciones de resistencia mecánica que deben cumplir los cementos producidos en nuestro país.

La norma Boliviana NB-644 (*Método alternativo para la determinación de las resistencias*), es un método de ensayo que se efectúa con probetas prismáticas con dimensiones de 40x40x160 (mm.), preparadas con mortero de cemento y arena silícea; dicha norma tiene su fundamento en la norma internacional ISO-679.

Los métodos mencionados, obviamente, arrojan diferentes resultados. Lo que se pretende es comparar las resistencias por ambos métodos para ver la factibilidad de realizar un cambio en la Norma Boliviana NB011 (Requisitos y Especificaciones), que actualmente toma como método de referencia para el cumplimiento de las especificaciones, el descrito en la NB 470.

2. Objetivo General

El objetivo del presente proyecto es hacer una comparación cuantitativa de valores de resistencia a compresión del mortero de cemento, arena silícea y agua, utilizando las normas ASTM C-109 y la ISO-679.

3. Objetivos Específicos

1. Determinar el contenido de dióxido de silicio de las dos arenas en estudio mediante un análisis químico.
2. Establecer una composición granulométrica, según la especificación de cada norma.
3. Determinar la resistencia a compresión de probetas cúbicas de 5.08 x 5.08 x 5.08 cm. (2 pulg.), elaborados con 10 diferentes tipos y/o marcas de cemento, mezcladas con una arena normalizada proveniente de Ottawa (Norma ASTM C-778).
4. Determinar la resistencia a flexión de probetas Prismáticas de 4 x 4 x 16 cm, elaborados con 10 diferentes tipos y/o marcas de cemento, combinados con una arena proveniente de un yacimiento boliviano.
5. Determinar la resistencia a compresión de probetas prismáticas de 4 x 4 x 16 cm,

elaborados con 10 diferentes tipos y/o marcas de cemento, combinados con una arena nacional.

6. Realizar un análisis de regresión para obtener la función matemática que relacione las resistencias a compresión obtenidas por ambos métodos.
7. Realizar un análisis comparativo de costos en cuanto a probetas cúbicas y prismáticas.

4. Justificación

El Comité Técnico de Normalización CTN 12.1: Cementos de IBNORCA, es el encargado de redactar la Norma Boliviana para este material. El Instituto de Ensayo de Materiales forma parte de dicho comité a través de sus docentes del Área de Materiales. En dicho comité se presentó la sugerencia de cambiar el Método de Referencia para el cumplimiento de las especificaciones, que actualmente es el de la NB 470, por el Método alternativo. El estudio pretende comparar los resultados arrojados por ambas normas para analizar la factibilidad de realizar el cambio propuesto.

5. Alcance y Limitaciones

La investigación se limita principalmente a la comparación de los valores de resistencia a compresión de probetas cúbicas (norma ASTM C-109), y resistencias a compresión de probetas prismáticas (norma ISO-679). No obstante el proyecto planteado no pretende estudiar todas las características y propiedades de los materiales componentes del mortero.

El estudio abarcará los siguientes materiales:

- Arena del Chapare (Rio Mariposas), como banco principal de los yacimientos bolivianos.
- Arena Normalizada según la ASTM proveniente de Ottawa (Illinois).
- 10 cementos nacionales

6. Marco Teórico

Cada país tiene una manera de realizar el control de calidad de sus cementos, es decir que existen diferentes métodos de ensayo y por supuesto, diferentes arenas. La arena tiene diferentes características dependiendo de su origen, pero en común, el grano tiene que ser redondeado. La forma de compactación en algunos casos es manual como en la ASTM; mientras que en otros, es mecanizado, como en la ISO.

6.1 La Norma ASTM C-109

Según la norma ASTM C-109 para la composición del mortero en peso, se fija una relación de 1 parte de cemento por 2.75 partes de arena gradada seca y para determinar la cantidad de agua a utilizar, se debe realizar el ensayo de fluidez que debe ser igual a $F=110\pm 5\%$.

Para esta norma se utiliza la arena normalizada proveniente de Ottawa del Estado de Illinois - USA, que actualmente el Instituto de Ensayo de Materiales utiliza para realizar el control de calidad de los cementos producidos en Bolivia.

Según la norma ASTM C-778 los tamices utilizados para separar la arena en diferentes tamaños, deben tener las siguientes aberturas:

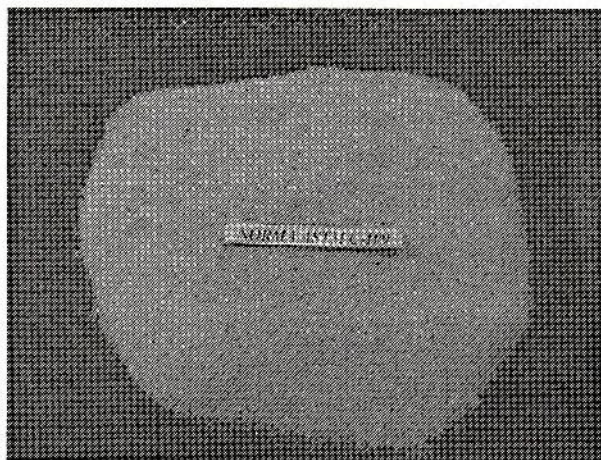
TABLA 1: Aberturas especificadas por la norma ASTM C-778

Abertura en mm	1,180	0,600	0,425	0,300	0,150
-------------------	-------	-------	-------	-------	-------

El mezclado se realiza mecánicamente y la compactación, con ayuda de un pisón de caucho (manualmente).

Las probetas se almacenan dentro los moldes durante 20 horas y luego se sumergen en agua saturada con cal hasta la fecha de rotura.

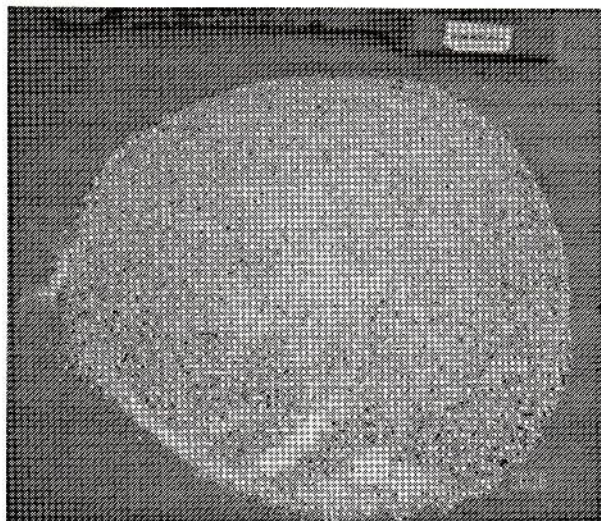
Arena para la Norma ASTM C109



Arena del Río Mariposas

Peso específico sss	2.609
Peso específico seco	2.585
Absorción	0.940 %

Arena para la Norma ISO-679



Las principales características físicas del cemento que se estudiarán en el presente proyecto son la densidad del cemento y la superficie específica. En las tablas se muestran los valores para los 10 tipos de cementos con que se trabajó.

Densidades del cemento

Marca de Cemento	Tipo	Densidad Promedio en (gr/cm ³)
VIACHA	IP - 30	2,88
VIACHA	IP - 40	3,00
COBOCE	IP - 30	2,91
COBOCE	IP - 40	3,06
EMISA	IP - 30	2,86
EMISA	IP - 40	2,96
FANCESA	IP - 30	2,99
ITACAMBA	IF - 30	3,08
WARNES	IP - 40	3,03
EL PUENTE	IF - 30	3,09

Superficie específica del cemento

Marca de Cemento	Tipo	Fineza de cementos S=cm ² /gr.
VIACHA	IP - 30	3735
VIACHA	IP - 40	4159
COBOCE	IP - 30	3825
COBOCE	IP - 40	4144
EMISA	IP - 30	4491
EMISA	IP - 40	4786
FANCESA	IP - 30	3614
ITACAMBA	IF - 30	4290
WARNES	IP - 40	3968
EL PUENTE	IF - 30	3435

9. Dosificaciones

NORMA ASTM C-109

Cantidades para 6 probetas cúbicas

Cemento	500 gr.
Arena	1375 gr.
Agua	Ensayo de fluidez (F=110+/-5%)
Agua/Cemento	a/c = Variable
Cemento/Arena	1/2.75

NORMA ISO-109

Cantidades para 6 probetas prismáticas

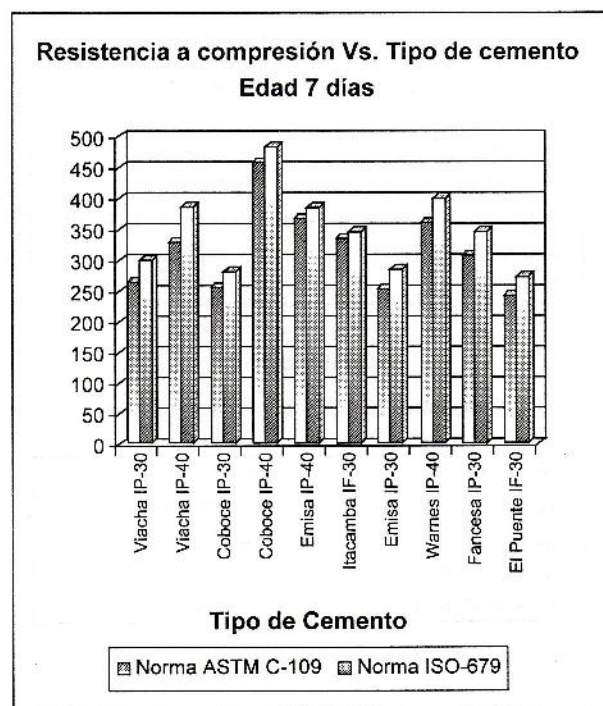
Cemento	(900+/-2) gr.
Arena	(2700+/-5) gr.
Agua	(450+/-1) ml.
Agua/Cemento	0.5
Cemento/Arena	1/3

10. Análisis de Resultados

En cuanto a los resultados obtenidos se debe resaltar que solamente se realizarán las comparaciones de las resistencias a compresión de ambas normas y el resultado obtenido del ensayo a flexión de la norma ISO-679, solamente nos servirá como dato y no se realizará ningún análisis estadístico.

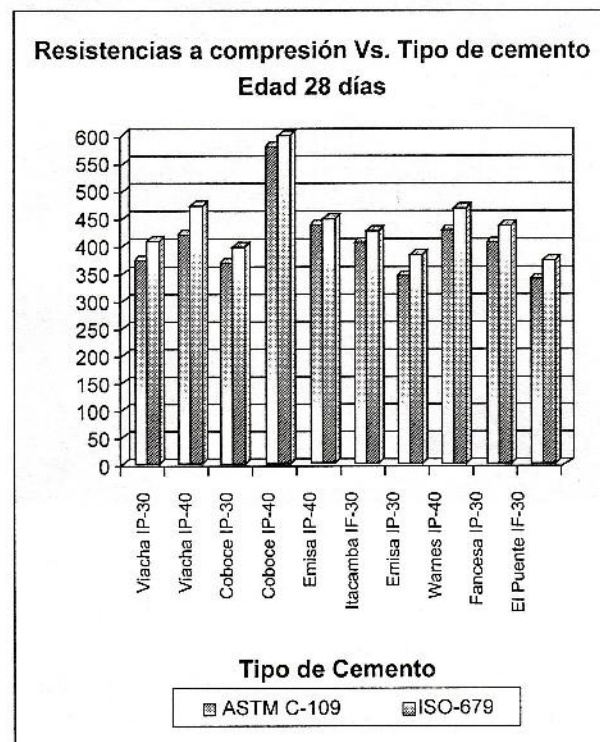
10.1. Comparación de resistencias obtenidas con ambas normas

Edad de 7 días		
Tipo de Cemento	ASTM C-109	ISO-679
	kgf/cm ²	kgf/cm ²
VIACHA IP - 30	264	299
VIACHA IP - 40	331	386
COBOCE IP - 30	253	282
COBOCE IP - 40	466	486
EMISA IP - 40	369	385
ITACAMBA IF - 30	336	346
EMISA IP - 30	252	286
WARNES IP - 40	359	402
FANCESA IP - 30	309	347
EL PUENTE IF - 30	261	271



Los resultados obtenidos a compresión con la norma ISO-679, a edad de los 7 días han alcanzado su resistencia establecida por norma, como se puede apreciar en el cuadro de comparaciones, mientras que para la edad de los 28 días las resistencias son mucho mayores a los señalados en la bolsa de cemento.

Edad de 28 días		
Tipo de Cemento	ASTM C-109	ISO-679
	kgf/cm ²	kgf/cm ²
VIACHA IP - 30	371	408
VIACHA IP - 40	421	470
COBOCE IP - 30	367	397
COBOCE IP - 40	575	600
EMISA IP - 40	440	448
ITACAMBA IF - 30	405	425
EMISA IP - 30	344	383
WARNES IP - 40	427	467
FANCESA IP - 30	405	435
EL PUENTE IF - 30	363	372



10.2 Análisis de Regresión y Correlación

Se cuenta con 20 pares de datos (edades de 7 y 28 días para los 10 tipos de cemento) y con ellos se realizó el ANALISIS DE REGRESION Y CORRELACION. Se estableció una relación matemática entre las resistencias medias obtenidas con la arena del río Mariposas con respecto a las obtenidas con arena Ottawa.

Resistencia Medias Obtenidas

Tipo de Cemento	ASTM C-109	ISO-679
	kgf/cm ²	kgf/cm ²
EL PUENTE IF-30	261	241
COBOCE IP-30	253	253
EMISA IP-30	252	252
VIACHA IP-30	264	264
ITACAMBA IF-30	336	340
FANCESA IP-30	309	333
EL PUENTE IF-30	363	342
EMISA IP-30	344	344
EMISA IP-40	369	367
VIACHA IP-40	331	341
COBOCE IP-30	367	367
WARNES IP-40	359	359
VIACHA IP-30	371	371
ITACAMBA IF-30	405	403
FANCESA IP-30	405	434
EMISA IP-40	440	443
WARNES IP-40	427	427
VIACHA IP-40	421	419
COBOCE IP-40	466	461
COBOCE IP-40	575	581

11. Conclusiones

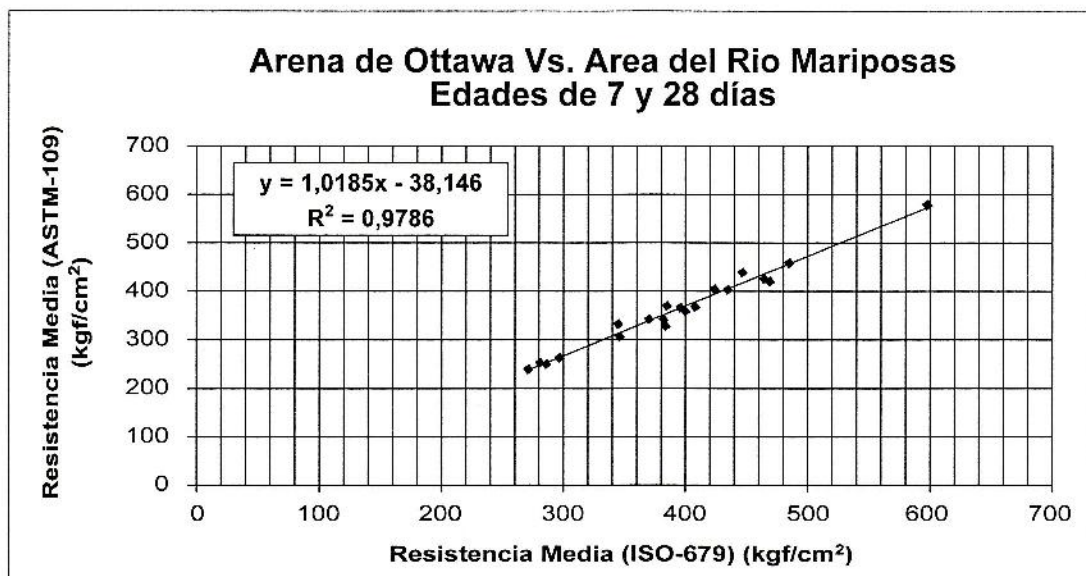
- Los valores de resistencias a compresión obtenidos con la norma internacional ISO-679, en todos los casos, son mayores con respecto a los alcanzados con la norma norteamericana ASTM C-109.
- Se puede evidenciar que existe una relación de tipo lineal entre los valores obtenidos con la ISO-679 y la ASTM C-109, de tal manera que es posible transformar las resistencias a compresión de una Norma a otra, utilizando la ecuación encontrada.

$$R_{Ott} = 1.02 R_{Mar} - 38.15$$

Donde:

R_{Ott} y R_{Mar} son las resistencias con las arenas de Ottawa y Mariposas respectivamente.

- Si se cambiara el método de ensayo de referencia de la Normativa Nacional, se tendría que modificar las categorías resistentes, pues como se vio, las resistencias alcanzadas por los cementos tal cual se producen actualmente, se incrementarían al utilizar el método de la Norma ISO-679.



11. Recomendaciones

- La arena utilizada por la norma ISO-679 es apta para realizar los ensayos de control de calidad de los cementos en nuestro país. Para su utilización se debe tomar en cuenta lo siguiente:
 - a) Debe ser lavada con sumo cuidado de tal manera de eliminar todas las impurezas que contiene.
 - b) Debe ser bien secada.
 - c) Debe ser separada por tamaños de acuerdo a la serie de tamices que especifica la

norma, y luego recomponerla para que se halle comprendida dentro de los dos límites especificados.

- En cuanto al método de ensayo se recomienda algunos cuidados especiales:
 - a) Controlar la temperatura y humedad relativa del ambiente de tal manera que no exista mucha variación entre vaciada y vaciada.
 - b) Controlar con sumo cuidado el curado de las probetas, principalmente la temperatura del agua, ya que está influye en las resistencias de las probetas.



CONSA S.R.L.

Consultores Asociados

35 años trabajando por la integración del País

www.consabolivia.com

Calle Capitán Ravelo, Pasaje Isaac Eduardo N° 2654
Teléfonos: 2441084 - 2441284 - 2442387
Fax: 2441486 - Casilla: 5164
consa@entein.net.bo
La Paz - Bolivia



OBRA DE REGULACIÓN
LAGOITICA - DESAGÜERO

MANTENIMIENTO INTEGRAL
SANTA CRUZ

MEJORAMIENTO
OTIKONGO - CERRO PUCARA TELEDETECCION

PAVIMENTACIÓN
TRAMO ANCARA - HUACHACALLA

PLANIFICACIÓN - DISEÑO - SUPERVISIÓN - AUDITORÍA

- Ingeniería vial y de transportes
- Ingeniería estructural
- Geología y geotecnia
- Ingeniería de recursos hídricos
- Ingeniería sanitaria
- Ingeniería ambiental
- Ingeniería agrícola y forestal



- Ingeniería electromecánica
- Estudios socioeconómicos - culturales
- Estudios económicos - financieros
- Planificación regional y urbana
- Sensores remotos, SIG
- Otras ingenierías



P.C.A. Ingenieros Consultores S.A. se constituye en la primera empresa boliviana de consultoría en haber logrado la Certificación ISO 9001:2000 en "Prestación de Servicios de Consultoría especializada en ingeniería, economía y administración, elaboración de planes maestros, estudios técnico económicos de prefactibilidad y factibilidad, estudios financieros y ambientales, diseño y supervisión de construcción en obras civiles y monitoreo ambiental", la cual abarca todos los campos de especialidad de la empresa.



PUNTE INTERNACIONAL
SOBRE EL
RIO DESAGÜERO



GESTIÓN AMBIENTAL

PLANTA DE GAS CARALLO

PUNTE TRILIZOS (ESTUDIOS)

OFICINA PRINCIPAL
Calle Estimada Gutiérrez 592
30000000
Tel: 591-2-3521514, 3521485
Fax: 591-2-3521485
E-mail: PCA-LaPaz@pcaing.com
LA PAZ - BOLIVIA



P.C.A. Ingenieros Consultores S.A.

OFICINA REGIONAL
Calle Sevilla 3244
100 Párraga
Tel: 591-2-3521514, 3521485
Fax: 591-2-3521485
E-mail: PCA-SantaCruz@pcaing.com
SANTA CRUZ - BOLIVIA



Sólidos Cimientos
para Bolivia

Calidad con VOCACIÓN de servicio.

Llámanos

800-103-606

Contacto Soboce

www.soboce.com

Desde hace más de ochenta años, hacemos cemento de la mejor calidad y brindamos el mejor servicio a nuestros clientes.

Cemento Viacha, sólidos cimientos.

Cemento Viacha es una marca de la Sociedad Boliviana de Cemento SBOBOL S.A.

cemento
VIACHA
SÓLIDOS CIMIENTOS



"Ing. Hugo Mansilla Romero"
1946 - 2007



Instituto de Ensayo de Materiales

Facultad de Ingeniería • Carrera de Ingeniería Civil
Av. Villazón N° 1995 • Tel/fax 2444086

■ Áreas de Investigación

- Hormigones
- Materiales de construcción
- Suelos y Geotecnia
- Asfaltos
- Estructuras
- Química de materiales
- Postgrado en Materiales y Construcciones

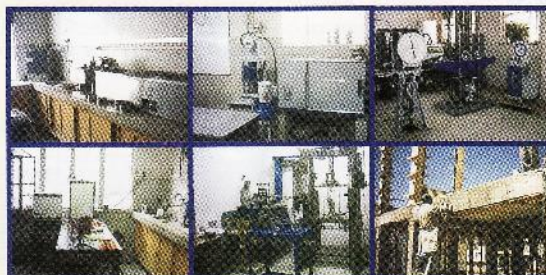
■ Servicios

- Laboratorio de hormigones
- Laboratorio de materiales
- Laboratorio de suelos
- Laboratorio de asfaltos

- Laboratorio de química de materiales
- Área de estructuras
- Programas de posgrado

■ Asesoramiento

- Control de calidad de los materiales de construcción
- Procesos constructivos y materiales empleados en la construcción
- Geotecnia e ingeniería de cimentaciones
- Patología e ingeniería estructural
- Capacitación de recursos humanos
- Ensayos de laboratorio



Estudio de las características Fisico-Mecánicas de las Baldosas Cerámicas que se fabrican y ofertan en el Mercado Nacional

Ing. Pedro Israel Uriarte Maidana
Ing. Rodrigo Armando Vera Sanchez
Ing. Jorge Echazú Cortez

1. Antecedentes

Se considera baldosa cerámica a una placa de poco espesor, generalmente utilizada para revestimiento de pisos y paredes y fabricada a partir de arcillas y otros materiales inorgánicos, que luego de molidos y amasados con agua, se moldean, se secan y son cocidas a elevadas temperaturas como los demás materiales cerámicos. Suelen poseer un revestimiento de esmalte en una de sus caras principalmente para mejorar el aspecto estético.

Debido a la gran diversidad de fabricantes nacionales de baldosas cerámicas y en vista de que no existe normativa nacional para estos productos (a excepción de la norma NB 259-78, de mayo de 1978, referida exclusivamente a azulejos cerámicos), se ha hecho necesario concebir y encarar un proyecto para mejorar el control de calidad de esos productos y como consecuencia de ello establecer las bases para la elaboración de una norma nacional.

Las baldosas cerámicas se clasifican de acuerdo con dos criterios: según el proceso de fabricación (extrusión por vía húmeda o prensadas en seco) y según la absorción de agua (absorción baja: $< 3\%$, absorción media 3 a 10% y absorción alta $> 10\%$). La Tabla N° 1 muestra detalles de esta clasificación.

2. Objetivos

El Objetivo General es realizar un estudio de las características Físico-Mecánicas de las baldosas cerámicas de las empresas más conocidas de nuestro medio, contribuyendo así al control de calidad de estos materiales.

Los objetivos específicos se enmarcan en la ejecución de los siguientes ensayos:

- Determinación de la absorción, densidad y porosidad aparente.
- Resistencia a la flexión de las baldosas. (Módulo de rotura).
- Dimensión de las caras y espesor de las baldosas.
- Medición de la ortogonalidad o cuadratura.
- Resistencia a la abrasión profunda.
- Adherencia de las baldosas cerámicas.
- Resistencia al congelamiento y descongelamiento.
- Resistencia al punzonamiento.
- Determinación de la dureza al rayado superficial según la escala de Mohs.
- Elaborar un proyecto de Norma de ensayos y de control de calidad de las características físico-mecánicas para las baldosas cerámicas para pisos.

Tabla N° 1

		Grupo I $E \leq 3\%$	Grupo IIa $3\% < E \leq 6\%$	Grupo IIb $6\% < E \leq 10\%$	Grupo III $E \geq 10\%$
TIPO DE MOLDEO	A BALDOSAS EXTRUDIDAS	Grupo AI Absorción de agua baja $E \leq 3\%$	Grupo AIIa Absorción de agua media-baja	Grupo AIIb Absorción de agua media-alta	Grupo AIII Absorción de agua alta
	B BALDOSAS PRENSADAS EN SECO	Grupo BIa Absorción de agua muy baja ($E \leq 0.5\%$)	Grupo BIIa Absorción de agua media-baja	Grupo BIIb Absorción de agua media-alta	Grupo BIII Absorción de agua alta
		Grupo BIb Absorción de agua baja ($0.5 < E \leq 3\%$)			

3. Alcance y Limitaciones

Se eligieron las siguientes 6 empresas nacionales para realizar los ensayos descritos en los objetivos:

- SANTINI (La Paz) - 3 líneas
- FABOCE (Cochabamba) - 3 líneas
- COBOCE (Cochabamba) - 2 líneas
- GLADYMAR (Santa Cruz) - 2 líneas
- CERABOL (Santa Cruz) - 2 líneas
- JEISS (Cochabamba) - 3 líneas

Todas las baldosas cerámicas que han sido objeto de este estudio son fabricadas mediante el proceso de presión en seco y han sido elegidas basándonos en el criterio principal de tener una muestra de cada PEI diferente que llegue a producir cada empresa, sin importar el diseño o el costo del producto.

4. Descripción de las Características Físico-Mecánicas en estudio

4.1 Absorción.- Es una propiedad física que consiste en la capacidad de la baldosa de aumentar su peso, debido a la saturación de sus poros.

Es importante, debido a que es uno de los factores principales para la clasificación de las baldosas cerámicas y es en función de esa clasificación, que se pueden especificar los requerimientos y exigencias de las otras propiedades, físicas y mecánicas, según al grupo al cual correspondan.

El ensayo consiste en hacer secar una probeta (mosaico cerámico entero) hasta peso constante en un horno a 150 °C para obtener así el peso seco. Luego se hace hervir esa misma probeta durante 5 horas en agua destilada. Posteriormente se la deja en remojo durante 24 horas más, al cabo de las cuales se retira la probeta del agua, se la seca para eliminar la humedad superficial y se la pesa para obtener el peso sss (saturado superficialmente seco). La absorción es la diferencia entre el peso saturado y el peso seco con relación al peso seco y es expresada en porcentaje. La

norma de referencia para este ensayo es la ASTM C 373.

4.2 Resistencia a la flexión.- Es una propiedad mecánica de las baldosas cerámicas que se expresa como el módulo de rotura determinado a partir de una carga puntual aplicada en el punto medio de la cara vista de una baldosa cortada por la mitad, que descansa sobre dos apoyos con un espaciamiento de al menos 4 pulgadas (ver Figuras 1 y 2).

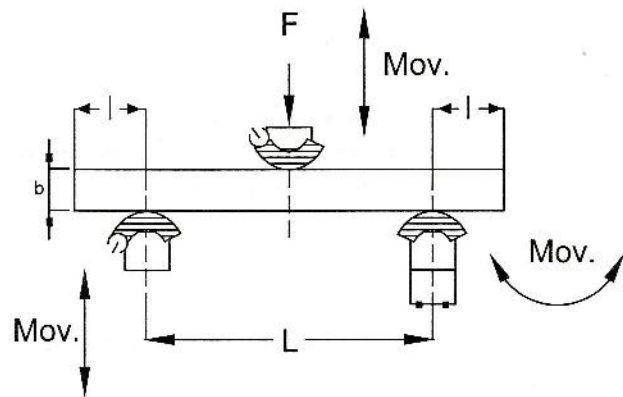


Figura 1

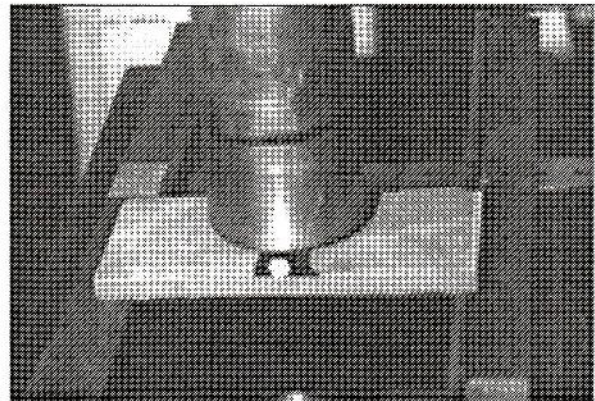


Figura 2

El módulo de rotura se calcula con la fórmula:

$$M = \frac{3 * F * L}{2 * b * d^2}$$

Donde:

M = Módulo de rotura (MPa)

F = Carga de rotura (N)

L = Luz libre entre apoyos (mm)

b = ancho de la probeta (mm)

d = espesor de la probeta (mm)

El estudio de esta propiedad mecánica es importante porque nos da como resultado un indicador de la compacidad y de la calidad de los materiales que componen la baldosa. Las especificaciones de esta propiedad difieren según el Grupo en el que se encuentre la baldosa en estudio.

4.3 Dimensiones y Ortogonalidad.- Las dimensiones de la baldosa (largo, ancho y espesor) y la Ortogonalidad (exactitud en la perpendicularidad de los vértices de cada baldosa) deben ser cuidadosamente medidas y comparadas con las dimensiones nominales indicadas por el fabricante, para poder asegurar un encaje adecuado al momento de colocarlas en servicio y poder tener control sobre la cantidad de material requerido conforme a los cálculos métricos del proyecto (ver Figura 3).

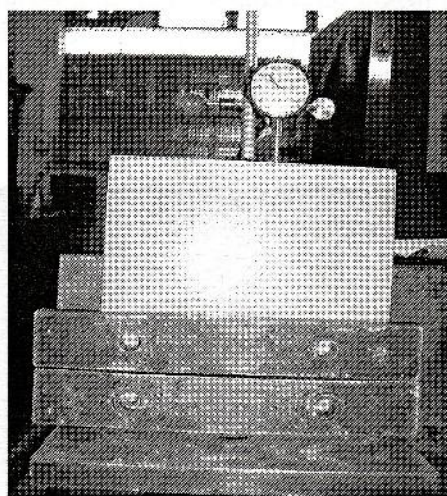


Figura 3

Las determinaciones de las dimensiones y la ortogonalidad en el presente estudio, fueron

realizadas conforme a la norma española UNE 67-098-85.

4.4 Resistencia a la abrasión.- La resistencia a la abrasión es otra importante propiedad física de la baldosa, principalmente de la cara vista, sea ésta esmaltada o no. Consiste en simular el desgaste que se produciría en las baldosas por su continuo uso.

La medida del desgaste es el principal indicador de la durabilidad del producto; las baldosas esmaltadas para su comercialización son clasificadas por su desgaste según un Índice de desgaste obtenido por el Porcelain Enamel Institute (PEI) variando desde grado 0, para revestimientos de pared hasta el grado 5, para lugares de alto tráfico. Para esta medición, se utiliza el método de la abrasión superficial, conforme a la Norma EN ISO 10545-7. Este método requiere un aparato muy sofisticado y preciso, que las empresas fabricantes declaran no estar en posibilidades de adquirir o fabricar y se ven obligadas en algunos casos a enviar sus muestras al exterior para realizar sus ensayos. Incluso en más de un caso, se ha indicado que el PEI nominal de cada producto está solo en función del color del esmalte de la baldosa cerámica siendo las más oscuras de un PEI nominal menor al de las más claras.

Las baldosas que no tienen esmalte en su cara vista tienen valores admisibles de desgaste según el Grupo al que correspondan de acuerdo a su absorción. Para la medición de ese desgaste, se utiliza el método de la abrasión profunda tal y como se indica en la Norma EN ISO 10545-6. Este método requiere también la confección de una máquina compleja y de difícil fabricación que aún no existe en los laboratorios de investigación del país.

Por lo expuesto, en la presente investigación se ha hecho solamente un estudio comparativo, midiendo el desgaste producido en los productos de la diferentes empresas con el equipo y abrasivo disponibles en el Instituto de Ensayo de Materiales.

Este procedimiento, es un procedimiento de abrasión profunda y está basado en la Norma Argentina IRAM 1522. Consiste en determinar el porcentaje de peso perdido por una probeta sometida a un recorrido de 30 metros sobre un disco giratorio provisto de un abrasivo consistente en papel lija (ver figuras 4 y 5).

Los resultados obtenidos son de carácter referencial pero permiten hacer comparaciones entre las diferentes marcas y líneas de productos. Como se puede observar en las tablas resumen, el porcentaje de peso desgastado de las baldosas no es directamente proporcional al PEI nominal de cada producto, vale decir que algunas cerámicas indicadas como PEI 3 se han desgastado en mayor grado que aquellas con un PEI nominal de 4, pero en otros casos ha sucedido exactamente lo contrario.

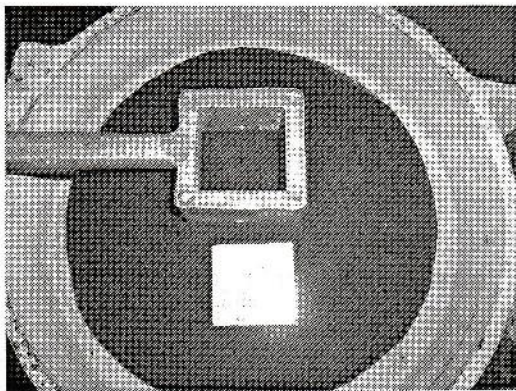


Figura 4

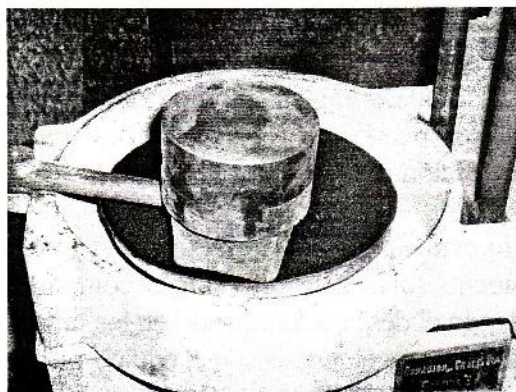


Figura 5

4.5 Adherencia.- La adherencia es una propiedad físico-mecánica de las baldosas cerámicas, está definida como la capacidad de establecer engrape mecánico con el elemento estructural al que se está revistiendo, por ej: un contrapiso, mediante la interacción de la cara posterior de éstas con un adhesivo que puede ser un mortero de cemento, cal y arena, una pasta de cemento o finalmente un adhesivo especial.

Una buena adherencia de la baldosa cerámica y el elemento a ser revestido causará una mejor impermeabilización de éste y de los elementos subyacentes, por ej: losas o fundaciones. También tiene una gran incidencia en la durabilidad del producto puesto en obra, debido a que una mala adherencia puede hacer que la baldosa sea más susceptible a resquebrajarse por una carga aplicada o simplemente a desprenderse.

El principal factor que contribuye para la mejora de esta propiedad por parte de las baldosas es la forma y disposición de las nervaduras de la cara posterior de la misma, así como también las concavidades que ésta podría presentar. Esta propiedad no depende solamente de la baldosa por sí misma sino también del tipo, dosificación y forma de aplicación de los morteros de pega que se vayan a emplear para la puesta en obra.

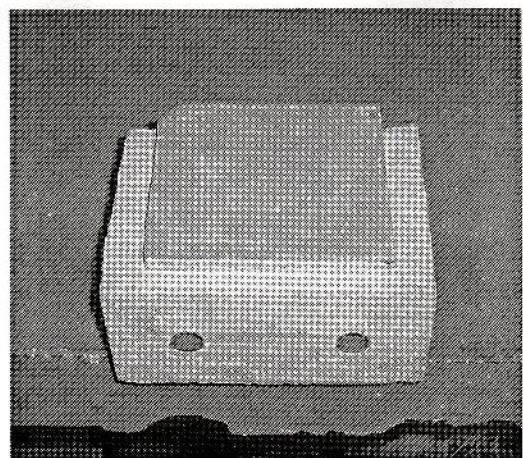
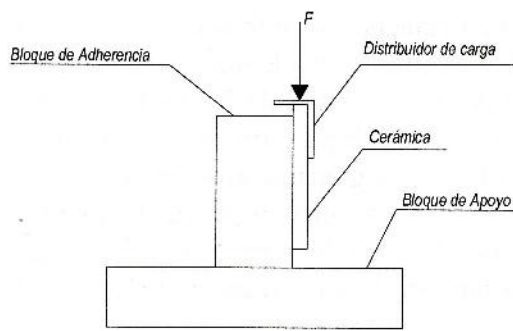


Figura 6


Figura 7

En la presente investigación, la adherencia fue determinada conforme a la norma norteamericana ASTM C 482. Las probetas fueron preparadas como se muestra en la Figura 6. Una baldosa es adherida mediante una pasta de cemento a un lecho de mortero estandarizado (también de cemento), con un extremo sobresalido por lo menos una longitud de 10 mm y luego ensayadas después de 10 días de curado húmedo, aplicando una carga sobre el extremo sobresalido para lograr el desprendimiento de la baldosa por corte. El módulo de adherencia es luego calculado dividiendo la carga de rotura entre la superficie adherida de la baldosa cerámica (ver Figura 7).

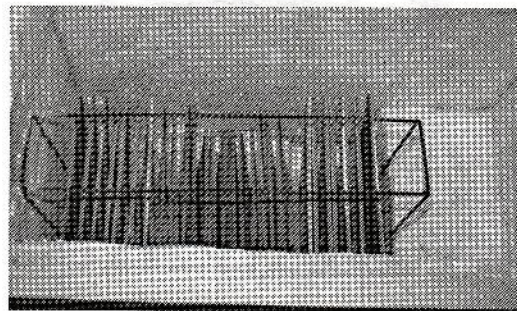
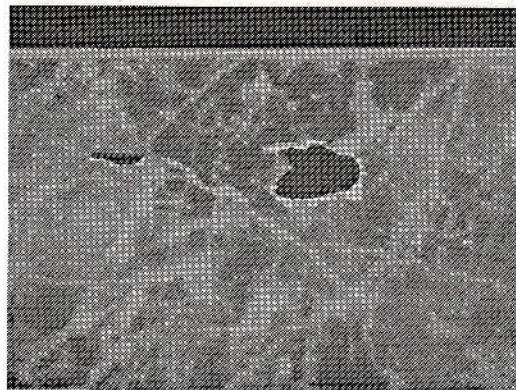
4.6 Resistencia al congelamiento y descongelamiento.- La resistencia al congelamiento y descongelamiento, es una propiedad física de la baldosa que consiste en su capacidad de resistir cambios de temperaturas (por encima y por debajo de los 0°C), sin resquebrajarse ni perder su esmalte o brillo, por la acción del agua que está contenida en sus poros y que al congelarse incrementa su volumen produciendo tensiones internas. Esta propiedad está íntimamente relacionada con la absorción de agua.

La resistencia a la helada de la baldosa es relevante, principalmente en la región occidental de nuestro país, debido a que en estaciones frías, la temperatura llega a valores menores a 0°C y en muchos casos las baldosas son utilizadas en exteriores que están expuestos constantemente

a la humedad. Por tanto, la durabilidad del producto se ve seriamente comprometida por la acción del hielo que se llega a formar en los poros intersticiales de las cerámicas.

Esta prueba fue ejecutada en base a la norma española UNE 67-202-85. Las probetas, previamente secadas al horno hasta peso constante, son saturadas en un recipiente con agua de manera paulatina durante 7 días. Luego, son introducidas en la cámara congeladora durante 4 horas hasta una temperatura de -15°C . Posteriormente son extraídas de la congeladora y colocadas en agua a 15°C por espacio de 2 horas. Este ciclo es repetido 50 veces. Se reporta los contenidos de agua antes y después de los ciclos de congelamiento y descongelamiento, los daños visibles causados en las probetas y la pérdida de peso correspondiente.

En las Figuras 8 y 9, se muestran las probetas en pleno ensayo en la cámara congeladora y con pérdida de esmalte al cabo de 25 ciclos respectivamente.


Figura 8

Figura 9

4.7 Resistencia al Punzonamiento por Impacto.- La resistencia al punzonamiento es una propiedad mecánica de la baldosa cerámica que consiste en la capacidad de absorber un impacto producido por la caída de algún objeto relativamente pesado sin que se produzcan agrietamientos o fisuras en la superficie.

El estudio de esta propiedad sirve para mostrar la importancia de un buen colocado de las baldosas en una superficie que debe ser uniforme y llana. La presencia de vacíos o discontinuidades en su puesta en obra provoca que sea totalmente susceptible a fracturarse por el efecto de punzonamiento.

El ensayo se llevó a cabo según la norma UNE 7034-51 en dos modalidades: sin confinamiento y con confinamiento.



Figura 10

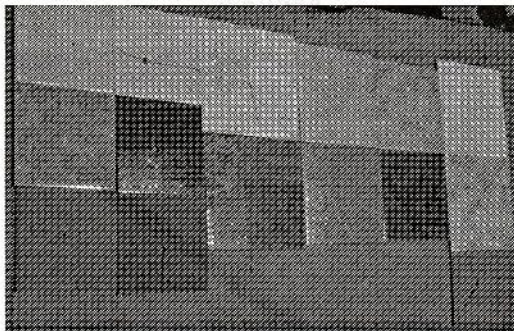


Figura 11

En el primer caso se coloca la probeta sobre unas guías con un soporte de pletinas metálicas, para

evitar su movimiento durante el ensayo y se deja caer sobre ella una esfera de metal de 400 gramos de peso desde una altura de 50 cm. Luego se la examina con una lupa para detectar posibles grietas o fisuras. Seguidamente se vuelve a dejar caer la esfera en otro lugar de la probeta aumentando la altura de caída en 10 cm. Se repite el procedimiento hasta conseguir la rotura de la probeta y se anota la altura que produjo esa rotura. La Figura 10 ilustra el procedimiento descrito. En la Figura 11 se muestran probetas ensayadas bajo esta modalidad.

El ensayo con confinamiento se efectúa sobre una probeta previamente colocada en un contrapiso de mortero de cemento estandarizado. Se deja caer la esfera desde una altura de 10 cm y se observa la probeta con una lupa para detectar posibles fisuras. Se repite el procedimiento aumentando en 10 cm la altura de caída y dejando caer la esfera en un lugar diferente cada vez. Se anota la altura de caída que produjo la rotura de la probeta (ver Figura 12).

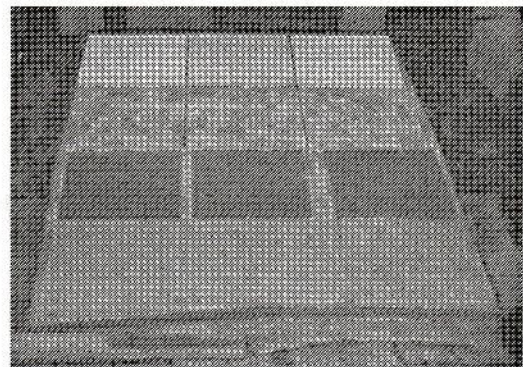


Figura 12

4.8 Dureza al rayado.- La dureza al rayado superficial es una propiedad física de las baldosas cerámicas que depende del acabado de la cara vista de la misma, si es esmaltada o sin esmalte y del tipo de esmalte que tenga.

La importancia del estudio de esta propiedad radica principalmente en el hecho de que, al tratarse de un elemento de revestimiento para pisos, es muy susceptible a ser rayado por algún

material de mayor dureza, lo cual produciría un deterioro significativo del producto o un mal aspecto estético, requiriendo en algunos casos su reemplazo definitivo.

En este caso se utilizó como referencia la norma DIN EN 101 - 85 para la determinación de la dureza al rayado superficial de acuerdo a la escala de Mohs. Según este procedimiento, que es muy utilizado por los geólogos para identificar muestras de diferentes minerales, se procede a rayar la probeta con muestras de materiales patrones catalogados de acuerdo a la Tabla N° 2.

Tabla N° 2

Material	Dureza Mohs
Talco	1
Yeso	2
Calcita	3
Fluorita	4
Apatita	5
Feldespato	6
Cuarzo	7
Topacio	8
Corindón	9
Diamante	10

A la probeta ensayada se le asigna una dureza equivalente a la del material que produjo un rasguño en su superficie (ver Figura 13).

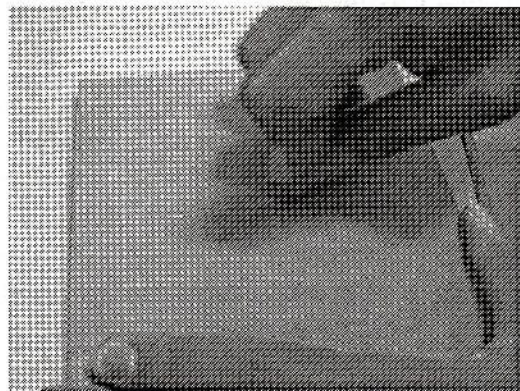


Figura 13

5. Análisis de Resultados

Antes de proceder a analizar los resultados obtenidos, es necesario poner a disposición del lector la orientación proporcionada por algunas Normas extranjeras. Se ha tomado en consideración para el presente estudio: las normas alemanas DIN y las norteamericanas ASTM.

Normas DIN EN 177:

- Absorción:
 - o Individual Máximo: 6.6 %
 - o Promedio : 3.0 - 6.0 %
- Flexión:
 - o Individual Mínimo: 20 N/mm²
 - o Promedio Mínimo: 22 N/mm²
- Variaciones Dimensionales:
 - o Tolerancia Máxima Individual (Long. y Ancho): 0.6 %
 - o Tolerancia Máxima Promedio (Long. y Ancho): 0.5 %
 - o Tolerancia Máxima Ind. y Prom. (Espesor): 5.0 %
- Ortogonalidad:
 - o Tolerancia Máxima Individual y Promedio : 0.6 %
- Abrasión:
 - o Esmaltadas: Según PEI Nominal
 - o No esmaltadas: máximo 345 mm³
- Resistencia a la Helada:
 - o Exigida
- Dureza Superficial:
 - o Esmaltadas: Mínimo 5
 - o No Esmaltadas: Mínimo 6

Normas DIN EN 178:

- Absorción:
 - o Individual Máximo: 11.0 %
 - o Promedio : 6.0 - 10.0 %
- Flexión:
 - o Individual Mínimo: 18 N/mm²
 - o Promedio Mínimo: 20 N/mm²
- Abrasión:
 - o Esmaltadas: Según PEI Nominal
 - o No esmaltadas: máximo 540 mm³

Norma ASTM C482:

- Adherencia:
- Mínimo: 50 PSI (0.34 N/mm²)

En las Tablas 3 a 8 se muestran los resultados de las pruebas realizadas para cada una de las empresas, ensayadas en sus diferentes líneas. En esas tablas se muestran también los valores recomendados para incorporarlos en la Norma Nacional para baldosas cerámicas.

Realizando un análisis global de esos resultados sobre las propiedades estudiadas para un total de 15 muestras, pertenecientes a 6 empresas bolivianas diferentes, tenemos los siguientes resultados:

- Absorción: 9 muestras pertenecen al grupo BIIa y las 6 restantes al grupo BIIb.
- Flexión: 9 muestras cumplen con el módulo de rotura mínimo exigido según norma y 6 muestras no.
- Variaciones Dimensionales: 5 muestras cumplen con la tolerancia máxima exigida según norma y 10 muestras no.
- Variaciones de Espesor: 11 muestras cumplen con la tolerancia máxima exigida según norma y 4 muestras no.
- Ortogonalidad: Las 15 muestras cumplen con la tolerancia máxima exigida según norma.
- Adherencia: Las 15 muestras cumplen con el módulo de adherencia mínimo exigido según norma.
- Resistencia a la Helada: 5 muestras cumplen con la especificación exigida según norma y 10 muestras no.
- Punzonamiento: 8 muestras cumplen con la especificación exigida según norma y 7 muestras no.
- Dureza según la Escala de Mohs: Las 15 muestras cumplen con la especificación exigida según norma.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.- Luego de efectuado el presente estudio de investigación sobre las

características físico - mecánicas de las baldosas cerámicas que se fabrican y ofertan en el mercado nacional, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Solo una (la empresa N° 5) de las 6 empresas estudiadas cumple con todas las especificaciones de calidad en sus dos líneas de producción como se puede comprobar en las Tablas de los resultados.
- Existe una gran deficiencia en la información técnica que proveen las empresas fabricantes de baldosas cerámicas, las cuales en su mayoría no proporcionan las fichas técnicas correspondientes a cada uno de los productos que elaboran, o en su defecto elaboran fichas técnicas con información deficiente o datos erróneos sobre los mismos. Por tanto el consumidor no posee toda la información necesaria para el uso de los productos o para la adecuada elección de los mismos. En la mayoría de los casos los encargados de la promoción y venta de las mencionadas baldosas cerámicas, tampoco tienen conocimiento de todas las características del producto, en consecuencia no pueden orientar debidamente al consumidor.
- Las cajas de embalaje de las baldosas cerámicas no cuentan con toda la información recomendada por las normas internacionales vigentes, como ser: grupo al que pertenecen, forma de elaboración, dimensiones nominales y reales, y normas de referencia para el control de calidad del producto.
- Por lo anteriormente apreciado es menester hacer un **control estricto de la calidad** de las baldosas cerámicas de fabricación nacional, ya que se observa una marcada irregularidad en el cumplimiento de los requisitos mínimos que exigen las normas internacionales vigentes que se han utilizado como parámetros.
- Pese a no estar catalogado dentro de las normas ISO que utilizamos como referencia hemos

concluido que es importante incluir el módulo de adherencia entre los requisitos que debe reunir una baldosa cerámica, puesto que una cerámica que no posea un diseño adecuado de la cara posterior, que favorezca su adherencia a la superficie de colocación, será mucho más susceptible a "levantarse" o fracturarse debido a los esfuerzos de retracción intrínsecos del hormigón, y más aún si las mezclas que se suelen utilizar para el vaciado de contrapisos son pobres y de gran fluidez, incrementándose de esta forma la retracción del hormigón.

- En vista de la ausencia de una normativa nacional de ensayos y especificaciones que regule el control de calidad mínimo para las baldosas cerámicas, las diversas empresas fabricantes elaboran sus productos en base a normas extranjeras según su propia conveniencia sea ésta económica, publicitaria o de facilidades tecnológicas. Por lo tanto, los productos finales presentan características físico - mecánicas muy variadas, resaltando estas empresas las características que les son más ventajosas y soslayando a aquellas que no lo son. Por este motivo, **la necesidad de una normativa nacional**, que homogeneice los requerimientos mínimos que se le deben exigir a estos productos, es imperiosa.
- La **propuesta de norma** que se presenta en este estudio debería ser **considerada como una base** para la elaboración de la norma nacional de ensayos y especificaciones mínimas para las baldosas cerámicas.

6.2 Recomendaciones.- Se recomienda:

- La consideración del presente estudio como una base mínima de especificaciones y requerimientos físico - mecánicos para la elaboración de una norma nacional que regule el control de calidad de las baldosas cerámicas, para así obtener un producto final que cumpla con las normas internacionales vigentes y sea competitivo tanto en el mercado nacional como en el internacional favoreciendo de esta manera su exportación.
- Realizar un estudio exhaustivo de las propiedades de adherencia desde el punto de vista del material adherente vale decir: distintas dosificaciones para pastas de cemento, pastas con materiales específicos para este rubro vale decir "Cola cemento", morteros de cal y cemento, y adhesivos especializados. Se ha realizado un estudio preliminar con este último (SIKA BINDACERÁMICO) obteniéndose un incremento de más del 50% en el módulo de adherencia.
- Se recomienda la continuación de este estudio desde un punto de vista físico - químico, para completar la normativa referente a este producto.
- La adquisición de los aparatos especificados por las normas ISO 10545-6 y ISO 10545-7 para la medición del desgaste de cerámicas no esmaltadas y esmaltadas respectivamente, para poder efectuar un control adecuado de esta propiedad.

Tabla N° 3

Empresa N° 1		Línea SC		Línea SG		Línea SR		
		Norma Prop.	Prom.		Prom.		Prom.	
PROPIEDADES	Absorción (%)	3 < A ≤ 6	4.7824	Blla	5.5308	Blla	4.5665	Blla
	Flexión (N/mm²)	22 min.	10.9925	No Cumple	9.5716	No Cumple	10.8079	No Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	0.3265	Cumple	0.763	No Cumple	0.503	No Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	3.5000	Cumple	6.7767	No Cumple	6.9133	No Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.5593	Cumple	0.2007	Cumple	0.4753	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	3	-----	4	-----	S/E	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	0.67	-----	0.66	-----	1.64	-----
	Adherencia (N/mm²)	0.34 min. (lisa)	0.7173	Cumple	0.6530	Cumple	0.4072	Cumple
	Helada	Exigida	7 Dañadas	No Cumple	7 Dañadas	No Cumple	7 Dañadas	No Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	56.6667	No Cumple	93.3333	No Cumple	76.6667	No Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	5	Cumple	8	Cumple	8	Cumple

Tabla N° 4

Empresa N° 2		Línea FA			Línea FB		Línea FG		
		Norma Prop.	Prom.		Prom.		Norma Prop.		Prom.
PROPIEDADES	Absorción (%)	3 < A ≤ 6	5.3915	Blla	5.5863	Blla	6 < A ≤ 10	7.3646	Bllb
	Flexión (N/mm²)	22 min.	22.5303	Cumple	20.787	No Cumple	20 min.	19.7268	Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	0.1511	Cumple	1.4305	No Cumple	± 0.5	0.9516	No Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	5.3306	No Cumple	3.6889	Cumple	± 5.0	4.9806	Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.0867	Cumple	0.0787	Cumple	± 0.6	0.084	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	3	-----	S/E	-----	No esp.	4	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	1.31	-----	1.29	-----	No esp.	0.95	-----
	Adherencia (N/mm²)	0.50 min. (conc.)	0.9739	Cumple	1.3521	Cumple	0.50 min. (conc.)	1.1603	Cumple
	Helada	Exigida	0 Dañadas	Cumple	4 Dañadas	No Cumple	Exigida	0 Dañadas	Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	86.6667	No Cumple	123.3333	Cumple	100 min.	103.3333	Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple	8	Cumple	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	7	Cumple

Tabla N° 5

Empresa N° 3		Línea CC			Línea CP		
		Norma Prop.	Prom.		Norma Prop.	Prom.	
PROPIEDADES	Absorción (%)	3 < A ≤ 6	5.8817	Blla	6 < A ≤ 10	7.0093	Bllb
	Flexión (N/mm²)	22 min.	25.3114	Cumple	20 min.	25.9662	Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	0.9902	No Cumple	± 0.5	1.3052	No Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	3.5400	Cumple	± 5.0	1.0600	Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.3268	Cumple	± 0.6	0.2332	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	3	-----	No esp.	4	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	0.85	-----	No esp.	1	-----
	Adherencia (N/mm²)	0.34 min. (lisa)	1.2932	Cumple	0.34 min. (lisa)	1.4168	Cumple
	Helada	Exigida	3 Dañadas	No Cumple	Exigida	5 Dañadas	No Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	106.6667	Cumple	100 min.	86.6667	No Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple

Tabla N° 6

Empresa N° 4		Línea GG			Línea GC		
PROPIEDADES		Norma Prop.	Prom.		Norma Prop.	Prom.	
	Absorción (%)	$3 < A \leq 6$	5.2309	Blla	$6 < A \leq 10$	6.1771	Bllb
	Flexión (N/mm ²)	22 min.	16.8042	No Cumple	20 min.	15.1067	No Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	0.5477	No Cumple	± 0.5	0.0462	Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	2.1233	Cumple	± 5.0	1.6633	Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.1943	Cumple	± 0.6	0.3548	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	5	-----	No esp.	4	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	1.11	-----	No esp.	0.59	-----
	Adherencia (N/mm ²)	0.34 min. (lisa)	0.7848	Cumple	0.34 min. (lisa)	0.7587	Cumple
	Helada	Exigida	2 Dañadas	No Cumple	Exigida	2 Dañadas	No Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	123.3333	Cumple	100 min.	136.6667	Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	7	Cumple

Tabla N° 7

Empresa N° 5		Línea CA			Línea CR	
PROPIEDADES		Norma Prop.	Prom.		Prom.	Prom.
	Absorción (%)	$3 < A \leq 6$	4.1485	Blla	4.2099	Blla
	Flexión (N/mm ²)	21 min.	26.8701	Cumple	30.6546	Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	0.3862	Cumple	0.3683	Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	4.4200	Cumple	3.4067	Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.1315	Cumple	0.117	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	3	-----	4	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	1.31	-----	0.72	-----
	Adherencia (N/mm ²)	1.00 min. (conc.)	1.0676	Cumple	1.541	Cumple
	Helada	Exigida	0 Dañadas	Cumple	0 Dañadas	Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	103.3333	Cumple	110	Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple	6	Cumple

Tabla N° 8

Empresa N° 6		Línea JL			Línea JD		Línea JR	
PROPIEDADES		Norma Prop.	Prom.		Prom.		Prom.	
	Absorción (%)	$6 < A \leq 10$	7.4166	Bllb	6.8002	Bllb	6.3584	Bllb
	Flexión (N/mm ²)	20 min.	22.4324	Cumple	24.5099	Cumple	21.1537	Cumple
	Longitud y Ancho (%)	± 0.5	1.001	No Cumple	1.3486	No Cumple	0.843	No Cumple
	Espesor (%)	± 5.0	1.1125	Cumple	2.0188	Cumple	7.4719	No Cumple
	Ortogonalidad (%)	± 0.6	0.0887	Cumple	0.1752	Cumple	0.156	Cumple
	PEI Nominal	No esp.	4	-----	5	-----	S/E	-----
	Abrasión (% Desg.)	No esp.	0.24	-----	0.52	-----	2.02	-----
	Adherencia (N/mm ²)	0.34 min. (lisa)	0.72	Cumple	0.8943	Cumple	0.8202	Cumple
	Helada	Exigida	3 Dañadas	No Cumple	5 Dañadas	No Cumple	0 Dañadas	Cumple
	Punzonamiento (cm)	100 min.	83.3333	No Cumple	100	Cumple	53.3333	No Cumple
	Dureza (Esc Mohs)	5 (Esm.) / 6 (S/E.)	6	Cumple	8	Cumple	6	Cumple

7. Referencias Bibliograficas

[1] Guía de la baldosa Cerámica - Colegio Territorial de Arquitectos de Castellón C.O.A.C.V.

[2] Construcciones de Hormigones: Especificaciones Técnicas y Control de Calidad - Hernán Sabaleta

[3] Normas Extranjeras:

- ASTM C 428 y C 144
- DIN EN 177 - 178
- UNE ISO 10545 1- 7

Uso de Azúcar como modificador del tiempo de fraguado en Hormigones de Cemento Pórtland y Pórtland Puzolánico

*Ing. Yanina Maldonado Vergara
Ing. Ma. del Carmen Cenzano
Ing. Fernando Cerruto Anibarro*

1. Introducción

Una de las características importantes del hormigón es el tiempo de fraguado, tiempo en el cual éste es moldeable y trabajable sin sufrir alteraciones en la resistencia, segregación de los materiales componentes y durabilidad de la estructura.

Muchas veces el tiempo entre el proceso de mezclado y colocado es prolongado, este es el caso de los hormigones premezclados que ocasionalmente se transportan largas distancias, o cuando se bombean a alturas considerables, o en ambientes calurosos en donde el proceso de fraguado es más acelerado; estos aspectos ocasionan una serie de inconvenientes en la trabajabilidad y compactación del hormigón, además de provocar pérdida en la resistencia deseada del proyecto. Por tanto, se hace necesario prolongar el tiempo de fraguado para lo cual se utiliza un aditivo como es el caso de los retardadores.

En nuestro medio se importan la mayoría de estos aditivos incrementando así el costo del hormigón. Este aspecto afecta a la economía de las obras civiles.

Para dar una solución económica y con adecuación tecnológica a nuestro medio, es que, postulamos en el presente trabajo, el uso de sacarosa como agente modificador de fraguado en hormigones.

Tradicionalmente se ha aceptado en trabajos civiles que, la presencia de pequeñas cantidades de azúcar (sacarosa), en mezclas de morteros y hormigones ocasionaban la inhibición de su fraguado.

En la década de los años 60 se desarrollaron una serie de trabajos de investigación con respecto a la presencia del azúcar. En algunos casos, se determinó que la adición de sacarosa en morteros provocaba incrementos en la resistencia a los esfuerzos y en la trabajabilidad de las mezclas.

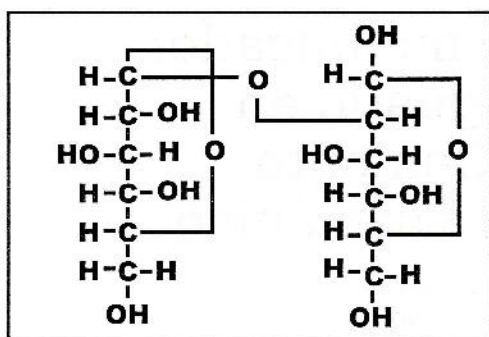
2. Definiciones

Azucres.- Son componentes normales de la mayor parte de los alimentos de origen vegetal, encontrándose en pequeñas cantidades en los de origen animal.

La sacarosa más simplemente conocida como azúcar natural cuya producción es predominante en el marco mundial, a través de las dos fuentes principales de preparación industrial (Caña de Azúcar y Remolacha). El continente americano es su mayor productor.

Sacarosa.- Los sinónimos de la sacarosa son: fructofuranosil, glucopiranosida, glucopiranosil, fructofuranosida, azúcar, azúcar de caña, azúcar de remolacha.

La sacarosa presenta un peso molecular de 342,30 y su fórmula empírica es $C_{12}H_{22}O_{11}$ (oxígeno 51,42%, carbono 42,10%, hidrógeno 6,48%). En la estructura de la sacarosa (Gráfico 2) se observan grupos hidroxílicos, los cuales para muchos investigadores tienen una influencia marcada sobre la velocidad de hidratación y posiblemente sobre los productos de hidratación del cemento Pórtland.



Gráfica N° 1 - Estructura de la sacarosa

2.1. Propiedades de Hidratación de la Sacarosa

Esta propiedad está directamente relacionada con la facilidad que tienen sus OH- de establecer puentes de hidrógeno con el agua, y varía considerablemente entre los distintos mono y disacáridos. En algunos azúcares, como la mezcla de alfa y Beta lactosa, no se presenta una buena hidratación, ya que las dos formas anoméricas actúan entre sí por puentes de hidrógeno, lo que reduce su capacidad de hacerlo con las moléculas de agua:

Tabla N° 1: Hidratación de algunos azúcares (Azúcar 2M, 5°C)

Azúcar	Moles de H ₂ O/ mol de azúcar	g de H ₂ O/g de azúcar
Glucosa	3.7 ± 0.2	0.37
Manosa	3.9 ± 0.4	0.39
Ribosa	2.5 ± 0.4	0.30
Maltosa	5.0 ± 0.5	0.26
Sacarosa	6.6 ± 0.7	0.35

Fuente: elaboración propia

3. Objetivo General

Determinar experimentalmente el efecto del azúcar como modificador del tiempo de fraguado en hormigones con cemento Portland puzolánico.

3.1. Objetivos Específicos

- Dosificar hormigones con el empleo de cementos Portland puzolánicos. Para ello se prepararán un hormigón sin adición de sacarosa y otros con diferentes concentraciones.
- Determinar el Asentamiento mediante el cono de Abrams.
- Evaluar el tiempo de fraguado
- Determinar el comportamiento en la resistencia a la compresión.
- Comparar resultados del hormigón patrón vs. los hormigones con diferentes concentraciones de sacarosa.

4. Métodos de Ensayo

4.1. Ensayos para azúcares análisis proximal

- Contenido de Cenizas
- Contenido de Humedad
- Determinación del contenido de Azúcares

4.2. Ensayos para Cemento

- Determinación de Sulfatos en el Cemento
- Determinación de residuos insolubles
- Determinación Del Contenido De Cloruros En Cemento

4.3. Ensayos para el Hormigon en estado fresco

- Asentamiento del cono de Abrams
- Tiempo De Fraguado
- Exudación

4.4. Ensayos para Hormigon en estado endurecido

- Resistencia a Compresión

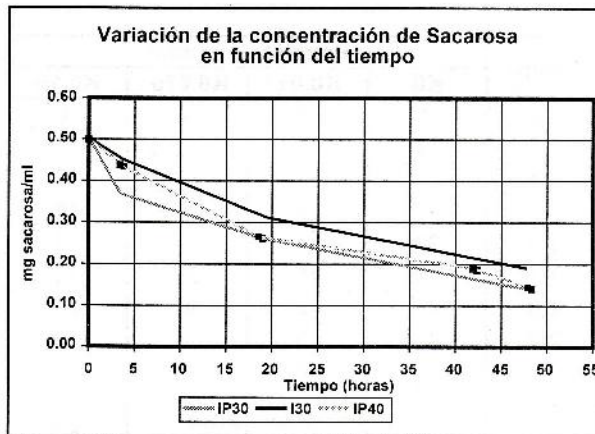
5. Análisis de los Resultados

La sacarosa tiene una capacidad de hidratación de 6.6 mol de Agua/mol de azúcar, equivalente a 0.356 gramos de agua por gramo de azúcar.

La sacarosa tiene un grado de solubilidad muy alto, una gran capacidad de hidratación y es menos higroscópica que la fructosa.

La gráfica N° 2 describe el comportamiento de la concentración de azúcar en el agua de amasado con adición de cemento, en función del tiempo, se observa una disminución de azúcar hasta alcanzar un valor límite que oscila entre 0.1 a 0.2 mg/ml de solución, dependiendo del tipo de cemento.

Gráfica N° 2: Variación de la concentración de Sacarosa en función del tiempo



Fuente Elaboración Propio, Laboratorio CIDAB

Tabla N° 2: Resultados de prueba de adsorción de azúcar

PARAMETROS	Unidad	I-30 Cantidad	IP-40 Cantidad	IP-30 Cantidad
Cantidad de cemento en la prueba	gramos	50	50	50
Cantidad de solución de azúcar	mililitros	200	200	200
Porcentaje de azúcar en agua	%	0.05	0.05	0.05
Cantidad de Azúcar en la solución	gramos	0.1	0.1	0.1
Porcentaje de Azúcar rel cemento	%	0.2	0.2	0.2
Azúcar Inicial en fase acuosa	gramos	0.10000	0.10000	0.10000
Azúcar Inicial en fase acuosa	mg	100.0	100.0	100.0
Conc inicial en la fase acuosa	mg/ml	0.5	0.5	0.5
Azúcar Final en Fase acuosa	gramos	0.03892	0.02951	0.02768
Azucar Final en Fase acuosa	mg	38.9	29.5	27.7
Azúcar Adsorbida por el cemento	gramos	0.0611	0.0705	0.0723
Azúcar Adsorbida por el cemento	mg	61.1	70.5	72.3
Azúcar/ Cemento	g/g	0.0012	0.0014	0.0014
Azúcar/ Cemento relación límite	% límite	0.1222	0.1410	0.1446
agua/Cemento	gramos	4	4	4
Concentración de Azúcar Inicial	mg/ml	0.5000	0.5000	0.5000
Concentración de Azúcar final	mg/ml	0.1946	0.1476	0.1384

Fuente Elaboración Propio, Laboratorio CIDAB

Se observa en el anterior cuadro que el azúcar tiene una capacidad de migración hacia el cemento de la fase acuosa a la fase sólida en función del tiempo, alcanzando valores límites cuando pasa las 48 horas.

Tiempo de Fraguado Penetración (Aguja de Vicat)

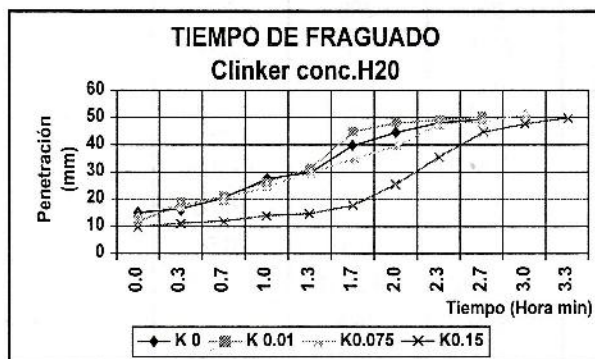
Se realizó el ensayo de tiempo de fraguado con pasta hecha de clinker y agua con diferentes porcentajes de azúcar.

Tabla N° 3: Penetración Vs tiempo
(en pasta de clinker)

Tiempo	Penetración (mm)			
	K0	K0.01	K0.075	K0.15
0.0	15	12	14	10
0.3	17	18	18	11
0.7	20	21	20	12
1.0	27	26	25	14
1.3	30	31	30	15
1.7	40	45	35	18
2.0	45	48	40	26
2.3	48	49	48	36
2.7	50	50	49	45
3.0			51	48
3.3				50

Los resultados de la anterior tabla se representan en la siguiente gráfica:

Gráfica N° 3: Tiempo de fraguado del clinker



- Para Cementos IP30, I30, IP40 para los hormigones H20 y H25, se observó que a medida que la concentración de azúcar se incrementa, el tiempo de fraguado es más prolongado.
- El poder fluidificante del azúcar se acentúa con mayor efecto en hormigones H25 (menos agua) respecto a hormigones H20 (más agua) debido a que existe una relación estrecha entre proporciones de agua/cemento y adiciones de pequeñas cantidades de azúcar al agua de amasado

de la mezcla. A menor cantidad de agua en la mezcla, con adición de azúcar, el tiempo de fraguado se incrementa respecto al testigo.

- A concentración 0.01% de azúcar los tiempos netos de fraguado (diferencia entre tiempo inicial y tiempo final) son altos para cementos tipo IP30, intermedios para cementos I30 y bajos para cementos IP40. Para concentraciones 0.075% y 0.15% los tiempos netos de fraguado son bajos para cementos tipo IP30, intermedios para cementos I30 y altos para cementos IP40.
- Para obtener valores altos de tiempo neto de fraguado en hormigones H20 y H25, se debe utilizar cementos IP40 y adiciones de azúcar de 0.15%, con buenos rendimientos.

Tabla N° 4: Resumen de Valores de Tiempo de Fraguado

Conc. De Azúcar	Cemento	Tipo	ti (frag)	tf (frag)	tf-ti (tneto)
0.000%	IP30	H25	9.0	13.0	4.0
		H20	8.4	10.5	2.1
	I30	H25	6.2	8.4	2.3
		H20	6.8	8.1	1.3
	IP40	H25	6.4	6.9	0.5
		H20	6.5	7.2	0.7
0.010%	IP30	H25	14.0	17.5	3.5
		H20	7.9	12.4	4.5
	I30	H25	7.5	9.5	2.0
		H20	7.5	10.0	2.5
	IP40	H25	7.8	9.3	1.5
		H20	7.2	8.3	1.2
0.075%	IP30	H25	16.0	36.7	20.7
		H20	15.5	31.0	15.5
	I30	H25	24.3	36.3	12.0
		H20	35.5	36.5	1.1
	IP40	H25	24.7	51.0	26.3
		H20	23.8	47.4	23.6
0.150%	IP30	H25	44.1	49.1	5.0
		H20	17.8	29.8	12.0
	I30	H25	34.8	58.8	24.0
		H20	32.3	47.3	15.0
	IP40	H25	24.1	69.0	44.9
		H20	24.0	49.5	25.4

Exudación

En la siguiente tabla se resume el comportamiento de las mezclas, en cuanto a exudación, al

incorporar azúcar en diferentes porcentajes y de acuerdo al tipo de cemento.

Tabla N° 5: Comportamiento de la exudación

Causa	I30	IP30	IP40
A mayor concentración de azúcar	los tiempos de exudación se incrementan respecto al testigo	los tiempos de exudación se incrementan respecto al testigo	los tiempos de exudación se incrementan solo para 0.15% en el caso de H20 y para 0.075 y 0.15% para el caso de H25
Relación H25 y H20 respecto a la exudación	mayor exudación para H25	menor exudación para concentraciones 0.01 y 0.075% para H25. mayor exudación a concentración 0.15% de Azúcar para H25	menor exudación para el caso concentración 0.01% para H25. mayor exudación a concentraciones de 0.075 y 0.15% para H25.
Mayor exudación	H20: con un 0.15% 0.35% de exudación. H25: con un 0.01%, 0.38% de exudación	H20: con un 0.15% 1.58% de exudación. H25: con un 0.15%, 0.58% de exudación	H20: con un 0.075% 0.38% de exudación. H25: con un 0.15%, 0.54% de exudación
Mayor tiempo de exudación	4:40 horas para un proceso utilizando Hormigón H25 y 0.15% Azúcar.	6:40 horas para un proceso utilizando Hormigón H20 y 0.15% de Azúcar.	5:40 horas para un proceso utilizando Hormigón (H25 - H20), 0.15% de Azúcar
El valor máximo de Exdación	0.36% para H25 y 0.15% de azúcar	1.58% para H20 y 0.15% de azúcar	0.54% para H25 y 0.15% de azúcar

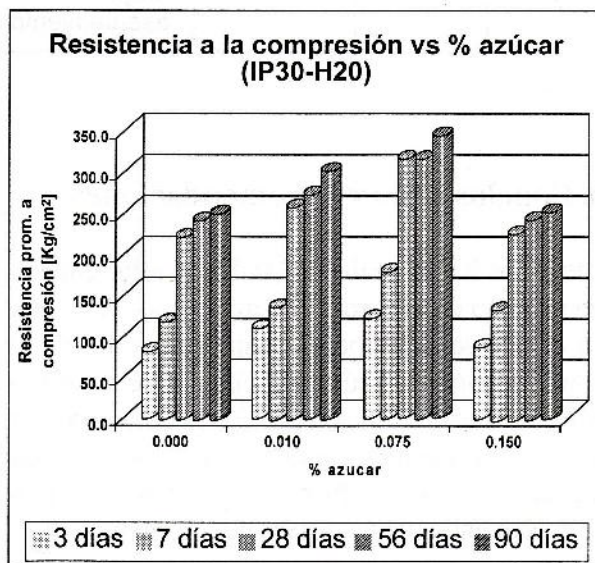
Resistencia a compresión

Según la gráfica N° 4 en Hormigones H-20 de cemento IP-30 se puede evidenciar que para edades de 3, 7, 28 56 y 90 días, y para porcentajes de adición de azúcar desde 0.01% hasta 0.07%, las resistencias alcanzadas fueron mayores a la obtenida con la muestra tipo (con 0 % de adición). Para un porcentaje de 0.15% a las cinco distintas edades se evidencia que las resistencias obtenidas son menores a la obtenida con la muestra tipo.

Asentamiento

Tanto para un Hormigón Tipo H20, como para un Hormigón Tipo H25, el asentamiento por adición de azúcar se incrementa respecto al

Gráfica N° 5: Variación de la Resistencia por adición de azúcar



testigo, en todos los porcentajes de adición de azúcar. Por lo que se puede concluir que por adiciones de pequeñas cantidades de azúcar se

produce un incremento en la fluidez de la mezcla dándole mayor trabajabilidad en todos los tipos de cemento.

Tabla N° 6: Comparación de los asentamientos según el tipo de cemento, para cada porcentaje de adición de azúcar y para los dos tipos de hormigón.

Tipo	Cone Azúcar	IP30	IP40	I30
H20	0.00%	Menor asentamiento	Mayor asentamiento que IP30	Mayor asentamiento
	0.01%	Menor asentamiento	Mayor asentamiento	Mayor asentamiento que IP30
	0.075%	Asentamiento Igual que I30	Mayor asentamiento	Asentamiento Igual que IP30
	0.15%	Mayor asentamiento	Mayor asentamiento	Mayor asentamiento que IP40
H25	0.00%	Menor asentamiento	Asentamiento Igual que I30	Asentamiento Igual que IP40
	0.01%	Menor asentamiento	Mayor asentamiento que IP30	Mayor asentamiento
	0.075%	Menor asentamiento	Menor asentamiento que IP30	Mayor asentamiento
	0.15%	Mayor asentamiento	Asentamiento Igual que I30	Asentamiento Igual que IP40

6. Conclusiones y Recomendaciones

Luego de haber realizado trabajos inherentes a un proceso de adsorción de azúcar por cemento, en el que se describe el comportamiento de la concentración de azúcar en el agua de amasado con cemento, en función del tiempo, se evidencia que dicha concentración disminuye hasta alcanzar un valor límite de 0.12% para cementos I30, 0.14% para cementos IP40, y 0.15% para cementos IP30.

Para mezclas simples realizadas con cemento Pórtland o Pórtland Puzolánico, al utilizar pequeñas cantidades de azúcar en el agua de amasado se observa una mejor dispersión y mezcla del cemento en el hormigón.

El azúcar, que contiene en su estructura química grupos HO-C-H tiene un efecto retardador, al formar estos grupos, una fina capa sobre las pequeñas partículas de cemento, reviniendo la

hidratación, ocupando espacios y evitando el contacto entre partículas de cemento.

Asentamiento

Tanto para un Hormigón Tipo H20, como para un Hormigón Tipo H25, el asentamiento por adición de azúcar se incrementa respecto al testigo, en todos los porcentajes de adición de azúcar. Por lo que se puede concluir que por adiciones de pequeñas cantidades de azúcar se produce un incremento en la fluidez de la mezcla, dándole mayor trabajabilidad en todos los tipos de cemento. Existe un límite de adición de azúcar entre 0.075% y 0.15%, a mayores niveles de este límite los valores de asentamiento disminuyen drásticamente, afectando la trabajabilidad de la muestra.

Tiempo de fraguado

Para Cementos IP30, I30, IP40 para los hormigones H20 y H25, se observó que a medida que la concentración de azúcar se incrementa, el tiempo de fraguado es más prolongado. Por lo que se puede concluir que para todos los casos de Cementos en mezclas de Hormigones H20 y H25 el **Tiempo de fraguado se incrementa** cuando se adiciona mayor cantidad de azúcar en la mezcla, respecto al patrón.

A concentración 0.01% de azúcar los tiempos netos de fraguado (diferencia entre tiempo inicial y tiempo final) son altos para cementos tipo IP30, intermedios para cementos I30 y bajos para cementos IP40; sucede lo contrario para concentraciones 0.075% y 0.15% los tiempos netos de fraguado son bajos para cementos tipo IP30,

intermedios para cementos I30 y altos para cementos IP40. Por lo que se puede concluir: Los cementos tipo IP30 tienen un alto tiempo neto de fraguado a concentraciones bajas de azúcar y bajo tiempo neto de fraguado a concentraciones altas de azúcar. Los cementos tipo IP40 tienen un bajo tiempo neto de fraguado a concentraciones bajas de azúcar y máximos tiempos netos de fraguado a concentraciones altas de azúcar. Los cementos tipo I30 no tienen variaciones significativas por variaciones de la concentración de azúcar en el tiempo neto de fraguado.

Resistencia a la compresión

Por los datos obtenidos y el análisis efectuado, podemos concluir: A mayor concentración de azúcar, las resistencias obtenidas a las edades estudiadas, son mayores con respecto a la muestra patrón; sin embargo, vale hacer notar que este fenómeno de crecimiento en las resistencias también tiene un límite: 0.15%, a partir del cual, las resistencias más bien bajan respecto a las muestras patrón. Usar concentraciones mayores de azúcar podría producir desastres en las resistencias mecánicas.

Como dijimos, en los tres tipos de cementos utilizados, las resistencias tanto a los 3, 7, 28, 56 y 90 días respectivamente son mayores respecto a las probetas testigo, aunque estas variaciones no eran tan notorias entre los 56 y 90 días. Por lo que se puede concluir que el **azúcar acelera el proceso de hidratación del cemento**, haciendo que las resistencias a las edades estudiadas sean mayores que las de las muestras patrón.

Estudio de morteros para revestimiento de muros de ladrillos

Ing. Alejandro Quenta Levandro

Ing. Verónica Gallardo Tapia

Ing. Jorge Echazú Cortez

1. Antecedentes

Es muy poco lo que se ha investigado en nuestro país sobre morteros en general. Se puede decir también, sin temor a exagerar, que en todos los países se ha investigado mucho menos sobre morteros que sobre hormigones.

El Instituto de Ensayo de Materiales, consciente de esta grave falencia que se traduce en un escaso conocimiento con un consecuente encarecimiento de las construcciones en todo lo relacionado con morteros, ha elaborado una serie de líneas de investigación para los tipos de morteros más utilizados en la construcción.

En ese marco se ha desarrollado la presente investigación como proyecto de grado para la licenciatura del Ing. Alejandro Quenta Levandro, bajo el asesoramiento de los Ingenieros Verónica Gallardo y Jorge Echazú.

Los morteros de revestimiento, son capas delgadas de materiales que se colocan encima de los materiales que conforman los muros y paredes. Entre sus prestaciones se puede mencionar las siguientes: proteger al material que conforma el muro del viento, la lluvia, el calor y la luz solar, el fuego, los cambios de temperatura entre los ambientes interior y exterior, la humedad que sale de los ambientes internos, las solicitaciones mecánicas como ser golpes, choques, etc. Deben también aportar a mejorar el aspecto estético y permitir que los muros cumplan sus funciones portantes. Para lograr cumplir esos objetivos, los

morteros deben tener ciertas características que pueden resumirse en las siguientes: ser impermeables, ser adherentes al muro que les sirve de base o paramento, tener resistencias mecánicas similares a las del material que están protegiendo, tener estabilidad volumétrica para impedir la aparición de fisuras y resquebrajamientos, etc.

La presente investigación se ha realizado para estudiar diferentes dosificaciones con materiales alternativos como son las puzolanas, los limos y el filler calizo, de manera que se pueda mejorar las prestaciones de los morteros de revestimiento de muros de ladrillo y a la vez disminuir su costo de preparación. Se debe mencionar, que al ser el ladrillo cerámico un material ampliamente utilizado en nuestro medio, queda por demás justificado el estudio de morteros para su revestimiento con materiales locales. La elección de estos materiales alternativos, tiene su sustento técnico en la posibilidad de renunciar un poco a la tradicional resistencia mecánica de los morteros a base exclusivamente de cemento, buscando otras propiedades como son la impermeabilidad y la estabilidad volumétrica, cuidando al mismo tiempo que la adherencia sea la adecuada.

Cabe destacar el esfuerzo y dedicación demostrados por el ahora Ingeniero Alejandro Quenta, puesto que en un medio como el nuestro donde es difícil acceder a equipos sofisticados, ha sido necesario poner mucha dedicación a la elaboración de esos equipos que ahora han quedado como patrimonio del Instituto de Ensayo

de Materiales y servirán para las próximas investigaciones.

2. Objetivos

El objetivo general de la investigación es el establecimiento de dosificaciones óptimas para morteros de revestimiento en muros de ladrillo.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Elaborar morteros de revestimiento en base a cemento-puzolana-arena; cemento-limo-arena y cemento-filler calizo-arena.
- Realizar diferentes mezclas de prueba para obtener una dosificación óptima desde el punto de vista de la adherencia y la permeabilidad, verificando además la resistencia a compresión para la dosificación óptima
- Hacer un análisis estadístico de los resultados
- Realizar un análisis de costos.

Además de estos objetivos específicos se ha establecido también la necesidad de, a manera de aplicación, elaborar muretes de ladrillo de prueba usando como revestimiento morteros con las dosificaciones óptimas para cada material.

3. Alcance y Limitaciones

En base a la experiencia que existe sobre el tema y las consultas realizadas en literatura técnica del Manual del mortero del Instituto Chileno del cemento y del hormigón, el Manual de aplanado de mortero de cemento Portland del Instituto Mexicano del cemento y del concreto, del texto Argamassas de revestimiento del Instituto de pesquisas tecnológicas (IPT) de Sao Paulo-Brasil y otros textos consultados, se ha tomado como punto de partida dosificaciones alrededor de una proporción 1:2:5 (una parte de cemento, dos partes de material alternativo y 5 partes de arena). Las proporciones del material alternativo han sido variadas desde 0.5 hasta 3, con

incrementos de 0.5, manteniendo la proporción cemento-arena constante. La cantidad de agua requerida para cada dosificación ha sido obtenida por tanteos para obtener una fluidez del mortero entre 90 y 100% medida en la mesa de flujo o mesa de sacudidas, utilizando el procedimiento descrito en la norma norteamericana ASTM C 109.

Los materiales usados en el estudio son los siguientes:

- Cemento IP-30 de VIACHA-La Paz por ser el cemento más utilizado en nuestro medio.
- Agregado fino (arena) de la localidad de Mallasa
- Puzolana de Pocota (Villa Remedios)
- Limo del río Irpavi
- Filler calizo de la planta de SOBOCE - La Paz
- Ladrillo de 6 huecos de la fábrica INCERPAZ por ser también uno de los más utilizados en nuestro medio.

4. Desarrollo del Proyecto

En primer lugar se realizó una caracterización de los materiales usados en la investigación. Los resultados de esas determinaciones se muestran en la Tabla Nº 1. Se realizó también una pequeña investigación para determinar el tiempo óptimo de saturación de los ladrillos antes de colocar la probeta de mortero para las pruebas de adherencia y se determinó que este tiempo oscila entre 5 y 8 minutos.

Luego de realizada la caracterización de los materiales se procedió a preparar las mezclas de mortero con las proporciones indicadas. Se vaciaron 5 probetas para cada ensayo y con cada combinación (6 combinaciones para cada material: 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 y 3 hacen un total de 30 probetas para cada ensayo con cada material). Se preparó además, 5 probetas adicionales para cada ensayo con un mortero de referencia hecho con sólo cemento y arena (mortero M.T.).

Tabla N° 1

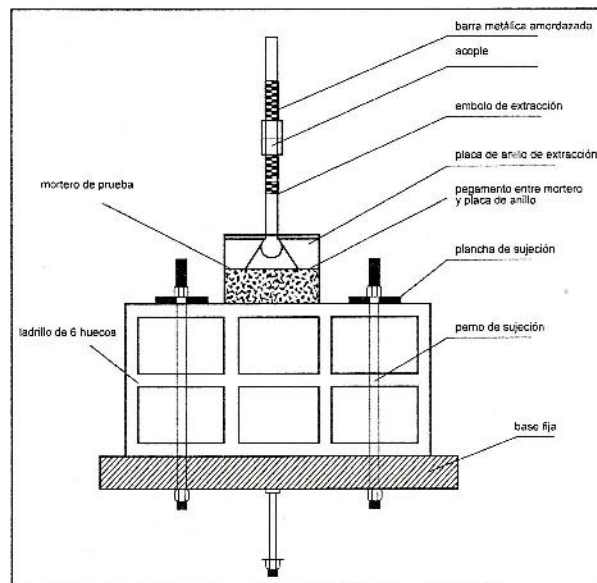
Materiales	Ensayos	Resultados
Arena	Granulometría	Cumple ASTM C 144
	Peso Esp. Sss	2.61
	Peso Esp. Sec	2.57
	Absorción	1.93 %
	P.U.S. (g/cm ³)	1.54
	P.U.C. (g/cm ³)	1.7
	Vacios sueltos	39.91 %
Materiales Alternativos	Vacios comp.	33.87 %
	Peso Esp. Puz.	2.34
	Peso Esp. Filler	2.68
	Peso esp. Limo	2.67
	Finura	> 0.075 mm
Cemento	Dens. (g/cm ³)	2.9
Agua		Potable
Ladrillo	Absorción	9.27 %

Una vez preparadas, las probetas para los ensayos de adherencia y permeabilidad fueron almacenadas en un ambiente con 20 ± 2 °C de temperatura y 50 ± 5 % de humedad relativa como establece la norma DIN 18555, por un periodo de 28 días.

Para los ensayos de adherencia, se preparó un dispositivo especial de manera que se los pueda ejecutar conforme a la norma alemana DIN 18555. La probeta consistía de una pastilla circular de mortero de 5 cm de diámetro y 1,5 cm de espesor, adherida a la parte central de la cara mayor de un ladrillo de 6 huecos. La pastilla de mortero tenía encolado con poxilina en su otra cara, un dispositivo metálico denominado: "placa de anillo de extracción". Al cabo de 28 días después de su preparación, la probeta era montada en un dispositivo metálico compuesto por planchas, pernos de sujeción y barras para poder aplicar la fuerza de tracción en la máquina Universal del Instituto de Ensayo de Materiales. Ver Figura N° 1.

La resistencia por adherencia entre el mortero y el material base, depende tanto de las características del mortero como del material base, depende también de la forma de aplicación del mortero

de revestimiento. Todas estas variaciones ocasionan una elevada variabilidad en la resistencia por adherencia en los revestimientos colocados en obra.

Figura 1


Los resultados de los ensayos de adherencia, (en forma de promedios de las 5 probetas para cada combinación) se presentan en la Tabla N° 2.

Tabla N° 2

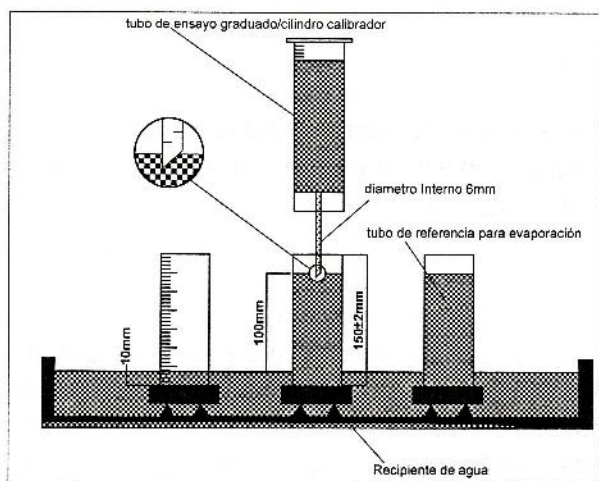
Promedios de resultados de los Ensayos de Adherencia				
Proporción	Tensión de Adherencia (Kg/cm ²)			
	MR-P	MR-L	MR-F	M.T.
1:0,5:5	2.44	2.25	1.60	
1:1,0:5	2.32	2.01	1.25	
1:1,5:5	1.76	1.49	0.63	2.51
1:2,0:5	1.31	1.05	0.40	
1:2,5:5	1.12	0.56	0.22	
1:3,0:5	1.05	0.30	0.07	

Donde:

MR-P = mortero de revestimiento con puzolana
MR-L = mortero de revestimiento con limo
MR-F = mortero de revestimiento con filler calizo
M.T. = mortero de referencia con sólo cemento y arena

En cuanto a los ensayos de permeabilidad, se preparó también un dispositivo especial para ejecutar el ensayo conforme a la norma UNE-EN 539-1. Este dispositivo se muestra en la Figura N° 2 y permite determinar la cantidad de agua que se filtra a través de la pastilla de mortero por cada cm² de superficie en 24 horas bajo una carga constante de 10 cm de agua sobre la probeta previamente saturada y sumergida. Mientras se ejecutaba el ensayo, se controló también la cantidad de agua que se evaporaba en el tiempo especificado.

Figura 2



Después del ensayo, se calculó el factor de permeabilidad (IF) de la siguiente manera:

$$IF = \frac{V_f - V_e}{A * d}$$

Donde:

V_f = Volumen de agua filtrada a través del mortero (cm³)

V_e = Volumen de agua evaporada

A = Área de la probeta (cm²)

d = tiempo transcurrido en días

El resultado de los ensayos de permeabilidad (en forma de promedios de las 5 probetas para cada combinación) se presentan en la Tabla N° 3.

En la Tabla N° 4 se pueden apreciar las disminuciones porcentuales del factor de permeabilidad para cada caso de la Tabla N° 3 con relación al factor de permeabilidad del mortero tradicional.

Tabla N° 3

Proporción	Factor de Permeabilidad IF (cm ³ /cm ² *d)			
	MR-P	MR-L	MR-F	M.T.
1:0,5:5	0.14	0.15	0.13	
1:1,0:5	0.13	0.08	0.09	
1:1,5:5	0.15	0.09	0.12	0.23
1:2,0:5	0.18	0.09	0.13	
1:2,5:5	0.20	0.10	0.13	
1:3,0:5	0.24	0.19	0.19	

Tabla N° 4

Proporción	Porcentajes de reducción de "IF" respecto a MT		
	MR-P	MR-L	MR-F
1:0,5:5	39	34	44
1:1,0:5	44	65	60
1:1,5:5	35	62	48
1:2,0:5	20	61	44
1:2,5:5	14	57	42
1:3,0:5	4.2(*)	18	18

(*) incremento de permeabilidad respecto del mortero tradicional

5. Análisis de Resultados

Los resultados de los ensayos de adherencia y permeabilidad, fueron sometidos a un análisis estadístico para depurar datos atípicos, para comprobar la homogeneidad de las varianzas (ANOVA), para comprobar el efecto de la variación de las proporciones del material alternativo y para determinar la existencia de diferencias significativas entre los diferentes resultados (prueba de Duncan).

En cuanto a los resultados de las pruebas de adherencia, (Tabla N° 2) se puede observar claramente que la resistencia por adherencia,

depende de la cantidad de cemento utilizado con relación a los otros materiales, depende también de las características de la base: rugosidad, grado de absorción, etc. mismas que se mantuvieron constantes para el presente estudio (ver el punto 7). Cuando el mortero entra en contacto con la base, esta última absorbe agua con partículas de cemento en suspensión, estas partículas de cemento se hidratan y forman los silicatos cálcicos hidratados que brindan resistencia y agarre mecánico asegurando la adherencia entre el mortero y la base. Se puede comprobar que los materiales alternativos, al ser únicamente rellenos de huecos no contribuyen a un mejoramiento de la adherencia, propiciando más bien una disminución de ésta. Haciendo un análisis más exhaustivo, podemos ver que las combinaciones menos afectadas en cuanto a la adherencia con relación al mortero tradicional, son: 1:0,5:5 y 1:1,0:5 de puzolana y de limo respectivamente. Las probetas con filler calizo son muy afectadas en cuanto a la adherencia debido a que el filler retiene el agua del mortero e impide una penetración adecuada en el material base para garantizar una buena adherencia.

En lo que se refiere a los resultados de los ensayos de permeabilidad (Tablas Nº 3 y 4), se puede observar que prácticamente todas las combinaciones (excepto la 1:3,0:5 de puzolana) reducen la permeabilidad con relación al mortero tradicional. Esta reducción es más significativa para las combinaciones 1:1,0:5 ; 1:1,5:5 ; 1:2,0:5 y 1:2,5:5 de limo y 1:1,0:5 de filler calizo.

Observando las Tablas, se puede comprobar también que para los tres materiales alternativos, existe un mínimo en la permeabilidad que se produce para la combinación 1:1,0:5. Un aumento o disminución de las proporciones de material alternativo alrededor de esta combinación, produce un incremento de la permeabilidad. Esto puede explicarse de la siguiente manera: Un aumento del material alternativo, provoca también una mayor cantidad de agua de amasado para lograr la misma trabajabilidad, debido a la mayor cantidad de material y a la mayor superficie específica de

la mezcla en su conjunto. Esta mayor cantidad de agua de amasado debe reaccionar con la misma cantidad de cemento (el caso de la puzolana merece un análisis especial que se hará a continuación). Al permanecer constante la cantidad de cemento, se producirán más vacíos mientras mayor sea la cantidad de agua de amasado, lo que incidirá directamente en un aumento de la permeabilidad. Por otra parte, a menor contenido de materiales alternativos, la proporción de arena es mayor lo que hace que se produzcan morteros más ásperos con una mayor cantidad de vacíos entre las partículas por falta de finos para rellenar los huecos. Esta mayor cantidad de vacíos, incide también en un aumento de la permeabilidad.

Aparentemente, y en base a los resultados mostrados, las proporciones que mayor disminución de permeabilidad presentan, son aquellas en las que se ha obtenido un mejor llenado de huecos. Para los tres casos, son las proporciones 1:1,0:5.

En cuanto a las mezclas con puzolana, se debe recordar que el cemento utilizado: VIACHA IP-30, ya contiene proporciones significativas de puzolana (las que oscilan entre el 25 y 30 %). Esta puzolana, como es conocido, reacciona con el hidróxido de calcio generado en la hidratación del cemento para formar silicatos cálcicos hidratados (que son los compuestos resistentes y compactos). Esta reacción necesita la presencia de agua para producirse. Se puede deducir de los resultados obtenidos, que en este caso también, la proporción 1:1,0:5 es la que mayor cantidad de huecos permite rellenar con los productos de la hidratación del cemento y de la reacción de la puzolana.

Una vez concluidos los ensayos y determinadas las dosificaciones óptimas para cada material, se procedió a realizar ensayos de peso unitario, exudación en estado fresco, resistencia a compresión y las pruebas de aplicación construyendo muretes de ladrillo revocados con cada una de las alternativas.

Los resultados de los ensayos de pesos unitarios, exudación y resistencia a compresión se muestran en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5

Ensayo	MR-P	MR-L	MT
- Peso Unitario (g/cm ³)	2.12	2.10	2.14
- Exudación (%)	7.23	1.71	15.22
- Resistencia a			
Compresión (Kg/cm ²)	137.73	80.15	141.03

El análisis del comportamiento de esos revoques permite apreciar claramente que mientras los morteros de puzolana y limo tienen un comportamiento adecuado en los muretes de prueba, el mortero de filler calizo presenta fisuración excesiva debida a la retracción hidráulica a los 5 minutos de su colocación. Este hecho no se pudo advertir en los ensayos de laboratorio por las dimensiones de los moldes utilizados para las probetas. Por este motivo se descartó el mortero a base de filler calizo.

6. Análisis De Costos

Para el análisis de costos, se realizó un análisis de precios unitarios para la elaboración de un metro cuadrado de mortero de 1,5 cm de espesor en las variantes del mortero tradicional (cemento-arena 1:5) y los morteros de cemento-puzolana-arena (1:1,0:5) y cemento-limo-arena (1:1,0:5). Al considerarse los costos de mano de obra, herramientas y equipos similares para los tres casos, se obtiene que el costo de los materiales se diferencia de la siguiente manera:

- Mortero Tradicional: 35.74 Bs/m²
- Mortero con puzolana: 34.76 Bs/m²
- Mortero con limo: 34.87 Bs/m²

Si bien el ahorro por [m²] no es muy significativo, se vuelve interesante para grandes volúmenes de obra.

7. Conclusiones y Recomendaciones

- En primer lugar se pudo constatar que de manera general, los morteros con materiales alternativos tienen una mejor trabajabilidad en relación con el mortero tradicional debido a la mayor plasticidad brindada por esos materiales.
- La dosificación óptima buscada es la que corresponde a 1:1,0:5 para los morteros con puzolana y limo. El primero con mejores propiedades de adherencia y el segundo con mayor impermeabilidad.
- Si bien la adherencia de los morteros estudiados es menor que la adherencia del mortero tradicional, con una disminución que oscila entre el 8 y 20 % para las dosificaciones óptimas, esta disminución es relativamente pequeña en comparación con la disminución de la permeabilidad conseguida, que oscila entre el 44 y 65 % para las dosificaciones óptimas.
- La disminución de permeabilidad se constituye en una propiedad muy importante para aumentar la durabilidad de los morteros, puesto que disminuye el riesgo de ingreso de agentes agresivos como el agua y los compuestos químicos disueltos en el aire.
- La utilización de materiales alternativos significa un ahorro del 2.5 % para el caso del mortero de limo y del 3 % para el caso del mortero con puzolana.
- La reducción del consumo de cemento con la utilización de materiales alternativos-ecológicos, significa un importante aporte a la disminución de la contaminación ambiental.
- La utilización de filler calizo fue descartada (al menos en las proporciones estudiadas) por producir excesiva fisuración por retracción hidráulica, y por disminuir demasiado la adherencia.
- Un examen de los resultados de los ensayos adicionales efectuados en probetas preparadas con las dosificaciones óptimas, nos muestra que la exudación disminuye significativamente con la utilización de materiales alternativos

en relación con el mortero tradicional (52.5 % con puzolana y 88.4 % con limo). Esta disminución contribuye a un mayor tiempo de trabajabilidad, a una mayor estabilidad volumétrica y a una menor permeabilidad.

- Se recomienda continuar la presente investigación en una nueva fase que permita determinar en los morteros con material alternativo, propiedades tales como la estabilidad volumétrica, resistencia a la abrasión y al impacto y resistencia a los agentes químicos entre otras.
- Se recomienda continuar las investigaciones sobre morteros de revestimiento con la utilización de cal y jabón en base a referencias obtenidas en la bibliografía consultada.

8. Referencias Bibliograficas

- [1] Manual del Mortero, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1988
- [2] El Mortero y sus Aplicaciones. Cartilla de recomendaciones básicas, Instituto Chileno del Cemento y del Hormigón, 1989
- [3] Gustavo Domínguez Hernandez, Tecnología y prácticas de albañilería
- [4] Manual de aplanado de mortero de cemento Portland, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. 1992.
- [5] Argamassas de revestimento: Características, propiedades e métodos de ensaio. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), Sao Paolo, 1995
- [6] Selmo, S.M.S. Dosagem de Argamassas de Cimento Portland e Cal para revestimento externo de fachada de edificios. Sao Paolo, 1989.
- [7] Recomendaciones y Manuales Técnicos, Guía de Diseño CEB, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones (IECA), 1993.
- [8] Barahona, C. Revestimientos Continuos en la Arquitectura Tradicional, Madrid, 1992.
- [9] Espinosa, P.C. Manual de Construcción de Albañilería, Edición Faksimil. Real Academia Española, Madrid, 1971.
- [10] López Jaén J. Revestimientos Exteriores, en cerramientos y acabados Volumen 7, Madrid. 1998.
- [11] Sánchez de Guzmán, Tecnología del Concreto y del Mortero Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ingeniería, Bogotá, 1987.
- [12] Aguilar Vidangos Reynaldo, Ensayo de valoración Físico-mecánica de la Puzolana Natural, proyecto de Grado para Ingeniería Civil U.M.S.A., La Paz
- [13] Normas Extranjeras y Nacionales:
 - ASTM C 109, C 188, C144
 - DIN 18555
 - RILEM MR 1-21
 - ME-10 IPT Brasil
 - UNE - EN 539-1

A propósito de la Teoría del Riesgo

Victor E. Bermejo Franco

(*) Ensayo basado en el trabajo de Omar Darío Cardona, titulado: "**La necesidad de repensar de manera holística los conceptos de vulnerabilidad y riesgo**"

La concepción y la terminología asociada a la definición del riesgo, ha experimentado cambios con el transcurso del tiempo y con el desarrollo de enfoques sustentados en diferentes disciplinas, desde los cuales se ha pretendido establecer su noción. Esta realidad, es decir, la ausencia de una teoría holística del riesgo, ha impedido una concepción integral del mismo, afectando su estimación e intervención desde una perspectiva multidisciplinar que no ha permitido lograr resultados efectivos en la gestión del riesgo.

Durante muchos años, fue usual conceptualizar al **riesgo** como sinónimo de **amenaza**; incluso más recientemente resultaba común considerar y entender el **riesgo** como vulnerabilidad.

El riesgo es la convolución, es decir, la concomitancia y mutuo condicionamiento de la amenaza y la vulnerabilidad (O.D.Cardona). Matemáticamente, se define como la probabilidad de exceder un nivel de consecuencias económicas, sociales y ambientales, en un cierto sitio y durante un determinado periodo de tiempo.

La amenaza, entendida como un peligro latente, se considera un factor de riesgo externo sobre un sistema o sujeto **expuesto**.

La vulnerabilidad o factor de riesgo interno, pone de manifiesto la factibilidad que un sistema o sujeto expuesto sea afectado por una amenaza. Desde un punto de vista más general, se entiende a la vulnerabilidad como la predisposición o susceptibilidad física, económica, política y social, que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir daños en caso que un fenómeno

desestabilizador de origen antrópico o natural se manifieste. En ese sentido, se identifican los siguientes factores que la originan: a) fragilidad física o exposición, b) fragilidad social, y c) falta de resiliencia.

Si no existe la amenaza, no es factible ser vulnerable. Si un sistema o elemento no está expuesto, no se da una situación de amenaza.

La problemática de la evaluación del riesgo en la perspectiva de la prevención de desastres, inicialmente, se ha caracterizado por un **enfoque tecnocrático**, asumido por especialistas en las ciencias naturales que han estudiado la temática relacionada con la ocurrencia de terremotos, deslizamientos, huracanes, inundaciones, etc. Este enfoque tiende a privilegiar el conocimiento de las amenazas o los fenómenos generadores de la amenaza. Sin embargo, cuando se estima el riesgo en base a sus componentes, es fundamental también dirigir el estudio hacia la vulnerabilidad global o las condiciones que favorecen la ocurrencia de la crisis, destacando la vulnerabilidad social como causa de la vulnerabilidad física, consiguientemente en la lectura y análisis del riesgo deberá incorporarse el conocimiento de la percepción individual y colectiva del riesgo e investigar las características culturales, de desarrollo y de organización de las sociedades que favorecen o impiden la prevención y la mitigación (Maskrey, 1994).

El enfoque de las ciencias naturales constituye una visión reduccionista ya que el riesgo no debe entenderse exclusivamente como la posible ocurrencia de un fenómeno natural: terremoto,

huracán, etc., considerados como "hechos inevitables", "del destino" o "actos de Dios". Si bien el avance tecnológico y el estudio de los fenómenos geodinámicos e hidrometeorológicos, han contribuido al conocimiento de la amenaza, aún no es posible predecir con certeza y precisión la ocurrencia de un suceso futuro, por lo tanto no es suficiente, en el entendido que el riesgo se conceptualiza como el potencial de consecuencias o pérdidas en caso que se presenten fenómenos naturales a posterior.

El enfoque de las ciencias aplicadas se centra en los efectos del suceso asociado a la amenaza. Constituye también un enfoque parcial y reduccionista, que desconoce los aspectos sociales, culturales, económicos y políticos que deben reflejarse en la estimación de la vulnerabilidad y el riesgo. El riesgo es una variable objetiva y cuantificable, que se interpreta como un potencial de pérdidas según los daños factibles. La vulnerabilidad se percibe sólo como la exposición o susceptibilidad a sufrir daños sin considerar la resiliencia. El desastre se relaciona con las pérdidas que representan los daños ocurridos y no con las consecuencias que causa sobre la sociedad.

El enfoque de las ciencias sociales ha dado énfasis a la modelación social de la vulnerabilidad que ha llegado a omitir el impacto ambiental y los daños físicos potenciales como elementos fundamentales para establecer una concepción o estimación del riesgo. A mediados del siglo 20, en EE.UU. se desarrolla la Teoría Social de los desastres con estudios sobre las reacciones y percepción individual y colectiva de la población ante las emergencias y no referidos al estudio exclusivo del riesgo.

La vulnerabilidad se ha interpretado como una "característica" o una "propiedad" y no como una condición o predisposición y una falta de capacidad para recuperarse. Algunos autores han considerado a la pobreza como la vulnerabilidad misma y no como un factor de vulnerabilidad. Las condiciones del subdesarrollo (marginalidad

social, explotación, expropiación, presión política, etc.) han hecho que las comunidades pobres sean más vulnerables a los desastres y hayan sido forzadas a degradar su medio ambiente.

Conclusiones

- Los estilos o modelos de desarrollo existentes en muchos países promueven que el riesgo y los desastres sean un problema en aumento.
- Los desastres no son sucesos de la naturaleza por sí misma, sino situaciones que resultan de la relación entre lo natural y la organización y estructura de la sociedad (crecimiento poblacional, procesos de urbanización, tendencias en la ocupación del territorio, empobrecimientos de importantes sectores de la población, degradación del medio ambiente, etc.).
- Si bien se han logrado avances significativos desde el punto de vista técnico con relación a la gestión del riesgo, las soluciones planteadas no han podido ser aplicadas convenientemente, debido a la carencia de recursos disponibles; a la falta de conciencia y responsabilidad de las autoridades políticas; a una percepción del riesgo y desastre distinta y propia por parte de la población; a la restringida o casi nula consideración de la problemática del riesgo en las políticas económicas, sociales y en la planificación del desarrollo; y a una manera reduccionista y fragmentada de estimar y valorar el riesgo.
- La falta de una visión holística del riesgo, es decir, una valoración integral y multidisciplinar, consistente y coherente, planteada en el marco teórico de la complejidad, que considere no sólo las variables geológicas y estructurales, sino también las variables económicas, sociales, políticas, culturales, ambientales, etc., podría orientar y contribuir a la efectividad de la gestión del riesgo.