

REVISTA DE LA SECCIÓN
INGENIERÍA CIVIL - PUCP

Edificios peruanos con muros de concreto de ductilidad limitada

DI-SIC-2010- 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07
LIMA, JUNIO 2010

Alfonso de la Piedra, Juan Pablo Herrera, Enrique Pasquel, Ángel San Bartolomé,
Richard Klingner, Adolfo Gálvez, Alejandro Muñoz.



Arquitectura y construcción
Tecnología del concreto
Investigaciones experimentales
Normas internacionales de diseño
Comportamiento sísmico esperado

LABORATORIO DE ESTRUCTURAS ANTISISMICAS

El Laboratorio de Estructuras Antisísmicas del Departamento de Ingeniería, con más de 30 años de experiencia, cuenta con equipos e instalaciones que permiten la ejecución de ensayos estáticos y dinámicos en especímenes a escala natural o reducida. Se dispone de equipos para construcción y traslado de especímenes, montaje de dispositivos, aplicación de carga, medición, adquisición y procesamiento de datos.

En el laboratorio se desarrollan tres tipos de actividades:

- Apoyo a los cursos de Pregrado y Postgrado.
- Investigación en materiales locales para mejorar su comportamiento sísmico.
- Servicio técnico para la industria de la construcción, ejecutando ensayos e investigaciones experimentales para evaluar las características del comportamiento de materiales, estructuras y/o de sus componentes.



Los ensayos que habitualmente se realizan son:

- Ensayos mecánicos: compresión, tracción, flexión, compresión diagonal, corte e impacto en distintos materiales y elementos estructurales.
- Carga horizontal monotónica y cíclica en sistemas y componentes estructurales.
- Simulación sísmica en modelos a escala natural y reducida.
- Verificación de equipo de aplicación de carga. Se cuenta con celdas de carga patrón calibradas en el National Standard Testing Laboratory, USA.
- Dosificaciones de mezclas de concreto con y sin aditivo.
- Compresión en probetas estándar de concreto.
- Determinación de la calidad del concreto fresco in-situ.
- Determinación de la calidad y uniformidad del concreto endurecido in-situ mediante probetas diamantinas y esclerometría.
- Evaluación de la capacidad de estructuras mediante pruebas de carga.
- Consultoría en temas de estructuras y de patología estructural en general.

Desde Octubre del 2003 a la fecha, el laboratorio cuenta con Acreditación ISO/IEC 17025 otorgada por el INDECOPI en los siguientes métodos de ensayo:

- Compresión en probetas estándar de concreto (NTP 339.034)
- Extracción y ensayo de testigos diamantinos (NTP 339.059)
- Flexión en vigas estándar de concreto (ASTM C78)
- Resistencia al tránsito en tapas de concreto (NTP 339.111)
- Tracción en varillas corrugadas de acero de refuerzo (ASTM A370)
- Compresión en ladrillos de arcilla (NTP 399.613)

Jefe de Laboratorio: Ing. Ing. Gladys Villa García Medina

Informes

Teléfono: 626-2000 anexo 4640

Fax: 629-2089

e-mail: ledi@pucp.edu.pe

PRESENTACIÓN

Los Edificios de Ductilidad Limitada Peruanos

El sistema estructural de muros de concreto armado, es probablemente el más empleado en los últimos años para la construcción de edificios de vivienda en el Perú. En los edificios de baja altura, hasta 7 pisos, los muros se construyen con características peculiares y se denominan Edificios de Muros de Ductilidad Limitada, EMDL. Debido a su menor tiempo de construcción y a su menor costo, los EMDL se han convertido en una real alternativa de solución al problema de vivienda en el país.

Los edificios de muros de concreto armado permiten reducir el tiempo de construcción gracias al empleo de concreto premezclado, encofrados metálicos y mallas para el acero de refuerzo. La velocidad de construcción, generalmente de 1 departamento por día, junto a la optimización en el uso de recursos y mano de obra, constituyen una clara contribución a la industrialización de la construcción en el país.

Desde la perspectiva de los códigos internacionales, los EMDL son en cierta forma singulares debido al menor ancho de sus muros, a las características de las mallas y hasta la disposición misma del refuerzo. Sin embargo, en opinión de muchos expertos, estos edificios tendrían un desempeño sismorresistente comparable al de los edificios de muros y pórticos que siguen las recomendaciones internacionales.

Esta publicación muestra los aspectos arquitectónicos de los EMDL, presenta temas técnicos relacionados con el proceso constructivo y la tecnología del concreto, además muestra los resultados de investigaciones experimentales y analíticas relacionadas al desempeño sísmico esperado.

Alejandro Muñoz
Coordinador
Sección Ingeniería Civil

CONTENIDO

Presentación	1
Contenido	3
1. Arquitectura	5
2. Construcción	15
3. Tecnología del Concreto	31
4. Investigaciones Experimentales	41
5. Investigaciones teóricas	57
6. Desde la Perspectiva de las Normas Internacionales: USA	79
7. Desempeño Sismorresistente	91



3 **TECNOLOGÍA DEL** **CONCRETO**

- **TECNOLOGÍA DEL CONCRETO
PARA EDIFICIOS CON MUROS DE
DUCTILIDAD LIMITADA**

DI-SIC-2010-03

Enrique Pasquel

TECNOLOGÍA DEL CONCRETO PARA EDIFICIOS CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Por: Enrique Pasquel Carbajal¹

1. INTRODUCCION

El concreto es el material de construcción más usado y difundido en nuestro país en términos relativos a concentración de población e idiosincrasia de desarrollo. El esquema constructivo clásico en la vivienda unifamiliar o multifamiliar peruana considera muros portantes de ladrillo de arcilla como estructura básica, complementada con columnas, vigas y techos aligerados en concreto, y revestimiento posterior con tarrajeo como acabado final.

Tradicionalmente se estimaba que sólo era justificable el empleo generalizado de concreto al tratarse de edificios de muchos pisos, en que las limitaciones de la albañilería de arcilla sobre todo en los aspectos de comportamiento sísmico “obligan” a que incluso los muros se hagan con concreto asumiéndose que esto conllevaba un considerable incremento en los costos.

En los últimos años se ha demostrado que variando el esquema constructivo usual, hacia el diseño estructural antisísmico con muros y losas de concreto de poco espesor en acabado caravista, que no requieren tarrajeo posterior, y sistematizando el empleo de encofrados modulares con concreto adaptado tecnológicamente a estos requerimientos, se obtienen economías importantes en el balance costo-beneficio final en relación con el esquema tradicional sobre todo cuando se trata de construcciones masivas.

La ingeniería peruana ha desarrollado y bautizado como “Edificios con Muros de Ductilidad Limitada” a esta alternativa por sus características particulares de comportamiento carga-deformación, residiendo el secreto en la reducción de secciones versus las usuales en albañilería de arcilla, con ventajas obvias en mejoramiento de resistencia, comportamiento estructural, incremento de áreas útiles, economía y calidad, habiéndose convertido en el catalizador del último lustro, para activar exitosamente la construcción y venta masiva de viviendas populares en nuestro país..

En el presente artículo se detallan las consideraciones en tecnología del concreto que han debido incorporar estos edificios para obtener las características de trabajabilidad, alto desempeño, desarrollo rápido de resistencia y durabilidad requeridas para el éxito del concepto, asegurando la eliminación del tarrajeo, mejora en la productividad de los procesos constructivos, e incremento de los rendimientos disminuyendo los tiempos de ejecución, con lo que se producen ahorros significativos en costos directos, gastos generales y en el precio de venta al usuario.

2. DESARROLLOS EN TECNOLOGÍA MODERNA DEL CONCRETO EN EL PERÚ PARA EDIFICIOS CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

Dentro del contexto descrito, desde hace algún tiempo la industria de la construcción nacional se ha modernizado en aspectos tales como nuevos sistemas de encofrado, uso de elementos prefabricados, materiales y técnicas de acabados, equipos, planeamiento y control de la producción mas avanzados, pero sin embargo, en lo referente al concreto, ha seguido aplicando los mismos conceptos, limitaciones y productos tradicionales, no aprovechando las ventajas de los aditivos y tecnologías de última generación que permiten superar las restricciones clásicas en aspectos como trabajabilidad, control de hidratación, resistencia, ahorro de cemento, control de fisuración, durabilidad, calidad, velocidad de vaciado y compactación, etc., con lo que se consigue una modernización integral con resultados más favorables en el análisis costo-beneficio en la construcción masiva de viviendas en concreto.

¹ **Ing. Enrique Pasquel Carbajal.** Profesor de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Profesor de la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Fellow American Concrete Institute, Past Presidente del ACI-PERU, Gerente de Investigación y Desarrollo de Unión de Concreteras S.A., Director Ejecutivo del Centro de Investigación Tecnológica del Cemento y el Concreto – CITEDEC, Lima, Perú.

Un concepto fundamental es que no se puede abordar la construcción de Edificios con Muros de Ductilidad Limitada asumiendo que el problema a resolver con el material principal: el concreto, es solamente reducir el tamaño máximo del agregado e incrementar el slump pues se subestima la complejidad de tener que vaciar rápidamente muros de 2.40m de altura y 10 cm de espesor con refuerzo interior de una o dos mallas de acero, exigencia que complica tremendamente la labor del que coloca y compacta el concreto esperando un acabado final sin defectos superficiales. Por otro lado, los espesores reducidos disminuyen los recubrimientos y con ello se introducen problemas potenciales en la durabilidad ante agresividad externa, y la alta rotación que se exige a los encofrados motiva en el constructor la necesidad de 'tiempos de desencofrado' menores a los normales sin que se afecte el endurecimiento inicial, la ganancia de resistencia, ni el costo.

Pasaremos a detallar a continuación las alternativas tecnológicas en concreto que permiten atender estos requerimientos.

3. CONCRETOS DE TRABAJABILIDAD OPTIMIZADA

Cuando se habla de edificios en concreto con muros de poco espesor, el principal reparo de los constructores reside en que con los concretos de trabajabilidad normal es decir aquellos que apreciamos de consistencia no muy suelta y algo pedregosos, no sirven para este tipo de solución pues no entran adecuadamente en los moldes, obligan a mucho trabajo de colocación y compactación, no se pueden soltar de gran altura pues se segregan separándose la piedra de la pasta, y finalmente obligan a trabajos de reparación superficial para corregir defectos de acabado.

Los parámetros físicos que controlan como se desplaza y compacta un concreto en estado fresco son la viscosidad (esfuerzos de corte en las capas de la matriz de pasta de cemento), la cohesión (fuerza de adhesión entre partículas de agregado y la pasta de cemento) y la fricción interna (resistencia al traslado y rotación de las partículas de agregado dentro de la matriz) y a esto se le denomina la reología del concreto en estado fresco que ha sido ampliamente estudiada a nivel mundial desde la década de los años 30.

Los concretos denominados súper plastificados, reoplásticos y autocompactantes son aquellos en que estos parámetros están controlados a través de aditivos de última generación, en que a diferencia de los concretos normales, cuando el agregar agua hace fluida la mezcla pero provoca segregación y disminución de resistencias, en este tipo de concreto las mezclas son muy sueltas (asentamientos de 6" a 12"), pero a la vez cohesivas, sin segregación y con resistencia incrementada, al no afectarse la relación agua/cemento y producirse una mayor dispersión e hidratación del cemento.

En los concretos mencionados estos parámetros están controlados a través de aditivos plastificantes de rango medio y súper plastificantes de tercera y cuarta generación que son productos desarrollados a mediados de los noventa que actúan sobre la base del llamado efecto aniónico, en que se introducen cargas electroquímicas positivas en las partículas de la mezcla por lo que estas se repelen, disminuyendo la viscosidad y fricción interna sin alterarse la cohesión, con lo que el concreto "milagrosamente" se suelta sin haberle agregado agua, manteniéndose este efecto durante hasta 3 horas en que cesa la reacción electroquímica. Permiten vaciados con muy poco personal, algunos no necesitan casi compactación, incrementan notablemente los rendimientos en colocación, tienen un mayor tiempo de vida en estado fresco, permiten bombeo a largas distancias y vaciados hasta de 5 m. de altura, y eliminan o reducen al mínimo los resanes en concretos caravista, representando en conjunto ahorros importantes en mano de obra y reducción de tiempos de ejecución de los trabajos. En los Gráficos 1 y 2 se pueden apreciar las curvas Agua/Cemento vs. Plasticidad para concretos con aditivos plastificantes de rango medio y súper plastificantes, que ilustran los rangos usuales para este tipo de concretos.

El constructor tiene pues la posibilidad de disponer y elegir la trabajabilidad que requiere el proceso y sistema constructivo moderno que esté empleando, sobre todo para que la velocidad del mismo se optimice y las imperfecciones superficiales sean mínimas. En consecuencia, no es posible asegurar el éxito en el producto final, sin el empleo de los aditivos mencionados, un diseño de mezcla profesional, y complementariamente un proceso de producción, transporte y colocación adecuado, que en la gran mayoría de los casos sólo lo puede proveer la industria del premezclado para cerrar el círculo virtuoso.

Una herramienta en la especificación y control en obra de concretos con características autocompactantes (slump > 10"), es la constituida por las normas ASTM C-1611-05 "Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete", que define la "extensibilidad" del concreto y el "índice visual de estabilidad" como parámetros de control (Ver Fotos 1, 2 y 3) y ASTM C-1621-06 "Standard Test Method for Passing Ability of Self-Consolidating Concrete by J-Ring", que establece el índice de bloqueo o habilidad de paso para estimar la capacidad del concreto de atravesar obstáculos constituidos por el acero de refuerzo.(Ver Fotos 4, 5 y 6).

4. CONCRETOS CON FIBRAS

El concepto de reforzar una matriz con fibras es muy antiguo, siendo el adobe su manifestación clásica, en que agregando paja a una matriz de barro se logra una estructura capaz de asumir esfuerzos de tracción y reducir fisuración. En el caso del concreto, se han probado muchas alternativas de refuerzo con fibras para controlar la fisuración: textiles, plásticas, vidrio, etc., habiéndose encontrado los mejores resultados con las fibras de polipropileno de longitudes usuales entre 1" a 2" y secciones de varios tipos. Se adjunta en la Tabla I propiedades comparativas de varios tipos de fibras sintéticas.

Las fibras de polipropileno controlan el agrietamiento del concreto en estado plástico entre un 80% a 100%, mejorando el comportamiento en compresión y flexión, la resistencia al impacto y la reología en estado fresco y endurecido. Finalmente, permiten en algunos casos eliminar el acero de temperatura, que empleamos en las losas y pavimentos, con un ahorro importante en costo y los beneficios adicionales antes descritos, que representan un aporte significativo en el caso de viviendas masivas.

Los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada en concreto son más susceptibles a fisurarse por la gran restricción a las deformaciones a que están sujetos y en este caso, las fibras de polipropileno contribuyen notablemente a disminuir esta fisuración o controlar la abertura de las grietas si se llegan a producir. Por otro lado, rompen la estructura capilar natural del concreto y contribuyen a reducir su permeabilidad confiriéndole mayor durabilidad ante la agresividad química externa.

Las dosis usuales de fibras de polipropileno oscilan entre 400gr. a 900gr. por m³ de concreto dependiendo del tipo de fibra y del fabricante, siendo importante saber que existe la Norma ASTM C-1579-06 "Standard Test Method for Evaluating Plastic Shrinkage Cracking of Restrained Fiber Reinforced Concrete" para poder comparar la eficiencia comparativa entre varias alternativas o comprobar si lo ofrecido por el proveedor se verifica en la realidad.

5. CONCRETOS CON PERMEABILIDAD REDUCIDA

Uno de los aspectos más críticos en los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada es la durabilidad, ya que la optimización de espesores y resistencias a lo mínimo compatible con los requerimientos de comportamiento estructural, y la viabilidad de procesos constructivos más rápidos y económicos, hace que se deban tomar previsiones importantes en la durabilidad sobre todo en condiciones de servicio o exposición al medio ambiente que atentan contra ella.

Una investigación de más de 20 años de la Portland Cement Association en USA, concluyó en que más allá del tipo de cemento, es la permeabilidad el parámetro que condiciona la durabilidad del concreto. En consecuencia, los concretos más impermeables son los más durables y ello va ligado fundamentalmente a la relación Agua/Cemento y la porosidad. En el Gráfico 3 apreciamos las curvas típicas $f'c$ vs. A/C que nos permiten concluir pues que en la medida que utilicemos concretos con menor relación Agua/Cemento, estos serán más impermeables, sin embargo también serán más caros y ello contravendría la economía que se pretende en la vivienda popular.

Una alternativa barata la representa el empleo de aditivos incorporadores de aire, que se inventan en la década del 50 para controlar el efecto de los ciclos de hielo y deshielo en los concretos, pero que como efecto indirecto rompen la estructura natural de los poros capilares y ello reduce la permeabilidad. Efectivamente, las burbujas de aire incorporado causan el efecto de miles de válvulas independientes no interconectadas que por un lado permiten expandirse al agua interna si se congela y por el otro crean barreras para el ingreso de fluidos del exterior.

Otra forma de lograr concretos con menor permeabilidad es el empleo de aditivos minerales, que individualmente no tienen propiedades cementicias pero reaccionando con el cemento generan más cemento en el tiempo. El mecanismo de reducción de permeabilidad estriba en que el tamaño de partículas de estos productos es varias veces menor que el de las partículas de cemento con lo que la estructura final de la pasta es significativamente menos porosa y más densa. Alternativas de adiciones minerales económicas en nuestro medio las constituyen los cementos adicionados y el uso de microfiller de carbonato de calcio, con lo que sumado al empleo de un incorporador de aire, y la realidad de que normalmente los muros se pintan con pinturas de látex o acrílicas, se logra una reducción importante de la permeabilidad pese a las relaciones Agua/Cemento relativamente altas (0.65 a 0.75) que corresponden a los concretos de 175kg/cm² y 210kg/cm² que normalmente especifican los diseñadores por razones estructurales.

6. ¿COMO ESPECIFICAR LOS CONCRETOS EN LOS EDIFICIOS CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA?

Lo manifestado en los acápite anteriores, permite concluir pues que para los diseñadores o proyectistas estructurales la especificación de estos concretos no debería limitarse solamente a establecer la resistencia en compresión $f'c$ como lo haría en un proyecto convencional, sino algunos parámetros adicionales que garanticen los requisitos mínimos para que el proceso constructivo facilite la adecuada colocación y compactación integral del concreto, y que la durabilidad de la estructura esté asegurada.

En base a nuestra experiencia en los últimos años en diferentes proyectos de este tipo, recomendaríamos el siguiente esquema referencial de especificación técnica:

ESQUEMA REFERENCIAL DE ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE LOS CONCRETOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS CON MUROS DE DUCTILIDAD LIMITADA

a. Concreto para losas de 10cm a 12cm de espesor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Resistencia en compresión $f'c$ a 28 días de edad	175 a 210kg/cm ² , según lo establezca el proyectista
Agregado grueso	Tamaño Máximo Nominal 1", Cumplir Gradación Huso 57 ASTM C-33 (Se podrá usar menor T.M.N. a criterio del constructor, pero no mayor del especificado)
Agregado fino	Gradación según ASTM C-33
Tipo de cemento	Puede ser Standard según ASTM C-150 (Tipo I, II, V) o Adicionado según ASTM C-595 (IP, IPM, IMS, ICo), pudiendo emplearse adiciones minerales, según lo establezca el proyectista por criterios de durabilidad
Fibra de polipropileno	400gr a 900gr, según lo establezca el proyectista
Asentamiento (pulg.)	3 a 4 pulgadas mínimo (Ver Nota (1))
Aire incorporado en %	3% a 4%

Nota (1):

Se puede incrementar el asentamiento del concreto si así lo requiere el constructor para facilitar los trabajos de colocación en obra, siempre que se realice a través del empleo de aditivo plastificante en el diseño de mezcla

b. Concreto para muros de 10cm espesor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Resistencia en compresión $f'c$ a 28 días de edad	175 a 210kg/cm ² , según lo establezca el proyectista
Agregado grueso	Tamaño Máximo Nominal 3/4", Cumplir Gradación Huso 67 ASTM C-33 (Se podrá usar menor T.M.N. a criterio del constructor, pero no mayor del especificado)
Agregado fino	Gradación según ASTM C-33
Tipo de cemento	Puede ser Standard según ASTM C-150 (Tipo I, II, V) o Adicionado según ASTM C-595 (IP, IPM, IMS, ICo) y/o podrán emplearse adiciones minerales, según lo establezca el proyectista por criterios de durabilidad
Fibra de polipropileno	400gr a 900gr, según lo establezca el proyectista
Asentamiento (pulg.)	6 a 8 pulgadas mínimo (Ver Nota (2)) (*) (De emplearse concreto con slump superior a 10" se deberán cumplir los requisitos opcionales de extensibilidad, índice de estabilidad y habilidad de paso)
Extensibilidad mínima (*)	50 cm (ASTM C-1611)
Índice visual de estabilidad (*)	0 a 1 (ASTM C-1611)
Habilidad de paso (*)	< 25mm (ASTM C-1621)
Aire incorporado en %	3% a 4%

Nota (2):

Se puede incrementar el asentamiento del concreto si así lo requiere el constructor para facilitar los trabajos de colocación en obra, siempre que se realice a través del empleo de aditivo plastificante y/o súper plastificante en el diseño de mezcla

c. Tolerancias en los concretos

ITEM	TOLERANCIAS	
	Slump de diseño < 4"	Slump de diseño > 4"
Slump (Pulg.)	+1" (ASTM C-94)	+1 1/2" (ASTM C-94)
a/c	+ 0.02	+ 0.02
Tiempo de vida útil antes inicio de fragua (Horas)	2.5 mínimo	2.5 mínimo

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada han demostrado en los últimos años que son una alternativa viable, eficiente, segura y económica desarrollada por la ingeniería peruana para colaborar en la solución del problema de la vivienda en el Perú.
- Los reducidos espesores de las losas y muros de los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada han motivado el desarrollo de concretos no convencionales, que se adapten al proceso de construcción industrializado que requieren estos edificios, y cumplir a la vez con las exigencias de trabajabilidad, desarrollo de resistencia y durabilidad que satisfagan las expectativas de los diseñadores y constructores.
- Existen alternativas modernas de manejo de la trabajabilidad, permeabilidad y durabilidad en base al uso de aditivos plastificantes y súper plastificantes, refuerzo con fibras, aire incorporado y el empleo de adiciones minerales, que abren un abanico muy grande de posibilidades para el diseñador y el constructor para el logro de los objetivos técnicos y económicos en estos proyectos.
- Las especificaciones técnicas para los concretos en los Edificios con Muros de Ductilidad Limitada deben incluir además de la resistencia en compresión $f'c$, las definiciones claras del Tamaño máximo nominal del agregado grueso, opciones en el tipo de Cemento y adiciones minerales, slump, porcentaje de aire incorporado y contenido de fibras, como requisitos mínimos a ser cumplidos por el constructor para garantizar que la edificación resultante satisfaga las expectativas de comportamiento estructural y durabilidad consideradas por el diseñador.

REFERENCIAS

ACI 544.1R. "State of the art report on Fiber Reinforced Concrete". American Concrete Institute. 2007.

INEI. "XI Censo de Población y VI de Vivienda". Instituto Nacional de Estadística e Informática. 2007

Kosmatka, S et al: Kosmatka, S; Kerkhoff, B; Panarese, W. "Design and Control of Concrete Mixtures" 14th Edition. Portland Cement Association. 2009.

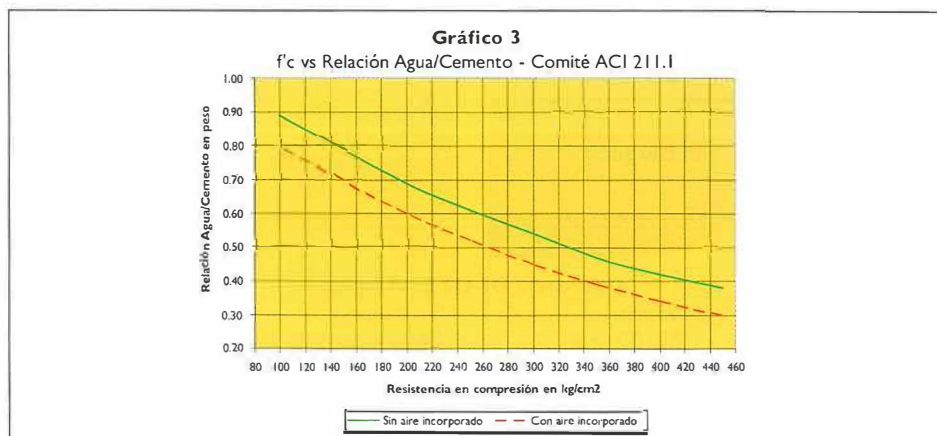
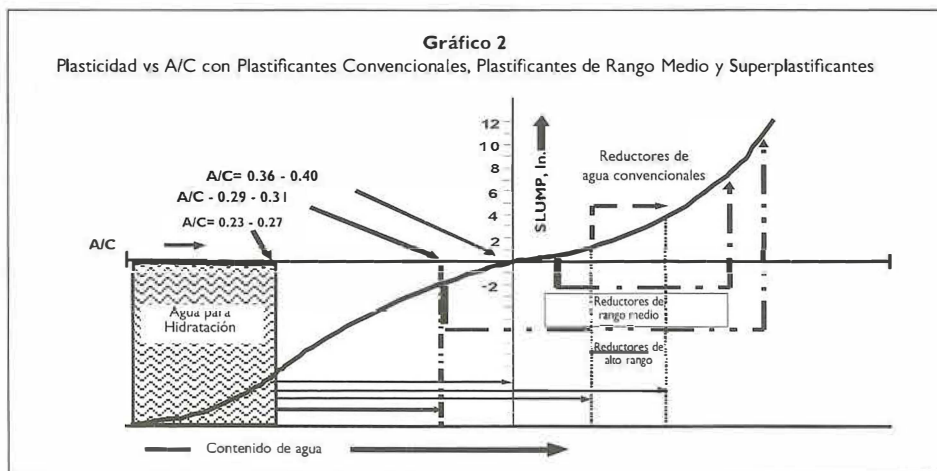
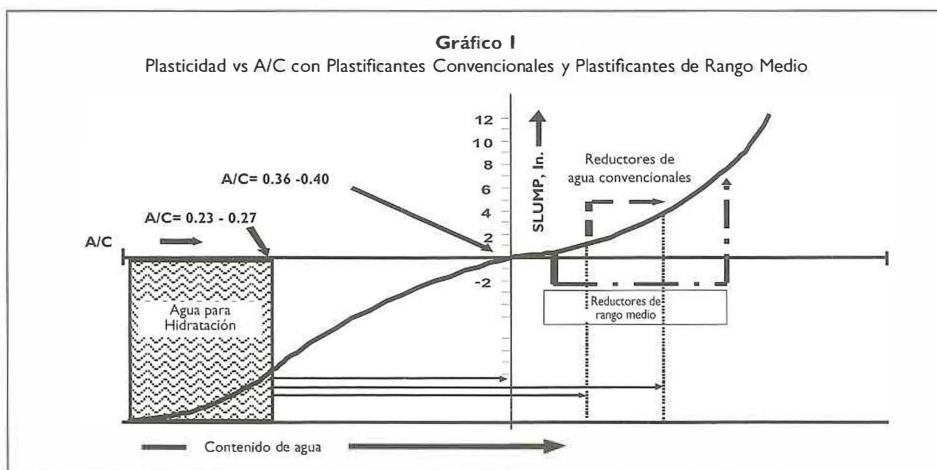
Mehta et al: Mehta, PK; Monteiro, P. "Concrete : Microstructure, Properties and Materials". The McGraw Hill Companies Third Edition. 2006.

Pasquel, E (a). "Especificaciones Técnicas para el concreto en Edificios con Muros de Ductilidad Limitada". CITEDEC – UNICON. 2006.

Pasquel, E (b). "Microfiller de Carbonato de Calcio como Adición Mineral en el Concreto". CITEDEC. XV Congreso Nacional de ingeniería Civil. Ayacucho, Perú. 2005.

Pasquel, E (c). "Propuesta de Metodología Estandarizada para evaluación de Defectos Superficiales en Muros de Concreto". CITEDEC. Reunión del Concreto 2006 – ASOCRETO. Cartagena de Indias, Colombia. 2006.

Tabla 1.- PROPIEDADES TÍPICAS DE FIBRAS SINTÉTICAS					
Tipo de Fibra	Forma	Gravedad Específica	Longitud Usual (pulgadas)	Resistencia En tracción (kg/cm ²)	Módulo de Elasticidad (Kg/cm ²)
Polypropileno	Multi Filamento (Fibrilada)	0.91	¼" a 2 1/2"	5,600 a 7,700	35,000 a 50,000
Polypropileno	Mono Filamento	0.91	½" a ¾"	2,800 a 7,000	35,000 a 50,000
Polyester	Mono Filamento	1.34	¾" a 2"	5,600 a 12,000	100,000 a 175,000
Nylon	Mono Filamento	1.16	¾" a 2"	9,000	52,500



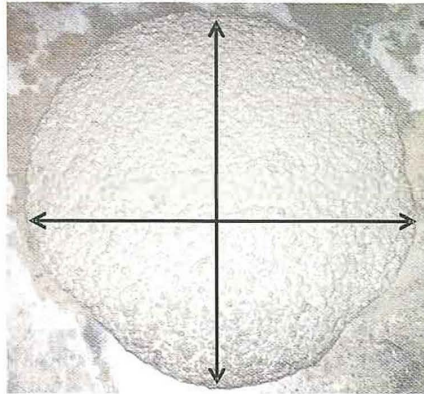


Foto 1. Medición de Extensibilidad



Foto 2. Índice de Estabilidad = 0
(Altamente estable)

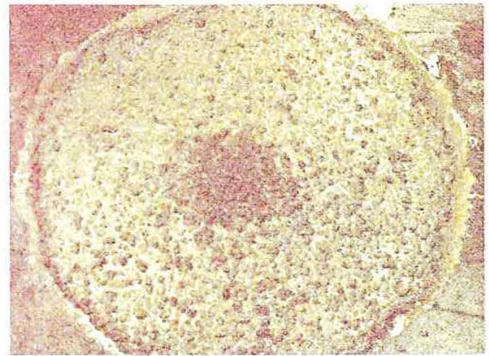


Foto 3. Índice de Estabilidad = 3
(Altamente inestable)

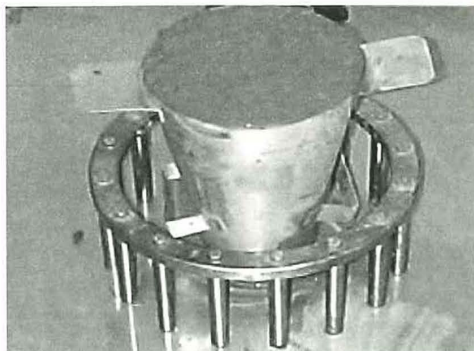
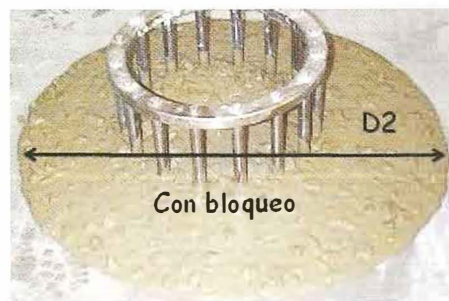


Foto 4. Prueba del O-Ring
antes de levantar el cono.



Foto 5. Prueba del O-Ring luego
de levantar el cono.



Diferencia D1-D2 Evaluación

<25 mm

25 a 50 mm

>50 mm

Sin Bloqueo

Bloqueo Evidente

Bloqueo Excesivo

Foto 6. Evaluación de la habilidad de paso o bloqueo.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El Laboratorio de Mecánica de Suelos fue creado en el año 1966, a partir de una donación de equipos que hiciera la Dirección de Caminos del entonces Ministerio de Fomento y Obras Públicas a nuestra Universidad. Estos equipos fueron destinados fundamentalmente para la docencia; instalados y calibrados conjuntamente por personal de la Universidad y del Ministerio, con la colaboración de un experto de la Misión Renardet. El área de Laboratorio de Mecánica de Suelos, incluyendo oficinas es de 738m².



Con el transcurrir del tiempo, el laboratorio se fue equipando con recursos propios de la Universidad, con equipos modernos y con tecnología de punta; para realizar actividades docentes; de investigación, y de servicio de apoyo a la industria

de la construcción de edificaciones, presas, carreteras, puertos, aeropuertos, canales, etc.; así como también a los proyectos relacionados con minería en lo referente a obras civiles y relaveras.

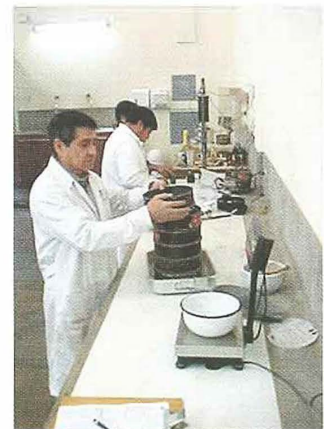


Además de los equipos usuales para determinación de las propiedades índice, hidráulicas, de compresibilidad de los suelos, de las propiedades para el diseño de vías de comunicación y de las características de los agregados; el laboratorio cuenta con un equipo triaxial con marco de carga de 50 KN y celdas de 35mm, 50mm, 70mm y 100mm; sistema de aplicación de presión constante, aplicación de contrapresión, medición de cambio de volumen y un equipo para corte directo controlados por un sistema digital de 16 canales con sistema de adquisición de datos electrónico. Todo este sistema se encuentra controlado mediante una microcomputadora; que permite controlar el proceso de los ensayos.

Actualmente, el laboratorio cuenta con 13 celdas para los ensayos triaxiales, que permite trabajar varios especímenes en forma simultánea. Adicionalmente, a los ensayos triaxiales rutinarios No Consolidado No Drenado, Consolidado No Drenado y Consolidado Drenado de compresión, también disponemos de equipos para realizar ensayos de Extensión Triaxial.

Además de ensayos, el laboratorio realiza Estudios de Mecánica de Suelos de acuerdo a la Norma NTE E-050 para el diseño de cimentaciones; y Diseño de Pavimentos, peritajes y evaluaciones forenses geotécnicas.

El personal profesional y técnico del laboratorio cuenta con más de treinta años de experiencia y está capacitado para una rápida respuesta a quienes desarrollan, ejecutan y supervisan proyectos de ingeniería civil, minería y de la industria en general, proporcionando asistencia en el área de geotecnia en forma eficaz, independiente e imparcial.



Los principales servicios que realiza el laboratorio son:

- Ensayos de mecánica de suelos para determinación de propiedades índices
- Ensayos para control de calidad de los materiales que se emplearán para la fabricación de concreto, y materiales para la construcción de pavimentos
- Ensayos para la determinación de las propiedades físico-mecánicas e hidráulica de los suelos
- Estudios de Mecánica de Suelos y Diseño de Pavimentos
- Peritajes y evaluaciones forenses geotécnicas de cimentaciones y en general consultoría relacionada a la especialidad de ingeniería geotécnica.

Jefe de Laboratorio: Ing. Manuel Olcese Franzero

Informes:

Teléfono: 6262000 anexo 4651

Fax: 6262837

e-mail: suelos@pucp.edu.pe