

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN EN
MAMPOSTERÍA Y HORMIGONES**

**PREVIA A LA OBTENCIÓN DE GRADO ACADÉMICO O TÍTULO
DE:**

INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR:

Egda. GABRIELA SALOMÉ PUENTE CÁRDENAS

SANGOLQUÍ, JUNIO de 2007



CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Srta. Gabriela Salomé Puente Cárdenas como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Sangolquí, Junio de 2007.

Ing. Msc. Marcelo Romo

Ing. Ricardo Durán

REVISADO POR:

Ing. Jorge Zúñiga

INTRODUCCIÓN

La presente investigación que se pone a consideración recopila información sobre diversos temas concernientes a la Patología de la Construcción en Mampostería y Hormigones, sobre su durabilidad, factores y acciones que afectan a estos materiales y centra su interés en el diseño adecuado de los morteros.

La importancia que radica a esta investigación es tener una guía práctica que sirva de base para futuros estudios que no solo se enfoque al correcto diseño estructural de cualquier elemento, sino también poner atención a nuestro entorno y realizar un complemento de afecciones existentes en obra con diseño estructural para que la construcción pueda cumplir con su vida útil estimada.

Por otro lado, los morteros que se vienen realizando en nuestro país, especialmente en la ciudad de Quito, han experimentado diversos cambios en su elaboración, ya sea principalmente por las condiciones climatológicas que se presenta en obra, así como por la introducción en el mercado de morteros premezclados que facilitan la colocación de éste a los maestros de obra y la aparición de nuevos sistemas constructivos como EMEDUE entre otros.

Sin embargo en nuestro país el estudio del mortero en la mampostería ha sido un poco relegado, y es por este motivo que ésta investigación centra su atención en la elaboración de un buen mortero, su correcto diseño, dosificación y tratando de cumplir

con lo que la respectiva norma señala; puesto que se considera a éste como un elemento necesario para que se obtenga una construcción satisfactoria, que ciertamente tienda a minimizar las patologías que pueden ocurrir en obra y con un desempeño adecuado en la vida útil de la mampostería que en el transcurso del tiempo influirá en la durabilidad de la obra como tal y tendrá una repercusión económica para los usuarios de la misma.

Antecedentes

- La ciencia de la Patología, diagnóstico y rehabilitación de las edificaciones nace paralelamente con las prácticas constructivas, desde los confines del tiempo.
- Son muchos los éxitos del hombre en el deseo de construir y debido a esto hay testimonios de todas las épocas.
- La primera unidad artificial de mampostería consistió en una masa amorfa de barro secada al sol, conocida con el nombre de adobe (Ruinas de Jericó – Medio Oriente 7350 años A.C.). Posteriormente se crearon las unidades artificiales de tierra y arcilla cocida en Sumeria (Valle del Éufrates y Tigres, 4000 años A.C.) y en la ciudad de Ur (3000 años A.C.) respectivamente, dando paso a la masificación de las construcciones de mampostería en las primeras civilizaciones. A partir de ese momento, se levantaron enormes construcciones de ladrillos asentados con betún o alquitrán, como por ejemplo la Torre de Babel (8 pisos).

- El primer reglamento de construcción fue creado por el rey Hammurabi en Babilonia (1700 A.C.), donde se especificaba que si por causas atribuibles al constructor, fallecía el propietario de una vivienda, se debía dar muerte al constructor.
- La materia prima existente en cada zona, generó una amplia gama de tipos de construcciones, desde las pirámides de Giza en Egipto, construidas con morteros de yeso y arena, hasta el templo a la diosa Atenea en Grecia (Partenón), donde se utilizaron piedras asentadas con mortero de cal y revestidas con mármol.
- Por su parte, el mortero de cemento puzolánico fue inventado por Vitruvio (arquitecto Romano, 25 A.C.), por medio de una mezcla entre arena volcánica del Vesubio, cal y agua. A partir de este instante, se construyeron cientos de estructuras, variando sus formas (arco, bóveda, etc.) y tamaño.
- Después de la caída del imperio Romano, el mortero puzolánico, dejó de ser utilizado, hasta que en el año de 1756, el ingeniero británico Smeaton, lo utilizó para reconstruir un faro en Inglaterra.
- En el siglo XVIII, paralelamente a la Revolución Industrial, empezó la industrialización en la fabricación de ladrillos, inventándose máquinas como trituradoras, mezcladoras y prensas para moldear mecánicamente el ladrillo. Sólo hasta principios del siglo XX, comenzó a estudiarse de manera racional y analítica

la mampostería, a partir de unos ensayos realizados en Estados Unidos (1913) y en la India (1920). (1)

- La durabilidad y resistencia son determinantes definitivas para garantizar el adecuado funcionamiento de estructuras, puesto que aseguran un buen comportamiento de las edificaciones.

Sin embargo, durante la construcción y vida útil de las obras se presentan diversos problemas, generalmente impredecibles en las etapas de planeamiento y construcción, ocasionados por fallas o defectos generados por múltiples aspectos.

- El estudio de orígenes, efectos, controles y métodos de reparación busca imponer un criterio de intervención dentro del profesional de la construcción, a fin de que éste pueda garantizar y mantener la estabilidad general de las obras.
- Los materiales empleados en fachadas y cerramientos muchas veces no satisfacen los requerimientos y necesidades de los constructores ya que a la etapa de los acabados los materiales no ofrecen la resistencia esperada.
- Los efectos que sobre las construcciones dan lugar a estas afecciones son: fisuración, pérdida de capacidad estructural, fractura o desprendimiento de elementos constructivos, manchas, eflorescencias, entre otros.

Las fisuras pueden manifestarse a temprana edad, desde las primeras horas, como al cabo de varios años, además lo hacen por otra serie de signos como puede ser su forma y trayectoria, abertura, movimiento, etc.

- Desafortunadamente crece el número de daños que se presentan en las edificaciones ya que existen cifras crecientes de daño en construcciones existentes, daño en edificaciones nuevas, deterioros graves en construcciones antiguas, nuevas condiciones de carga, amenaza y vulnerabilidad sísmica, cambio de usos, entre otros; todo esto en base a estadísticas resientes de publicaciones emitidas vía mail y revisión de la memoria del Seminario: "Introducción a la Patología de las Edificaciones en Hormigón Armado" Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, marzo 30 y 31 y 1 de abril del 2005.

Referencia Bibliográfica

1. Comportamiento Sísmico de Edificios de Mampostería no Reforzada. Ambrose, 1991.
2. "Introducción a la Patología de las Edificaciones en Hormigón Armado" Facultad de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, marzo 30 y 31 y 1 de abril del 2005.

CAPÍTULO III

PATOLOGÍA

3.1 Definición y alcance de la patología.

Definición

De los procesos de rehabilitación de una edificación, la evaluación y el diagnóstico constituye el paso quizá más importante puesto que de acuerdo con su definición se considerará la decisión de intervenir la obra civil. Acertar en el diagnóstico representa el éxito de la inversión y por supuesto en la solución de las patologías causantes del problema.

Patología procede del griego “*pathos*” enfermedad y “*logos*” estudio. La *Patología Constructiva* se define como la rama de la ciencia y técnica de la construcción que estudia los problemas en edificios y obras públicas o alguna de sus unidades después de la ejecución.

Aparentemente definir la Patología Estructural representa una intromisión en otras áreas del conocimiento pero para una mejor comprensión conceptual de ella más adelante haremos un símil con las ciencias médicas. No es a partir de las personas sanas que se hace la docencia y práctica médica sino frente a quien padece una dolencia, por lo que

evaluando su cuadro clínico se hace el diagnóstico, se formulan estrategias y se dan pautas para su solución. Algo similar ocurre con las edificaciones cuando a partir de los daños que manifiesten, se formulan procesos de intervención y se crean metodologías para evitar que tales hechos se repitan en las nuevas obras.

La ***Patología de Estructuras*** puede considerarse como parte de la patología constructiva dedicada al estudio sistemático y ordenado de los daños y fallas que se presentan en las edificaciones, analizando el origen o las causas y consecuencias de ellos para que, mediante la formulación de procesos, se generen las medidas correctivas para lograr recuperar las condiciones de desempeño de la estructura.

Entonces la ***Patología*** puede ser definida como parte de la Ingeniería que estudia los síntomas, los mecanismos, las causas y los orígenes de los defectos de las obras civiles, o sea, es el estudio de las partes que componen el diagnóstico del problema.

A la ***terapia*** le corresponde el estudio de la corrección y la solución de estos problemas patológicos o incluso los debidos al envejecimiento natural. Para obtener éxito en las medidas terapéuticas, de corrección, reparación, refuerzo o protección es necesario no solo el estudio precedente, es decir el diagnóstico de la cuestión, haya sido bien definido más principalmente que se conozca muy bien las ventajas y las desventajas de materiales, sistemas y cada uno de los procedimientos de rehabilitación de estructuras.

Alcance de la Patología

El proceso de construcción y uso puede ser dividido en cinco grandes etapas: planeamiento, proyecto, fabricación de materiales y elementos fuera de la obra, ejecución propiamente dicha a pie de obra, y uso; esta última etapa más larga en el tiempo, involucra la operación y mantenimiento de las obras civiles conforme se presenta en la gráfica 13.

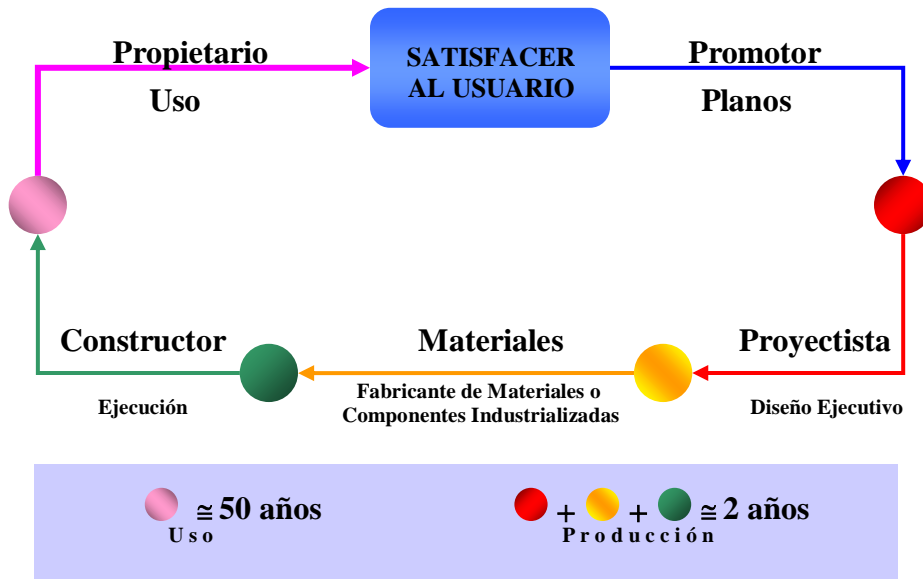


Figura N° 13: Etapas de producción y uso de las obras civiles

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón

Paulo Helene, Fernanda Pereira⁽²⁾

Si por un lado las cuatro primeras etapas representan un período de tiempo relativamente corto (en general menos de dos años) por otro lado, las construcciones deben ser utilizadas durante períodos largos en general más de cincuenta años para edificaciones y más de doscientos para presas y obras de arte de importancia social.

Los problemas patológicos solo se manifiestan ***durante la construcción o después de la ejecución propiamente dicha***, última etapa de la fase de producción. Normalmente ocurren con mayor incidencia en la etapa de uso.

Un diagnóstico adecuado del problema debe indicar en qué etapa del proceso constructivo tuvo origen el fenómeno.

Un elevado porcentaje de las manifestaciones patológicas tienen origen en las etapas de planeamiento y proyecto, como se muestra en la gráfica N° 14. Las fallas de planeamiento y proyecto son en general más graves que las fallas de calidad de los materiales o de mala ejecución. Es siempre preferible invertir más tiempo en el detallamiento del diseño de la estructura, que por falta de de previsión, tomar decisiones apresuradas y adaptadas durante la ejecución.

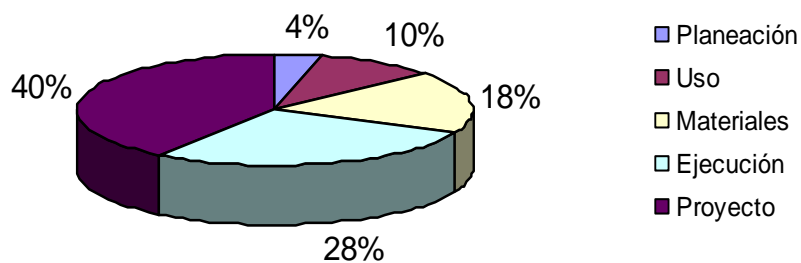


Figura N° 14: Origen de los problemas patológicos con relación a las etapas de producción y uso de las obras civiles.

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón
Paulo Helene, Fernanda Pereira⁽²⁾

Al igual que la ciencia médica para atacar una enfermedad es necesario establecer un diagnóstico, para combatir un problema constructivo y poder plantear una estrategia de intervención de forma racional habrá que conocer el proceso patológico, es decir, el origen del problema, sus causas, su evolución, sus síntomas y su estado actual. Este proceso se desarrolla de forma secuencial en el tiempo, es decir tiene un origen, una evolución y un resultado final. El estudio o análisis de este proceso requerirá recorrer esta secuencia inversa, es decir, a partir de la observación del daño, lesión o síntoma y su evolución hasta el origen o causa.

Considerando el grado actual de conocimiento de los procesos y mecanismos destructivos que actúan sobre las estructuras y considerando la gran evolución tecnológica experimentada en estos últimos años; es posible diagnosticar con éxito la mayoría de los problemas patológicos.

Para finalizar la utilidad de los estudios de patología comprende:

- La evaluación de riesgos
- Aplicación de nuevos criterios
- Evidencia de daños
- Diagnóstico del grado de deterioro
- Determinación de la vulnerabilidad
- Determinación de la vida útil, entre otros.

3.2 Fenómenos de envejecimiento y deterioro

El nivel de daño que han manifestado algunas construcciones en todo el mundo, tales como monumentos, edificios o estructuras de diversos tipos, ha obligado a la inversión de cuantiosos recursos para su arreglo y al mismo tiempo ha permitido un gran avance en el conocimiento de los diversos mecanismos de daño, con lo cual se han formulado procedimientos y metodologías debidamente fundamentadas para el tratamiento y recuperación de ellas. Al mismo tiempo ha surgido la necesidad de revisar muchas de las prácticas constructivas que se daban por acertadas y que hoy se deben corregir en las nuevas construcciones mediante acciones constructivas de la mejor calidad a la manera de una construcción preventiva para evitar la repetición de daños.

Antes del siglo XIX, cuando los métodos de análisis estructural comenzaron a utilizarse para estimar al menos con un cierto grado de certeza el estado de esfuerzos de los materiales y con ellos la resistencia de una estructura, el diseñador – constructor se enfrentaba a la tarea de producir una estructura mucho más grande o diferente en tipo que la realizada antes, teniendo poca opción de selección, pero procediendo sobre la base del ensayo y error. No debe sorprendernos que, en períodos de rápida experimentación y desarrollo estructural fueran muchas las fallas tanto durante la construcción como en la puesta en servicio. Otros fueron el cambio de uso o modificaciones a las edificaciones originales.

Sorprende que en la época cuando no se disponía de los recursos tecnológicos que el desarrollo de la civilización nos ofrece, se hayan realizado construcciones que hoy constituyen hitos de la arquitectura y de la ingeniería.

Por otro lado, el deterioro de las edificaciones por diversas causas se presenta en todos los lugares del mundo. A pesar de las distancias las patologías son comunes. Las causas a veces son las mismas con mayor o menor incidencia de afectación.

No resulta fácil señalar la indicación única para la interpretación de un deterioro en particular ya sea por la presencia de una fisura, mancha o anomalía. Una misma manifestación de daño en un caso puede interpretarse asociada a una causa que puede variar en circunstancias diferentes dentro de la mecánica estructural.

La realidad nos muestra un alto nivel de deterioro y daño de las edificaciones, ya que éstas se comportan tal como se construyen más no como se diseñan. Esto es aplicable a edificaciones de vivienda, de servicios, instituciones, etc., así como a sistemas de líneas viales, redes, que por causa de su deterioro, por uso o por falta de mantenimiento adecuado, conducen en circunstancias propias a ellas o por efecto de un fenómeno externo, a su mal función, colapso, etc.

Entre el 40 y el 50% de patologías se deben al proyecto por errores que pueden ser:

- Concepción del modelo estructural
- Cálculo de acciones y esfuerzos sobre la estructura
- Uso de programas
- Especificación de materiales
- Dimensionamiento de secciones
- Comprobación de deformabilidad y/o
- Detalles constructivos.

Una estructura mal concebida y numéricamente bien calculada es incorrecta. El dimensionamiento es una fuente de errores por la complejidad de sus técnicas. Son frecuentes fallos por problemas de:

- Anclaje
- Solapos y/o
- Corte prematuro de armaduras.

Las ménsulas no siguen la ley de conservación de secciones planas y son fuente importante de accidentes y fisuraciones peligrosas.

Frecuentemente no se calcula a torsión el nervio de borde de forjados sin vigas, que se fisuran. Es frecuente el fallo por esfuerzo rasante entre el hormigón in situ y piezas prefabricadas, y en su unión por depósitos de polvo en estas, así como por enlaces defectuosos de viguetas y vigas, por desconocimiento en el cálculo y detalles

constructivos imprecisos o nulos para éstas, o por la disposición incorrecta de estribos de punta y borde en voladizos de viguetas.

En cuanto a problemas de materiales, altas relaciones a/c aumentan la permeabilidad, la retracción y disminuyen la resistencia del hormigón; altos porcentajes de finos requieren mayor contenido de cemento y disminuyen la adherencia árido – pasta.

Con respecto a problemas de calidad de ejecución se tienen para el hormigón:

- Dosificaciones defectuosas por deficiencias en equipos y medidas
- Falta de homogeneidad y/o compacidad por segregación del hormigón durante el transporte o escaso vibrado.
- Fugas de lechada por encofrados deficientes en zonas poco compactas o con bajos recubrimientos.

Los fallos de adherencia y de anclaje se manifiestan con fisuras paralelas a las barras principales, siendo peligroso por la inminente rotura del elemento o su carácter frágil (anclajes). También se generan fisuras en el asentamiento plástico por escasa separación entre armaduras o dosificación baja.

La fisuración por aplicación de cargas externas es perpendicular a la dirección de las armaduras principales y por corrosión en el sentido de las barras corroídas.

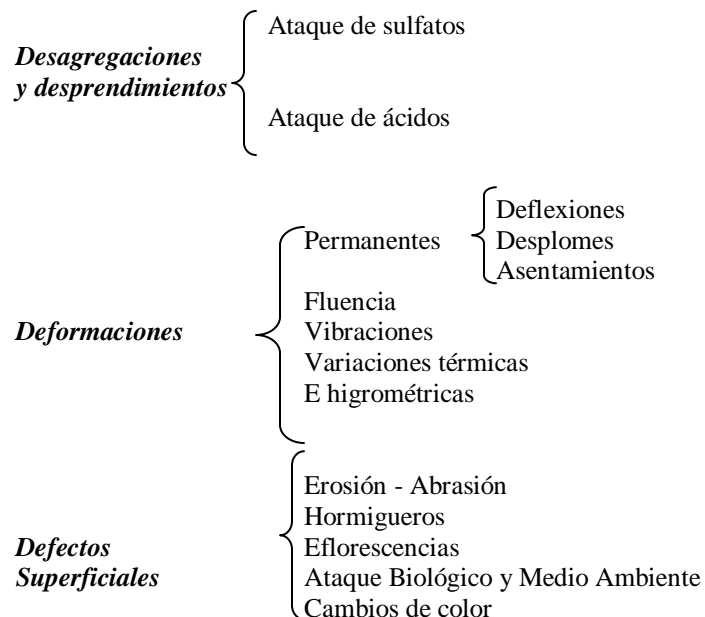
La fisuración en elementos no estructurales pueden ser por:

- Excesiva flexibilidad de forjados
- Acciones térmicas en cerramientos
- Asientos diferenciales
- Transmisión de cargas por tabiquerías y
- Cerramientos que afectan plantas bajas.

Deterioros

Se domina deterioro a cualquier cambio adverso de los mecanismos normales, de las propiedades físicas, químicas o ambas en la superficie o en el interior del elemento generalmente a través de la separación de sus componentes.

Esquemáticamente, se pueden agrupar de la siguiente manera:



Causas de deterioro en el Concreto

Los agentes causantes de los problemas patológicos pueden ser varios:

1. **Mecánicas:** Sismos, sobre cargas, cargas impuestas, movimientos en los terrenos, abrasión, vibraciones, etc. Los daños por estas causas se pueden predecir por la presencia de fisuras o grietas en estructuras.
2. **Físicas:** Son acciones como cambios en la temperatura o incendios que suelen producir deformaciones, expansiones, erosión o pérdida de masa en el concreto.
3. **Químicas:** Se refiere a reacciones o ataques con ácidos o sulfatos que suceden, por ejemplo, en construcciones que constantemente están en contacto con el agua de mar.
4. **Biológicas:** El concreto también puede verse afectado por el embate de hongos, bacterias, algas, líquenes, musgos o corrosión de metales. Los síntomas más comunes por estas afecciones son manchas en las superficies, cambios de color (fluorescencias) y retención de humedad.

Cada una de estas causas merecen especial atención, independientemente que se trate de una estructura vieja o de reciente construcción. Hay que tener especial cuidado con la salinidad, la lluvia ácida o, en su defecto, la deposición de partículas secas que puedan adherirse a la superficie y dañarla.

Consideraciones Generales

De acuerdo a su probabilidad de ocurrencia y de la confiabilidad que se establece para la estructura se deberá establecer un modelo de cargas equivalentes con sus correspondientes combinaciones a considerarse en el diseño.

Las acciones, que por su baja probabilidad de ocurrencia no se tiene en cuenta las verificaciones de los estados últimos se las agrupa bajo la denominación de accidentales o extraordinarias, las que de acuerdo a su magnitud pueden ocasionar graves daños a la estructura e incluso el colapso.

Las acciones accidentales en general obedecen a causas naturales, por lo que podrían considerarse dentro de las acciones ambientales, casos típicos son los huracanes, los aludes, las inundaciones y los sismos de carácter extraordinario, fenómenos que en algunos casos se pueden predecir pero que en general son difíciles de modelar y cuantificar.

Por su naturaleza, las acciones extraordinarias en cambio son prácticamente impredecibles en el momento en que pueden actuar sobre una estructura, si es que alguna vez lo hacen en el lapso de su vida útil, y difíciles de establecer su acción equivalente. Ejemplos típicos son los impactos de aeronaves, las acciones de guerra, un ataque terrorista o las explosiones de distinto origen como puede ser por escape de gas, explosión de calderas, etc.

Si bien es cierto que se puede dar una clasificación primaria de las acciones, una misma acción puede responder a más de un criterio de clasificación y estar o no, comprendidas dentro de las acciones que se considera en el diseño. Además es conveniente analizar los fenómenos asociados a las acciones de mayor probabilidad de ocurrencia, que son los que en general se tienen en cuenta en el diseño.

Las acciones ambientales están en relación directa con el lugar de implantación, y aún más, del microclima particular que se puede generar en circunstancias específicas.

Más allá de los valores en sí y de la gran cantidad de acciones posibles de actuar en una estructura, son varias las acciones de distinto origen que pueden originar deficiencias, fallas o degradaciones similares en una obra civil, por lo tanto es importante analizar detalles o singularidades que presenta la obra, con el fin de individualizar a que fenómeno en particular corresponde, a fin de conocer su origen y aplicar la medida correctiva adecuada.

Con el fin ayudar a la comprensión de los problemas patológicos y adoptar medidas de solución acordes a las necesidades de las obras civiles, a continuación se agrupan los fenómenos típicos de acuerdo al origen de la acción o según la similitud de la respuesta de la estructura y son:

- Corrosión de armaduras
- Acción de las cargas exteriores. Procesos mecánicos

- Acción de los cambios de humedad y temperatura
- Acciones que generan desintegración del concreto.
- Acciones inducidas
- Fallas típicas del proceso constructivo
- Acción Sísmica.

3.3 Errores más usuales que generan patologías.

Los errores más usuales que generan patología son debido a que los profesionales estudiamos por separado materias importantes tales como: estática, resistencia de materiales, mecánica de suelos, cimentaciones, estructuras, entre otras.

La disociación de éstas provoca una reacción directa en el proceso constructivo del proyecto, generando serias deficiencias en los siguientes procesos:

- a) La interacción entre suelos y estructuras.
- b) La interacción entre los cerramientos y las estructuras.
- c) La interacción entre el entorno y el edificio.
- d) Acción y reacción en edificios livianos y edificios pesados.
- e) Fisuras que derivan por defectos de construcción.

Interacción entre suelos y estructuras

En los edificios livianos, generalmente los de una planta, los suelos actúan sobre la construcción, mientras que en edificios pesados, los de varias plantas, es la construcción que actúa sobre el suelo. Resulta generalizada la idea de distinguir siempre al suelo por su tensión admisible o capacidad de carga, sin importar el cambio de volumen del suelo por variaciones de humedad, o por las fuerzas que puede provocar por su levantamiento.

La interacción entre los suelos y los edificios se debe conocer y tener en cuenta en el diseño no sólo de las cimentaciones sino también del conjunto del edificio. Muchas viviendas livianas se fisuran cuando las paredes no están debidamente cargadas, es decir cuando las paredes "flotan" sobre el suelo. La mayoría de las patologías en edificios livianos se presentan por *efectos mecánicos producidos por los suelos*.

En edificios medianos, las columnas se apoyan sobre zapatas individuales, mientras que las paredes sobre vigas encadenadas, muchas veces en forma independiente. Las patologías se presentan en las paredes cuando éstas poseen *movimientos distintos* a los de las columnas. Generalmente los asentamientos bajo zapatas son diferentes a los producidos bajo vigas encadenadas.

En los edificios en altura, los pesados, cuando la fundación se resuelve mediante pilotaje profundo, los suelos quedan presionados y confinados por los pilotes. En estos

casos son raras las patologías producidas por la interacción entre los suelos y las estructuras.

Interacción entre cerramientos y estructuras

En general los cerramientos o divisorias están ejecutados de materiales más rígidos o menos dúctiles que el hormigón armado. Las mamposterías que encajan en los marcos de las vigas y columnas de hormigón se fisuran por la *deformación o flecha de la viga* en la etapa de uso del edificio.

En otras circunstancias las patologías mecánicas se plantean cuando la fluencia lenta del hormigón produce descensos en columnas y aprieta a las mamposterías o a las fachadas fisurándolas.

En general las patologías en edificios de altura (edificios pesados) se presenta por la *falta de compatibilidad entre los frentes a las deformaciones*.

En los edificios livianos sucede algo similar. Las paredes portantes pueden presentar asentamientos diferentes que las no portantes, y como ambas se unen en los encuentros, se producen fisuras. Se potencia aún más el problema cuando se construyen paredes portantes de ladrillos macizos comunes y paredes portantes de ladrillos cerámicas huecos. Esta última pared es mucho más frágil que la primera. Las fisuras se destacan o aparecen ante cualquier deformación diferencial

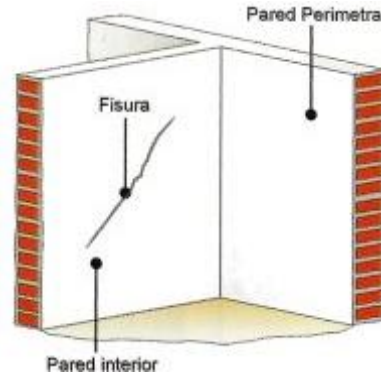


Figura N° 15: Vista de Pared flotante
Fuente: Manual del Constructor Grupo Minetti⁽⁴⁾

Interacción entre el entorno y el edificio

El lugar o terreno donde se construirá el edificio (especialmente si éste es del tipo liviano), contiene una variedad muy grande de condicionantes que ayudan a la durabilidad de la construcción.

La existencia de infraestructura tales como: alcantarillado, pavimentos, veredas, edificios vecinos, vegetación perimetral, capa freática, tipo de suelo. Todas deben ser variables de diseño arquitectónico, estructural y también de durabilidad.

En la universidad se acostumbra de diseñar y dimensionar las estructuras sin importar el entorno o ámbito donde se emplazará el edificio. Muchas patologías de temprana edad son provocadas por la agresión del medio ambiente al edificio.

Hay casos de pueblos que al ser instaladas las obras de alcantarillado se eliminan los pozos negros, esto modifica el nivel freático y las variaciones en el contenido de

humedad de los suelos son fuertes, provocando patologías generalizadas en grandes áreas del lugar.

Acción y reacción en edificios livianos y pesados

La idea generalizada de que las acciones o las cargas son siempre gravitatorias, es decir de arriba hacia abajo, hace que se desechen las denominadas cargas negativas; aquellas que van de abajo hacia arriba.

En la mayoría de los casos los edificios livianos son diseñados y dimensionados sobre la base de la tensión admisible a compresión. Se verifican las paredes, las vigas de encadenados superiores, los dinteles, incluso las vigas de fundación por compresión, que no superen las admisibles.

Sin embargo los edificios se fisuran por otra fuerza no tenida en cuenta en ningún momento; acciones de tracción generada por los movimientos diferenciales del suelo, por las cargas negativas.

Esta condición de cargas habitualmente no se la estudia en la universidad. Es necesario que se distinga los edificios que "aprietan" el suelo de aquellos otros que "flotan" sobre el suelo. Las fundaciones, las estructuras y las paredes deben diseñarse de manera diferente para unos y otros.

Otro error es que ante la ausencia de visualización espacial de las estructuras, en la etapa de proyecto o diseño estructural, los ingenieros pueden resolver e imaginar únicamente las acciones contenidas en el plano. No pueden pensar en el espacio y establecer las fuerzas que en muchas ocasiones son las causantes de fisuras y patologías.

Circunstancias parecidas se plantean en las paredes de los edificios livianos. En todas las viviendas, las paredes perimetrales y las divisorias internas se unen transversalmente mediante trabas rígidas. Cualquier movimiento de la pared perimetral o portante es causa de fisura en la pared divisoria. Es un problema espacial. La causa de la fisura no está en la pared divisoria, sino que se puede encontrar alejada e inducida por la pared perimetral.

Para interpretar las enfermedades de los edificios es necesario tener el pensamiento de los esfuerzos en el espacio y eliminar la errónea imagen del plano.

Fisuras que derivan por defectos de construcción

Las fisuras del hormigón pueden ser también la consecuencia de defectos de construcción: capacidad portante insuficiente, distribución inadecuada de la armadura, disposición no idónea o ausencia de juntas, incompatibilidad entre los materiales, acomodamiento debido a reacciones imprevistas del suelo o a movimientos del terreno.

3.3.1 Referencias Bibliográficas

- 3.1 Revista Habitat. Título: Patología en la construcción errores en la enseñanza. Autor: Ing. Jorge Raúl Bernal, Profesor titular de la cátedra: "Patología de la Construcción" en la Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional del Nordeste. 2004.
- 3.2 Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Capítulo I Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. Autores: Alejandra Benitez, Aníbal Manzell, Claudio Macchi, Geraldine Charreau, Jorge Risetto, Luis Fernandez Luco, Néstor Guitelman, Walter Morris. 2005.
- 3.3 Seminario "Introducción a la Patología de las Edificaciones en Hormigón Armado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Facultad de Ingeniería Civil. 2005.
- 3.4 Manual para el Constructor. Grupo Minetti. Argentina. 2003.

CAPÍTULO IV

OBSERVACIONES A ACCIONES FÍSICAS

4.1 Técnicas de sondeos y Prospección.

En este capítulo se detallan los principios básicos para la elección de la técnica de reparación o protección más apropiada a cada caso concreto de intervención cuando los objetos son elementos estructurales de hormigón armado y de mampostería.

Estas técnicas de observación a acciones físicas comprenden desde: la imprescindible toma de datos previa y registro ordenado de la información recopilada hasta la relación comentada de las diversas técnicas y materiales específicos a utilizar. (1)

En primer lugar se exponen las bases sobre las que ha de fundamentarse la diagnosis y el alcance de las diversas operaciones de observación de los daños, ensayos a realizar y formas de análisis de la información recopilada. (1)

Se detalla los diversos tipos de intervención posibles según sean los objetivos de la actuación, y se comentan los diversos aspectos y condicionantes de toda índole, de mantenimiento, etc., que deben ser tomados en cuenta en el proceso de selección. (1)

En una tercer y última parte se detalla y precisan los materiales y técnicas de posible utilización, especificando sus propiedades, campo de aplicación, criterios de selección y características de su puesta en obra, comparándose y valorándose a su vez los diversos procedimientos descritos, en función de las posibles variables presentes en cada situación. (1)

Hay que aclarar que las normas no especifican cuáles son las tareas a realizar por parte de los técnicos de un modo exhaustivo, pues en cada normativa existe una mayor o menor exigencia de pronunciamiento, por lo que se pretende dar unas pautas mínimas a seguir para lograr realizar una correcta inspección. (2)

Es conveniente explicar la diferencia entre informe, dictamen y certificado, pues es imprescindible conocer el alcance técnico y jurídico del pronunciamiento de los técnicos al inspeccionar una obra civil. (2)

Un informe es la exposición por escrito de las circunstancias observadas en el reconocimiento de una obra, mientras que un dictamen trata de la exposición por escrito de la opinión justificada que emite un técnico sobre la cuestión sometida a consideración. Un certificado es un documento en el que se asegura la verdad de un hecho y circunstancias relacionadas con la edificación o el suelo. (2)

A la hora de afrontar la tarea de inspeccionar una obra civil con el objeto de dictaminar o certificar, según los casos, la seguridad constructiva de la misma e informar a las autoridades y a los propietarios de su resultado, debe comenzarse por situar correctamente la obra objeto de inspección, para lo cual el técnico aportará un plano de

ubicación de base cartográfica municipal o catastral, identificando la obra inspeccionada y señalando, según existan o no, plantas bajo rasante, edificio y/o construcción (inspeccionadas o no) e indicando la relación con las áreas colindantes, obras bajo rasante no inspeccionadas. (2)

Para elaborar y complementar el informe, dictamen o certificado ha de tenerse presente que aquel ha de precisar la localización de los daños y sus posibles causas y/o las obras a ejecutar de forma priorizada, indicando las medidas de seguridad que se hayan adoptado de forma inmediata en los casos que así se requiera.

También será necesario analizar y precisar las condiciones mínimas de estanqueidad y consolidación estructurales, así como las de habitabilidad, en las que han de mantenerse las construcciones en función de su uso, teniendo muy presente que la seguridad constructiva incluye elementos cuyo deficiente estado supone riesgo para las cosas y sobre todo para las personas.

Estas condiciones se pueden desglosar del siguiente modo:

- Seguridad, estabilidad y consolidación estructurales, de tal forma que no se produzcan en la obra o en partes de la misma, daños que tengan su origen o afecten a la cimentación, los soportes, las vigas, los forjados, los muros de carga u otros elementos estructurales y que comprometan directamente la resistencia mecánica y la estabilidad de la obra.
- Seguridad y estabilidad de los elementos constructivos cuyo deficiente estado suponga un riesgo para la seguridad de las personas, tales como chimeneas,

barandillas, falsos techos, y elementos ornamentales o de acabado, en particular si pueden caer a áreas públicas.

- Estanqueidad y buen funcionamiento de las redes de alcantarillado, de forma que no se produzcan fugas que afecten al funcionamiento o uso de la obra o puedan ser causa de falta de seguridad descrita en los dos primeros ítems.

El cumplimiento de las condiciones establecidas en los tres apartados anteriores supondrá que la obra reúne los requisitos de funcionalidad y uso exigibles a efectos de la inspección técnica.

Para que el técnico pueda lograr su objetivo, deberá analizar el estado de la estructura, cimentación, losas, vigas, columnas y fachadas, otros paramentos, cubiertas, pisos y redes de alcantarillado.

Para ello, es conveniente realizar las pruebas necesarias (ensayos, estudios, chequeos, análisis, sondeos, reconocimientos, exámenes, tanteos), con el objeto de comprobar los daños y el proceso patológico que puedan afectar a la obra.

Los métodos de inspección, según el nivel de conocimientos y experiencia profesional del que la realiza, conjuntamente con la complejidad del proceso patológico, podrán ser los siguientes:

- Documental.
- Sensorial.
- Técnico.

En algunos casos, los menos complejos, podrá efectuarse la inspección únicamente de modo sensorial, aunque es aconsejable que se empleen los tres métodos.

Los métodos documentales son aquellos que facilitan información escrita y/o gráfica sobre la obra (materiales empleados, fecha de construcción, sistema constructivo, reformas parciales o totales, etc.), tales como memorias de construcción, normativa de la época, expedientes de licencia y otros.

Con respecto a los métodos sensoriales, que, por otra parte, son los que se señalan como los más comúnmente utilizados, es obligado efectuar la siguiente apreciación: es obvio que los sentidos se utilizan siempre al hacer una inspección, y por tanto, parece ilógico que un técnico especifique que se han utilizado estos métodos.

Consisten en servirse de los sentidos de la vista, el tacto, el oído, el sabor y el olfato para determinar ciertas lesiones:

- Deformaciones.
- Fisuras.
- Grietas.
- Roturas.
- Decoloraciones.
- Desprendimiento de materiales.
- Humedades.
- Oquedades.
- Existencia de insectos.

- Escorrentías de agua.

Los métodos técnicos pueden ser varios, también en función de la complejidad patológica con que se encuentre el técnico, y se podrían clasificar del modo siguiente:

- Trabajos de campo.
- Trabajos de estudio.
- Trabajos de laboratorio.

Los trabajos de campo pueden englobar desde la fotografía, método más habitualmente utilizado, hasta los que a continuación se exponen:

- Extracción de muestras.
- Catas.
- Testigos.
- Detección de gases.
- Sondeos.
- Video-robots.
- Rayos X.

Los trabajos de estudio y laboratorio consistirán, entre otros, en estudios geotécnicos, medición de deformaciones, cálculo estructural y ensayos de materiales.

Es conveniente que el técnico analice las interacciones producidas por patologías existentes en obras colindantes y las condiciones en que se encuentran las conducciones próximas a la obra. (2)

4.2 Tipos de Inspección

Dependiendo de la circunstancia que haya causado la realización de la inspección a una obra, será necesario desarrollar a menor o mayor profundidad una evaluación que permita comprender la naturaleza de las afectaciones. En cualquier caso se requiere suficientes conocimientos y criterio de parte del profesional que efectúa la evaluación puesto que de la fundamentación y responsabilidad de sus apreciaciones podrán derivarse procesos de mayor o menor intervención con los consiguientes efectos sobre la edificación. (3)

Así queda claro que la inspección de una estructura es una tarea compleja que requiere *destrezas y conocimientos sobre los materiales y el comportamiento estructural*. La observación y análisis permiten determinar las causas de las manifestaciones de daño que pocas veces se encuentran de manera evidente y las más cuando se trata de una combinación de circunstancias.

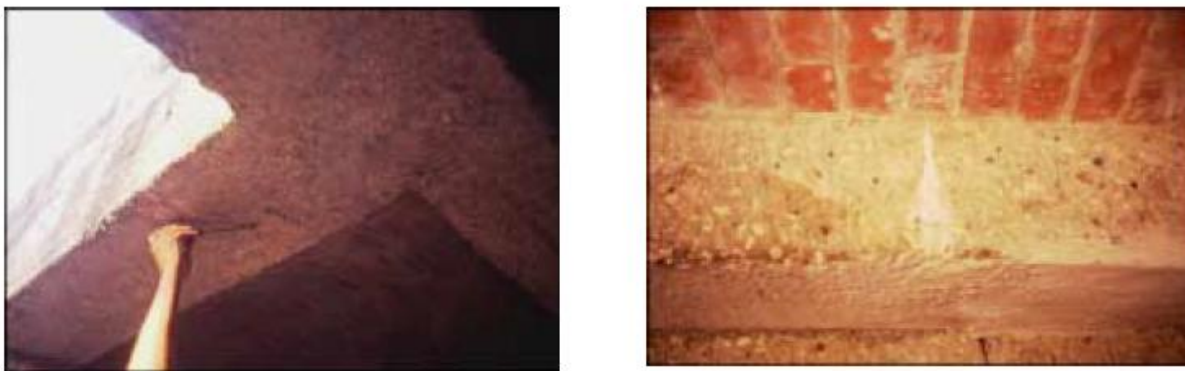


Figura N° 16: La inspección de una obra requiere familiaridad y conocimientos con los aspectos de comportamiento y mecánica de las estructuras.

Fuente: Evaluación de Patologías en Estructuras de Concreto
Harold Alberto Muñoz M. 2001⁽³⁾

Ante la evidencia del daño se realiza la inspección siendo esta metodología utilizada en casos cuando probablemente los daños pueden comprometer algunas de las condiciones propias de los elementos estructurales tales como la resistencia, estabilidad, durabilidad entre otras.

Surge entonces la necesidad de realizar distintos tipos de inspecciones de acuerdo a la necesidad que se tenga para evaluar la prevención o el daño. Esta es una metodología que solo las condiciones propias de la obra en consideración puede definir la validez de una o varias de ellas. De acuerdo con el alcance que se desee señalar en una investigación, podemos distinguir las siguientes clases de inspección que desarrollaremos enseguida:

- Inspección Preliminar
- Inspección Detallada
- Inspección Especial e
- Inspección Rutinaria o de mantenimiento.

INSPECCIÓN PRELIMINAR

El propósito de esta inspección es el de evaluar de manera inicial o preliminar las condiciones en que se encuentra una obra. Se trata de recorrer el proyecto y mediante una fundamentada observación formarse una idea clara y precisa del estado general, evaluar

el tipo de problemas que la afectan con lo cual, se determina si es necesario pasar a una inspección más rigurosa.

Para su realización es importante poseer la anuencia del propietario y sólo es necesaria la presencia de un profesional experto en los temas de patología quien con la simple observación determina de manera general el estado de la obra. Tales observaciones pueden ocurrir cuando se presentan posibilidades de negocios de propiedad raíz, cambio de uso, pequeñas alteraciones por renovación de acabados, anomalías de diversos tipos, cambio de uso y eventualmente después de circunstancias especiales como la ocurrencia de un sismo pero en este caso con la presencia de profesionales adiestrados en este tipo de metodologías.

Puede ocurrir, sin embargo que la inspección preliminar determine la necesidad de una investigación detallada y rigurosa como veremos enseguida pero la Inspección Preliminar representa una muy buena oportunidad para conocer sobre el estado de las obras y probablemente algún daño por incipiente que parezca descubierto en esta etapa evitara un mayor costo de la reparación que si se determina tardíamente.



Figura N° 17: Vista de cabeza de columna.

Fuente: *Evaluación de Patologías en Estructuras de Concreto*
Harold Alberto Muñoz M. 2001⁽³⁾

Esta Inspección Preliminar se realiza sin ningún tipo de equipo y se excluye la ejecución de pruebas puesto que solamente derivado de la inspección preliminar se procederá a formular una inspección más profunda o detallada.

Cada proyecto es un prototipo no hay dos iguales, de manera que conocer las características de la obra lleva consigo una exhaustiva investigación de sus propiedades, siempre que sea posible se tendera a la metodología científica evitando los métodos intuitivos, razón por la cual es necesario conocer los antecedentes del más variado orden con miras a conseguir suficiente información que conduzca a la mejor comprensión del comportamiento de los elementos del objeto en estudio.

De una obra debe conocerse aspectos de índole general y particular entre los que se destaca:

Tabla N° 4.1: Aspectos Generales de un Proyecto

<i>ITEM</i>	<i>OBSERVACIONES</i>
<i>Nombre del Proyecto</i>	
<i>Dirección</i>	
<i>Localización</i>	
<i>Ubicación</i>	
<i>Propiedad de</i>	
<i>Área de construcción</i>	
<i>Tipo de Obra</i>	
<i>Año de construcción</i>	
<i>Fecha de otras ampliaciones o remodelaciones</i>	
<i>Constructor</i>	<i>Matrícula profesional</i>
<i>Diseñador</i>	<i>Matrícula profesional</i>
<i>Calculista</i>	<i>Matrícula profesional</i>
<i>Planos de construcción</i>	<i>Planos de obra y/o de modificaciones si existieran</i>
<i>Estudios previos:</i>	
<i>Condiciones Topográficas</i>	
<i>Estudios Ambientales</i>	
<i>Estudio de Suelos</i>	
<i>Accidentes Geotécnicos</i>	

<i>Uso e historia de utilización:</i>	<i>Especificar si es vivienda (que tipo), puente, vía, muros, canales, etc.</i>
<i>Materiales predominantes:</i>	<i>Hormigón, Mampostería, Madera, Acero, Prefabricado, etc.</i>
<i>Normas Utilizadas:</i>	
<i>Documentos de Obra:</i>	
<i>Documentos Adicionales</i>	

Luego de evaluar cada aspecto considerado en la tabla anterior se puede elaborar un Informe de Inspección Preliminar el cual tomará como referencia los aspectos generales del proyecto, de esta forma se dará por culminada la inspección.

Existirán casos en donde la Inspección Preliminar pueda profundizar aspectos relacionados con la capacidad estructural y eventual requerimientos de reforzamiento, los cuales serán tratados con más detalle dentro de la Inspección Detallada.

Como complemento a la tabla N° 4.2 se puede incrementar otras referencias que estarán inmersas en el informe y que ayudarán a tomar medidas preventivas para tener un buen funcionamiento y mantenimiento de la obra.

Tabla N° 4.2: Referencias para considerar en un Informe

ITEM	OBSERVACIONES
Antecedentes del proyecto	
Evaluación visual	
Daños y anormalidades	
Humedades	
Manchas	
Fisuras o grietas	
Zonas de evaluación	
Ensayos recomendados	
Recomendaciones inmediatas	
Plan de trabajo posterior	

INSPECCIÓN DETALLADA

Cuando la Inspección preliminar lo recomienda o la evidencia de los daños lo hace necesaria, se realiza un tipo de Inspección que llamaremos **INSPECCIÓN DETALLADA** por cuanto las condiciones y circunstancias presentes en la obra exijan una exhaustiva investigación.

INSPECCIÓN ESPECIAL

La inspección Especial está recomendada como un caso particular de patologías puntuales cuando de manera casi repentina o súbita aparecen daños que afectan la obra y se hace necesaria una inspección a partir de la cual se toman medidas inmediatas como por ejemplo, la evacuación de la obra por daños causados por construcciones aledañas, daños por acciones terroristas, por efecto de un sismo, etc.

Podría decirse que corresponde a una parte de la Inspección detallada. Se puede elaborar un informe en el cual se haga referencia al motivo de la inspección, considerando pautas y recomendaciones que deben seguirse especialmente frente a la estabilidad y seguridad derivada del uso del proyecto

INSPECCIÓN RUTINARIA O DE MANTENIMIENTO

La inspección Rutinaria o de mantenimiento como su nombre lo indica se realiza en períodos regulares de tiempo como parte de programas de prevención de daños o como fundamento para acciones de limpieza, reposición de acabados, pintura, etc.

INSPECCIÓN DETALLADA

La Inspección Detallada cubre un conjunto de acciones que deben seguirse de forma secuencial y programada y cubre entre otras, las siguientes labores:

- Investigación Documental
- Inspección visual detallada
- Levantamiento gráfico de daños
- Recuento fotográfico
- Planeamiento y definición de ensayos
- Diagnóstico de Patologías
- Informe de la Inspección

INVESTIGACION DOCUMENTAL

Es evidente que el primer paso de la evaluación de una obra será la recopilación de toda la información escrita, dibujada o esquematizada relativa al proyecto o ejecución de la construcción. Se incluye dentro de los documentos, el diseño arquitectónico, el

estudio geotécnico o de suelos, el proyecto estructural, memoria de los cálculos, libro de obra, registros de interventoría, etc. sin descartar los antecedentes que puedan existir inclusive sobre comportamiento de las obras aledañas.



Figura N° 18: Las fotos muestran las estructuras afectadas por causa de la exposición a la intemperie, y porque no ha sido considerado el criterio de durabilidad dentro del diseño o construcción

Fuente: *Evaluación de Patologías en Estructuras de Concreto*
Harold Alberto Muñoz M. 2001⁽³⁾

INSPECCIÓN VISUAL DETALLADA

El propósito de realizar un detallado inventario de los daños mediante un levantamiento, es el determinar el grado de compromiso de la estructura por tales efectos además de permitir la cuantificación de la rehabilitación.

La realización de esta etapa implica las labores previas de la ejecución de planos de la estructura a escala y ahora preferiblemente en medio magnético para el posterior manejo de la información gráfica.

Con los planos se realiza un detallado levantamiento de daños transcribiendo en ellos todas las afectaciones que presente la obra.

Se deben efectuar las anotaciones lo mas precisas posibles indicando el área afectada, la longitud que cubre el daño, tamaño de las fisuras, características principales, zonas de humedades y manifestaciones externas de daño. Se debe elaborar a medida que se van requiriendo una clasificación o nomenclatura de los daños para lo cual es necesario establecer un glosario de términos como el siguiente, adoptado del ACI.

En cada caso se calificará objetivamente la magnitud y se localizarán en el plano para facilitar su cuantificación como herramienta importante en el posterior proceso de obra. (3)

4.3 Tipos de Intervenciones

Para conseguir una correcta elección de las técnicas y materiales de intervención mas adecuados, hay que determinar previamente la función o funciones que estas deberán cumplir una vez en servicio. (1)

Por las características de los trabajos a realizar y por su mayor o menor incidencia en los aspectos estructurales, podemos optar por cinco alternativas o tipos de intervención genéricos que comportan en si mismas unas formas de actuar sensiblemente diferenciadas. A grandes rasgos, estos grupos de soluciones los podemos resumir en los siguientes conceptos:

Actuaciones de urgencia

Consideraremos en este grupo las actuaciones que hay que realizar, de forma rápida, para subsanar lesiones que pueden resultar peligrosas para el uso de la obra o para

dar respuesta a una necesidad urgente en la funcionalidad del elemento estructural. En muchas ocasiones este tipo de actuación tiene un carácter de provisionalidad y su objetivo prioritario es el de mantener en servicio y/o evitar riesgos a los usuarios durante el tiempo que se realiza la diagnosis, se redacta el proyecto y se ejecuta la actuación definitiva. En otros casos, se plantean como intervenciones que deben permanecer en el tiempo. (1)



Figura N° 19: Trabajos de apuntalamiento

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

Actuaciones de prevención y/o protección

Se trata de intervenciones que tienen como objetivo dar una protección a los componentes estructurales para evitar o reducir la progresión de su proceso de degradación o protegerlos contra el fuego, atmósferas agresivas, corrosión, desgaste superficial, otros. Bajo este concepto, se pueden plantear diferentes variantes; así, se puede actuar protegiendo directamente el elemento estructural, actuando sobre su entorno, limitando las cargas de uso y planteando un seguimiento o control periódico en sus puntos críticos.

Las limitaciones en el uso pueden resultar muy útiles para estructuras que no se encuentren en situaciones límite.

Las pinturas protectoras deben aplicarse en elementos que no presenten resquebrajaduras para conseguir los efectos deseados. Mantener una estructura en uso puede exigir la realización de controles periódicos de la misma



Figura N° 20: Vista de Intervenciones

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

Actuaciones de reparación

Cuando la degradación ha afectado al elemento estructural, debemos plantearnos una reparación de la zona afectada para recuperar sus prestaciones iniciales que sea adecuada a sus funciones estructurales. La complejidad e importancia de este tipo de actuaciones puede resultar muy variable, en función de las características del elemento, de su ubicación y de su estado de degradación.

Las reparaciones aplicadas a las zonas degradadas resultan complejas y requieren de una diagnosis muy precisa para determinar la extensión de los trabajos.

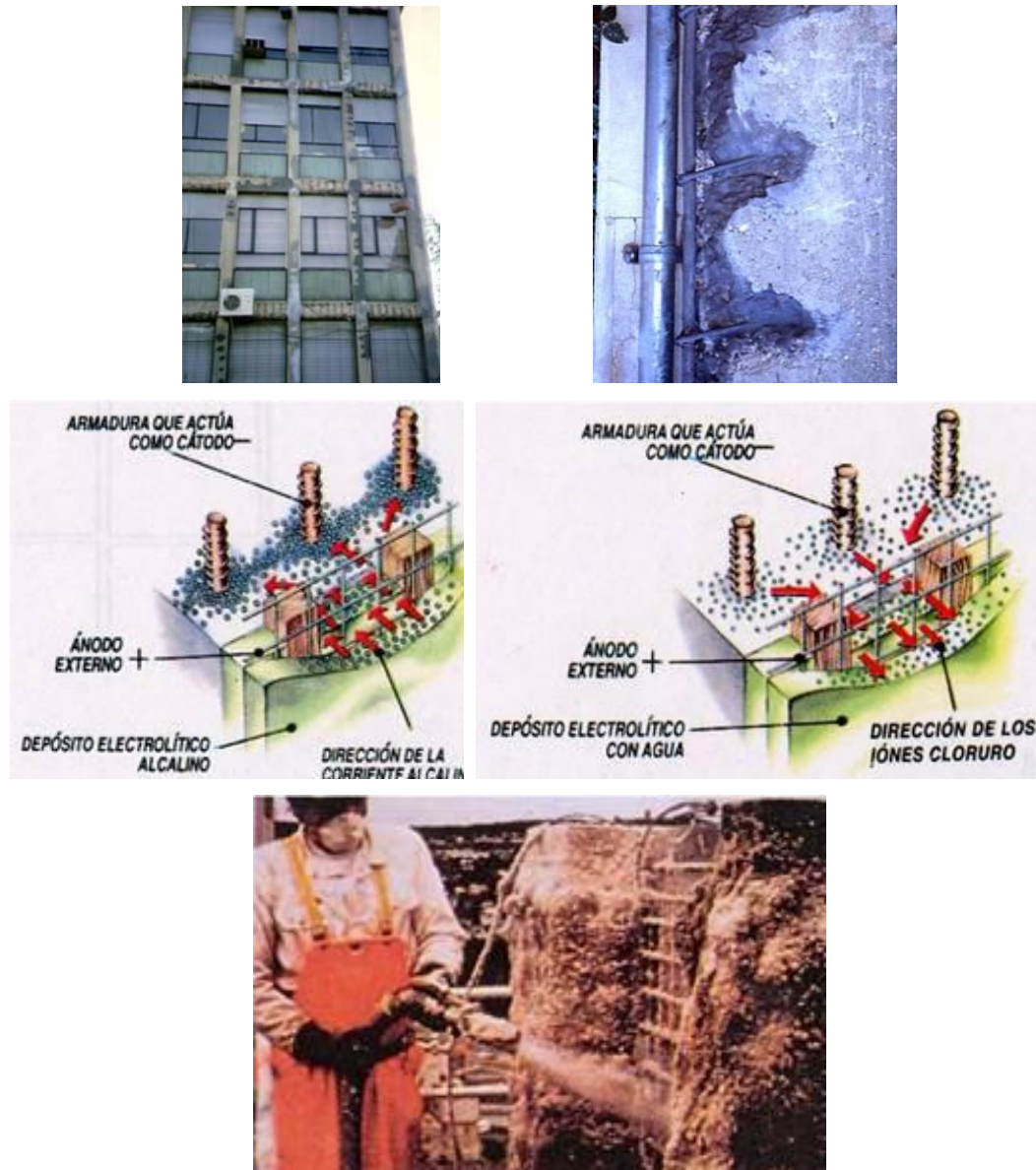


Figura N° 21: Vista de Intervenciones

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

Actuaciones de refuerzo

Cuando nos encontramos ante errores en el cálculo o ante nuevas solicitaciones que superan las inicialmente previstas para los elementos estructurales, debemos recurrir a la incorporación de nuevos componentes estructurales, mediante sistemas de refuerzo adecuados.



Figura N° 22: Vista de Intervenciones

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾



Figura N° 23: Incremento de la capacidad portante mediante Pletinas Metálicas o Fibras de Carbono.

Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

Los refuerzos de hormigón en algunos casos y los perfiles metálicos en otros, son también recursos adoptados en muchas de las reparaciones de las estructuras de hormigón.



Figura N° 24: Refuerzos de Hormigón

Fuente: *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.*

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

Actuaciones de sustitución

Cuando la incapacidad estructural resulta manifiesta y el refuerzo difícilmente aplicable, se opta por la sustitución de la estructura. Esta sustitución se puede realizar eliminando físicamente el elemento estructural y sustituirlo por otro nuevo o, lo que resulta más sencillo, anulando su función mecánica actual mediante la introducción de nuevos elementos resistentes.

Dada la complejidad de los componentes estructurales de un edificio y la diversidad de situaciones que puede presentar, resulta habitual que nos encontremos ante la necesidad de aplicar varias de estas opciones conceptualmente definidas. Para simplificar el trabajo, resulta recomendable agrupar situaciones parecidas para darles un tratamiento único, evitando así una multiplicidad de grados de intervención que complicarían innecesariamente la labor de proyecto y más aún los trabajos de ejecución. Siempre será la diagnosis realizada la que nos permitirá establecer grupos homogéneos, en cuanto a características y estado de conservación, y para cada uno de ellos se determinará un tipo u otro de intervención ajustada a cada situación.



Figura N° 25: *Sustitución funcional de estructuras de hormigón*

Fuente: *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.*

Red Rehabilitar. 2005⁽¹⁾

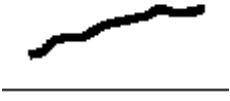
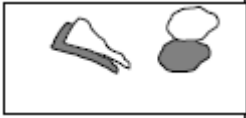
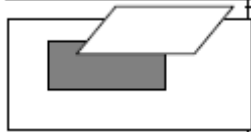


4.4 Metodología del Levantamiento Gráfico de Patologías


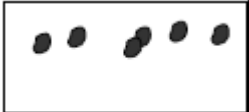

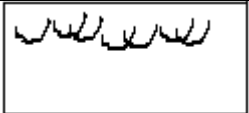

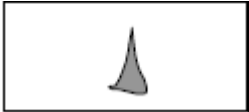

Para la mejor comprensión de las causas asociadas con las patologías existentes en una obra bajo estudio, se recomienda la ejecución del levantamiento gráfico de ellas siguiendo una metodología que parte de la definición de un conjunto de convenciones. Para cualquier tipo de daños, puede establecerse una convención semejante que de alguna manera asocie el fenómeno físico con la representación gráfica.



Debe quedar claro que para este proceso no es necesario definir la causa del daño. Es decir, se trata de realizar un levantamiento de daños para transcribirlo de la mejor manera posible al dibujo del elemento. Por ejemplo, una viga puede contener un conjunto de fisuras que sin importar si son por causa de la flexión, el esfuerzo cortante u otro motivo, se transcriben de acuerdo con su localización y posición al dibujo del elemento estructural sin asociarlas al fenómeno al que pertenecen. Posteriormente se definirá el

patrón de daño y se diagnosticará su causa de acuerdo con el juicio de valor que debe sustentarse.

Tabla N°4.3: Formas de levantar daños

TIPO DE DAÑO	REPRESENTACIÓN GRÁFICA
Fisuras	 <p>Separación incompleta entre dos o más partes con o sin espacio entre ellas. Su identificación se realizará según su dirección, ancho y profundidad utilizando los siguientes adjetivos: longitudinal, transversal, vertical, diagonal, o aleatoria. Los rangos de los anchos de acuerdo con el ACI son los siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fina menos de 1 mm ▪ Mediana entre 1 y 2 mm ▪ Ancha más de 2 mm
Desintegración	 <p>Deterioro en pequeños fragmentos o partículas por causa de algún deterioro.</p>
Distorsión	 <p>Cualquier deformación anormal de su forma original.</p>
Eflorescencia	 <p>Depósito de sales, usualmente blancas que se forman en las superficies.</p>
Exudación	 <p>Líquido o material como gel viscoso que brota de los poros, fisuras o aberturas en la</p>

	superficie.
Incrustaciones	 <p>Costra o película generalmente dura que se forma en la superficie de concreto o de la mampostería.</p>
Picaduras	 <p>Desarrollo de cavidades relativamente pequeñas en la superficie debido a fenómenos tales como la corrosión o cavitación o desintegración localizada.</p>
Cráteres	 <p>Salida explosiva de pequeñas porciones de la superficie de concreto debido a presiones internas en el concreto que permite en la superficie la formación típicamente cónica.</p>
Escamas	 <p>Presencia de escamas cerca de la superficie del concreto o mortero.</p>
Estalactita	 <p>Formación hacia abajo de materiales provenientes del interior del concreto</p>
Estalagmita	 <p>Formación hacia arriba de materiales provenientes del interior del concreto.</p>
Polvo	

	Desarrollo de material de polvo sobre la superficie dura.
Corrosión	 <p>Desintegración o deterioro del concreto o del refuerzo por el fenómeno electroquímico de la corrosión.</p>
Goteras	 <p>Humedad causada por las aguas lluvias bajo la cubierta.</p>

Fuente: *Evaluación de Patologías en Estructuras de Concreto*
Harold Alberto Muñoz M. ⁽³⁾

Para ejecutar este levantamiento no se requiere personal especializado pero si personas con suficiente criterio y capacidad para distinguir el daño y poderlo reproducir apropiadamente en los dibujos del levantamiento. Se establece que las personas que ejecuten esta labor, utilicen casco y vestimenta apropiada con los recursos necesarios como comparador de grietas, cámara fotográfica, binóculos, lupas, lápices de colores, marcadores, papel engomado, linterna, cinta métrica, hojas y tabla de soporte, etc.

Para realizar el levantamiento de daños y de acuerdo con la magnitud e importancia de ellos, se pueden elaborar, previamente, algunos esquemas axiométricos y otros desarrollados del elemento que se desea reproducir con el fin de soportar el diagnóstico del patrón de daño. Los dibujos deben realizarse a la escala apropiada. (3)

4.5 Tipos de Sondeos

Actualmente podemos hablar no solo de técnicas que ayudan a identificar daños en el hormigón, por otro lado existen nuevos aparatos para el mejor control del concreto, y esto se ha logrado gracias a los avances en el desarrollo de nuevas y mejores pruebas que, de una manera sencilla, fácil y precisa, proporcionan datos del concreto fresco y endurecido, en base al ACI 318-99 (Requerimientos del Código de Edificación para Hormigón Estructural).

Ejemplo de ello son:

1. El medidor "K" de revenimiento que da resultados en un minuto;
2. El minimedidor de aire para determinar contenido de aire en la mezcla;
3. El probador K-5 de resistencia acelerada donde se expone un cilindro a una presión de 10 Mpa y a una temperatura de 149° C durante tres horas y se deja enfriar dos horas antes de obtener resultados a edades tempranas, lo cual toma cinco horas en comparación con las 24 de los métodos anteriores. (4)

Dentro de un estudio de patología, es necesario el pleno conocimiento del proyecto, de manera que antes de realizar cualquier actividad, se debe recorrer repetidas veces la obra con el fin de formarse una idea clara de su condición y de acuerdo con esto señalar las áreas de los trabajos de inspección. En esta etapa del estudio se definen los lugares y tipo de labores a realizar, tomando en consideración diversas circunstancias que pueden presentarse en obra. (5)

No es posible señalar un procedimiento rutinario, único y completo del tipo de ensayos que deben realizarse puesto que eso depende de los daños presentes y del criterio del profesional que realiza la inspección. Las afecciones pueden provenir de varias respuestas que la obra manifieste.

Las patologías pueden estar asociadas con circunstancias derivadas del intemperismo de la obra y serán otras variables las que deben tomarse en cuenta. Existen casos en donde los daños no muestran su naturaleza de manera evidente, por lo cual primará el criterio del profesional quien establecerá el tipo de evaluaciones más convenientes en procura de conocer las causas de los deterioros.

Es importante aclarar que la planeación y realización de ensayos se hace a partir de las hipótesis preliminares de las patologías y el grado de compromiso que presenta la obra.

PLANEACIÓN

Consiste en la selección del tipo de pruebas y ensayos que deben realizarse con el fin de definir la causa de los daños y conociendo la causa proceder a formular una metodología de reparación o rehabilitación. No existe una regla fija que permita señalar el número de pruebas necesarias pero en algunos casos se deben ampliar el número de ellas para confirmar el diagnóstico. (5)

Por reconocimientos aleatorios de dimensiones, esquemas de armado y calidad de materiales, se verifica si corresponde a la información disponible o se determina características reales. Estos pueden hacerse con equipos magnéticos, extracción de

testigos, ultrasonido o esclerómetro, entre otros o complementariamente aplicando pruebas de carga. Las dimensiones resistencias y seguridad de elementos estructurales se determinan por aplicación de teoría semiprobabilista, minorando la resistencia según el nivel de investigación. Se recomienda que la toma de información sea clara. (5)

Las estructuras de concreto (hormigón) son diseñadas para soportar cargas vivas y muertas durante el período de construcción y de servicio. Durante la construcción se obtienen muestras de concreto y los procedimientos de las normas ASTM son utilizados para medir la resistencia potencial del concreto que es entregado. Se moldean cilindros de ensayo (probetas) y se curan a temperaturas de 17 a 27°C durante un día y posteriormente se curan de forma húmeda en el laboratorio hasta que son rotos en un ensayo a compresión, normalmente a una edad de 7 y 28 días. (6)

La resistencia del concreto en la estructura no será equivalente a lo medido sobre los cilindros de ensayo normalizados. Las buenas prácticas de trabajo para la manipulación, el vaciado (colado), la compactación y el curado del concreto en la estructura deben asegurar un adecuado porcentaje de esa resistencia potencial en la estructura. Los principios del diseño estructural reconocen esto y el Código ACI de la Edificación, el ACI 318, cuenta con un proceso de seguridad estructural.

Los medios de medición, estimación o comparación de la resistencia del concreto en la estructura incluyen:

- El martillo de rebote (esclerómetro),
- La prueba de penetración,

- Los cilindros de ensayo elaborados en el lugar,
- El ensayo de testigos (núcleos extraídos, corazones) y
- Las pruebas de carga del elemento estructural. (6)

En lo referente a pruebas no destructivas surgen nuevas variantes a la prueba de desgajamiento (*pull-out*) y el aparato de resistencia a la penetración de punzón, el cual es similar en principio de funcionamiento a la Pistola de Windsor, aunque mucho más económico. (4)

A continuación se presenta una reseña de las características del Martillo de Rebote, ya que es el instrumento más empleado a nivel mundial.

MARTILLO DE REBOTE (esclerómetro). ACI 318-71

La evaluación de las estructuras de concreto en sitio, además de los métodos de extracción de testigos y pruebas de carga, se puede realizar mediante ensayos no destructivos, que tienen la ventaja de permitir el control de toda la estructura y sin afectarla en forma rápida. (7)

Dentro de los métodos no destructivos, los de dureza superficial son los más generalizados, por su economía y facilidad de ejecución, entre ellos el método del esclerómetro es empleado por el mayor número de países.

El esclerómetro fue diseñado por el Ing. suizo Ernst Schmidth en 1948, constituyendo una versión tecnológicamente más desarrollada que los iniciales métodos de dureza superficial generados en la década del veinte.

Campo de aplicación

Originalmente, fue propuesto como un método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto, estableciendo curvas de correlación en laboratorio. Sin embargo, por los diferentes factores que afectan los resultados y la dispersión que se encuentra, en la actualidad se le emplea mayormente en los siguientes campos:

- Evaluar la uniformidad del concreto en una obra.
- Delimitar zonas de baja resistencia en las estructuras.
- Informar sobre la oportunidad para desencofrar elementos de concreto.
- Apreciar, cuando se cuenta con antecedentes, la evolución de la resistencia de estructuras.
- Determinar niveles de calidad resistente, cuando no se cuente con información al respecto.
- Contribuir, conjuntamente con otros métodos no destructivos a la evaluación de las estructuras.

Descripción del aparato y del método

Un esquema del aparato está dado en la Figura N° 26, según la información del fabricante, en el que se singulariza los siguientes elementos:

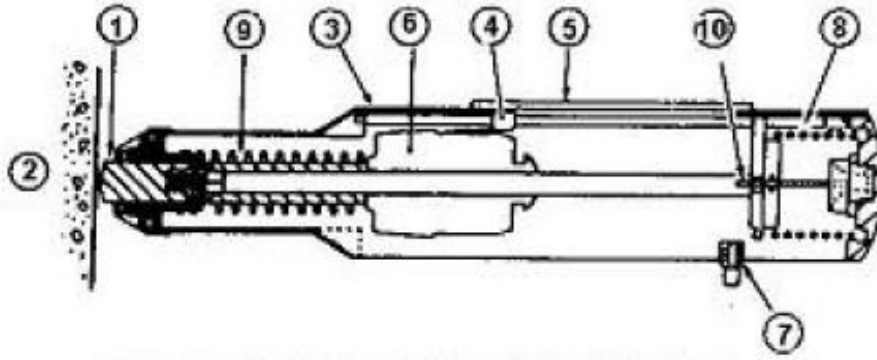


Figura N° 26: ESQUEMA DEL ESCLERÓMETRO

Fuente: Evaluación del concreto por el Esclerómetro. ASOCEM. 1994⁽⁷⁾

1. Percutor
2. Concreto
3. Cuerpo exterior
4. Aguja
5. Escala
6. Martillo
7. Botón de fijación de lectura,
8. Resorte
9. Resorte
10. Seguro

El ensayo se efectúa apretando el percutor contra la superficie a examinar, hasta que el martillo, impulsado por un resorte, se descargue sobre el percutor. Después del

golpe, el martillo rebota una cierta distancia, la cual se indica por una aguja en una escala graduada. La lectura de la posición de la aguja representa la medida del retroceso en porcentaje del avance del martillo.

Básicamente el proceso está constituido por una masa móvil, con una cierta energía inicial, que impacta la superficie de una masa de concreto, produciendo una redistribución de la energía cinética inicial. Parte de la energía es absorbida como fricción mecánica en el instrumento y otra parte como energía de deformación plástica del concreto. La parte restante es restituida a la masa móvil en proporción a la energía disponible. Para tal distribución de energía es condición básica que la masa de concreto sea prácticamente infinita con relación a la masa del percutor del aparato, lo que se da en la mayoría de las estructuras. En consecuencia, el rebote del esclerómetro es un indicador de las propiedades del concreto, con relación a su resistencia y grado de rigidez.

En la actualidad se encuentra en el mercado varios tipos de esclerómetro:

- **Modelo N:** (Energía de percusión = 2,207 Nm (0,225 kgm), sirve para el control del concreto en los casos normales de construcción de edificios y puentes.
- **Modelo L:** (Energía de percusión 0,735 Nm (0,075 kgm) es una reducción del modelo N. Es más apropiado para el examen de elementos en concreto de escasas dimensiones y sensibles a los golpes.
- **Modelo M:** (Energía de percusión = 29,43 Nm (3 kgm) sirve especialmente para la determinación de la resistencia del concreto en obras de grandes dimensiones y

para el examen de calidad de carreteras y pistas de aeródromos de concreto. Sin embargo no es excluyente el uso del modelo M. Todas estas variantes, vienen también provistas de un sistema que permite el registro automático o impresión de cada uno de los resultados de ensayo, evitando que el operador deba detenerse para tomar nota o requiera dictar los valores obtenidos, evitando errores y documentando los registros.

Factores que inciden en la prueba

Además de los factores intrínsecos, los resultados de los ensayos reciben la influencia de los siguientes parámetros:

- Textura superficial del concreto.
- Medida, forma y rigidez del elemento constructivo.
- Edad del concreto.
- Condiciones de humedad interna.
- Tipo de agregado.
- Tipo de cemento.
- Tipo de encofrado.
- Grado de carbonatación de la superficie.
- Acabado.
- Temperatura superficial del concreto y la temperatura del instrumento.

Procedimiento de ensayo

Para obtener resultados válidos y reproducibles conviene tener en cuenta las siguientes disposiciones:

1. El elemento concreto sometido a prueba está fijo en la estructura, teniendo como mínima dimensión 100 mm, de espesor. Los especímenes más pequeños deberán ser sujetados rígidamente. En el caso de probetas se aconseja fijarlas entre los cabezales de la máquina de compresión.
2. El área en la cual se podrá efectuar una determinación, por el promedio de una serie de pruebas comprenderá aproximadamente una circunferencia de 150 mm de diámetro.
3. Deberá efectuarse el pulido superficial en la zona de prueba de los especímenes, hasta una profundidad de 5 mm, en los concretos de más de 6 meses de edad, en texturas rugosas, en las húmedas y cuando se encuentran en proceso de carbonatación. Al efecto se utilizará una piedra abrasiva de carburo de silicio, o material equivalente, con textura de grano medio. Aditamento que forma parte del equipo provisto por el fabricante.
4. La posición del aparato, en casos de 4 ensayos comparativos, deberá tener la misma dirección. a posición normal del aparato es horizontal. De actuar verticalmente incide la acción de la gravedad, dando resultados de rebotes más altos actuando hacia abajo y más bajos hacia arriba. El accionar angular dará resultados intermedios.

5. Para efectuar el ensayo se apoya firmemente el instrumento, con el émbolo perpendicular a la superficie, incrementando gradualmente la presión hasta que el martillo impacte y se tome la lectura.
6. Los impactos deben efectuarse a por lo menos 2.5 cm de distancia.
7. Se tomarán 10 lecturas para obtener el promedio. En el caso de que una o dos lecturas difieran en más de 7 unidades del promedio, serán descartadas. Si fueran más las que difieren se anulará la prueba. Los ensayos son influenciados por la característica del concreto en la zona de impacto, los vacíos o la presencia de agregado grueso, disminuyen o incrementan los valores. Esto ocurre a menudo en concretos con agregado mayor de 2" o con resistencia menor a 140 kg/cm², en los cuales el método no es apropiado.

El coeficiente de variación del número de rebote decrece con el incremento de la resistencia del concreto.

Información adicional al análisis de resultados

Los resultados de ensayo deberán ser registrados y ser sujetos a análisis estadístico, cuando fuera el caso, incluyéndose en el informe lo siguiente:

- a) Identificación de la estructura.
- b) Localización, ejm. columna 2, nivel 3,2 m de altura, cara este.

- c) Descripción del área de ensayo; ejm. superficie seca, esmerilada, con textura del encofrado de madera
- d) Descripción del concreto.
- e) Composición, si se conoce, agregados, contenido de cemento a/c, aditivo usado, etc.
- f) Resistencia de diseño.
- g) Edad.
- h) Condiciones de curado o condiciones inusuales relativas al área de ensayo.
- i) Tipo de encofrado.
- j) Promedio de rebote de cada área de ensayo.
- k) Valores y localizaciones de rebotes descartados.
- l) Tipo y número de serie del martillo.

Calibración del esclerómetro

Es conveniente efectuar periódicamente la calibración del esclerómetro, sea anual en condiciones de uso eventual o semestral de emplearse regularmente. Se aconseja que de ser posible la calibración se efectúe cada 200 determinaciones. La calibración se realiza en una masa de acero, generalmente provista por el fabricante, con una dureza brinell de 500 kgf/mm², actuando de arriba hacia abajo. El índice de rebote debe ser igual a 80 + 2 divisiones. En caso de funcionamiento incorrecto la primera operación puede ser la limpieza y lubricación del aparato. De persistir el error, conviene el ajuste del dispositivo, de acuerdo a las instrucciones del fabricante por persona entendida.

Técnicamente se ha tenido que avanzar en el estudio en la definición del riesgo de los elementos estructurales y por tanto habrá ensayos con un nivel de muestreo suficiente que permitan acotar las variables que afectan a la definición de los coeficientes de riesgo en las distintas partes de la construcción, que ayuden a definir el riesgo en la fase de proyecto, y que tengan en la medida de lo posible en cuenta el riesgo en la fase de construcción y en la obra ya construida. (1)

El diagnóstico requiere que se haya valorado con criterio de sensibilidad de las variables a las hipótesis de partida de los modelos para poderlo contrastar con la respuesta real de la estructura, y asociar la causa al efecto, de una forma científica. Cuando no sea posible establecer con certeza la causa real, ya sea por falta de información, o porque el tiempo o el dinero previsto para el estudio no permiten una mayor profundización, debe decirse de forma explícita, porque: es un deber ético, es una premisa previa para cualquier trabajo de este tipo, y también porque “a veces lo más urgente es no correr”.

No se puede olvidar que la tecnología está en continua evolución, aparecen nuevos materiales, nuevos ensayos, nuevos métodos de diagnosis, y también nuevas causas de daños.

Una tecnología de gran aplicabilidad para definir el estado actual a partir del comportamiento de la estructura (sin desmerecer los modelos deterministas) son los métodos estadísticos englobados dentro de las técnicas de análisis multivariantes, que definen el estado actual mediante la instrumentación de las variables más significativas y paralelamente deducen el comportamiento de la estructura a partir de su propia historia.

El procedimiento normal consiste en, hacer una participación de los datos medidos en la instrumentación, en ajuste y prueba, y plantear el modelo utilizando solo los primeros correspondientes a un período previo. Entonces se puede hacer una prognosis del modelo hacia los segundos, y comprobar su bondad. La validación del modelo es el resultado de la consideración conjunta de los datos experimentales y de la explicación que de los mismos hace aquél.

Un caso práctico sería el de una presa, en el que instrumentando 6 variables, y creando las correspondientes funciones explicativas, se definiera el comportamiento (por ejemplo su movimiento). La instrumentación definiría el nivel de llenado del embalse, la temperatura ambiente, el movimiento del mes anterior, el empuje hidrostático, la fluencia del hormigón y la inercia térmica.; a partir de estas funciones definidas en el período de ajuste se contrasta el modelo en el período posterior de prueba y se termina con una evaluación de errores. (1)

ENSAYO DE NÚCLEOS EXTRAÍDOS O TESTIGOS DE LA ESTRUCTURA

Son uno de los medios para evaluar si la capacidad estructural de un miembro de concreto es adecuada y la ACI 318 aporta una guía para esta evaluación. Los núcleos extraídos dan resultados de ensayo más bajos que los cilindros de ensayo normalizados adecuadamente fabricados y ensayados de 6 x 12 plgs. (150 x 300 mm) esto se aplica a todo el concreto estructural moldeado. Pueden ocurrir excepciones en el caso de testigos de un concreto colado sobre una subbase de elevada absorción o en el caso de testigos de un concreto masivo, pobre, de baja resistencia. El Código ACI de la edificación reconoce que bajo las prácticas corrientes de diseño, la construcción de concreto puede ser

considerada estructuralmente adecuada si el promedio de tres testigos del área de estudio cuestionada es igual o excede el 85 por ciento de la resistencia especificada, $f'c$ y que ningún testigo individual sea inferior al 75 por ciento de $f'c$.

Si es necesaria la extracción de núcleos, hay que tener las siguientes precauciones:

- a) Ensaye un mínimo de tres núcleos para cada sección de concreto cuestionado;
- b) Obtenga núcleos con un diámetro mínimo de $3\frac{1}{2}$ pulgada (85mm). obtenga núcleos más grandes para un concreto con un tamaño de agregado mayor de 1 pulgada (25mm).
- c) Trate de obtener una longitud de cómo mínimo $1\frac{1}{2}$ veces el diámetro (relación L/D);
- d) Recorte para eliminar el acero garantizando que se mantenga una relación mínimo de $3\frac{1}{2}$ L/D;
- e) Recorte bordes a escuadra con una sierra de diamante (cortadora) con alimentación automática.
- f) Cuando ensaye, mantenga un refrentado (cabezeo) con espesor por debajo de $\frac{1}{8}$ pulgada (3mm);
- g) Utilice un material de refrentado de alta resistencia; no deben utilizarse almohadillas de neopreno;
- h) Verifique la planicidad del refrentado y de los bloques de carga;

- i) No perforo núcleos desde las capas superiores de las columnas, losas, muros, o cimientos, que serán de una 10 a un 20% más débiles que los testigos de la parte media o de las porciones más bajas; y
- j) Ensaye los testigos después de un secado durante 7 días si la estructura estará seca en servicio; en caso contrario humedezca los núcleos 40 horas antes del ensayo.

Revise las recomendaciones para el acondicionamiento de los testigos en las versiones actualizadas del ACI 318 y de la ASTM C42.

SISTEMA DE SONDAS WINDSOR. ASTM C-803

Este ensayo puede ser utilizado en el sitio del hormigón normal, ya que este sistema de sonda determina la resistencia a la compresión de una estructura de modo rápido y preciso por medio de introducir una sonda en el concreto con una fuerza conocida. (8)



Figura N° 27: Sonda Windsor

Fuente: *Sistemas de Pruebas no Destructivas. James Instruments Inc. 2006*⁽⁸⁾

Campo de aplicación

Este sistema que se lo ha empleado durante treinta años ha sido mejorado, y actualmente es capaz de medir valores de resistencia a la compresión del concreto de hasta 17.000 psi (110 MPa). El diseño de este instrumento permite el uso en los entornos de la construcción, puesto que es funcional, y brinda al usuario comodidad en cuanto a la utilización del mismo. Además el sistema no es destructivo y puede usarse con la misma eficacia en el concreto nuevo y maduro.

La sonda Windsor debe utilizarse en superficies horizontales o verticales siempre que ésta se encuentre perpendicular o esté en ángulo recto con la superficie para probarse.

Modo de Empleo

La sonda se impulsa en el concreto a una velocidad alta por medio de una carga explosiva medida exactamente, y la penetración de la sonda se mide. Cada carga de potencia garantiza tener un nivel de energía que provee una tolerancia desde la boca de +3% para la velocidad de salida. La solidez compresiva del concreto tiene una relación directa con la resistencia a la penetración del agregado y de la matriz de cemento: se determina esto por la distancia necesaria para amortiguar la cantidad específica de energía cinética de la sonda. La solidez compresiva del concreto tiene una relación empírica con la penetración que varía según la dureza del agregado. Esta relación es admitida cuando la dureza del agregado es determinada por la escala de “Mohr” y cuando un factor de corrección se aplica a la penetración.

Para resultados de prueba más precisos, la ASTM recomienda que una correlación deba realizarse para cada determinada receta de mezcla que se ensaya. Una duplicación exacta de los resultados de ensayo por cilindro no deben esperarse. Las sondas miden la solidez del concreto verdadero en una estructura en vez del concreto de una muestra comprimida y curada según condiciones algo artificial y riguroso que no representan necesariamente las condiciones de la estructura como es.

Características de la Sonda Windsor

Posee una unidad electrónica de medición, lo que facilita el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas.

Tiene dos estilos de sonda:

- Una para concreto liviano y de baja densidad, con agregados llenos con aire,
- Otra sonda para mezclas de tipo normal.

Sus dos niveles de potencia seleccionales facilita la prueba del concreto fresco, al igual que de mezclas ya fraguadas.

Esta sonda tiene dos ajustes disponibles para la carga energética, potencia baja y estándar. La potencia baja es usada en donde la resistencia del concreto es menos de 19,4mPa (3000 psi). Las sondas de plata pueden usarse en el concreto de alto funcionamiento donde hay resistencia hasta 110mPa (1700 psi). El mecanizado de cada sonda elimina concentraciones de tensiones.

La sonda de oro tiene un área de sección transversal que es 56% mayor de la sonda de plata, los distribuidores aconsejan que la sonda de oro se use para el hormigón de poco peso, menos de 2003kg/m³ (125 lbs. /cu. ft.) de densidad. La sonda de plata se usa con el concreto que tiene una densidad mayor de 2003kg/m³ (125 lbs. /cu. ft.).

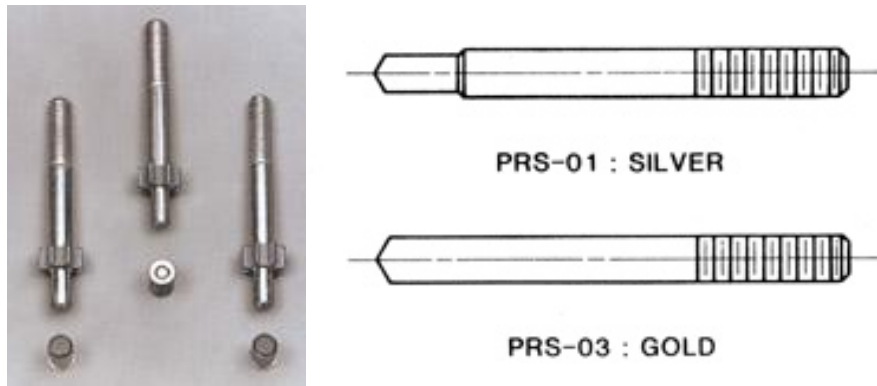


Figura N° 28: ESQUEMA DE SONDAS

Fuente: *Sistemas de Pruebas no Destructivas. James Instruments Inc. 2006*⁽⁸⁾

Procedimiento de Ensayo

Para la impulsión cargue el clavador con una carga de potencia y una sonda que sea la más adecuada para el tipo de concreto a examinarse.

Coloque el clavador sólidamente contra la plantilla de impulsión y dispare. La plantilla localizadora se usa para situar las sondas en los rincones de un triángulo fijo. Normalmente, tres medidas son necesarias para resultados constantes y fiables según las estadísticas.



Figura N° 29: Modo de Empleo

Fuente: *Sistemas de Pruebas no Destructivas. James Instruments Inc. 2006*⁽⁸⁾

La medida del dispositivo electrónico es accionada por el menú opciones y está programado a su selección conforme a los siguientes parámetros:

- La dureza del agregado
- El concreto de poco peso, normal, o de alto funcionamiento
- Las unidades de medida métrica

término medio de las tres pruebas individuales se calcula automáticamente y se muestra en la presentación visual conforme al método de la ASTM. Estos datos, juntos con la hora y la fecha de la prueba, son almacenados en la memoria para su introducción posterior en un computador personal. Una herramienta de extracción se proporciona para facilitar el sacamiento de la sonda después de la prueba.

Como una referencia de este sistema existen varios lugares que lo han aprobado, ejm. de ello es: Estados Unidos, Asia, y Europa, y cumple con la norma C-803 de la ASTM, BS 1881. (8)

RECUENTO FOTOGRAFICO

Se debe realizar un recuento fotográfico detallado y concordante con el levantamiento de daños mediante fotografías que sustenten cada patología con una breve descripción de ella señalando como referencia el lugar que le corresponde dentro del área en consideración.

Se recomienda que la fotografía incluya una referencia como por ejemplo la numeración continua mediante marcadores de manera inequívoca se defina el lugar de la toma fotográfica. (3)

4.5.1 Ensayos para Morteros y Mampostería. (9)

Dentro de los ensayos que se pueden realizar para no afectar la mampostería son las pruebas de campo que puede hacer todo constructor en obra, con el objeto de comprobar el estado del enlucido sobre la mampostería.

Pruebas de campo

Dentro de estas pruebas se tiene tres de mucha utilidad y son:

- Prueba de Punción y
- Pruebas acústicas de adherencia del mortero a la mampostería.

Prueba de Punción

Esta se la puede realizar con la ayuda de un clavo y consiste en colocar la punta del mismo sobre la superficie de la pared enlucida para indistintamente rayar el enlucido.

Al hacer esta operación se obtendrán rayas, si estas son leves esto quiere decir que el enlucido ha sido bien dosificado y presenta buena adherencia a la mampostería; pero si estas son muy profundas el enlucido indica que no está bien adherido al mampuesto y que su dosificación debe ser mejorada.

Pruebas acústicas de adherencia del mortero a la mampostería

En esta prueba el empleo de una moneda ayuda a detectar si existe buena adherencia del mortero o no.

Al acercar una moneda a la pared, esta emite un golpe; si este golpe es apagado esto indica que existe presencia de aire y no hay una buena adherencia en el mortero del enlucido.

Todo lo contrario sucede si tenemos un ruido agudo.

4. 6 Referencias:

- (1) Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. Capítulo III Orientación para la Selección de la Intervención. Autores: Antonio Aguado, César Díaz, Luis Agulló, Vicente Alegre y Xavier Casanovas. 2005
- (2) Contenido Técnico de la ITE. M^a del Mar González Martínez. Arquitecto y arquitecto técnico. Profesora de la Escuela de la Edificación. 2000
- (3) Seminario: Evaluación y Diagnóstico de las Estructuras de Concreto. Ing. Harold Alberto Muñoz M. Bogotá D.C., noviembre 22 y 23 de 2001.
- (4) Avances de Tecnología del Concreto. Tendencias y desarrollo en la Ingeniería Civil. MCI. José Antonio Tena Colunga. 2003
- (5) Seminario: “Introducción a la Patología de las edificaciones en Hormigón Armado. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, marzo 30, 31 y 1 de abril de 2005.
- (6) Revista: ¿Qué, Por qué y Cómo? Resistencia del Concreto en la estructura. National Ready Mixed Concrete Assotiacion NRMCA. Capítulo Cipes 10. 1999
- (7) *Boletín Técnico: Evaluación del concreto por el Esclerómetro. ASOCEM 1994.*
- (8) Sistema de Pruebas no Destructivas. James Instruments Inc. 2006.
- (9) Experiencia del Ing. Marcelo Romo. Octubre 2006.

Capítulo V

ACCIONES MECÁNICAS

5.1 Conceptos básicos

Las acciones mecánicas son efectos que provienen de distintas sollicitaciones, ya sean simples o compuestas, que surgen como consecuencia de las acciones externas, funcionales o ambientales, que se traducen en cargas que generan procesos mecánicos.

Acciones Mecánicas Externas.- Es la causa más común y la que produce grietas más claras y abundantes, porque generan un estado tensional complejo.

Sollicitaciones simples.- Son las acciones que se transforman en esfuerzos que pueden ser de tracción, corte, compresión, flexión y de torsión.

Falla.- Es una condición no deseada que hace que el elemento estructural no desempeñe una función para la cual existe. Una falla no necesariamente produce colapso o catástrofe.

La falla de un objeto estructural puede significar la falla del sistema al que pertenece.

Ejemplo: La falla de una tubería que pertenece al circuito primario de refrigeración de una central nuclear puede detener la central, hacerla fallar.

Mecanismo de falla.- Es el proceso o secuencia que ocurre en el elemento estructural cuando falla. Puede haber un mecanismo de falla o varios que se acoplan. Ejemplos: mecanismo de pandeo, mecanismo de fractura.

Modo de falla.- Es la configuración (geométrica) que adopta el elemento estructural cuando falla. Ejemplos: Modo II de fractura, modo local de pandeo.

Parámetro crítico.- Es un indicador asociado a la falla. Se usan indicadores, como tensión, deformación, desplazamiento, carga, número de ciclos de carga, energía, etc. Ejemplo: carga crítica de pandeo, número de ciclos de fatiga.

Criterios de falla.- Permiten predecir el modo de falla. Ejemplos: criterio de plasticidad de von Mises, criterio energético de estabilidad.

Masividad.- La normativa chilena la define como la razón entre el perímetro expuesto al fuego del perfil y el área de éste.

Las acciones mecánicas pueden ser muy variadas, por lo que conviene agruparlas. De existir alguna deficiencia en una estructura de hormigón, ésta se manifestará en la mayoría de los casos a través de una configuración de fisuras que dependerá del tipo de sollicitación actuando en ese sector. La interpretación de las fisuras observadas en la estructura nos ayudará con cierta certeza a encontrar las causas del problema.

PORTICO DE HORMIGON ARMADO

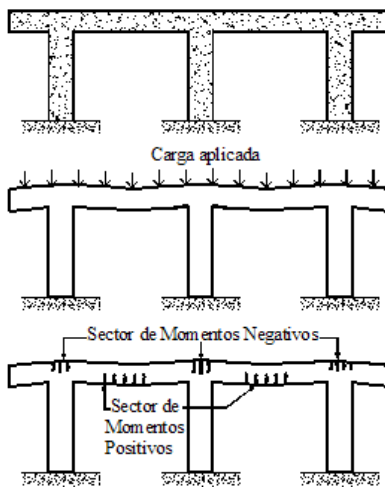


Figura N° 30: Pórtico de Hormigón Armado
Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Dentro de los factores de deterioro imputables a las acciones mecánicas están las sobrecargas, la deformación lenta (fluencia), los impactos, las vibraciones excesivas, la abrasión, la erosión y la cavitación, que están relacionados con el uso que se da a la estructura.

5.2 Efectos de las cargas fluencia

Los efectos que originan la carga fluencia suelen manifestarse al origen de la etapa del proyecto, en la construcción o en la utilización según:

Efectos en el proyecto:

- Omisión de algún estado de carga

- Subvaluación de las acciones de las cargas.
- Deficiencia en la combinación de los estados de carga
- Modelación errónea de la estructura, tanto para cargas estáticas como dinámicas.

Efectos en la ejecución:

- Cargas prematuras sobre la estructura
- Cargas no previstas en el proyecto
- Deficiencias en el transporte y/o montaje de elementos premoldeados.

Efectos en la utilización:

- Cargas no previstas o superiores a las de diseño
- Cambios de uso que implican sobrecargas mayores.
- Maquinarias o instalaciones que generan cargas dinámicas no previstas.

Existen otros efectos que se localizan en la estructura, dentro de ellos se señala:

5.2.1 Tracción Axial

Esta sollicitación es poco frecuente en elementos de hormigón y puede originar, sino se han realizado las respectivas verificaciones de los estados últimos de utilización, numerosas e importantes fisuras simultáneas, de configuración perpendicular a las barras

de acero principales, las mismas que atraviesan toda la sección del elemento y se ubican en coincidencia con la posición de la armadura transversal como pueden ser estribos y la armadura de repartición.

Como es de conocimiento el hormigón tiene un buen comportamiento frente a sollicitaciones de compresión, pero frente a sollicitaciones de tracción lo máximo que puede resistir es un 10% de las de compresión.

Es por esta razón que en los cálculos se desprecia la pequeña resistencia a la tracción. Sin embargo esta pequeña resistencia debe ser considerada en las verificaciones de fisuración y deformación que forman parte de los estados límites de utilización o servicio.



Figura N° 31: Vista de fisuras perpendiculares en el Hormigón
Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

5.2.2 Compresión Axial

El hormigón sometido a esta sollicitación puede manifestar distintas formas de fisuración que dependen de su esbeltez y del grado de coacción transversal existente en los extremos.

Para observar estos efectos se pueden realizar ensayos de laboratorio con probetas sencillas de hormigón simple. Si se pudiera eliminar totalmente el rozamiento entre las caras de la probeta y los platos de la prensa utilizados para introducir los esfuerzos, la compresión pura que se obtendría sobre dicha probeta provocaría una rotura con fisuras paralelas a la dirección del esfuerzo, formando bielas o columnas en esa misma dirección (ver Figura 32a). Si existe rozamiento, como generalmente ocurre, las fisuras adoptan una forma distinta al estar coartada la deformación transversal en los extremos; cuya configuración se indica en la Figura 32b.

En elementos estructurales más esbeltos se obtienen otras configuraciones de fisuración (Figura 32a, b y c) debido a otros factores como puede ser la posible heterogeneidad del hormigón a lo largo del elemento, distribución no uniforme de las tensiones de compresión debido a excentricidades de las cargas, etc. Resulta importante indicar que las figuras muestran posibles estados de fisuración en el momento de la rotura y no en condiciones de servicio. Una configuración como la indicada en la Figura 32d, formada por fisuras finas (anchos de aproximadamente 0.1 mm) ubicadas juntas en una

de las caras de una columna esbelta, estaría indicando una situación peligrosa debido al pandeo del elemento estructural.

La forma habitual de colapso de columnas de hormigón armado es la indicada en la Figura 32 e y consiste en un estado de fisuración muy fina (fisuras del orden de 0.05 a 0.15 mm), paralela a la directriz del elemento y no coincidente, en general, con la ubicación de las armaduras. Estas fisuras aparecen en un estado previo a la rotura cuando las cargas tienen un valor del orden del 85 al 90 % de la capacidad resistente de la columna.

Para cargas cercanas a la de rotura en columnas con zunchos en espiral, primero se desprende el recubrimiento pero el elemento puede aún seguir resistiendo más pero a costa de grandes deformaciones.

En la práctica, los anchos de fisuras que pueden aparecer en las columnas en situaciones previas a la rotura, pueden ser mayores si se aumenta la armadura, en especial la transversal. Es decir, al aumentar el ancho de las fisuras previas al colapso estamos aumentando su ductilidad y por ende la capacidad de aviso del estado de agotamiento de la columna. Este es un aspecto muy importante a tener en cuenta ya que las columnas de hormigón armado, por su naturaleza, tienen escasa capacidad de aviso ya que presentan una rotura de tipo frágil.

Por su función en el conjunto estructural, el colapso de columnas solicitadas a compresión simple, o con pequeñas excentricidades, es la principal causa de derrumbes generalizados de estructuras.

Las cargas de compresión concentradas, como por ejemplo la introducción de la carga de una columna en una base, la introducción de una fuerza de pretensado, etc., pueden generar fisuras de tracción de dirección paralela a los esfuerzos de compresión. El efecto es similar al fenómeno de hendimiento que provoca la rotura de las probetas cilíndricas en el ensayo denominado brasileño (ver Figura 33).

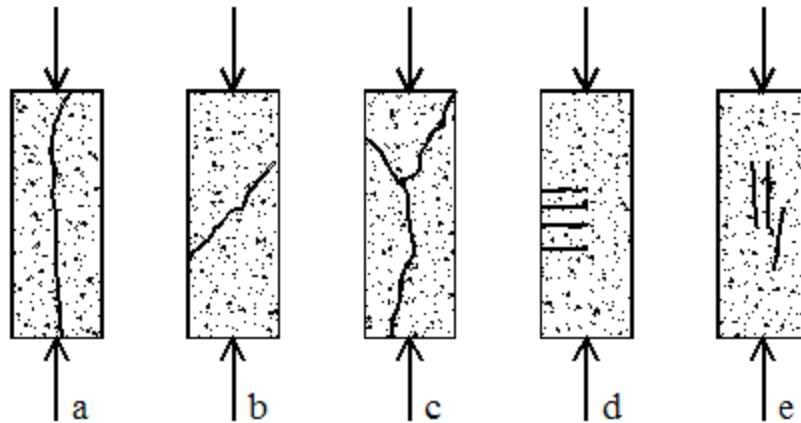


Figura N° 32

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón. Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾*



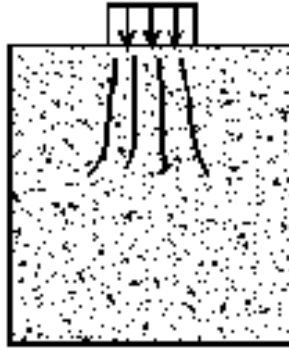
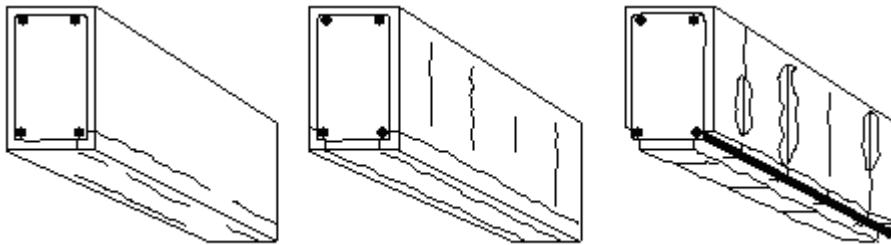


Figura N° 33: Fisuras de Tracción en dirección paralela.
(Ensayo Brasileño).

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

5.2.3 Flexión y Corte

Las fisuras generadas por flexión son las más frecuentes y, por lo tanto, las más conocidas. Pueden aparecer a partir de una sollicitación de flexión pura o por una combinación de flexión y corte. Según la importancia relativa de ambos esfuerzos será la posición e inclinación de las fisuras (ver Figura 30 y 34).



Fisuras paralelas a la dirección de los refuerzos principales

Fisuras paralelas a los refuerzos principales y estribos.

Desprendimiento del recubrimiento de concreto y armadura expuesta.

Figura N° 34: Esquema de vigas de Hormigón afectadas por corrosión.

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

En los casos de preponderancia de las sollicitaciones de flexión, se obtienen las configuraciones de fisuración indicadas progresivamente en la Figura 35 a, b y c. En estas configuraciones, la fisuración por flexión se inicia en la armadura, progresa en vertical

hacia la fibra neutra y, en ciertos casos, al final se orienta buscando el punto de aplicación de la carga deteniéndose al alcanzar la zona de compresión. En general y cuando la armadura ha sido correctamente adoptada, los elementos solicitados a flexión dominante tienen una gran capacidad de aviso a través de un cuadro pronunciado de fisuración lo que le confiere características de ductilidad.

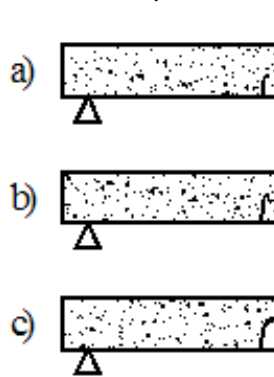


Figura N° 35: Caso de Preponderancia de las solicitaciones de flexión

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

En los casos de preponderancia de las solicitaciones de corte, se obtienen las configuraciones de fisuración indicadas progresivamente en las figuras 36a, b y c. En estos casos, la fisuración por corte puede comenzar en el alma de la pieza o en el cordón traccionado, avanzar por sus dos extremos o por el superior, respectivamente, y llegar a afectar toda la altura de la pieza, dividiéndola en dos partes.

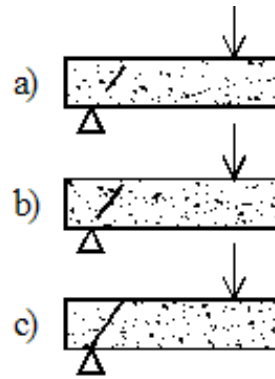


Figura N° 36: Caso de Preponderancia de las solicitaciones de corte

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Este proceso puede ser muy rápido dependiendo de la cuantía de armadura existente, especialmente la transversal. De allí la necesidad de adoptar la armadura correcta con el fin de aumentar su ductilidad permitiendo que se desarrolle íntegramente la capacidad a flexión.

Las características principales de las fisuras generadas por flexión para diferenciarlas de las generadas por corte son las siguientes:

- No afectan a toda la altura de la pieza, sino que llegan aproximadamente hasta el eje neutro.
- Aparecen en cierta cantidad y bastante cerca entre ellas, especialmente si el acero utilizado es de alta adherencia.
- Las fisuras tienden a desaparecer cuando se retiran las cargas que las generan.
- Son perpendiculares al eje del elemento y se inclinan en función del valor del esfuerzo de corte.

Otro tema de interés es el denominado punzonamiento, esfuerzo con cierta similitud con el de corte propio de los elementos lineales. A diferencia de la sollicitación por corte, el punzonamiento se genera en una estructura superficial, en general plana, por introducción de una carga concentrada perpendicular a su plano medio.

Los ejemplos típicos donde se presenta sollicitación por punzonamiento son las plateas de fundación, las bases aisladas y los entrepisos sin vigas. Las deficiencias en la consideración de esta sollicitación se manifiestan en configuraciones de fisuración como las indicadas en la Figura 37.

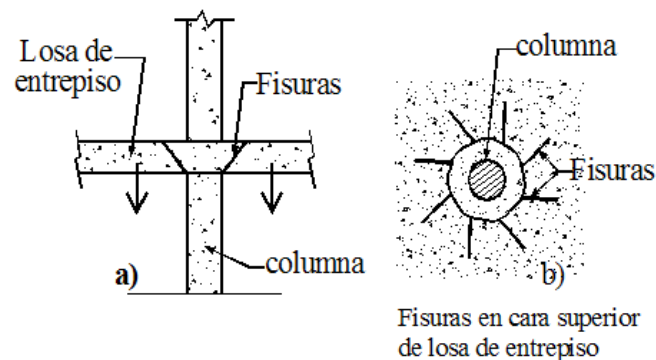


Figura N° 37: Caso de Punzonamiento

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón.*

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

En cambio, cuando las piezas están sometidas a un esfuerzo axial de compresión importante y a un momento flexor reducido, es decir piezas sollicitadas a compresión dominante o pequeña excentricidad relativa, el comportamiento es similar al de compresión centrada. En este caso, como ya se ha indicado, se producen fisuras finas y paralelas entre sí y a la directriz de la pieza. El ancho de las fisuras no supera en general

0.1 mm, y por lo tanto los pilares con excentricidades de este tipo cuentan con poca capacidad de aviso de su estado cercano a la rotura.

Para el caso de piezas sometidas a un esfuerzo axial de tracción importante y a un momento flexor reducido, es decir piezas con tracción dominante, el comportamiento tiene similitud al de tracción axial, ya descrito. Si bien no es un caso muy común, puede presentarse en aquellos tensores horizontales con grandes esfuerzos axiales que también actúan como vigas que soportan pequeñas cargas que le generan flexión.

5.2.4 Torsión

En las estructuras de hormigón armado cuando la resistencia a torsión de la pieza no es necesaria para su equilibrio o la de otros elementos ligados a ella, generalmente no se la tiene en cuenta, solo se contempla una armadura mínima, y por tal razón se la considera una sollicitación secundaria.

Es decir, la torsión se considera como secundaria cuando la estructura puede resistir con aceptable seguridad aún en el supuesto de que la rigidez a la torsión de uno o más elementos de dicha estructura *sea prácticamente nula*. Si esto no ocurre, la torsión pasa a ser una sollicitación principal.

La torsión se presenta casi siempre acompañada por sollicitaciones de flexión y corte, generando tensiones tangenciales en la pieza, en forma similar a las originadas por los esfuerzos de corte. De esto se desprende que la identificación de los problemas de sollicitaciones de torsión reviste aún mayores dificultades que los planteados para las sollicitaciones de corte.

Es importante mencionar que en la mayoría de los casos, las secciones con mayor sollicitación a la torsión coinciden con la de mayor sollicitación al corte; de lo que se desprende que en estos casos, la verificación se hace contemplando la superposición de las tensiones generadas por los dos tipos de sollicitaciones simultáneamente.

La torsión en sí, genera en las piezas de hormigón armado fisuras a 45° en cada una de las caras con una configuración de tipo helicoidal como la indicada en la Figura 38. Este tipo de fisuras suele observarse cuando no se han tenido en cuenta los efectos de la torsión como sollicitación secundaria o se ha tratado en forma incorrecta la torsión como sollicitación principal.

En el primer caso no se afectaría mayormente la seguridad de la estructura; en el segundo caso, torsión como sollicitación primaria, estaríamos ante la posibilidad de falla de la pieza.

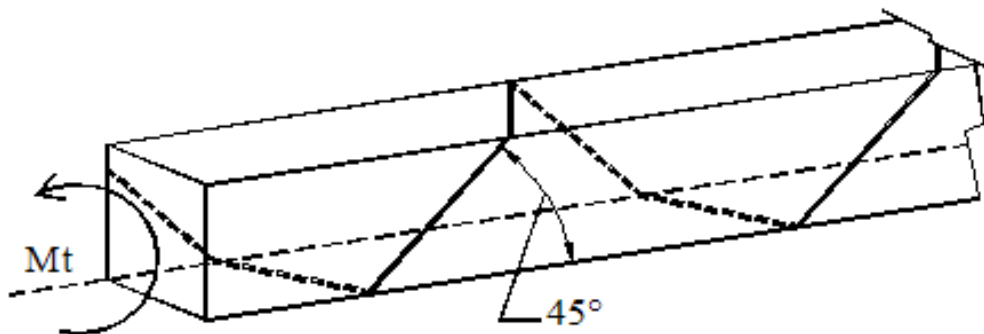


Figura N°38: Efectos de Torsión.

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón.*
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

5.2.5 Impacto

El impacto de un cuerpo sobre una estructura puede tener distintas consecuencias según sean las respectivas masas, las deformabilidades y la velocidad del elemento que impacta.

Cuando el objeto es pequeño y poco resistente e impacta a baja velocidad las consecuencias para una estructura rígida serán insignificantes y en general solo se traducen en roturas locales o descascaramientos. En caso inverso es decir objetos de gran tamaño y rígidos desplazándose a gran velocidad pueden provocar daños de consideración, como puede ser la pérdida de rigidez, de resistencia, e incluso su colapso.

Los casos más comunes de daños leves son los impactos de vehículos en columnas o tabiques de estacionamientos, playas de maniobras o depósitos, donde los elementos estructurales son rígidos y las velocidades de circulación son relativamente bajas.

Los casos típicos donde se producen daños importantes son los impactos de camiones o vehículos de carga en general, sobre elementos estructurales de poca rigidez como pueden ser los tirantes o las defensas de los puentes.

Las fotos ilustran las consecuencias de impactos de distinta importancia.



Figura N° 39: Impacto a) Moderado, b) Severo y c) Leve
Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

5.3 Sobrecargas y deformaciones impuestas

Con relación a los factores de sobrecarga y deformaciones, es claro que si se rebasa la capacidad resistente del material o fallan las bases de soporte (asentamientos del terreno), las consecuencias se manifiestan mediante microfisuras, fisuras y/o el colapso de la estructura, según la intensidad del mecanismo de acción.

Cuando el concreto es cargado, la deformación causada por la carga se puede dividir en dos partes:

- Una deformación que ocurre inmediatamente (deformación elástica) y
- Una deformación dependiente del tiempo, que comienza inmediatamente pero continúa a una tasa decreciente bajo carga sostenida.

Esta última es considerada un aumento de la deformación unitaria elástica y es llamada fluencia o flujo bajo carga (creep).

La magnitud de la fluencia depende de la magnitud del esfuerzo, de la edad y resistencia del concreto cuando la carga es aplicada y del tiempo durante el cual el concreto está cargado

Desde luego, también es afectada por otros factores relacionados con la calidad del concreto y las condiciones de exposición, tales como: el tipo, cantidad y tamaño máximo del agregado; tipo de cemento y calidad de la pasta; tamaño y forma del elemento estructural; cantidad de acero de refuerzo; y condiciones de curado.

Es recomendable utilizar un criterio de diseño conservador para que el agrietamiento sea el mínimo posible.

Por ejemplo, para maquinaria pesada suele utilizarse un factor de impacto del orden del 25% del peso de la máquina.

5.4 Vibraciones excesivas. Acción Sísmica.

Origen de la acción.

Los sismos o terremotos son vibraciones de la corteza terrestre, generadas por fenómenos diversos. Para la ingeniería estructural, los más importantes son los de origen tectónico, provocados por bruscos desplazamientos de las grandes placas de la corteza terrestre.

La energía liberada en un sismo se propaga, principalmente como ondas vibratorias, a través de la roca de la corteza y llega a la fundación de las construcciones, luego de atravesar los estratos superficiales del suelo.

Estas ondas vibratorias constituyen la acción directa del sismo sobre las construcciones.

Otro tipo de acciones denominadas indirectas, tienen su origen en el comportamiento del suelo de fundación y dependen del tipo y la geometría del depósito que lo conforma, estos son:

- Los deslizamientos
- Los asentamientos
- Las avalanchas

- La licuefacción del suelo.



Figura N° 40: Asentamiento

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Las vibraciones debidas a los terremotos se transmiten a la construcción a través de sus fundaciones. La intensidad de la vibración inducida en una construcción depende tanto de las características del movimiento del terreno como de las propiedades dinámicas de su estructura (amortiguamiento propio de la edificación y relación entre los períodos propios de la estructura y el periodo dominante del suelo).

Estas propiedades cambian con el aumento de la intensidad de la excitación aplicada; tanto el amortiguamiento como los periodos propios tienden a aumentar.

Vulnerabilidad estructural

Las vibraciones inducidas en una construcción por la acción sísmica generan fuerzas de inercia en correspondencia con sus masas. Esas fuerzas tienen dirección preponderantemente horizontal cuando las masas descansan en elementos estructurales

horizontales de luces moderadas; en cambio, su dirección dominante es vertical cuando las luces de esos elementos son importantes o en el caso los voladizos.

Las fuerzas de inercia se transmiten a la fundación a través de su estructura, siguiendo trayectorias que dependen de su configuración. En su trayecto pueden provocar los siguientes efectos:

- Generar deformaciones y esfuerzos que provoquen daños en elementos no estructurales: instalaciones, elementos de cierre y de división.
- Comprometer la estabilidad de la totalidad o de partes de una construcción consideradas como cuerpo rígido (deslizamiento, vuelco).
- Hacer que en alguno de sus elementos estructurales, se superen los estados límites de fisuración, de estabilidad elástica – efectos de segundo orden-, de resistencia y/o de ductilidad.

Influencia de elementos no estructurales

Las mamposterías enmarcadas por los pórticos, representadas en la Figura 41, usualmente no se las considera en los modelos de cálculo, y sin embargo tienen una influencia considerable en el comportamiento de las estructuras durante un sismo, dado que incrementan su rigidez e inducen mayores fuerzas sísmicas.

En las superficies de contacto de la estructura con las paredes se desarrollan *fuerzas de interacción*, que por un lado mejoran el comportamiento de la estructura durante el sismo, pero frecuentemente, causan serios daños, incluso el colapso de columnas, haciendo más vulnerable al sistema estructural.

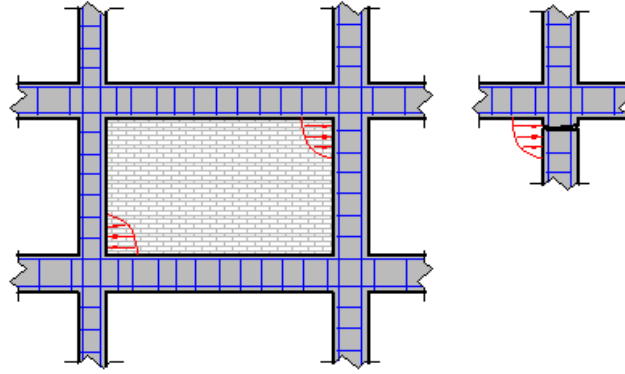


Figura N°41: Fuerzas de interacción en mampostería
Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

También son dañosas las fuerzas debidas al impacto de una construcción con otras adyacentes separadas por juntas de abertura insuficiente.

En lo concerniente a las propiedades mecánicas que más influyen en el comportamiento estructural de un elemento de mampostería son:

1. Deformabilidad y
2. Adherencia con las piezas

La deformabilidad depende en gran medida de las deformaciones totales del elemento de mampostería y, en gran parte, de su resistencia a la carga vertical.

Con respecto a la Adherencia entre el mortero y las piezas, se define en muchos tipos de mampostería, sobre todo en los que las piezas son muy resistentes, la resistencia a cortante del elemento.

Es importante que el mortero tenga una manejabilidad adecuada, para que pueda ser colocado en capas uniformes sobre las que se asiente bien las piezas para evitar concentraciones de esfuerzos y excentricidades accidentales.

Tipos de daños en elementos de estructuras de hormigón armado

En general las construcciones con un adecuado diseño estructural y una ejecución cuidadosa, aún bajo sismos severos, sufren daños leves. Ellos se manifiestan como grietas verticales e inclinadas en las columnas y en las vigas, Figura 42.

Las grietas verticales en las vigas son causadas por el momento flexor y ocurren en la proximidad de los nudos, por ejemplo en la conexión con las columnas, y en los centros de tramo. Las grietas inclinadas se producen por los esfuerzos de corte.

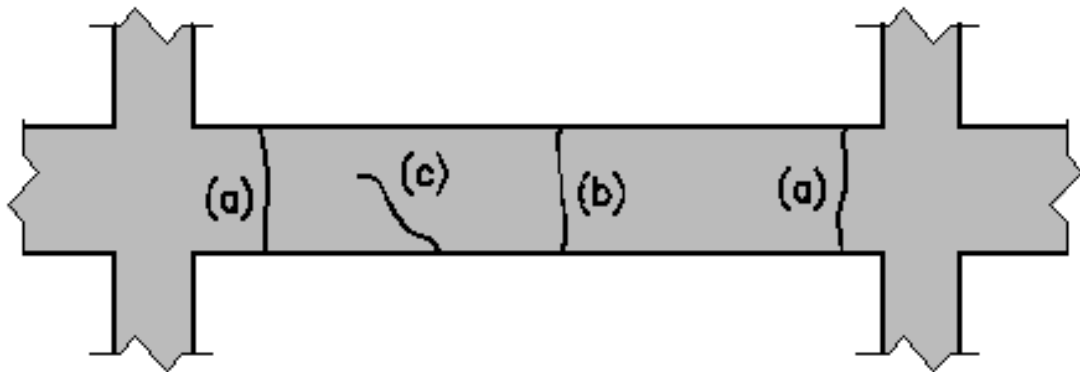


Figura N°42 Grietas de Flexión (a,b) y corte (c).

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón.*
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Los daños se pueden agrupar según el motivo de la falla en:

- Por compresión del hormigón
- Por corte del hormigón.

- Escasez de armadura o pérdida de su anclaje.

Se producen en tabiques, columnas, vigas, losas y nudos cuando el hormigón está excesivamente solicitado, caso 1) o 2), o mal reforzado, caso 3), lo que da lugar a un comportamiento estructural insuficientemente dúctil.

El modo de falla de los tabiques en ménsula depende de la relación entre su altura y las dimensiones en el plano. En tabiques cortos ($H < B$) predomina el efecto del esfuerzo de corte, produciéndose grietas diagonales (grietas-X), Figura 43(a); si no lo son ($H > B$) predomina el efecto del momento flexor, produciéndose grietas horizontales. Figura 43(b).

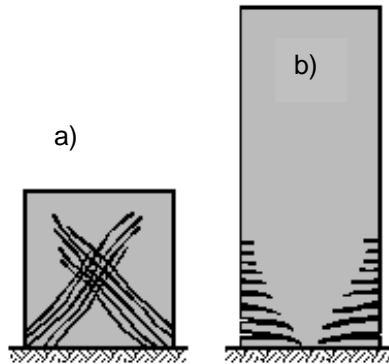


Figura N° 43: Modos de falla de tabiques en Ménsula
Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

En las vigas y las columnas con fuerzas longitudinales relativamente pequeñas prevalece la influencia de la flexión, Figura 44.

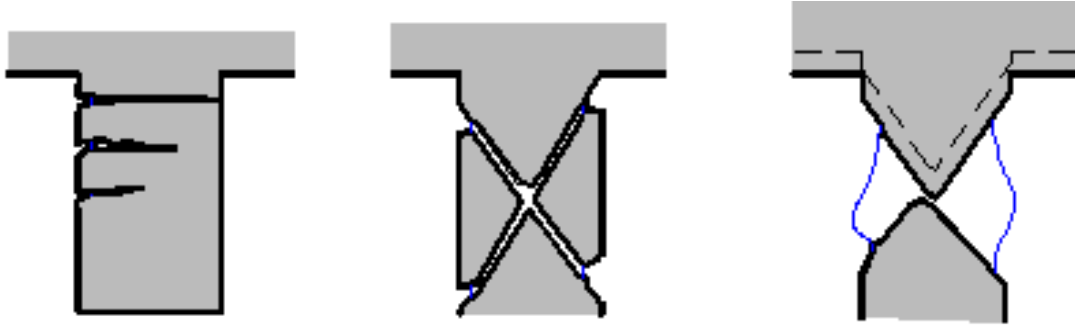


Figura N° 44: Falla por Flexión en un extremo de columna.

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Las columnas gruesas, como las vigas cortas (Figura 45) son vulnerables a las fallas típicas originadas por los esfuerzos de corte.

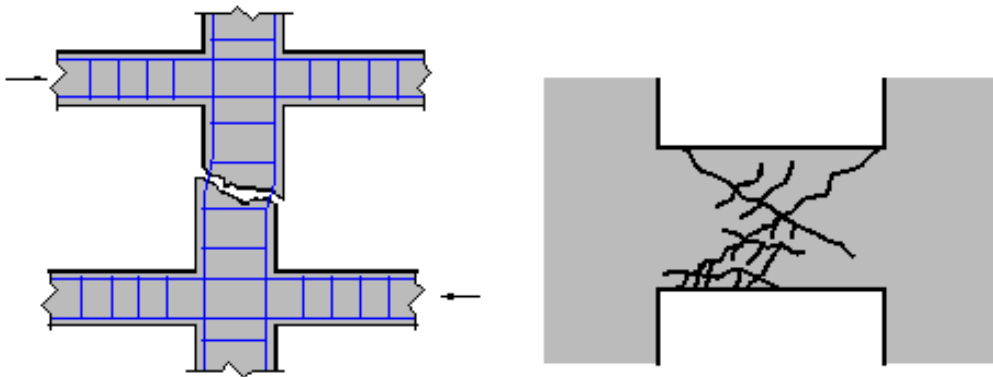


Figura N° 45: Falla por Corte en columna gruesa (izq.) y en viga corta (der.)

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

Debido a los complejos estados de tensión en los nudos, pueden ocurrir diferentes modos de falla (Foto 46).



Figura N° 46: *Falla en nudo de unión viga-columna*

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón. Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón 2005.* ⁽⁶⁾

El debilitamiento de la unión acero-hormigón representa una falla frágil y su consecuencia es similar a una excesiva deformación de la armadura.

Los daños expuestos pueden deberse a defectos de proyecto o también a fallas de construcción. Los errores en la concepción estructural son especialmente peligrosos, pero una mala ejecución de detalles también puede causar graves daños.

Las causas más comunes de daños y colapsos de construcciones porticadas son:

- **Error en la concepción de la estructura o de su fundación.-** Un pórtico poco rígido con grandes deformaciones (desplazamientos horizontales) causa daños severos en tabiques divisorios. Los balcones, los aleros y las escaleras en ménsula son elementos particularmente vulnerables.
- **Detalles inadecuados, especialmente de armado y en las uniones de las barras.-** Casos típicos son las juntas mal dimensionadas que causan la colisión

entre las partes de la construcción y la pobreza de ejecución de detalles de armado en la zona de los nudos.

- **Pobre calidad del trabajo realizado y del hormigón incorporado.**- Pueden ser causas de daños graves los cambios en la posición de las armaduras respecto al diseño original, malos cortes constructivos, corte de estribos en columnas durante el hormigonado, etc. Son raros los daños causados por la calidad de los materiales incorporados (pobre calidad del hormigón, segregación, etc.).
- **Sobrecargado de la estructura con cargas gravitatorias.**- Incrementan las solicitaciones debidas a la acción gravitatoria y a las fuerzas de inercia (por incremento de la masa) provocadas por el sismo.

El efecto de la vibración es especialmente acumulativo y las grietas preexistentes o nuevas continúan desarrollándose a medida que pasa el tiempo. Por lo tanto, es importante hacer un diseño por cargas dinámicas y la clave de un diseño dinámico satisfactorio consiste en asegurar que la frecuencia natural de la estructura de apoyo de la fuente vibrante (maquinaria u otra), sea significativamente diferente de la frecuencia de la fuerza perturbadora.

Si ambas frecuencias son aproximadas, la vibración resonante se establecerá en el apoyo de la estructura. Para minimizar las vibraciones resonantes, la relación entre la frecuencia natural de la estructura y la frecuencia de la fuerza trastornante debe mantenerse fuera del rango de 0,5 a 1,5.

5.5 Daños por abrasión

Las acciones asociadas a esfuerzos que provocan un desgaste de la superficie expuesta del hormigón se pueden agrupar como fenómenos de abrasión y desgaste, aunque más específicamente se considera abrasión cuando hay una acción mecánica por arrastre de sólidos sobre la superficie.

La resistencia del concreto a la abrasión se define como la habilidad de la superficie para resistir el desgaste producido por fricción, frotamiento, raspaduras o percusiones. Este fenómeno es difícil de valorar, ya que la acción perjudicial varía según la causa del daño. Por ello, la resistencia a la abrasión se relaciona siempre con su resistencia a la compresión.

El arrastre de sedimentos en un canal revestido, la acción de neumáticos protegidos con cadenas o clavos para la circulación sobre superficies congeladas, el transporte de sólidos en una tubería de conducción y la situación de un vertedero de una presa son situaciones típicas donde se produce la abrasión.

En términos generales se considera cuatro tipos de abrasión:

5.5.1 Desgaste por Frotamiento.

Es el desgaste de pisos de concreto debido al tráfico de peatones y vehículos ligeros, patinazos, raspaduras o deslizamiento de objetos sobre la superficie.

Sobre este particular, el comité, ACI 301 recomienda que la resistencia y el asentamiento del concreto deben cumplir con los límites indicados en la tabla 5.1 y que el contenido de cemento no sea menor que el indicado en la tabla 5.2, dependiendo del tamaño máximo de agregado empleado.

Tabla N° 5.1: Especificaciones del Concreto para pisos

CLASE	RESISTENCIA F'c (KG/CM ²)	ASENTAMIENTO MÁX. (MM)
1	210	100
2	210	100
3	210	100
4	280	75
5	315	75
6	350	50
7 Base	350-420	50
8 Coronamiento	350-550	50
9	280 o más	100

Fuente: Durabilidad y Mecanismos de Falla.
www.todoarquitectura.com.2001⁽³⁾.

Tabla N° 5.2: Requerimientos Mínimos de Contenido del Cemento

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO (MM)	CONTENIDO DE CEMENTO (KG/M ³)
38.1	280
25.4	310
19.0	320
12.5	350
9.5	360

Fuente: Durabilidad y Mecanismos de Falla.
www.todoarquitectura.com. 2001. ⁽³⁾

De otra parte, para todas las clases de pisos, la resistencia a la compresión requerida a los tres días de edad debe ser de 125 kg/cm² para evitar daños durante la construcción.

A continuación se ilustra el desgaste de un pavimento en zona fría, por acción de las cadenas y clavos de los neumáticos. Se ve claramente la huella de desgaste que coincide con el tránsito.



Figura N° 47: Desgaste de un pavimento en zona fría

Fuente: *Acciones sobre las estructuras de Hormigón. Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾*

La resistencia al desgaste está asociada a la resistencia intrínseca del hormigón, por otro lado es importante la calidad y dureza del agregado empleado en la obra y la eficiencia del curado superficial. Varios autores señalan como recomendación que las operaciones de terminación y acabado superficial que se le de al pavimento debe realizarse sin el agregado de agua adicional y evitando remezclar el agua exudada. También indican que para mejorar la resistencia a la abrasión se pueden usar

endurecedores minerales y/o químicos o emplear hormigones especiales como fibras de acero.

5.5.2 Desgaste por rozamiento, rasgado y percusión

Es el desgaste de la superficie de pavimentos urbanos y carreteras de concreto debido a camiones pesados y automóviles con llantas que tienen tachones o cadenas.

Sobre este particular, el comité ACI 316 recomienda que la resistencia especificada del concreto no sea menor de 45 kg/cm^2 de resistencia a la flexión medida a los 28 días de edad en viguetas con carga en los tercios medios, ni de 280 kg/cm^2 a los 28 días, en muestras probadas a compresión, con contenidos mínimos de cemento de 335 kg/m^3 .

Sin embargo, si la experiencia y los materiales empleados demuestran que se pueden disminuir estas especificaciones, el comité recomienda que la resistencia a flexión a 28 días de edad no sea inferior a $38,5 \text{ kg/cm}^2$ y que el contenido de cemento en ningún caso sea menor de 280 kg/m^3 .

Para obtener buena resistencia a la abrasión, también se recomienda limitar el tamaño máximo del agregado grueso a un mínimo de 25 mm (1"), así como el uso de relaciones agua-cemento bajas.

5.5.3 Erosión por Materiales Abrasivos

La erosión es típica de estructuras hidráulicas tales como presas, túneles y estribos de puentes que están sujetos a la acción de materiales abrasivos llevados por el agua corriente o por el viento.

En este caso, la magnitud de la erosión depende de la cantidad, forma, tamaño y dureza de las partículas sólidas transportadas, así como de la velocidad de su movimiento y la aparición de remolinos. Por lo general, el concreto con agregados grandes se desgasta menos que un mortero de la misma resistencia y desde luego, los agregados duros mejoran la resistencia a la abrasión por erosión.

5.5.4 Erosión por Cavitación

La erosión por cavitación genera huecos y cavidades en el concreto debidos a la formación de burbujas de vapor cuando la velocidad del agua es muy alta y está acompañada de presiones negativas. Este fenómeno es típico en presas de concreto, vertederos, túneles y otros sistemas de conducción de agua.

Desafortunadamente, ni el mejor de los concretos es capaz de resistir durante tiempo indefinido las fuerzas de cavitación, por lo cual el problema estriba en reducir la cavitación mediante superficies lisas y suaves, así como reducir la velocidad del agua. En

estos casos, es conveniente usar tamaños máximos de agregado grueso de hasta 19,1 mm (3/4"), por cuanto la cavitación tiende a remover las partículas grandes.

5.6 Patologías por acción del fuego y explosiones

La patología por acción del fuego en el hormigón armado, es un problema complejo ya que éste al ser un material compuesto por varios elementos, no todos reaccionan de la misma forma ante la acción de las altas temperaturas.

Cuando existe la presencia de incendios en un edificio u obra civil, el peligro aumenta porque la propia estructura se pone en juego.

La gran mayoría de las obras civiles se encuentran expuestas al medio exterior en donde es imposible que la temperatura alcance niveles de 700° C., pero existen los ambientes cerrados en donde la temperatura sube aproximadamente un 30% más, debido a la reflexión y radiación de las paredes.

Existe un punto crítico llamado ignición o (flashover point) que se sitúa en los 273° C. con esta temperatura sólo una estructura de aluminio podría verse afectada. A partir de este punto se desarrolla el fuego equivalente o normalizado (medido en minutos), que es al que se refieren todas las reglamentaciones y las resistencias al fuego de materiales. Cuando se supera los 40 minutos de fuego equivalente, podemos hablar de

un incendio en condiciones críticas que pone en riesgo las vidas humanas e indica el posible colapso de la estructura de no tomar medidas a tiempo.

Para tener una referencia de cómo afectan las altas temperaturas a los materiales, diremos que a 500° C el acero se vuelve dúctil, la tensión de fluencia decrece aproximadamente 50%; similar situación ocurre con el módulo de elasticidad y la tensión de ruptura, a los 600° C se produce una bajada brusca de su resistencia.

El hormigón comienza a deteriorarse a temperaturas superiores a los 380° C en periodos prolongados de tiempo. A los 400° C se produce una pérdida de resistencia entre 15-25%, según sea de áridos calizos o silíceos. Por encima de los 800° C, deja de poseer una resistencia a la compresión viable, y se debilitará en mayor medida al enfriarse cuando se apague el fuego.

5.6.1. Efectos Producidos por el Fuego en el Hormigón Armado.

Los efectos en las estructuras de hormigón armado empiezan en el propio comportamiento de los materiales. Como se ha mencionado, el hormigón pierde menos capacidad a altas temperaturas que el acero. En el caso de acero pretensado, cuando el hormigón sufre pérdidas del 35%, estaríamos hablando de que el acero pretensado pierde 60-70% de su capacidad.

A diferencia del acero, el hormigón está expuesto al fuego, por tanto las evaluaciones son más complejas. Además de las variables propias de cada incendio (carga de combustible, aireación, etc.), la variación en los resultados del hormigón puede deberse a una serie de factores intrínsecos como la densidad, la porosidad, el tipo de árido y el método de vibración durante la ejecución.

El grado de alteración que puede alcanzar tanto el hormigón como sus componentes va a depender principalmente de:

- El nivel de temperatura alcanzado,
- Del tipo de exposición y
- De la composición del hormigón.

Para analizar los efectos producidos por el fuego sobre una estructura o elemento de hormigón, es necesario simular un fuego real, ya que cada incendio es un proceso diferente de otro, donde intervienen numerosas variables, como:

- El tipo y la disposición espacial de los materiales combustibles,
- La ventilación,
- Las posibles barreras o compartimientos que puedan existir,
- El carácter y la disposición de los medios contra incendios o
- La rapidez y eficacia de los servicios de bomberos.

Se podrá analizar los efectos producidos por el fuego sobre el hormigón armado, teniendo en cuenta los efectos que se producen sobre las características del hormigón, las características del acero, la vinculación que existe entre ambos en el hormigón armado, las consecuencias cuando las dilataciones están total o parcialmente impedidas y los esfuerzos producidos como consecuencia de los gradientes térmicos.

Alteraciones producidas en el hormigón

5.6.1.1 Alteraciones producidas en la adherencia acero-hormigón.

Evaluar la pérdida de adherencia que sufren las armaduras de las estructuras de hormigón armado al ser afectadas por incendios implica tomar ciertas consideraciones, ya que el hormigón al ser un elemento incombustible, éste no emite gases tóxicos cuando está expuesto a altas temperaturas, aún expuesto a temperaturas del orden de los 800° C, es capaz de mantener su capacidad resistente por períodos relativamente largos reduciendo el riesgo de colapso.

La existencia de debilitamientos en la sección del hormigón, puede ser ocasionada por la cantidad y calidad de la pasta y agregados, estos pueden contener ciertos componentes minerales que por efecto del calor pueden descomponerse y luego disgregarse, permitiendo de esta manera que las altas temperaturas atraviesen el hormigón y lleguen a las armaduras muy rápidamente.

Debido a la baja conductividad térmica del hormigón, el acero enfrenta una disminución en la capacidad última según se incremente la temperatura, pero su deformación máxima permanece estable en torno al 2.5% y como se muestra en la figura 48, el diagrama tensión vs. deformación resulta alterado para temperaturas muy inferiores a las que producen la disminución de la capacidad última. Así, el acero sufre una dilatación lo que produce compresiones y fisuras. Después se produce el enfriamiento y la rotura. La adherencia se daña precisamente por ese salto térmico.

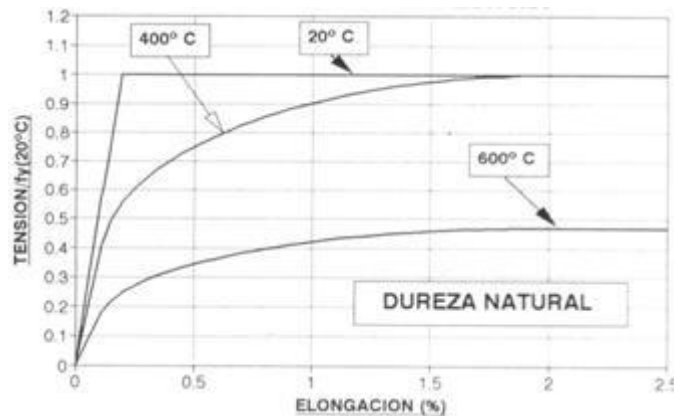


Figura N° 48: Diagrama tensión vs. deformación.
Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón.

Red Rehabilitar. 2005⁽⁶⁾

Si el acero ha estado sometido a temperaturas inferiores a los 600° C, al enfriarse recupera prácticamente la totalidad de su capacidad inicial.

Los aceros de dureza natural, recuperan prácticamente la totalidad de su capacidad resistente tras el enfriamiento habiendo alcanzado temperaturas de hasta 1000° C.

Los aceros deformados en frío, presentan una pérdida en su resistencia residual de hasta un 25-30% para temperaturas del orden de los 700° C.

Los aceros de pretensado pueden alcanzar pérdidas mayores. Además, como muchas veces estos aceros se usan en viguetas y losas prefabricadas, con muy poco revestimiento de las armaduras, en caso de incendio alcanzan elevadas temperaturas muy rápidamente.

El enfriamiento brusco de las armaduras expuestas por el agua de los trabajos de extinción puede producir a su vez, el templado y la fragilización del acero.

Frente a aproximadamente un mismo coeficiente de dilatación entre acero y hormigón, lo que optimiza la utilización conjunta de los mismos, existe un coeficiente de transmisibilidad que difiere de ambos, puesto que el acero es un buen conductor de calor y el hormigón es considerado como un aislante térmico.

Sin embargo, de existir pérdida del recubrimiento en algún sector del elemento estructural y de que el fuego se localice en determinados puntos del mismo elemento, el acero transmite rápidamente el calor, produciendo dilatación en las barras en zonas en donde el hormigón todavía está relativamente frío, creándose solicitaciones de compresión que superan la capacidad resistente del hormigón y microfisuras en una zona tubular que envuelven a la barra. Si permanecen las altas temperaturas, el acero seguirá comprimiendo al hormigón, las condiciones de adherencia estarán irreversibles y gravemente dañadas.



Figura N° 49: Daños a la adherencia
Fuente: Patologías de la Edificación
ASEFA 2004.⁽⁴⁾

En el caso de hormigón pretensado esto se agudiza ya que trabaja por adherencia. Este fenómeno se produce o bien por un incremento de temperatura brutal o bien por un enfriamiento brusco (una extinción agresiva).

La rotura del hormigón por adherencia se produce con el enfriamiento, es decir, cuando ya no hay humo. Por tanto las grietas aparecidas son blancas, porque la superficie interior no está ahumada.

Cuando existe un incremento en el calor específico del elemento el cual se puede definir como *la cantidad de calor necesaria para elevar a una cierta temperatura a una determinada masa de sustancia, y que se expresa en J/kg.K*, se observa que en el hormigón normal existe un incremento al alcanzarse los 100° C, debido al calor absorbido por el agua intersticial mientras va evaporándose (ver figura N° 50).

Esto produce un retardo en el pasaje del calor hacia el interior de la masa. Pero como contrapartida de este efecto positivo de la humedad, la evaporación del agua contenida en los poros no accesibles hace que se produzca un fuerte incremento de la presión interna, que puede originar desprendimientos explosivos del hormigón del recubrimiento (spalling), de allí la importancia del espesor en los elementos.

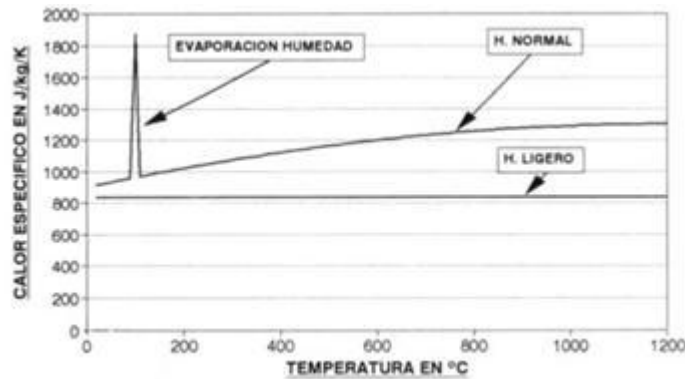


Figura N° 50: Incrementos de temperatura en Hormigón Normal y Ligero.

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.

Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

El aspecto del hormigón normal de cemento Portland sufre una serie de cambios al ser sometido a altas temperaturas que pueden permitir a un experto tras el incendio y en un primer examen visual, apreciar cualitativamente el daño producido.

- Entre 300 y 600° C, tonalidad rosácea, por alteración de los compuestos de hierro. El hormigón pierde hasta 60% de la resistencia inicial a la compresión.
- Hasta 900° C, color gris claro. A esas temperaturas se ha comenzado a degradar los compuestos del conglomerante endurecido. El hormigón se vuelve poroso y friable. Al enfriarse la superficie de las piezas mientras el interior permanece muy caliente, se producen una serie de fisuras que se cortan ortogonalmente (fisuración

en piel de cocodrilo). El hormigón pierde entre el 60 y el 90% de la resistencia inicial.

- Por encima de los 900 ° C, el hormigón adquiere un tono blancuzco a amarillento. Carece de resistencia residual alguna.

5.6.1.2 Efecto Spalling

El proceso de desprendimiento, también llamado spalling, tiene lugar rápidamente, a los 100-150 ° C, como resultado del impacto térmico y el cambio de estado del agua intersticial.

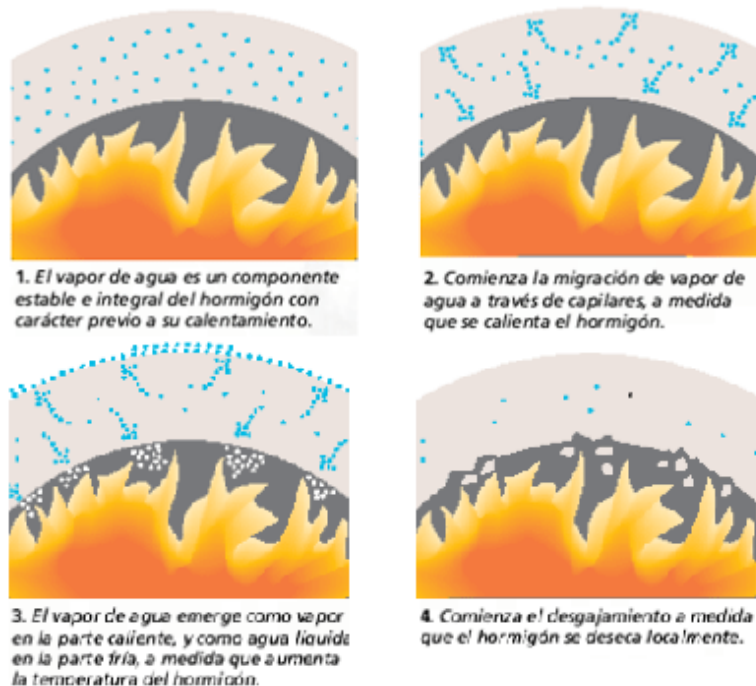


Figura N° 51: Secuencia del Efecto Spalling

Fuente: Patologías de la Edificación

ASEFA 2004. ⁽⁴⁾

A medida que el agua se convierte en vapor y debido a la densa estructura del hormigón, el vapor no puede escapar eficientemente a través de su matriz, y la presión

aumenta. Cuando la presión en el hormigón es superior a su resistencia, comienza el proceso de desprendimiento o spalling. Estos debilitamientos así producidos dejan al descubierto el hormigón “fresco”, que queda expuesto a un calor intenso, lo que reproduce el proceso de desprendimiento a mayor velocidad.

El efecto spalling es inmediato, por lo que el hormigón de recubrimiento salta durante el incendio, es decir que la superficie interior queda expuesta al humo y el hollín: las grietas y debilitamientos por spalling quedan ennegrecidas. Un spalling masivo puede llevar a la pérdida total del hormigón de recubrimiento o “fall of”, dejando al descubierto las armaduras.

Hasta ese momento el hormigón había evitado que el acero alcanzara grandes temperaturas, por lo que preservaba también su resistencia. Al mismo tiempo, la magnitud del incendio es tal que el acero alcanza rápidamente la temperatura de 250° C y superiores. Sobreviene la disminución de resistencia de las armaduras.

Si estamos hablando del incendio en el interior de un edificio, la parte de la estructura más expuesta al fuego y también la más sensible es la cara inferior de los forjados. Aquí las tensiones son de tracción y fundamentalmente soportadas por las armaduras de acero. De modo que si éstas se ven afectadas por altas temperaturas, la disminución de su resistencia se traduce en la transmisión de esfuerzos al hormigón, ya sobretensionado interiormente. Resulta en la rotura frágil a cortante del hormigón y el colapso del forjado por la rotura a momentos negativos del armado.

El efecto spalling depende en gran medida de la proporción de agua/cemento en el hormigón. Se admite que con contenidos de humedad inferiores al 3% no hay riesgo. Estudios realizados en países europeos, recomiendan que con un hormigón de alta resistencia se debe colocar 2-3% de fibras de polipropileno muy finas ($\phi \gg 30\mu$), de forma que esas fibras se funden al subir la temperatura y permiten así vías de expansión del vapor.

5.6.1.3 Deformaciones Impedidas

Cuando el fuego se ha localizado en una determinada zona de la estructura, los elementos expuestos a altas temperaturas sufrirán un aumento en la longitud de los mismos. De este modo, pueden aparecer esfuerzos importantes en las cabezas de las columnas por dilatación de las vigas que concurren a ellas o en las paredes cuando soportan losas afectadas.

5.6.1.4 Gradiente Térmico

El gradiente de temperatura medio se genera cuando una pieza de hormigón ha sido calentada, éste gradiente genera una deformación diferencial de las distintas fibras de la sección, donde las fibras más calientes sufrirán un alargamiento, por lo general esto sucede en las fibras inferiores de losas o vigas.

El manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón señala que: “si el alargamiento no está limitado se produce un aumento de las flechas (curvatura de la pieza en el mismo sentido de los momentos positivos). Si la pieza tiene la deformación limitada en los extremos se produce un aumento de los momentos negativos, porque genera

compresiones en la cara inferior de la pieza, de este modo, se pueden producir tracciones en la cara superior en zonas en que no hay armaduras suficientes para absorberlas”.

Menciona además que “al incrementarse los momentos negativos también se incrementa la profundidad de las zonas comprimidas en sectores que pueden estar muy solicitadas como por ejemplo aquellos próximos a los apoyos de las vigas”.

Sugieren que hay que tener en cuenta que las fibras sometidas a altas temperaturas tienen su capacidad y su módulo de deformación inferiores a las iniciales, lo que exige mayor profundidad de la zona comprimida. Afirman que esto va en contra de la ductilidad de la sección, necesaria para acompañar los giros que exige la nueva distribución de momentos flectores en la pieza para descargar el aumento de los momentos negativos, con lo que se puede producir el aplastamiento con rotura frágil del hormigón.

Debido a la baja conductividad térmica del hormigón, el gradiente térmico no es uniforme. Por tal razón, las distintas fibras de la sección sufrirían una deformación que conduciría a una sección no plana, por lo que se generan tensiones rasantes entre las fibras para compensar ese efecto, que pueden generar debilitamientos internos que afectan la capacidad de los elementos.



Figura N° 52: Rotura de una esquina de una losa, incendio localizado en el espacio interior

Fuente: Acciones sobre las estructuras de Hormigón.
Manual de Rehabilitación de Estructuras de Hormigón. 2005⁽⁶⁾

El nivel de daño producido en la estructura de hormigón armado puede crear una pérdida de estabilidad, de no presentar este síntoma es conveniente definir el grado de afectación que tiene la estructura para decidir cual es la mejor intervención que se debe considerar.

Uno de los medios más empleados en otros países para determinar el grado a afectación de una estructura es la auscultación por ultrasonido complementado con la rotura de probetas de hormigón extraídas de la estructura a analizar, obviamente los resultados obtenidos deben estar avaluados por el profesional experto en el tema.

5.7 Referencias Bibliográficas

1. MECANICA AVANZADA DE MATERIALES. Dr. Luis A. Godoy. 2005.
2. SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE. Diseño de Estructuras de Concreto con Criterios de Durabilidad. Andrés Torres Acosta, Miguel Martínez Madrid. Publicación Técnica N° 181. Sanfandila, Qro, 2001.
3. CONCRETO. Durabilidad y Mecanismos de Falla. www.todoarquitectura.com.
4. PATOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN. Efectos de Incendios en estructuras de Hormigón Armado. Varios autores. ASEFA. 2004.
5. ESCENARIO DE VULNERABILIDAD Y DAÑO SÍSMICO EN LAS EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE UNO Y DOS PISOS EN EL BARRIO SAN ANTONIO, CALI, COLOMBIA. Proyecto de Grado. Henry Adolfo Peralta Buriticá. Universidad del Valle. 2002.
6. MANUAL DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Paulo Helene, Fernanda Pereira. Capítulo I. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. Págs. Consultadas: 1-57.
7. Revista EL MERCURIO DE CHILE. Cubrir el acero. Orelvis González. Junio del 2006.
8. DIMENSIONAMIENTO FRENTE AL FUEGO.
Bibliotecna.upc.es/PFC/arxius/migrats/35863-5.pdf.

Capítulo VII

FISURAS EN MAMPOSTERÍA Y HORMIGONES

7.1 Generalidades

La fisuración de la mampostería y del hormigón es atribuible a numerosas causas diversas y suelen darse separadas o conjuntamente. Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad de los materiales empleados. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud.

“Su importancia depende del tipo de estructura, como también de la naturaleza de la fisuración. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial pueden no serlo para una estructura para almacenamiento de líquidos.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario, las reparaciones pueden durar poco.

Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración". ACI 224-1R-93.

7.2 Estudios de fisuras en piezas sometidas a agentes climatológicos y externos

El hormigón al igual que otros materiales de construcción, *se contrae y dilata con los cambios de humedad y temperatura y se flexiona* según las condiciones de carga y de los soportes. Por tal razón es necesario acotar el enfoque a los rangos habituales que pueden presentarse, excluyendo situaciones excepcionales como puede ser un incendio y la acción de heladas.

Si en el momento de diseñar la construcción, no se han tenido en cuenta los citados movimientos, es posible la aparición de fisuras. Las formas más comunes de fisuras son:

- a.** Fisura por retracción plástica
- b.** Fisuras por juntas inapropiadas
- c.** Fisuras debidas a una restricción externa y continuada (p.e. Muro hormigonado en obra y apoyado en la losa a lo largo de su borde inferior).
- d.** Fisuras en cimientos-pavimentos
- e.** Fisuras por acción del hielo/deshielo.
- f.** Fisuras por cuarteamiento
- g.** Fisuras por asentamiento

La presencia o no de fisuras en los elementos estructurales, mampostería y en el hormigón armado, puede contribuir en gran manera en conseguir el nivel de durabilidad esperado para dicha estructura.

Lo que particularmente interesa conocer es la influencia de los cambios térmicos invierno-verano y día-noche y los efectos de los procesos de secado y los ciclos de humedecimiento-secado sobre la estabilidad volumétrica y la posibilidad de fisuración.

La razón de analizar en forma conjunta estos dos fenómenos es que en situaciones reales se producen gradientes de humedad y/o temperatura marcadamente no lineales, cuyo tratamiento analítico y conceptual es similar.

Pero ¿por qué se fisuran las superficies de hormigón y de mampostería?

La mayor parte de las fisuras del hormigón y la mampostería, se producen normalmente debido a un mal diseño o a una mala ejecución de la construcción, tal como:

- a.** Falta de juntas de aislamiento y control o mala práctica en su realización.
- b.** Inadecuada preparación de la subbase.
- c.** Uso de hormigón excesivamente fluido o con exceso de agua.
- d.** Acabado inadecuado.

- e. Empleo de malos materiales ya sea en la elaboración del hormigón o de la mampostería
- f. Inadecuada preparación de los morteros
- g. Mal curado o ausencia del mismo se en hormigón o mortero.

Por esto es necesario conocer cuales son los efectos que producen los cambios en la temperatura y en el contenido de humedad y si son prevenibles o no las fisuras en nuestros elementos.

Los cambios de temperatura ocasionan variaciones de volumen, en forma similar a lo que ocurre con cualquier sólido, es decir, se dilata cuando se calienta y se contrae cuando se enfría. Algo similar ocurre con los cambios en el contenido de humedad: el hormigón se hincha cuando se humedece y se contrae a medida que se seca

En primera instancia, se considera que estos fenómenos se manifiestan en forma homogénea en toda la sección, sólo aparecerán tensiones si los vínculos, externos o internos, impiden la libre deformación. Como vínculos externos se pueden citar otros elementos estructurales vinculados, la fricción (en el caso de losas apoyadas sobre el piso), apoyos fijos, etc. Y como interno, la presencia de barras de armadura, cambios bruscos de sección, etc.

Más adelante analizaremos como se presentan estas fisuras y lo que pueden ocasionar.

Sin embargo, en muchas circunstancias puede generarse la fisuración sin que intervengan vínculos aparentes. Esto ocurre cuando la distribución de humedad o temperatura no es uniforme en el elemento, existen gradientes marcadamente no lineales y se generan tensiones que pueden exceder la capacidad de deformación y la resistencia a la tracción del material.

La Figura 56 y la Figura 57 muestran una fisura de contracción provocada por el efecto de la contracción impedida.

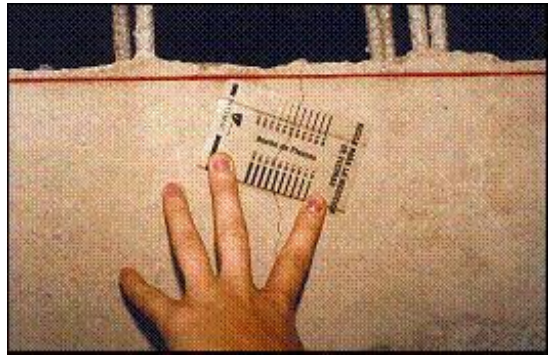
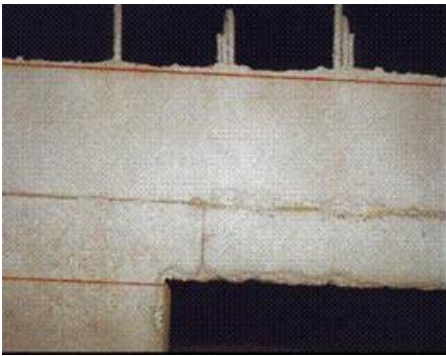


Figura N° 56: Fisura por contracción.

Figura N° 57.

Fuente: Red Rehabilitar.

Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005. ⁽¹⁾

La distribución “no lineal” de temperatura o humedad introduce mayores diferencias en las deformaciones de capas adyacentes cercanas a la superficie, constituyendo una causa potencial de fisuras, aun cuando el análisis de las condiciones “promedio” no indiquen condiciones de riesgo. La Figura 58 y 59 señala la diferencia entre ambos encuadres.

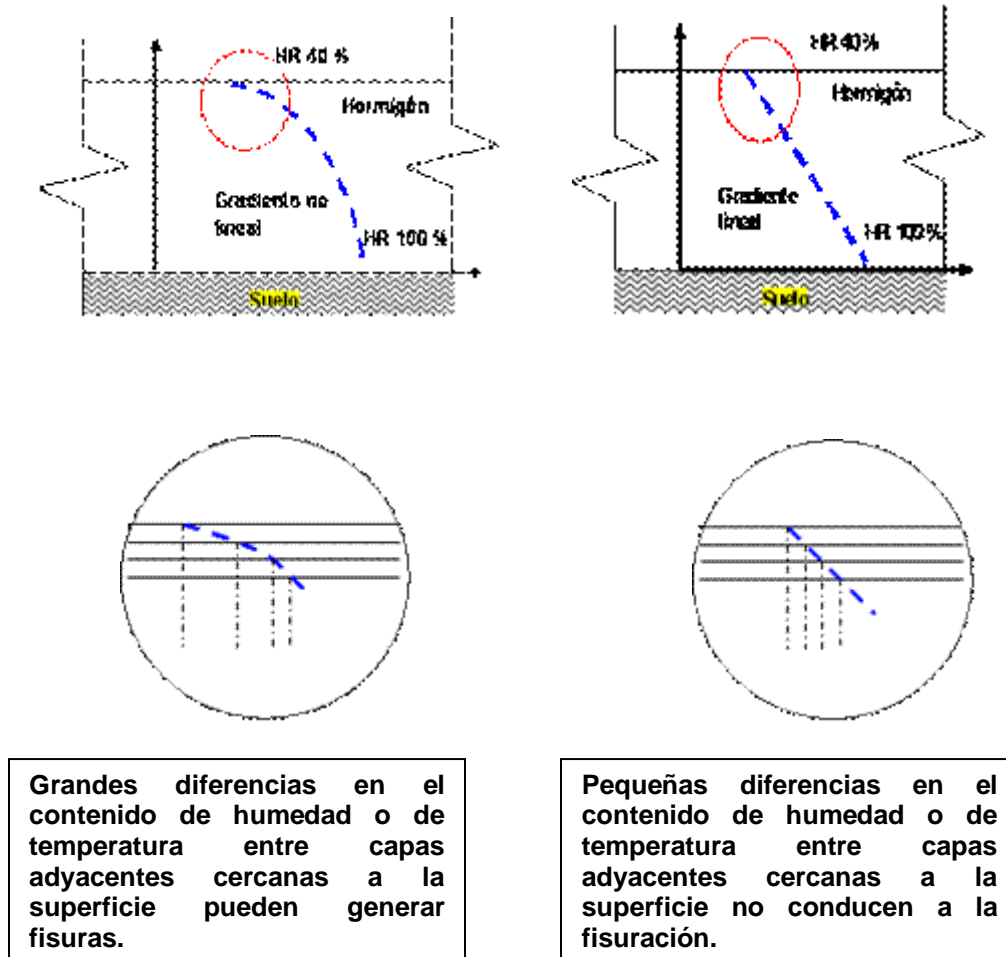


Figura N° 58 y 59: Fisuración por efecto de la contracción impedida

Fuente: Red Rehabilitar. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

Es muy común observar un “mapeo” o “cuarteado” de superficies hormigonadas, en las que el ancho de fisuras es muy pequeño pero abarcan prácticamente toda la superficie. Este defecto puede manifestarse cuando el hormigón se “seca” muy rápido (tiempo seco y ventoso) o cuando se “enfía” muy rápido (retiro del encofrado en tiempo frío).

Otra situación que puede darse con cierta frecuencia es que un elemento estructural sea de sección variable. Una vez que se desmolda, las partes delgadas se secan

más rápido que las partes gruesas, contrayéndose antes. Las partes gruesas constituyen un vínculo interno y se pueden originar fisuras que arrancan justamente en el encuentro entre las partes gruesas y delgadas. En una sección como la que se esquematiza en la Figura 60, el ala se seca más rápido que el alma, contrayéndose. El alma actúa como vínculo “interno”, provocando fisuras en el ala, que arrancan desde el alma.

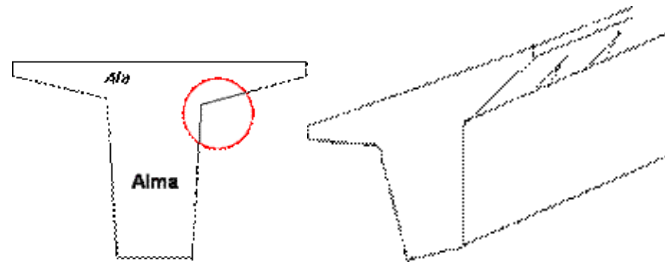


Figura N° 60: Fisuración por efecto de la contracción impedida

Fuente: Red Rehabilitar. *Acciones sobre las Estructuras de Hormigón*. 2005 ⁽¹⁾

Un efecto similar ocurre cuando se desmolda un elemento de hormigón y hay una gran diferencia entre la temperatura del hormigón y la del aire (hormigón caliente y aire frío). La superficie expuesta del hormigón se enfría rápidamente, contrayéndose y la parte interna no, imponiéndole consecuentemente una restricción a la libre deformación. Esto genera tensiones de tracción sobre el hormigón externo que pueden generar una fisuración superficial con aspecto de mapeo.

En el hormigón armado el problema puede resumirse forma sencilla: los grandes volúmenes de hormigón tienen gran dificultad para disipar el calor, por lo que la temperatura aumenta a causa del calor generado en las reacciones de hidratación del cemento. La condición final de equilibrio térmico podría asociarse a la temperatura media

anual. En el proceso de enfriamiento se pueden producir tensiones, tanto por vínculos externos o internos, que fisuran el hormigón.

Con este objetivo pueden adoptarse distintas acciones: reducir al máximo el contenido de cemento, emplear un cemento de bajo calor de hidratación, reducir la temperatura de colocación del hormigón o, incluso, emplear técnicas de post-enfriado.

En estructuras cuya menor dimensión supera los 70-80 cm., deberían contemplarse estos fenómenos, aunque si existe armadura, ésta puede diseñarse además para el control del ancho de las fisuras, mejorando aún más la solución del problema.

7.2.1 Efecto de la repetición de ciclos térmicos o ciclos de mojado – secado.

La acción cíclica de cambios térmicos o de mojado y secado provoca una acción perjudicial por acumulación de efectos. Las fisuras pueden no ser importantes en relación al deterioro, pero ciertamente sirven de vías de acceso a distintos agentes agresivos (agua, sales, ácidos, aire, etc.) y consecuentemente afectar su durabilidad.



Figura N° 61: *Fisuras por enfriamiento prematura y contracción por secado de una losa.*

Fuente: *Red Rehabilitar. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾*



Figura N° 62: Fisuras por contracción impedida de origen térmico de un muro.

Fuente: Red Rehabilitar. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

7.3 Análisis de las fisuras.

Este capítulo pretende dar a conocer el porque aparecen las fisuras en sus diversas manifestaciones; por ello se detalla las acciones a las que más se debe poner atención al momento de ejecutar la obra. También se analizará su origen, causas y efectos que los genera; sin embargo se manifiesta que el fisurado es una tendencia natural del hormigón, siendo por tanto imposible ejecutar elementos en los que aparezcan estos. Claro que se puede reducir y controlar su presencia, teniendo en cuenta algunas medidas de seguridad.

A continuación se detalla los casos más importantes en los que prolifera esta patología:

7.3.1 FISURAS DEL HORMIGÓN EN ESTADO PLÁSTICO.

7.3.1.1 FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA.

Este tema hace referencia a daños por deformaciones intrínsecas del hormigón, como los que se producen por movimientos en el interior del material, por los fenómenos debidos a la pérdida progresiva de agua, siendo éstos:

- Retracción plástica (Afogorado)
- Asentamiento plástico (Exudación)
- Retracción hidráulica del hormigón

Descripción

Se puede distinguir las fisuras que se forman cuando el hormigón se encuentra todavía en estado plástico y se desarrollan durante las primeras horas (2-4), que son las de exudación y las de retracción plástica y aquellas que surgen en el proceso de endurecimiento del hormigón, que son las de retracción hidráulica.

Las fisuras por **ASENTAMIENTO PLÁSTICO O DE EXUDACIÓN** son fisuras longitudinales cuya trayectoria es la dirección de las armaduras o viguetas de forjado, los estribos de la parte superior de las vigas o lateral de los pilares. Son difíciles de evitar. Estas fisuras se manifiestan cuando el elemento está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores de incluyen las temperaturas del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento. Estos factores

pueden combinarse de diversas maneras, lo que conlleva a tener niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío.



Figura N° 63: Fisuras por Asentamiento Plástico
Fuente: Patología de la Construcción N° 45. ASEFA 2004. ⁽²⁾

Las fisuras por retracción plástica o afogado suelen presentarse en superficies horizontales, siendo mayor la probabilidad de que aparezca este fenómeno cuando la superficie de exposición es mayor y el espesor menor (caso de encontrarnos secciones variables suelen aparecer en las zonas de espesor menor). Normalmente suelen manifestarse en grupos, cortándose en ángulo de aproximadamente 90°, ya que al surgir una fisura la fuerza que le es perpendicular se anula, pero se mantiene la fuerza paralela surgiendo la fisura perpendicular a ésta. En piezas de gran espesor pueden surgir en distintos grupos, siguiendo la dirección del hormigonado preferentemente (en el caso de una carretera sometida a fuerte soleamiento y aire seco, surgirían las fisuras paralelas al eje de la carretera). Las fisuras rodean los granos de árido (fisura intergranular) y son poco definidas. Tienen una profundidad del orden de 10 – 40mm, pudiendo alcanzar los 100 mm o atravesar todo el espesor en losas delgadas.

Puede surgir además un “nido de fisuras” cuando por cualquier motivo se ha concentrado en una zona pasta rica en cemento y sin árido grueso por lo que retrae más que le resto del hormigón.

Las fisuras por retracción hidráulica que surgen en el proceso de endurecimiento del hormigón se manifiestan también en grupos y se cortan en ángulos rectos. Presentan bordes agudos y bien definidos y atraviesan granos de árido (fisura transgranular). Surgen en las primeras semanas del hormigonado.

Cuando más rígida es una estructura, más coartada estará, con lo cual mayor retracción y fisuración experimentará. Cuando una viga sufre la retracción se acorta, en caso de pilares esbeltos, éstos la siguen, por lo que aparecen fisuras en el pie del pilar; sin embargo, si los soportes son rígidos, surgen fisuras en la viga, ya que la propia rigidez de los pilares impide el acortamiento de la viga. En el caso de muros de hormigón, si no se han dejado juntas de retracción, el muro se fisurará cada 10 – 12 m, pudiendo aparecer a su vez con el tiempo un nuevo grupo de fisuras intermedias.

En los elementos superficiales las fisuras de retracción son muy habituales suponiendo las armaduras un impedimento interior al libre acortamiento del hormigón. En el caso de placas apoyadas en sus bordes y sin libertad de movimientos en las dos direcciones principales, la fisuración suele presentarse a inglete, formando ángulo de 45°, junto a las esquinas.

NOTA: El hormigón armado retrae menos que el hormigón en masa, ya que en este caso no existe coacción ninguna y el hormigón se fisura por tracción, pues su resistencia a este esfuerzo es inferior a las tensiones provocadas por el acortamiento.

En el hormigón débil, plástico y en proceso de rigidización se desarrollan tensiones de tracción que provocan fisuras poco profundas pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Estas fisuras a menudo son bastante anchas en la superficie. Su longitud varía entre pocos milímetros y más de un metro, y su separación puede ser de pocos milímetros o de hasta 3 m. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento.

La fisuración por retracción plástica se debe a un cambio diferencial de volumen del hormigón, las medidas de control requieren reducir el cambio diferencial de volumen entre la superficie y otras partes del hormigón.

Para impedir la rápida pérdida de humedad provocada por el tiempo caluroso y los vientos secos se pueden adoptar varias medidas:

1. El uso de boquillas de niebla para saturar el aire en contacto con las superficies,
2. El uso de láminas plásticas para cubrir las superficies entre operaciones de acabado.
3. Los rompevientos que reducen la velocidad del viento
4. y los parasoles que reducen la temperatura superficial.

Es importante indicar que se debe programar la construcción de losas y pavimentos para después que estén construidos los rompevientos.

ORIGEN

Las deformaciones en el interior del material dan lugar a tensiones internas en el hormigón que hacen que agote su capacidad resistente a tracción, fisurándose. En el hormigón se producen tres fenómenos que pueden dar lugar a fisuras:

ASENTAMIENTO PLÁSTICO.- El asentamiento plástico se produce por el fenómeno de exudación debido al asentamiento de las partículas gruesas de la masa que se desplazan a la parte inferior y la ascensión del agua de amasado hacia la superficie, que se evapora. El hormigón experimenta una disminución de volumen asentándose y quedando coaccionado por la armadura o el encofrado, lo que hace que pueda fisurar.

En la fase de fraguado, principalmente en la fase inicial, se produce una reacción exotérmica con desprendimiento de calor, produciéndose el fenómeno de ahogamiento o retracción plástica, y como consecuencia del posterior enfriamiento, es decir, cuando la velocidad de evaporación supera a la exudación, se produce la contracción de la masa y la aparición de fisuras. En este fenómeno influye por tanto la temperatura ambiente y el viento, pues las evaporaciones del agua superficial producen incrementos apreciables de

la contracción. Oros factores que influyen son el incremento de la finura de molido, contenido de silicato tricálcico y de aluminato tricálcico.

Una vez fraguado el hormigón, éste sigue experimentando un cambio de volumen debido a la pérdida del agua de cristalización y del gen que rodea al cemento, produciéndose contracciones debido a la retracción hidráulica, y por tanto fisuraciones.

Factores que inciden en los fenómenos anteriores son:

- Edad del hormigón: menor retracción a mayor edad.
- Grado de exposición de la pieza: mayor grado de exposición mayor retracción.
- Espesor de la pieza: mayor retracción a menor espesor.
- Cuantía y disposición de las armaduras: a mayor cuantía menor retracción.
- Humedad del ambiente: mayor sequedad mayor probabilidad de retracción.
- Naturaleza de los áridos: la retracción de éstos influye en la del hormigón.
- Contenido de áridos: reducen la retracción.
- Contenido de finos de la arena: suelen aumentar la retracción.
- Equivalente de arena: menor equivalente de arena mayor retracción.
- Contenido de cemento: mayor contenido de cemento mayor retracción.
- Finura de molido del cemento: mayor finura de molido aumento de retracción.
- Relación agua/cemento: a igualdad de relaciones A/C, la retracción aumenta con la dosis de cemento.

- Composición química del cemento: los más rápidos y resistentes aumentan la retracción.
- Curado del hormigón: curado más intenso y prolongado menor retracción.

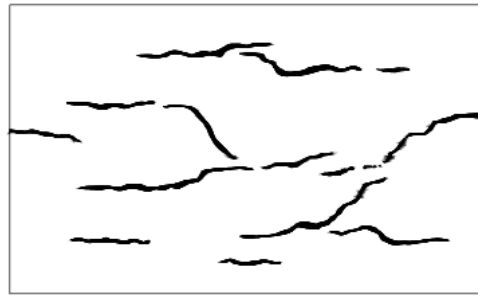


Figura N° 64: Típica fisuración por retracción plástica
Fuente: Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de hormigón ACI 224 ⁽³⁾

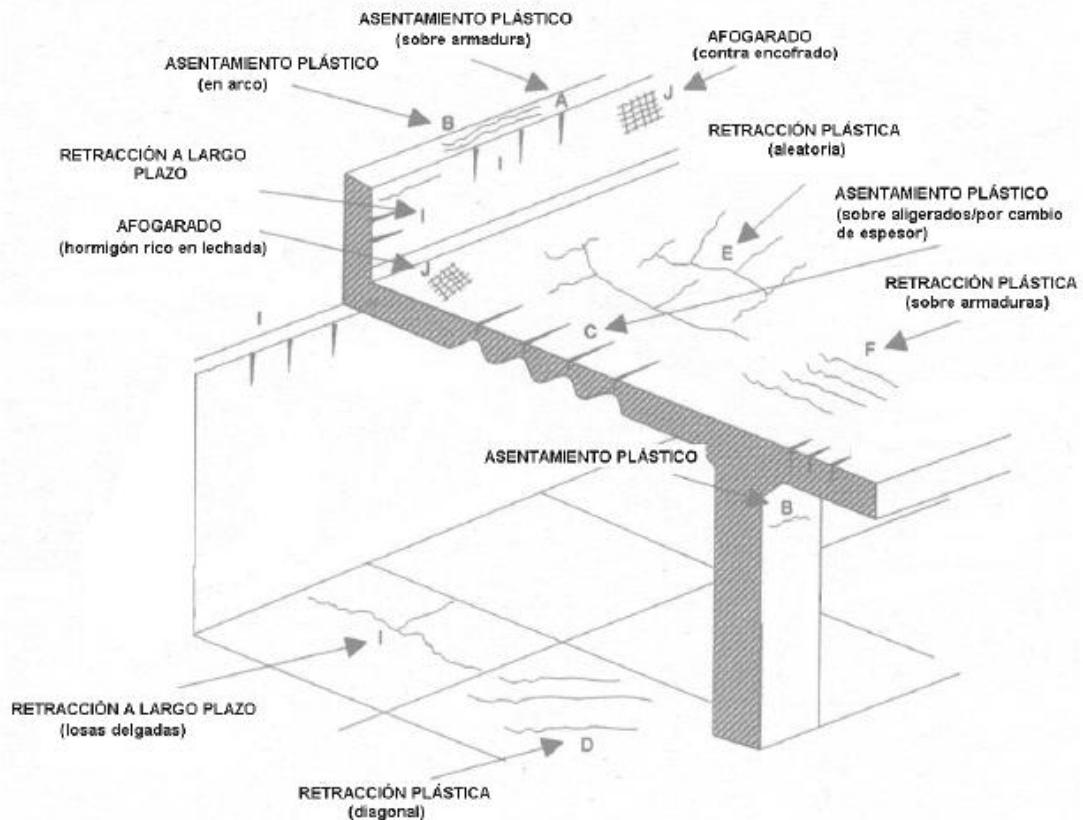


Figura N° 65: Ejemplos de fisuras
Fuente: Patología de la Construcción N° 45. ASEFA 2004 ⁽²⁾

7.3.1.2 Fisuración por precipitación de los agregados.

El hormigón plástico puede estar restringido por las armaduras, por una colada previa de hormigón o por los encofrados. Estas restricciones pueden provocar vacíos y/o fisuras adyacentes al elemento.

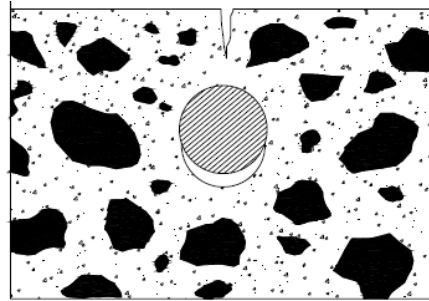


Figura N° 66: Fisura formada debido a una precipitación obstruida.
Fuente: Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de hormigón ACI 224. ⁽³⁾

Si está relacionado con las armaduras, la fisuración por asentamiento de los agregados aumenta a medida que aumenta el tamaño de las barras, que aumenta el asentamiento del hormigón y disminuye el recubrimiento. El grado de fisuración por asentamiento se puede intensificar si el vibrado es insuficiente o si se emplean encofrados muy flexibles o con pérdidas.

La utilización de un hormigón con el menor asentamiento posible y el aumento del recubrimiento de hormigón son medidas que reducen la fisuración por asentamiento de los agregados.

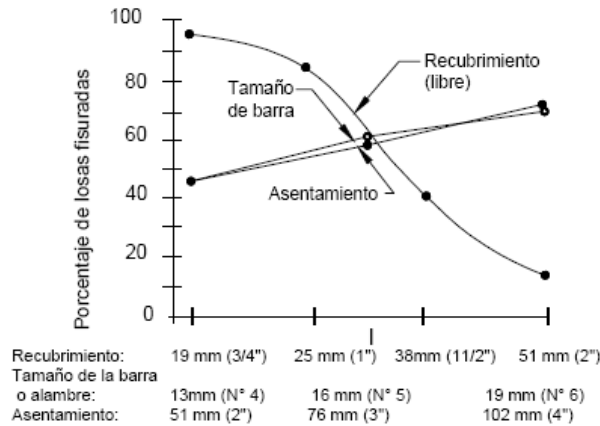


Figura N° 67: Fisuración por asentamiento de los agregados en función del tamaño de la barra o alambre, del asentamiento del hormigón y del recubrimiento (Dakhil, et al., 1975)

Fuente: *Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de hormigón ACI 224.* ⁽³⁾

7.3.2 Fisuración del hormigón endurecido.

7.3.2.1 Retracción por Secado

La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0.06%. Cuando se humedece el hormigón tiende a expandirse.

Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón.

Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Cuando se supera la resistencia a la tracción del hormigón éste se fisura. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración.

Cuando se habla de hormigón masivo (armado) hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el hormigón de la superficie y el hormigón del interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo penetrarán más profundamente en el interior del hormigón.

La magnitud de las tensiones de tracción inducidas por los cambios de volumen está influenciada por una combinación de diferentes factores, incluyendo **la magnitud de la retracción, el grado de restricción, el módulo de elasticidad y la magnitud de la fluencia lenta**. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente **de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla**. Cuanto mayor sea la cantidad de agregados, menor será la retracción (Pickett, 1956). Cuanto más rígido sea el agregado, más efectivo será para reducir la retracción del hormigón. Cuanto mayor sea el contenido de agua mayor será la retracción por secado. (U.S. Bureau of Reclamation, 1975).

La fisuración superficial irregular en muros y losas (piel de cocodrilo) constituye un ejemplo de retracción por secado a pequeña escala. Generalmente hay fisuración irregular cuando la capa superficial tiene mayor contenido de humedad que el interior del hormigón. El resultado es una serie de fisuras finas y poco profundas, con poca separación.

La retracción por secado se puede reducir aumentando la cantidad de agregado y reduciendo el contenido de agua. Un procedimiento que ayudará a reducir la fisuración por asentamiento de los agregados, así como también la retracción por secado de muros, consiste en reducir el contenido de agua del hormigón a medida que se cuele el muro, desde la parte inferior a la parte superior.

La fisuración por retracción se puede controlar utilizando juntas de contracción y un adecuado detallado de las armaduras. La fisuración por retracción también se puede reducir utilizando cemento compensador de la retracción. Reducir o eliminar la restricción bajo una losa también puede ser una medida efectiva para reducir la fisuración por retracción de losas de cimentación.

7.3.2.2 Tensiones de origen térmico

Las diferencias de temperatura dentro de una estructura de hormigón pueden ser provocadas por partes de la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes

velocidades, o por condiciones climáticas que enfrían o calientan una parte de la estructura hasta una mayor temperatura o con una mayor velocidad que otra. Estas diferencias de temperatura ocasionan cambios diferenciales de volumen. Si las tensiones de tracción provocadas por los cambios diferenciales de volumen superan la capacidad de deformación por tracción del hormigón, éste se fisurará.

Los diferenciales de temperatura provocados por diferentes tasas de disipación del calor de hidratación del cemento normalmente sólo afectan al hormigón masivo (que puede incluir columnas, estribos, vigas y zapatas, además de presas), mientras que los diferenciales de temperatura provocados por cambios de la temperatura ambiente pueden afectar a cualquier estructura.

La fisuración del hormigón masivo se puede deber a una temperatura en la superficie de la masa mayor que la temperatura en el interior de la misma. El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del hormigón se calienta más que la parte exterior por el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del hormigón.

Ambos casos originan tensiones de tracción en el exterior y, si estas tensiones superan la resistencia a la tracción, habrá fisuración. *Las tensiones de tracción son proporcionales al diferencial de temperatura, el coeficiente de expansión térmica, el módulo de elasticidad efectivo (reducido por la fluencia lenta) y el grado de restricción*

(Dusinberre, 1945; Houghton, 1972, 1976). Cuanto más masiva sea la estructura, mayor será su potencial de generar gradientes térmicos y fisurarse.

El hormigón endurecido tiene un coeficiente de expansión térmica que puede variar entre **7 a 11 x 10⁻⁶°C**, con un valor típico de **10 x 10⁻⁶°C**. Si una parte de la estructura es sometida a un cambio de volumen de origen térmico, es probable que haya fisuración de origen térmico. Cabe indicar que una caída de temperatura podría provocar la fisuración de los elementos expuestos, mientras que un aumento de temperatura podría provocar fisuración en los elementos protegidos. Los gradientes de temperatura provocan deflexiones y rotaciones en los elementos estructurales. Esto se puede aliviar permitiendo el movimiento por medio de juntas de contracción correctamente diseñadas y detallando las armaduras adecuadas.

La morfología de las fisuras es simple, son aproximadamente paralelas entre sí, sin entrecruzamientos y se orientan perpendiculares a la tensión principal de tracción. Dado que el hormigón se seca lentamente, este tipo de fisuras no aparecen sino después de varias semanas o incluso meses.

Siendo el hormigón mucho menos resistente a la tracción que a la compresión, es evidente que interesa más evaluar las contracciones que las dilataciones, pues es raro que un elemento falle porque su dilatación ha provocado la aparición de tensiones de compresión excesivas.

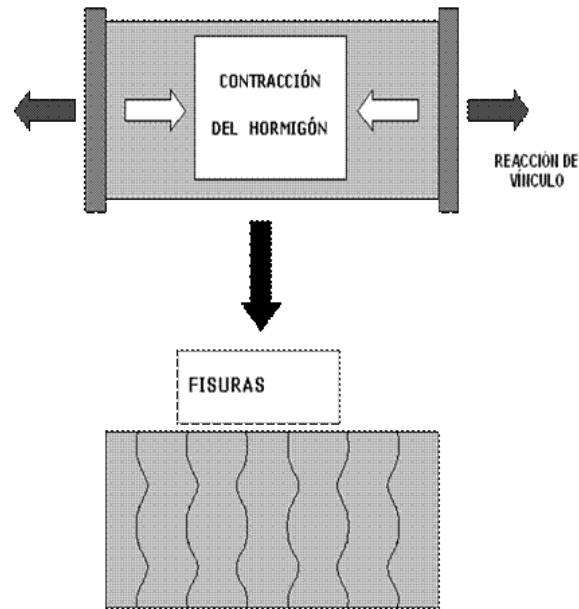


Figura N° 68: Fisuración por efecto de la contracción impedida

Fuente: Red Rehabilitar.

Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

Por tanto, prácticamente no hay recursos para evitar la contracción del hormigón, solo puede minimizarse, si el hormigón está limitado en su contracción, la ausencia total de fisuras es prácticamente imposible.

7.3.2.3 Acciones que generan desintegración del hormigón (Meteorización)

Los procesos de meteorización que pueden provocar fisuración, incluyen el congelamiento, deshielo, humedecimiento, secado, calentamiento y enfriamiento. En general la fisuración provocada por los procesos naturales de meteorización es conspicua (visible), y puede dar la impresión de que el hormigón o la mampostería están a punto de desintegrarse.

La acción de las bajas temperaturas debe considerarse en dos situaciones que pueden o no coexistir:

Ocurren en el momento de la elaboración, colocación y compactación del hormigón y horas posteriores, hormigón “joven”, cuya resistencia a la compresión es inferior a 4 Mpa.

En estos casos la causa básica del deterioro puede asociarse con la expansión de volumen que sufre el agua al congelarse, siendo diferentes los mecanismos de prevención y de daño.

Para el caso:

- a.** El hormigón fresco o muy joven se congela con temperaturas cercanas a 0° C., existiendo situaciones particulares que agravan su situación como la presencia simultánea de viento, pequeñas dimensiones del elemento estructural, previniendo la pérdida de calor, utilizando mayores contenidos de cemento, evitando secciones muy delgadas, etc.
- b.** Las bajas temperaturas constituyen una condición de exposición particular.

Se puede asociar el daño a la aparición de tensiones provocadas por la formación y expansión de hielo dentro de la estructura del hormigón endurecido: Así surge la

primera condición de daño: la temperatura sea lo suficientemente baja como para provocar el congelamiento del agua ubicada en los capilares.

Esto ocurre porque el agua no está a la presión atmosférica sino que está sometida a diferentes grados de tensión en función del diámetro del capilar que ocupa las temperaturas para provocar el congelamiento, son inferiores a 0° C y los cristales de hielo no se forman simultáneamente en todo el volumen. El constructor debe preocuparse por temperaturas inferiores a -5° C.

Otra consideración útil es la condición de humedad del hormigón en el momento del congelamiento. Existe un contenido de humedad crítica por debajo del cual no ocurren daños, que se designa “*saturación crítica*”.

Para comprender este concepto, hay que recordar que las *tensiones son provocadas por el aumento de volumen del agua al congelarse*. Este aumento de volumen es de aproximadamente el 10%, por lo que si el hormigón tuviera un 10% de poros capilares con aire (saturación menor al 90%), al congelarse el agua ocuparía el vacío disponible, sin introducir tensiones perjudiciales en el material.

En distintas experiencias que estudiosos han realizado en laboratorios se ha demostrado que ese nivel crítico es de aproximadamente el 92% para morteros, pudiendo variar algo para hormigones, tal como se visualiza en Figura 69.

La otra característica a contemplar en el deterioro por congelamiento es que el daño no es inmediato, sino que son necesarios numerosos “ciclos” de congelamiento y deshielo.

Esta consideración llevaría a descartar daños en un hormigón que está emplazado en una localidad donde la ocurrencia de temperaturas bajas es ocasional. Además, debe tenerse presente que deberán coincidir las bajas temperaturas con la condición de saturación del hormigón superior al nivel crítico para que progrese el deterioro.

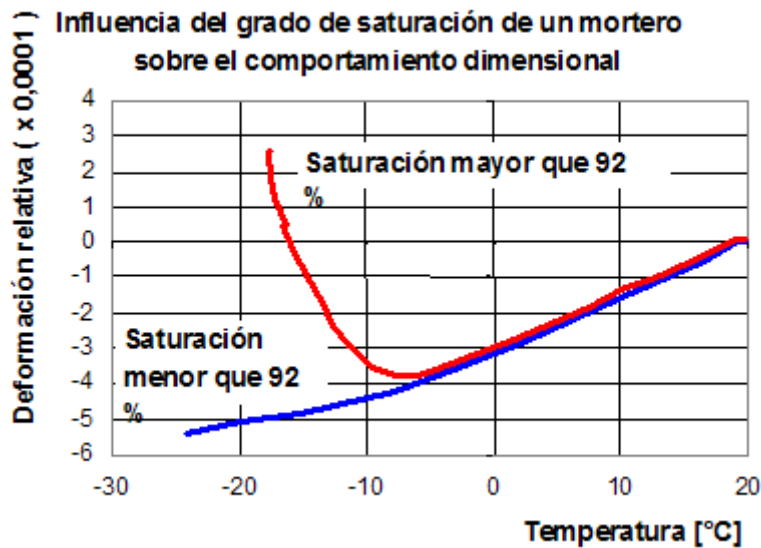


Figura N° 69: Contracciones medidas en morteros con distintos niveles de saturación de humedad.

Fuente: Red Rehabilitar.

Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

Los ciclos de congelamiento y deshielo, pueden ser evitados mediante la incorporación de aire intencionalmente incorporado, el cual proporciona “centros de alivio de tensiones” y debe estar distribuido uniformemente, formando burbujas pequeñas

dentro de la masa. Para esto es indispensable emplear un aditivo químico en la mezcla, denominado “incorporador de aire”.

Aspectos Típicos del deterioro por ciclos de congelamiento y deshielo.

Internamente, las tensiones provocadas inducen fisuras que se propagan por la pasta (matriz), vinculando poros pero bordeando los agregados. La Figura 70 muestra detalle de una imagen digital de un corte delgado de hormigón con aire incorporado que muestra una fisura originada por efectos de congelamiento.

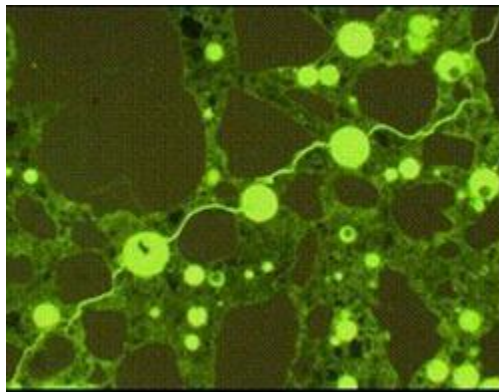


Figura N° 70: Imagen Digital

Fuente: *Red Rehabilitar. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾*

Dado que el daño está asociado con altos contenidos de humedad y exposición a bajas temperaturas, macroscópicamente se manifiesta con dos tipologías diferentes: descascaramientos superficiales (“scaling”) y fisuras paralelas o subparalelas a las zonas más húmedas.

7.3.2.4 Asentamientos

Cuando todos los apoyos de una estructura presentan los *mismos desplazamientos verticales*, en general la estructura *no se ve sometida a ningún estado tensional adicional*, en cambio si estos alcanzan valores sensiblemente diferentes, las consecuencias sobre la estructura pueden ser significativas, tanto desde el punto de vista de su resistencia como de su durabilidad.

Estas diferencias en el comportamiento de los apoyos de la estructura de hormigón provocan en las estructuras un estado tensional adicional que, de no ser considerado en el proyecto, puede producir un cuadro de fisuras no deseado e incluso la rotura de algún elemento ya sea estructural o no estructural. Genéricamente este corrimiento diferencial se lo denomina “descenso de apoyo”.

Los asentamientos diferenciales pueden ser provocados por distintas causas, algunas de las cuales (las más importantes) se mencionan a continuación:

- Errores en el proyecto o en la ejecución de las fundaciones.
- Cargas no previstas en el proyecto original.
- Deformación excesiva del suelo de fundación, no considerado en el proyecto por desconocimiento o información errónea de sus características.
- Deformación excesiva localizada del suelo por la aparición de alteraciones no previstas (inundación, vibración, erosión, socavación, etc.).

- Fundación sobre pozos mal cegados, rellenos mal ejecutados, alteraciones del terreno desconocidas, etc.
- Fundación de una misma estructura sobre distintos tipos de suelo y/o utilización de distintos sistemas de cimentación o niveles de la fundación.
- Alteraciones por construcciones vecinas.
- Existencia de suelos expansivos.
- Inyección del terreno en zonas próximas, que genere un importante empuje vertical sobre la superficie de apoyo de la fundación (ascensos de los apoyos).

Cabe indicar que estos asentamientos deben ser analizados muy minuciosamente, ya que si se omite consideraciones de cálculo estas van a repercutir en el comportamiento estructural del elemento; es por esta razón que muchos especialistas recomiendan realizar un minucioso análisis estructural considerando la interacción: suelo-fundación-estructura en forma conjunta.

Una medida del riesgo de la aparición de tales fisuras se puede obtener a través del valor de la ***distorsión angular***, que no es más que la relación entre el asentamiento diferencial entre dos puntos y la distancia entre los mismos.

$$Distorción...angular = \frac{(S_1 - S_2)}{L} \quad (1)$$

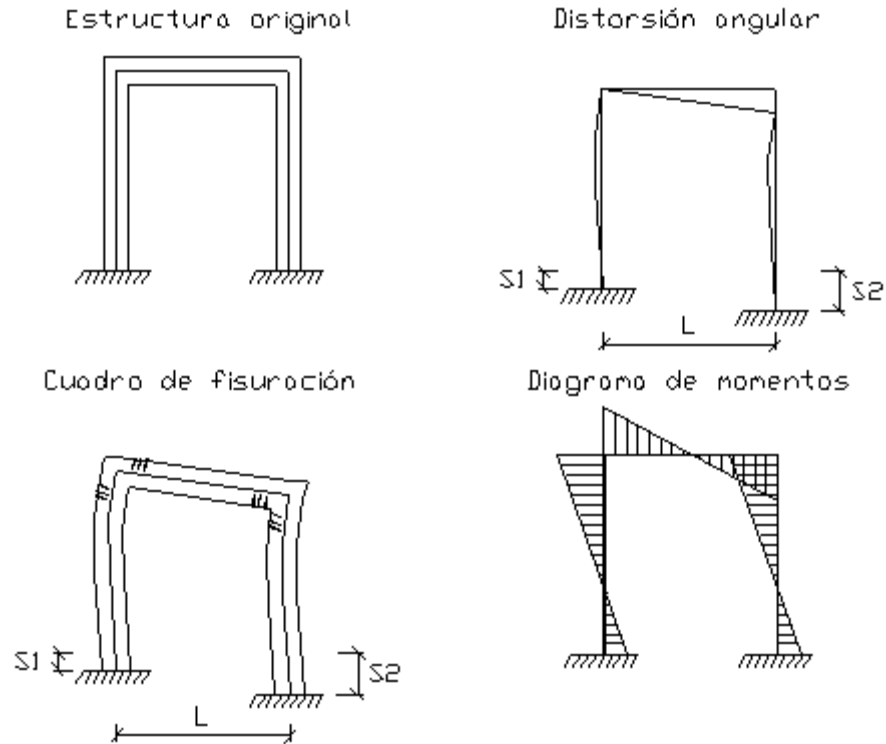


Figura N° 71: Distorsión Angular

Fuente: Red Rehabilitar. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

Varios autores recomiendan valores límites de estas distorsiones, en función del tipo de estructura para disponer de un cierto grado de seguridad en la estructura:

Límite admisible:

- 1/500 para estructuras hiperestáticas de hormigón armado del tipo flexible (pórticos formados por placas y elementos lineales).
- 1/200 para estructuras de hormigón armado isostáticas.

Estos valores límites deben ser compatibles con los cerramientos empleados en la construcción ya que aunque no se produzcan daños visibles en la estructura, pueden aparecer daño en los cerramientos, que afectan la estética, la impermeabilidad, etc.

Al estar un muro enmarcado en la estructura, cuando desciende un apoyo más que otro, éste se ve solicitado por *esfuerzos rasantes perimetrales*, lo que equivale a una distorsión angular, donde una diagonal se alarga y la otra se acorta con esfuerzos principales de tracción y compresión inclinados 45° . En la dirección de la diagonal que se alarga aparecerán en el muro esfuerzos de tracción que si alcanzan valores equivalentes a su resistencia máxima, originaran fisuras en dirección perpendicular a dicho esfuerzo.

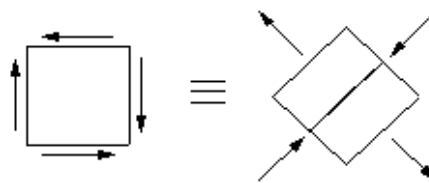
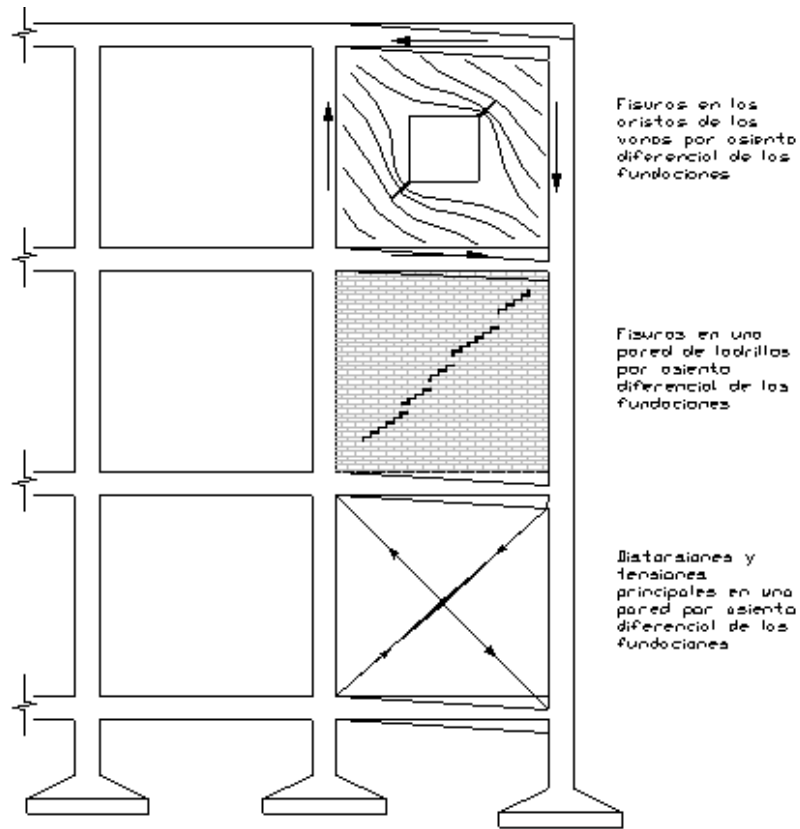
Esta es la razón por la cual los asentamientos originan en general en los muros un cuadro de fisuras inclinadas aproximadamente 45° .

Cuando se presenten asentamientos en muros con aberturas, éstas se constituyen en una perturbación que genera una fuerte concentración de tensiones en las esquinas de los huecos.

Allí las isostáticas de tracción se desvían generando grietas que nacen en esquinas opuestas en sentido diagonal, configuración típica de los asentamientos diferenciales



Figura N° 72: Fisuras en columnas y paredes interiores producidas por el asentamiento de una de sus columnas



Equivalencia entre tensiones de corte puro y las tensiones principales

Figura N° 73: Asentamientos en un muro

Fuente: Red Rehabilitar.
Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. 2005 ⁽¹⁾

Capítulo VIII

HUMEDADES

8.1 Humedades

Este tema por ser uno de los más predominantes en todas las obras civiles, implica la atención del constructor, puesto que la humedad es considerada como una lesión física que ataca a los elementos estructurales y de mampostería, restando durabilidad a la vida útil del elemento.

Por tanto, se entiende por humedad el agua de que está impregnada un cuerpo, o que, vaporizada, se mezcla con el aire. En nuestro caso, es la aparición incontrolada de un porcentaje de humedad superior al deseado en un material o elemento constructivo.

Las aguas que pueden producir el inicio de la humedad se dividen en:

- Aguas Marinas
- Aguas de Lluvia
- Aguas absorbidas por capilaridad

La más peligrosa es la adquirida a través de la lluvia cargada de gases nocivos o la que asciende por capilaridad procedente del suelo y que, en la mayoría de ocasiones, arrastra numerosas sustancias en disolución de origen orgánico o mineral.

Varios autores exponen como uno de los factores extrínsecos de mayor incidencia en los procesos de deterioro de las edificaciones es el agua; bien por acción directa, hostigo de la lluvia, acción destructora del hielo en grietas y poros, disoluciones parciales o tales del material y transporte de los elementos en disolución y precipitación de sales. De forma indirecta, actúa como vehículo de transportación de los contaminantes y cojo medio donde se desarrollan la mayor parte de las relaciones químicas, procesos fisicoquímicos y desarrollo de seres vivos, también consideran que el agua que asciende a través de la estructura porosa del muro, arrastra sales que al combinarse con la del propio material evitan la evaporación, lo que produce que éste se deteriore.

8.1.1 La humedad como lesión

Se puede definir a la humedad como una lesión de carácter físico, existiendo por lo menos, cinco tipos de humedad en función de su causa, todas ellas de carácter físico, a saber:

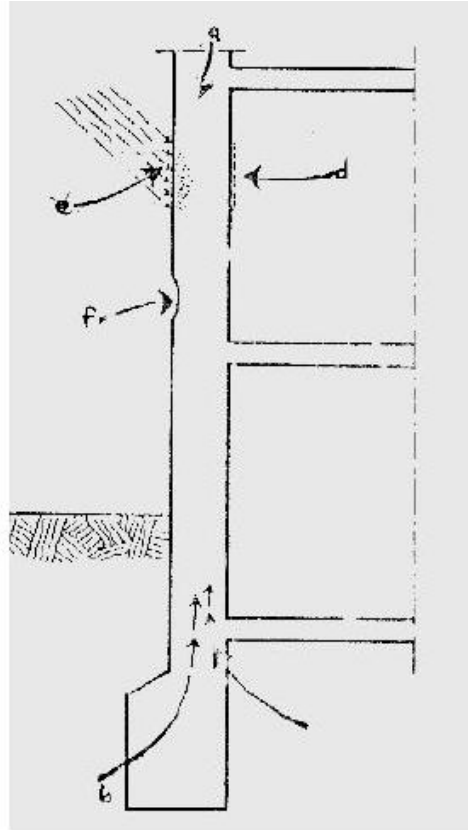


Figura N°74: Causas de la presencia de humedad.

- a) Agua de la propia obra, b) Remonte del agua del subsuelo por capilaridad, c) Introducción de sales solubles, d) Agua de condensación ambiental, e) agua de lluvia, penetración lateral, f) Agresión de agentes.

Fuente: *Las Humedades en la Construcción.* Ulsamer y Joseph Ma. Minoves. 1964⁽²⁾

1. Humedad en la construcción o de obra: En la construcción tradicional, el agua es un componente indispensable: todos los morteros se amasan con agua; las piedras contiene agua de cantera; gravas y arenas necesitan lavados previos (algunas); toda la obra muerta tiene que colocarse mojada; los hormigones necesitan riegos durante su fraguado; de manera que resulta inevitable que la obra quede bastante húmeda. Por lo tanto, este problema es cuando su origen es la humedad aportada durante el proceso de ejecución, que no se ha dejado secar

hasta que el material alcance su humedad de equilibrio sino que, por el contrario, se le ha aplicado un acabado superficial que actuando barrera, ha dificultado su evaporación.

- 2. Humedad ascendente o capilar:** En la mayoría de los casos no se puede evitar que el suelo sea húmedo. Pero el suelo puede estar saturado o no de humedad, es decir, que los poros pueden o no estar llenos de agua líquida. Una gran parte del suelo siempre está saturada de agua, formándose la capa de agua subálvea o freática cuyo nivel superior corresponde al nivel de agua de los pozos.

En realidad, el suelo se encuentra saturado de agua hasta un nivel superior a dicha capa, debido a las fuerzas capilares, tanto más subido cuanto más finos sean los poros; estas fuerzas “elevan” el agua a alturas superiores de 20 a 30 cm, en general, sobre el nivel del agua subterránea. A un nivel superior, los poros, sin estar saturados de agua absorben una cantidad más o menos importantes. Finalmente, sólo muy cerca de la superficie del terreno, el contenido del agua del suelo puede ser bastante débil, gracias a la absorción por las raíces de las plantas o a la evaporación al contacto con el aire y la acción de los rayos solares.

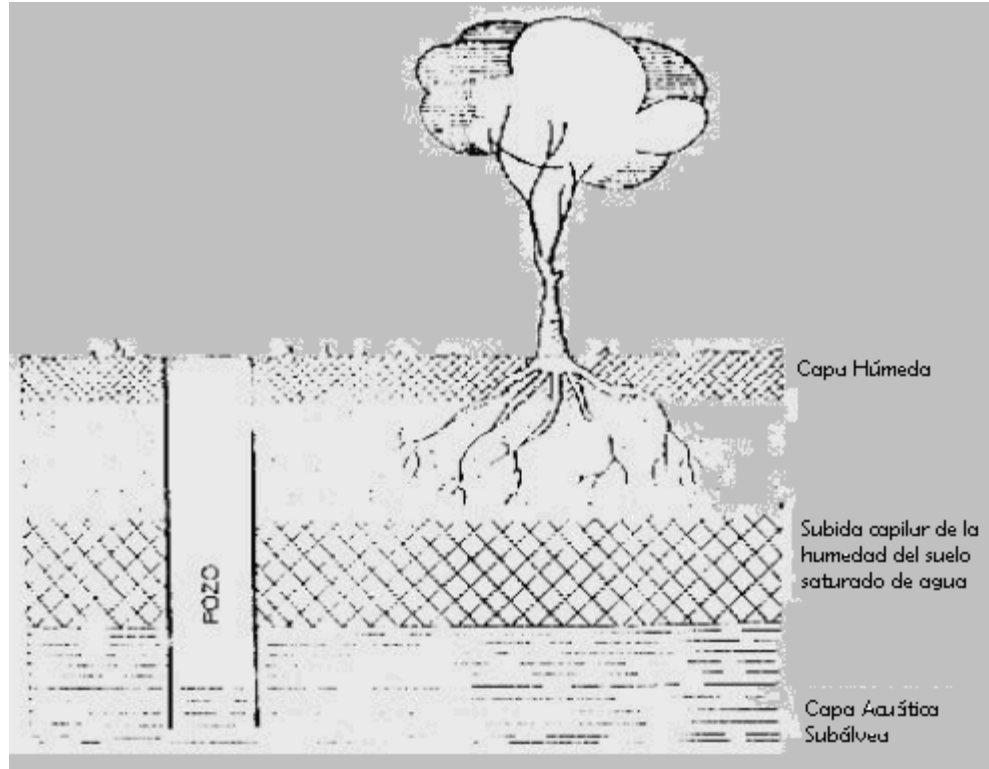


Figura N° 75: Esquema de Humedad del suelo.

Fuente: Las Humedades en la Construcción. Ulsamer y Joseph Ma. Minoves. 1964⁽²⁾

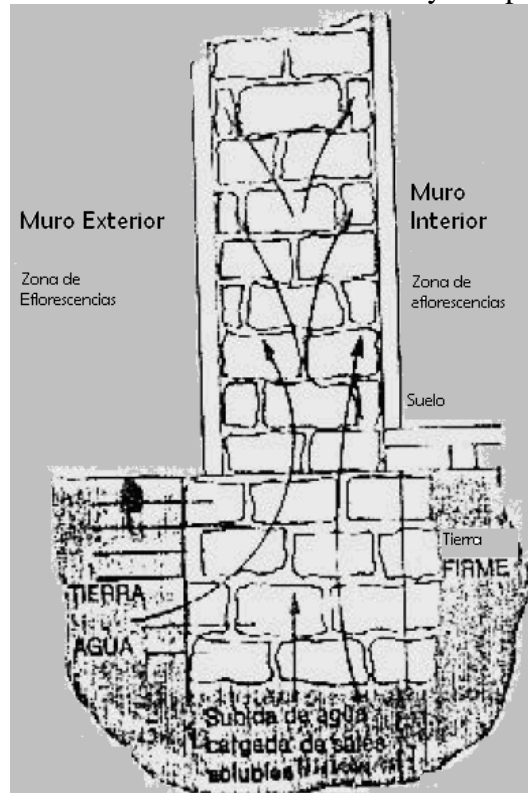


Figura N° 76: Comportamiento de las Humedades Ascendentes.

Fuente: Las Humedades en la Construcción. Ulsamer y Joseph Ma. Minoves. 1964⁽²⁾

- 3. Humedad atmosférica o de filtración:** Es la que proviene del exterior y penetra al interior del edificio a través de su cerramiento de fachada o cubierta, ya sea a través de sus poros, o aprovechando grietas o fisuras, juntas constructivas o de dilatación y vanos de puertas y ventanas. Implica a veces la presencia de una presión hidrostática al otro lado del cerramiento (piscinas, jardineras, lluvia con viento, etc.) o simplemente la succión o coeficiente de absorción propio del material. Esta humedad es la más particular de las edificaciones antiguas, y se hace más pronunciado con el envejecimiento de los materiales de construcción, los cuales al estar disgregados, lavadas sus superficies y el establecimiento de sales recristalizadas originan una estructura de poros abiertos.

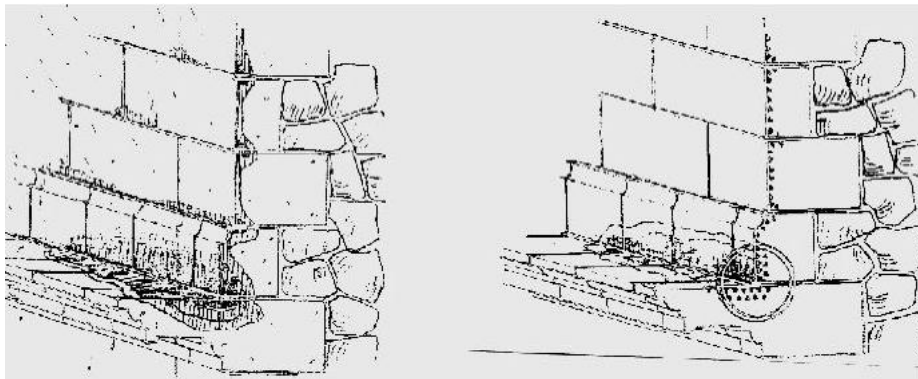


Figura N° 77: Concentración de humedad y Cristalización de las sales en las cornisas

Fuente: Procedimiento de restauración y materiales: Protección y Conservación de edificios artísticos e históricos 1999⁽³⁾

- 4. Humedad de condensación:** La producida en los cerramientos como consecuencia de condensarse el vapor de agua que está en contacto o en el interior de los mismos, en su recorrido desde los ambientes con mayor presión de vapor

(normalmente los interiores) hacia los de presión de vapor más baja (los exteriores). Podemos distinguir tres subtipos según la situación de la condensación:

- **Condensación superficial interior**, cuando se produce sobre la cara interior del cerramiento.
- **Condensación intersticial**, cuando ocurre en el interior de la masa del cerramiento o entre dos de sus distintas capas.
- **Condensación higroscópica**, cuando se produce dentro de la estructura porosa del material por contener sales higroscópicas que facilitan la condensación del vapor de agua ambiente.

5. Humedad accidental: Que engloba todas aquellas producidas por roturas y escapes en las conducciones o descuido de las personas, que provocan focos puntuales de humedad que aparecen más o menos cerca de su origen.

Algunos especialistas no consideran en su clasificación la humedad por construcción, sin embargo otros (considerando que el agua puede encontrarse en el material que nos viene a la obra, así como instalarse en ella durante su ejecución o ejecutada, usando para ello muchas vías) su prevención desde esta vertiente.

8.2 Erosiones

La erosión química en los materiales pétreos, se manifiesta como una disgregación o arenación de sus superficies, como consecuencia de las reacciones químicas de sus elementos constituyentes como otras sustancias provenientes de la atmósfera o de las sales y álcalis arrastradas por las aguas de capilaridad, de filtración o accidentales.

Como consecuencia no solo se altera molecularmente el material sino que adquiere una fragilidad estructural que conlleva a su pérdida.

8.3 Técnicas de reparación y mantenimiento

Humedades capilares en muros, provenientes del suelo.

En ciertos muros, se presenta este fenómeno consistente en el ascenso del agua del suelo, por capilaridad a través de los poros del material que conforma el muro. El agua asciende dentro del muro y arrastra sales provenientes del suelo que, al cabo de un tiempo, reaccionan químicamente con los materiales componentes de la pared, ocasionando daños en pinturas, revoques y mampuestos (ladrillos, bloques).

La presencia continua de este tipo de humedades en la construcción apareja el daño de pinturas, revoques y ladrillos, podredumbre en muebles y otros elementos de madera cercanos a la zona afectada, y riesgos para la salud por la formación de hongos.

Para evitar estas humedades, al construir las paredes se deben realizar trabajos de *impermeabilización horizontal* en todas las paredes de la edificación, de acuerdo a lo indicado en el proyecto arquitectónico. En construcciones existentes donde no se haya

efectuado debidamente dicha impermeabilización, o donde ésta ya no trabaje adecuadamente, generalmente es necesario recomponer la capa impermeable al nivel de piso.

POSIBLES SOLUCIONES

Corte de paredes: Una de las soluciones más comunes, consiste en efectuar cortes en la pared, a nivel del piso, de aproximadamente 0.80 m de ancho, cada 0.80 m entre sí, con una altura de 0.20 a 0.25 m.

Luego se procede a recomponer la pared en esos sectores con ladrillos asentados con mortero hidrófugo, o a la colocación de algún tipo de membrana o capa impermeabilizante.

Capítulo IX

EXPERIMENTACIÓN CON MORTEROS

9.1 Generalidades

El mortero al ser una mezcla plástica constituida por cemento Pórtland, agua potable y arena gradada, constituye un elemento fundamental en la vida útil de toda obra

El usar un mortero para levantar una pared de bloque o ladrillo (sea cual fuere) forma solamente entre el 10 y 20% del volumen total del material de una mampostería. Sin embargo, su efecto en el comportamiento de la pared es mucho mayor que lo que indica este porcentaje.

En el Ecuador, los proveedores de material pétreo prácticamente no cumplen con ninguna especificación establecida en el diseño de hormigones y morteros. Las empresas productoras de cemento, por su parte, se rigen a estándares aceptados internacionalmente.

Los estudios relacionados con los componentes de los morteros son relativamente escasos en Ecuador, razón por la que se vuelve indispensable la profundización del conocimiento en esta área, a partir de pruebas planificadas en laboratorio.

Por otro lado, el mortero liga las unidades de mampostería y sirve de sello para *impedir la penetración de aire y agua* cuando es empleado como enlucido, permitiendo que el material usado en la mampostería y éste actúen conjuntamente, formando un solo elemento monolítico permitiendo obtener diversas texturas que darán mayor realce al proyecto final.

En la elaboración de este capítulo se detalla todas las actividades y pruebas que se ha realizado en laboratorio y en obra a distintas arenas obtenidas en la ciudad de Quito y sus alrededores; puesto que las arenas son elementos importantes para la elaboración de un buen mortero, de esta manera se obtiene las curvas de resistencia a la compresión de los morteros más empleados en las obras civiles de la capital; además se realiza el levantamiento de paredes con ladrillo mampostón y bloque, las cuales fueron enlucidas con mortero en proporción 1:3 para determinar el comportamiento de los materiales empleados frente a los constantes cambios climáticos como: (viento, altas y bajas temperaturas y constante presencia de agua) a las que fue sometida la mampostería.

De la buena granulometría y composición mineralógica del agregado empleado, depende gran parte de la trabajabilidad y resistencia a la compresión a la que puede ser sujeto un mortero.

9.2 Breve Clasificación de Morteros

Según la Norma ASTM C270, Especificaciones para Morteros de Mampostería, clasifica a estos en cuatro tipos: M, S, N Y O, estos tipos de morteros pueden ser especificados por proporción o por propiedades, pero no por ambos. La especificación que rige en los ensayos de laboratorio es la de **Proporción**, pero es menester dar a conocer las dos especificaciones existentes.

Tabla N° 9.1: Especificaciones por Proporciones

MORTERO	TIPO	PROPORCIONES POR VOLUMEN (MATERIAL CEMENTANTES)			RELACIÓN DE AGREGADOS (MEDIDA EN CONDICIÓN HÚMEDA Y SUELTA)
		CEMENTO PORTLAND O MEZCLA DE CEMENTO	CEMENTO DE MAMPOSTERÍA A M, S, N	CAL HIDRATADA O APAGADA	
Cemento y cal	M	1	- - -	¼	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	1	- - -	De ¼ a ½	
	N	1	- - -	De ½ a ¾	
	O	1	- - -	De 1 ¼ a 2 ½	
Cemento de mampostería	M	1	- - 1	-	
	M	-	1 - -	-	
	S	½	- - 1	-	
	S	-	- 1 -	-	
	N	-	- - 1	-	
	O	-	- - 1	-	

Nota: Nunca deben combinarse dos materiales inclusores de aire en un mortero

Fuente: Norma ASTM C270

Tabla N° 9. 2: Especificación por Propiedades

ESPECIFICACIÓN POR PROPIEDADES ^(a)					
MORTERO	TIPO	Resistencia mínima promedio a compresión a 28 días Kg./cm ² y MPa	Retención mínima de agua (%)	Contenido máximo de aire (%)	Relación de agregados (medida en condición húmeda y suelta)
Cemento - cal	M	176 (17.2)	75	12	No menor que 2.25 y no mayor que 3.5 veces la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes
	S	127 (12.4)	75	12	
	N	53 (5.2)	75	14 ^(b)	
	O	25 (2.4)	75	14 ^(b)	
Cemento de mampostería	M	176 (17.2)	75		
	S	127 (12.4)	75		
	N	53 (5.2)	75		
	O	25 (2.4)	75		

(a) Mortero preparado en laboratorio.

- (b) Cuando se coloca acero estructural en el mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%.
 Cuando se coloca acero estructural en el mortero de cemento de mampostería el contenido máximo de aire debe ser 18%.

Fuente: Norma ASTM C 270

9.3 Selección del Tipo de Mortero en Obra

No existe un solo tipo de mortero que sea aplicable con éxito a todo trabajo. El variar las proporciones mejora algunas propiedades a expensas de otras. El constructor debe especificar el mortero que mejor se ajuste a los requisitos de la obra. Una regla práctica es usar el mortero con la resistencia más baja que se ajuste a los requisitos del trabajo, existiendo un tipo óptimo para cada aplicación o uso.

La norma ASTM da una guía para seleccionar morteros de mampostería; es así que para el levantamiento de paredes tanto de bloque como de ladrillo se emplea el mortero tipo S que es utilizado para estructuras sujetas a cargas compresivas normales, que a la vez requieren alta resistencia de adherencia. Estudios demuestran que es ideal para revestimientos. Las mezclas tipo S de cemento de mampostería y arena usualmente alcanzan cerca de (140 Kg/cm^2) en los ensayos de laboratorios que se realizó.

Tabla N° 9.3: Guía para seleccionar Morteros de Mampostería^(a)

LOCALIZACIÓN	SEGMENTO CONSTRUCTIVO	TIPO DE MORTERO	
		Recomendado	Alternativo
Exterior, sobre el terreno	Paredes de carga	N	S o M
	Paredes sin carga	O	N o S
	Parapetos	N	S
Exterior bajo el terreno	Muros de cimentación	S	M o N
	Muros de contención		
	Pozos, descargas de aguas negras		

	Pavimentos		
	Aceras y Patios		
Interior	Paredes de carga	N	S o M
	Divisiones sin carga	O	N

- (a) Esta tabla no presenta usos especializados para morteros como chimeneas, mampostería reforzada y morteros resistentes a ácidos.
- (b) El mortero tipo O es recomendado para utilizarlo donde la mampostería no esté sometida a congelación cuando está saturada o sujeta a fuertes vientos u otras cargas laterales. Los tipos N o S deben ser usados en estos casos.
- (c) La mampostería expuesta a la intemperie en superficies horizontales es extremadamente vulnerable. El mortero de mampostería debe ser seleccionado muy cuidadosamente.

Fuente: Norma ASTM C 270.

9.4 Descripción de Ensayos Realizados con Morteros en Laboratorio

9.4.1 Materiales Empleados

Para la elaboración de los cubos de morteros se emplearon los siguientes materiales: Cemento Rocafuerte, Agua Potable a 21 ± 2 °C., Arenas de Lloa, Pomasqui, Pintag, Enlumax, Aditivo de Tespecom y Fibramax.

9.4.1.1 Estudios realizados a las Arenas

De las arenas obtenidas tal como las expende, se procede a realizar un Análisis Granulométrico, para determinar si estas cumplen o no con la norma INEN 873: Arena Normalizada (ver Anexo I). El estudio se realizó con arena seca a temperatura ambiente y estos son los resultados obtenidos:

Tabla N° 9.4: Análisis Granulométrico Arena de Pintag

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</u>

Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :	
2006	7	12	Arena Mina de Pintag				1	
MUESTRA SECA								
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr.			Peso Funda:	1 gr	
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P R. -P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% que pasa	Observaciones:	
4		66 gr	65 gr	65	21,8	78,2		
10		61,2 gr	60,2 gr	125,2	41,9	58,1		
40		85,6 gr	84,6 gr	209,8	70,3	29,7		
200		73,5 gr	72,5 gr	282,3	94,5	5,5		
Pasante 200		17,3 gr	16,3 gr	298,6	100,0	0,0		

Tabla N° 9.5: Análisis Granulométrico Arena de Chasqui – Cotopaxi

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES								
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</u>								
Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :	
2006	7	12	Arena de la Mina Chasqui Cotopaxi				2	
MUESTRA SECA								
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr			Peso Funda (P.F.):	1 gr	
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P. R. - P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pesado	Observaciones:	
4		14,8 gr	13,8 gr	13,8	3,9	96,1		
10		20,8 gr	19,8 gr	33,6	9,5	90,5		
40		125,8 gr	124,8 gr	158,4	44,8	55,2		
200		144,4 gr	143,4 gr	301,8	85,4	14,6		
Pasante 200		52,6 gr	51,6 gr	353,4	100,0	0,0		

Tabla N° 9.6: Análisis Granulométrico Arena de Lloa

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO								
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES								

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :
2006	7	12	Arena Mina de Lloa				3
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr			Peso Funda (P.F.):	1 gr
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P. R. - P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pesado	Observaciones:
4		10,1 gr	9,1 gr	9,1	3,0	97,0	
10		65,2 gr	64,2 gr	73,3	24,5	75,5	
40		118,2 gr	117,2 gr	190,5	63,6	36,4	
200		97,6 gr	96,6 gr	287,1	95,9	4,1	
Pasante 200		13,2 gr	12,2 gr	299,3	100,0	0,0	

Tabla N° 9.7: Análisis Granulométrico Arena de Santo Domingo de los Colorados

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO							
Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :
2006	7	12	Arena Km. 14 vía Santo Domingo de los Colorados				4
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr			Peso Funda (P.F.):	1 gr
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P. R. - P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pesado	Observaciones:
4		6,6 gr	5,6 gr	5,6	1,8	98,2	
10		29,9 gr	28,9 gr	34,5	11,0	89,0	
40		127,6 gr	126,6 gr	161,1	51,3	48,7	
200		134,5 gr	133,5 gr	294,6	93,8	6,2	
Pasante 200		20,4 gr	19,4 gr	314	100,0	0,0	

Tabla N° 9.8: Análisis Granulométrico Arena de Pomasqui

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES							
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</u>							
Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :
2006	7	12	Arena Mina de Pomasqui				5
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr			Peso Funda (P.F.):	1 gr
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P. R. - P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pesado	Observaciones:
4		0 gr	-1 gr	-1	-0,3	100,3	
10		18,4 gr	17,4 gr	16,4	5,6	94,4	
40		166,3 gr	165,3 gr	181,7	62,0	38,0	
200		111 gr	110 gr	291,7	99,6	0,4	
Pasante 200		2,3 gr	1,3 gr	293	100,0	0,0	

Tabla N° 9.9: Análisis Granulométrico Arena Mina de Intaco

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES							
<u>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO</u>							
Fecha:			Proyecto:				Proceso N° :
2006	7	12	Arena Mina Propiedad Intaco				6
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra:	300 gr			Peso Funda (P.F.):	1 gr
Tamices		Peso Retenido (P.R.)	(P. R. - P.F.)	Peso Retenido Acumulado	% Retenido	% Pesado	Observaciones:
4		0 gr	-1 gr	-1	-0,3	100,3	
10		1,3 gr	0,3 gr	-0,7	-0,2	100,2	
40		182,7 gr	181,7 gr	181	60,6	39,4	
200		58,7 gr	57,7 gr	238,7	79,9	20,1	
Pasante 200		61 gr	60 gr	298,7	100,0	0,0	

Una vez culminado el Análisis se procede a comparar los resultados obtenidos vs. las especificaciones de la Norma INEN 873: Arena Normalizada, generando las respectivas curvas granulométricas de cada agregado y de la norma.

Tabla N° 9.10: Curvas Granulométricas de las Arenas Analizadas vs. Curvas Granulométricas INEN 873.



En la Tabla N° 9.10 se puede apreciar que ninguna de las arenas que se expende en el mercado cumple con la Norma INEN 873, lo que obligó a que antes de elaborar los morteros se considere tamizar todas las arenas para ajustar a la Norma y obtener morteros de buena calidad, empleando en el laboratorio los tamices N° 16, 30, 40, 50, 100.

Tabla N° 9.11: Arena Normalizada gradada.

TAMIZ		PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO
N°	mm	
16	1.18	Ninguno

30	600 μ m	2 \pm 2
40	425 μ m	30 \pm 5
50	300 μ m	75 \pm 5
100	150 μ m	98 \pm 2

Fuente: INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN.
INEN 873

Para complementar el estudio a los Agregados Finos se realiza un Análisis Petrográfico con el fin de conocer la procedencia y demás características que a continuación ponemos a consideración:

Tabla N° 9.12: Análisis Petrográfico de las Arenas Obtenidas

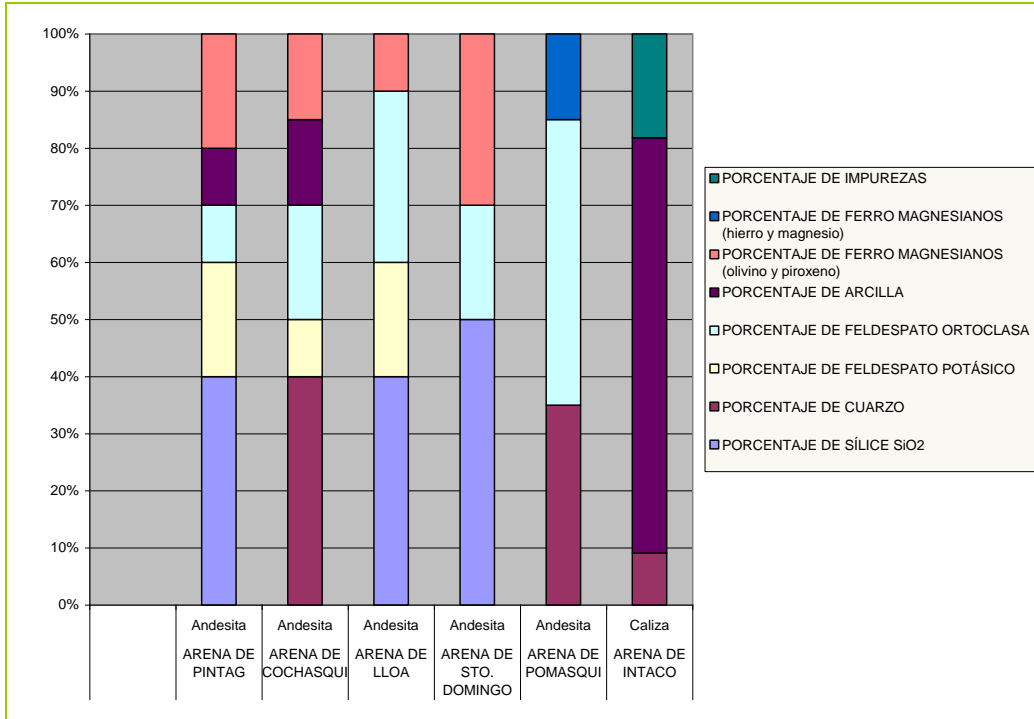
ITEM	CARACTERÍSTICAS DE LAS ARENAS	ARENA DE PINTAG	ARENA DE COCHASQUI	ARENA DE LLOA	ARENA DE STO. DOMINGO	ARENA DE POMASQUI	ARENA DE INTACO
1	TIPO DE ROCA ORIGINAL	Andesita	Andesita	Andesita	Andesita	Andesita	Caliza
2	COLOR	Gris rojizo	Gris Oscuro	Gris Claro	Gris	Gris	Gris Verdosa
3	PORCENTAJE DE CARBONATO DE CALCIO (CaCO ₃)						40 - 50
4	PORCENTAJE DE SÍLICE SiO ₂	40 %		40 %	50 %		

Patología de la Construcción en Mampostería y Hormigones

5	PORCENTAJE DE CUARZO		40 %			35 %	5 %
6	PORCENTAJE DE FELDESPATO POTÁSICO	20 %	10 %	20 %			
7	PORCENTAJE DE FELDESPATO ORTOCLASA	10 %	20 %	30 %	20 %	50 %	
8	PORCENTAJE DE ARCILLA	10 %	15 %				40 %
9	PORCENTAJE DE FERRO MAGNESIANOS (olivino y piroxeno)	20 %	15 %	10 %	30 %		
10	PORCENTAJE DE FERRO MAGNESIANOS (hierro y magnesio)					15 %	
11	PORCENTAJE DE IMPUREZAS						10 %

Fuente: Ing. Geólogo Carlos Puente

Tabla N° 9.13: Cuadro comparativo de Resultados Obtenidos en la Petrografía



Adicional a estos ensayos se realiza el Análisis de Abrasión en base a la Norma AASHTO T 96-97, lastimosamente no todas las arenas cumplen con los requisitos para efectuar este ensayo, por cuanto para Abrasión de arenas es importante obtener 5000 grs. de muestra solo del pasante N° 4 y el retenido en el N° 8. Los resultados indican que esta condición solo cumple tres arenas ya que las demás son agregados muy finos y no permiten ser empleadas en la elaboración del ensayo; los resultados obtenidos son:

Tabla N° 9.14: Ensayo de Abrasión realizado a la Arena de Lloa.

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO			
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES			
<u>ENSAYO DE ABRASIÓN</u>			
Fecha:		Proyecto:	Proceso N° :
200	7	1	1
6		8	
MUESTRA SECA			

Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra (A):	5000 gr.	Peso Retenido en tamiz N° 12 (B):	2345 gr.	(C): A-B	2655 gr.
R.P.M. :	500 vueltas	Tiempo ensayo:	15 mins	Porcentaje de Abrasión: $D=(C/A)*100$		53,1	

Tabla N° 9.15: Ensayo de Abrasión realizado a la Arena de Pintag

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES							
<u>ENSAYO DE ABRASIÓN</u>							
Fecha:		Proyecto:					Proceso N° :
2006	7	18	Arena de Pintag				1
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra (A):	5000 gr.	Peso Retenido en tamiz N° 12 (B):	2676 gr.	(C): A-B	2324 gr.
R.P.M. :	593 vueltas	Tiempo ensayo:	18 mins	Porcentaje de Abrasión: $D=(C/A)*100$		46,48	

Tabla N° 9.16: Ensayo de Abrasión realizado a la Arena de Pomasqui

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO							
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL							
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES							
<u>ENSAYO DE ABRASIÓN</u>							
Fecha:		Proyecto:					Proceso N° :
2006	7	18	Arena de Chasqui				1
MUESTRA SECA							
Muestra N° :	1	Peso Inicial Muestra (A):	4675 gr.	Peso Retenido en tamiz N° 12 (B):	2805 gr.	(C): A-B	1870 gr.
R.P.M. :	500 vueltas	Tiempo ensayo:	15 mins	Porcentaje de Abrasión: $D=(C/A)*100$		40	

Efectuados los ensayos se elabora los morteros con las arenas de: Pomasqui, Lloa y Pintag puesto que son las más empleadas en las obras civiles de Quito.

Adicional a ello se considera probar la resistencia a la compresión del mortero proyectable Enlumar de Intaco más la elaboración de morteros con aditivo ultra plastificante de alta cohesión y reductor de agua (EPS 4007U) de la casa comercial Tespecon y fibramax de Intaco, de esta manera se obtendrán curvas de morteros que puedan ser una base de consulta para futuras experimentaciones.

9.4.1.2 Aditivo

EPS 40007 U marca Tespecom, es un aditivo ultra plastificante de alta cohesión, reductor de agua de alto rango, que cumple con las normas ASTM C-494 Tipo G y puede ser empleado en todo tipo de hormigón donde sean necesarias altas resistencias iniciales y finales, en morteros de gran trabajabilidad y en hormigones densamente armados. También es empleado en hormigones prefabricados, post o pretensados. Este aditivo es ideal para ser empleado en morteros proyectables pues su alta cohesión reduce el rebote, lo que le ayuda a tener partes monolíticas, evitando separaciones entre la pared y el mortero. No contiene cloruros u otras sustancias corrosivas. Debido a su acción fluidificante facilita el bombeo y reduce el vibrado, además de reducir más del 40% de agua.

Efecto del aditivo en el mortero

Este aditivo genera a manera de rulinanes en su interior lo que facilita la circulación de todas las partículas dentro del mortero.

Al momento de fluidificar un mortero, es posible que se haga más impermeable. En la tabla N° 9.17 se detalla las características físicas y químicas del aditivo empleado.

Tabla N° 9.17: Características Aditivo EPD 4007U

CARACTERÍSTICAS	PROPIEDADES
Color:	Café
Densidad:	1.17 kg./lt
Trabajabilidad:	Alta
Reducción agua:	30 -40%
Contenido de cloruros:	Ninguna

Fuente: TESPECON 2006

9.4.1.3 Fibras de Nailon de Alta Resistencia (Fibramax 13)

Esta fibra se emplea como refuerzo secundario para prevenir y minimizar fisuras, las cuales pueden ser causadas por contracción plástica, asentamiento o deshidratación acelerada del mortero.

La fibra aumenta la resistencia al impacto y al cambio térmico, disminuye la permeabilidad, resiste al álcali, a la corrosión y evita las microfisuras En la tabla N° 9.18 se detalla las características de la fibra de nylon.

Tabla N° 9.18: Datos Técnicos de Fibramax

CARACTERÍSTICAS	MEDIDAS
Diámetro del filamento	23 micrones
Filamentos/kg	88 millones
Resistencia a la tensión	9100 kg/cm ²
Elongación a rotura	20%
Punto de fundición	225 °C
Absorción al agua/m ³ de	26.7 ml

concreto	
Resistencia a ácidos y sales	Buena
Resistencia al álcali	Excelente
Conductividad Térmica	Baja
Conductividad Eléctrica	Baja

Fuente: INTACO 2006

La casa comercial recomienda que la fibra no sustituye al refuerzo de acero principal de la estructura, ésta es un refuerzo secundario. La capacidad de absorber agua (4.5% por peso) le permite desarrollar una adherencia tanto química como física en el mortero.

9.4.2 Diseño de Morteros

Para la elaboración de Morteros se aplicó la Norma ASTM C 109/C 109M-02: Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in or 50 mm Cube Specimens), que en nuestra norma viene a ser la INEN 488: Determinación de la Resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista, aplicada a los cementos hidráulicos empleados en la fabricación de morteros y hormigones. (Ver anexo II).

9.4.2.1 Dosificación de Morteros

Los cubos de morteros realizados en laboratorio fueron hechos bajo las proporciones de materiales sugeridas en la Norma antes mencionada y de la experiencia obtenida en obra.

Tabla N° 9.19: Cantidades empleadas para la elaboración de cubos de morteros.

Arena Empleada	Número de Cubos	Cantidades de materiales empleados				
		Cemento (gr.)	Arena (gr.)	Agua (cm3) para un flujo de $110 \pm 5\%$	Aditivo* (cm3)	Fibra* (gr.)
Lloa	9	740	2034	540	7,17	1,85
Pintag	9	740	2034	690	-	-
Pomasqui	9	740	2034	750	-	-
Enlumax	9	2774		450		

Nota 1: La cantidad de agua indicada en la tabla varía para dar cumplimiento al porcentaje de flujo recomendado en la norma INEN 195. (Ver Anexo III)

Nota 2: La cantidad de aditivo y fibra que figuran en la tabla son obtenidos de experiencia en obra, de la especificación para edificación que recomienda emplear una dosificación (1:3) para enlucidos de mampostería y en función de la cantidad de cemento con la que se elabora los morteros más recomendaciones de los fabricantes.

Tabla N° 9.20: *Forma de Obtención de Cantidades de Aditivo y Fibra

Material	Cantidad	Conversión	
Cemento (en obra) (en morteros)	1 qq	100 lb.	45.36 Kg.
	740 gr.		0,74 Kg.
Aditivo recomendado Tespecom para 1qq de cemento	400 cm3		6.5 cm3
Fibramax recomendación Intaco	66 a 85 gr./qq cemento		1.4 gr.

Definidas las cantidades de material, se elabora los morteros en laboratorio siguiendo la respectiva norma INEN

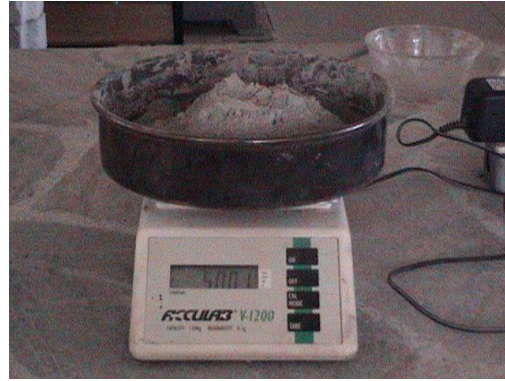
ELABORACIÓN DEL MORTERO

Foto N° 3: Vista de Agregado Fino

Foto N° 4: Vista de Mezclado del material



Fecha: 2006-10-03



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 5: Vista de Mezclado de materiales

Foto N° 6: Vista de Mortero elaborado



Fecha: 2006-10-07



Fecha: 2006-10-07

ENSAYO DE TRABAJABILIDAD

Foto N° 7: Vista de Equipo necesario para hacer el Ensayo de Flujo



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 8 Vista de mortero en molde reposando 1min



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 9: Vista de mortero luego de dar 25 vueltas para medir 4 diámetros finales



Fecha: 2006-10-07

MOLDEO DE MORTERO EN CUBOS

Foto N° 10: Apisonamiento de mortero en Cubos



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 11: Completando mortero



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 12: Enrasado de mortero en Cubos



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 13: Vista de mortero listo para ser Curado



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 14: Cubriendo a los Morteros para conservar su humedad



Fecha: 2006-10-07

Foto N° 15: Molde de Morteros en tanque de Curado a 22°C por espacio de media hora



Fecha: 2006-10-07

RESULTADOS DE MUESTRAS LUEGO DE ENSAYADAS

Foto N° 16: Molde sometido a Compresión
Luego de transcurrido los 28 días

Foto N° 17: Vista Ruptura molde bien
elaborado y diseñado



Fecha: 2006-11-09



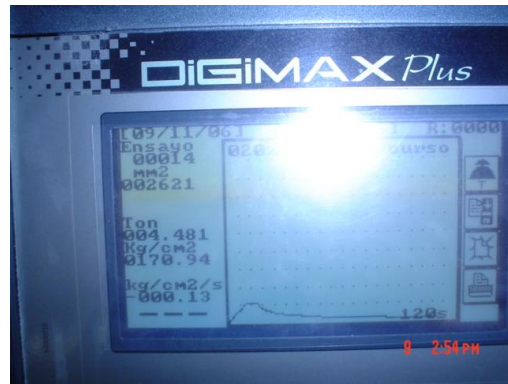
Fecha: 2006-11-09

Foto N° 18: Vista Ruptura molde mal Diseñado

Foto N° 19: Vista de Resultados a Compresión



Fecha: 2006-11-09



Fecha: 2006-11-09

9.4.3 Resultados Obtenidos

A continuación se presenta los resultados obtenidos del Ensayo de Flujo en las tablas N° 9.21, 9.22, 9.23, 9.24, 9.25, 9.26; de los morteros ensayados a los 3, 7, y 28 días en las tablas N° 9.26, 9.27, 9.28, 9.29, 9.30 y las Curvas de Resistencia a la compresión de morteros en las Gráficas N° 78, 79, 80, 81.

Tabla N° 9.21: Resultado del Ensayo de Flujo con la Arena de Lloa

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES									
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>									
Fecha:			Proyecto:					Proceso N° :	
2006	1	8	Mortero con Arena de Lloa					1	
Muestra N° :		1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	0,73		
Dimensión de Diámetros Finales:			Dimensión Diámetro Inicial:		10,3 cm	Cantidad de Agua:			
Df ₁			23,60			540 cm ³			
Df ₂			21,50			Molde:	6		
Df ₃			22,00			$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$			
Df ₄			21,50						
Promedio Df:			22,15			%Flujo:	115,05		

Tabla N° 9.22: Resultado del Ensayo de Flujo con la Arena de Pintag

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO									
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL									
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES									
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>									
Fecha:			Proyecto:					Proceso N° :	
2006	1	1	Mortero con Arena de Pintag					1	
Muestra N° :		1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	0,93		
Dimensión de Diámetros Finales:			Dimensión Diámetro Inicial:		10 cm	Cantidad de Agua:			
Df ₁			17,2			690 cm ³			
Df ₂			17,7			Molde:	6		
Df ₃			17,2			$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$			
Df ₄			17,6						
Promedio Df:			17,43			%Flujo:	74,25		

Tabla N° 9.23: Resultado del Ensayo de Flujo con la Arena de Pomasqui

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>						
Fecha:			Proyecto:			Proceso N° :
2006	1 2	1 5	Mortero con Arena de Pomasqui			1
Muestra N° :	1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	1,01
Dimensión de Diámetros Finales:			Dimensión Diámetro Inicial:	10 cm	Cantidad de Agua:	
Df ₁		19,10	$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$		750 cm ³	
Df ₂		19,20			Molde:	6
Df ₃		19,00				
Df ₄		19,80				
Promedio Df:		19,28			%Flujo:	92,75

Tabla N° 9.24: Resultado del Ensayo de Flujo con Enlumas Proyectable

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>						
Fecha:			Proyecto:			Proceso N° :
2006	10	7	Enlumas Proyectable			1
Muestra N° :	1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	0,541
Dimensión de Diámetros Finales:			Dimensión Diámetro Inicial:	10 cm	Cantidad de Agua:	
Df ₁		16,9	$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$		400 cm ³	
Df ₂		17,4			Molde:	6
Df ₃		17,3				

Df ₄		17			
Promedio Df:		17,15			%Flujo: 71,50

Tabla N° 9.25: Resultado del Ensayo de Flujo con Enlumas Proyectable

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO						
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES						
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>						
Fecha:		Proyecto:			Proceso N° :	
2006	1	7	Enlumas Proyectable			1
Muestra N° :	1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	0,68
Dimensión de Diámetros Finales:		Dimensión Diámetro Inicial:		10 cm	Cantidad de Agua:	
Df ₁		20,8			500 cm ³	
Df ₂		21,2			Molde:	6
Df ₃		20,5		$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$		
Df ₄		20,8				
Promedio Df:		20,83			%Flujo:	108,25

Tabla N° 9.26: Resultado del Ensayo de Flujo con Arena de Lloa, Aditivo EPS4007 U y Fibramax

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO		
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES		
<u>ENSAYO DE FLUJO</u>		
Fecha:	Proyecto:	Proceso N° :

Patología de la Construcción en Mampostería y Hormigones

2006	1	1	Mortero con Arena de Lloa+Aditivo+Fibra			1
Muestra N° :	1	Cemento empleado:	Rocafuerte		Relación a/c=	0,73
Dimensión de Diámetros Finales:		Dimensión Diámetro Inicial:		10,3 cm	Cantidad de Agua:	
Df ₁		21,00			540 cm ³	
Df ₂		20,90			Molde:	6
Df ₃		21,20		$\% \text{ flujo} = \frac{D_f - D_o}{D_o} \times 100$		
Df ₄		21,50				
Promedio Df:		21,15			%Flujo:	105,34

TABLA N° 9.27: RESULTADO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO ELABORADO CON ARENA DE LLOA

ENSAYO DE FLUJO DE MESA

Fecha realización: 11-12-2006

Df1 =	23,60
Df2 =	21,50
Df3 =	22,00
Df4 =	21,50
Dfprom =	22,15
Do =	10,30

%Flujo = **115.05**

MUESTRA N°	IDENT.	FECHA PREPARACIÓN	FECHA ROTURA	PESO PROBETA (gr)	DIMENSIONES			ÁREA PROBETA (cm)	VOLUMEN PROBETA (cm ³)	PESO VOLUMÉTRICO (g/cm ³)	CARGA (kg)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESIST. REPORT. (kg/cm ²)	EDAD (días)	EXPANSIÓN %
					LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)								
1	Mortero L1	11-12-2006	14-12-2006	275	5,06	5,1	5,1	25,81	131,61	2,09	1964	76,09	73,56	3	0 contrac
2	Mortero L1	11-12-2006	14-12-2006	273,4	5,09	5,08	5,1	25,86	131,87	2,07	1843	71,2		3	0,1
3	Mortero L1	11-12-2006	14-12-2006	271,9	5,04	5,1	5,04	25,70	129,55	2,10	1886	73,39		3	0,04
4*	Mortero L1	11-12-2006	18-12-2006	269,7	5,1	5,06	5,04	25,81	130,06	2,07	1847	71,57	69.45	7	0 contrac
5*	Mortero L1	11-12-2006	18-12-2006	270	5,1	5,1	5,1	26,01	132,65	2,04	1829	70,32		7	0,1
6*	Mortero L1	11-12-2006	18-12-2006	267,2	5,08	5,09	5,02	25,86	129,80	2,06	1719	66,48		7	0,02
7	Mortero L1	11-12-2006	8-01-2007	271,5	5,09	5,06	5,06	25,76	130,32	2,08	4571	177,48	140,85	28	0 contrac
8	Mortero L1	11-12-2006	8-01-2007	274,2	5,09	5,09	5,12	25,91	132,65	2,07	2886	111,4		28	0,12
9	Mortero L1	11-12-2006	8-01-2007	273,4	5,08	5,09	5,14	25,86	132,91	2,06	3456	133,67		28	0,14

Nota: * Resultado de Compresión proyectado con la Curva a Compresión del respectivo mortero.

REALIZADO EN: LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS E.S.P.E.

TABLA N° 9.28: RESULTADO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO ELABORADO CON ARENA + ADITIVO + FIBRA

ENSAYO DE FLUJO DE MESA

Fecha

realización 12-12-2006

:

Df1 =	21,00
Df2 =	20,90
Df3 =	21,20
Df4 =	21,50
Dfprom =	21,15
Do =	10,30

%Flujo = **105,34**

MUESTR A N°	IDENT.	FECHA PREPARACIÓ N	FECHA ROTURA	PESO PROBETA (gr)	DIMENSIONES			ÁREA PROBET A (cm)	VOLUME N PROBETA (cm3)	PESO VOLUMÉTRIC O (g/cm3)	CARG A (kg)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm2)	RESIST. REPORT. (kg/cm2)	EDAD (días)	EXPANSIÓN %
					LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)								
1	Adit + fibra	12-12-2006	15-12-2006	279	5,08	5,09	5,1	25,86	131,87	2,12	2464	95,09	84,45	3	0 contrac
2	Adit + fibra	12-12-2006	15-12-2006	273,7	5,08	5,1	5,04	25,91	130,58	2,10	1545	59,62		3	0 contrac
3	Adit + fibra	12-12-2006	15-12-2006	275,7	5,09	5,1	5,08	25,96	131,87	2,09	2561	98,654		3	0 contrac
4	Adit + fibra	12-12-2006	19-12-2006	265,9	5,13	5,13	5,115	26,32	134,61	1,98	1394	52,96	57,50	7	0 contrac
5	Adit + fibra	12-12-2006	19-12-2006	266,1	5,1	5,13	5,09	26,16	133,17	2,00	1595	60,97		7	0 contrac
6	Adit + fibra	12-12-2006	19-12-2006	266,7	5,12	5,09	5,06	26,06	131,87	2,02	1532	58,56		7	0 contrac
7	Adit + fibra	12-12-2006	9-01-2007	278,2	5,08	5,12	5,13	26,01	133,43	2,09	4179	160,68	201,58	28	0 contrac
8	Adit + fibra	12-12-2006	9-01-2007	279,8	5,12	5,13	5,1	26,27	133,95	2,09	5380	204,84		28	0 contrac
9	Adit + fibra	12-12-2006	9-01-2007	276,3	5,08	5,08	5,09	25,81	131,35	2,10	6173	239,22		28	0 contrac

TABLA N° 9.29: RESULTADO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO ELABORADO CON ARENA DE PINTAG

ENSAYO DE FLUJO DE MESA

Fecha
realización 14-12-2006
:

Df1 =	17,2
Df2 =	17,7
Df3 =	17,2
Df4 =	17,6
Dfprom =	17,43
Do =	10,30

%Flujo = **74.25**

MUESTR A N°	IDENT.	FECHA PREPARACIÓ N	FECHA ROTURA	PESO PROBET A (gr)	DIMENSIONES			ÁREA PROBET A (cm)	VOLUME N PROBETA (cm3)	PESO VOLUMÉTRIC O (g/cm3)	CARG A (kg)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm2)	RESIST. REPORT. (kg/cm2)	EDAD (días)	EXPANSIÓN %
					LARG O (cm)	ANCHO (cm)	ALTUR A (cm)								
1	Mort. Pint	14-12-2006	18-12-2006	262,6	5,11	5,1	5,13	26,06	133,69	1,96	1667	63,97	70,99	4	0 contrac
2	Mort. Pint	14-12-2006	18-12-2006	260,6	5,1	5,1	5,05	26,01	131,35	1,98	2003	77,01		4	0,05
3	Mort. Pint	14-12-2006	18-12-2006	261,6	5,05	5,11	5,1	25,81	131,61	1,99	1858	72,00		4	0,1
4*	Mort. Pint	14-12-2007	21-12-2006					0,00	0,00	#¡DIV/0!			0,00	7	5 contrac
5*	Mort. Pint	14-12-2007	21-12-2006					0,00	0,00	#¡DIV/0!				7	-5
6*	Mort. Pint	14-12-2007	21-12-2006					0,00	0,00	#¡DIV/0!				7	-5
7	Mort. Pint	14-12-2008	11-01-2007	260,4	5,09	5,1	5,05	25,96	131,09	1,99	3900	150,24	146,90	28	0 contrac
8	Mort. Pint	14-12-2008	11-01-2007	260,4	5,08	5,09	5,095	25,86	131,74	1,98	3600	139,23		28	0,095
9	Mort. Pint	14-12-2008	11-01-2007	262,8	5,09	5,095	5,11	25,93	132,52	1,98	3430	151,24		28	0,11

TABLA N° 9.30: RESULTADO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DEL MORTERO ELABORADO CON ARENA DE POMASQUI

ENSAYO DE FLUJO DE MESA

Fecha
realización 15-12-2006

Df1 =	19,10
Df2 =	19,20
Df3 =	19,00
Df4 =	19,80
Dfprom =	19,28
Do =	10,00

%Flujo = **92,75**

MUESTRA N°	IDENT.	FECHA PREPARACIÓN	FECHA ROTURA	PESO PROBETA A (gr)	DIMENSIONES			ÁREA PROBETA A (cm)	VOLUMEN PROBETA (cm ³)	PESO VOLUMÉTRICO (g/cm ³)	CARGA (kg)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESIST. REPORT (kg/cm ²)	EDAD (días)	EXPANSIÓN %
					LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)								
1	Mort. Pom	15-12-2006	18-12-2006	259,9	5,1	5,1	5,16	26,01	134,21	1,94	2474	95,13	98,86	3	0 contrac
2	Mort. Pom	15-12-2006	18-12-2006	257	5,1	5,1	5,09	26,01	132,39	1,94	2690	103,43		3	0,09
3	Mort. Pom	15-12-2006	18-12-2006	258,4	5,12	5,06	5,1	25,91	132,13	1,96	2539	98,01		3	0,1
4	Mort. Pom	15-12-2007	22-12-2006	257,1	5,09	5,08	5,08	25,86	131,35	1,96	3021	116,84	108,61	7	0 contrac
5	Mort. Pom	15-12-2007	22-12-2006	258,9	5,1	5,06	5,16	25,81	133,16	1,94	2766	107,17		7	0,16
6	Mort. Pom	15-12-2007	22-12-2006	258,7	5,06	5,1	5,12	25,81	132,13	1,96	2627	101,81		7	0,12
7	Mort. Pom	15-12-2008	12-01-2007	259,9	5,09	5,09	5,14	25,91	133,17	1,95	4774	184,28	167,90	28	0 contrac
8	Mort. Pom	15-12-2008	12-01-2007	259	5,09	5,09	5,12	25,91	132,65	1,95	4024	155,34		28	0,12
9	Mort.	15-12-2008	12-01-	259,2	5,06	5,12	5,15	25,91	133,42	1,94	4251	164,09		28	0,15

Pom	2007													
-----	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

REALIZADO EN: LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS E.S.P.E.

TABLA N° 9.31: RESULTADO DE ENSAYO A COMPRESIÓN DE ENLUMAX PROYECTABLE

ENSAYO DE FLUJO DE MESA

Fecha realización 15-12-2006

Df1 =	20,8
Df2 =	21,2
Df3 =	20,5
Df4 =	20,8
Dfprom =	20,83
Do =	10,00

%Flujo = 108,25

MUESTRA N°	IDENT.	FECHA PREPARACIÓN	FECHA ROTURA	PESO PROBETA (gr)	DIMENSIONES			ÁREA PROBETA (cm ²)	VOLUMEN PROBETA (cm ³)	PESO VOLUMÉTRICO (g/cm ³)	CARGA (kg)	RESISTENCIA COMPRESIÓN (kg/cm ²)	RESIST. REPORT (kg/cm ²)	EDAD (días)	EXPANSIÓN %
					LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)								
1	Enlumax	05-Oct-06	08-Oct-06	272,3	5,08	5,1	5,48	25,91	141,98	1,92	3537	42,7	43,47	3	0 contrac
2	Enlumax	05-Oct-06	08-Oct-06	276,2	5,11	5,08	5,52	25,96	143,29	1,93	3688	47,5		3	0,52
3	Enlumax	05-Oct-06	08-Oct-06	273,3	5,1	5,08	5,84	25,91	151,30	1,81	3972	40,2		3	0,84
4	Enlumax	05-Oct-06	12-Oct-06	275,6	5,1	5,08	5,22	25,91	135,24	2,04	2838	101,8	102,43	7	0 contrac
5	Enlumax	05-Oct-06	12-Oct-06	278,5	5,1	5,09	5,4	25,96	140,18	1,99	4291	103,4		7	0,4
6	Enlumax	05-Oct-06	12-Oct-06	277,7	5,14	5,07	5,41	26,06	140,98	1,97	4368	102,1		7	0,41
7	Enlumax	05-Oct-06	02-Nov-06	280,3	5,11	5,09	5,46	26,01	142,01	1,97	3133	251,6	251,50	28	0 contrac

Patología de la Construcción en Mampostería y Hormigones

8	Enlumas	05-Oct-06	02-Nov-06	279,5	5,13	5,13	5,46	26,32	143,69	1,95	3267	252,5		28	0,46
9	Enlumas	05-Oct-06	02-Nov-06	279,1	5,1	5,11	5,4	26,06	140,73	1,98	3803	250,4		28	0,4

REALIZADO EN: LAB. DE MECÁNICA DE SUELOS E.S.P.E.

FIGURA N° 78: CURVA DE MORTERO ARENA DE LLOA

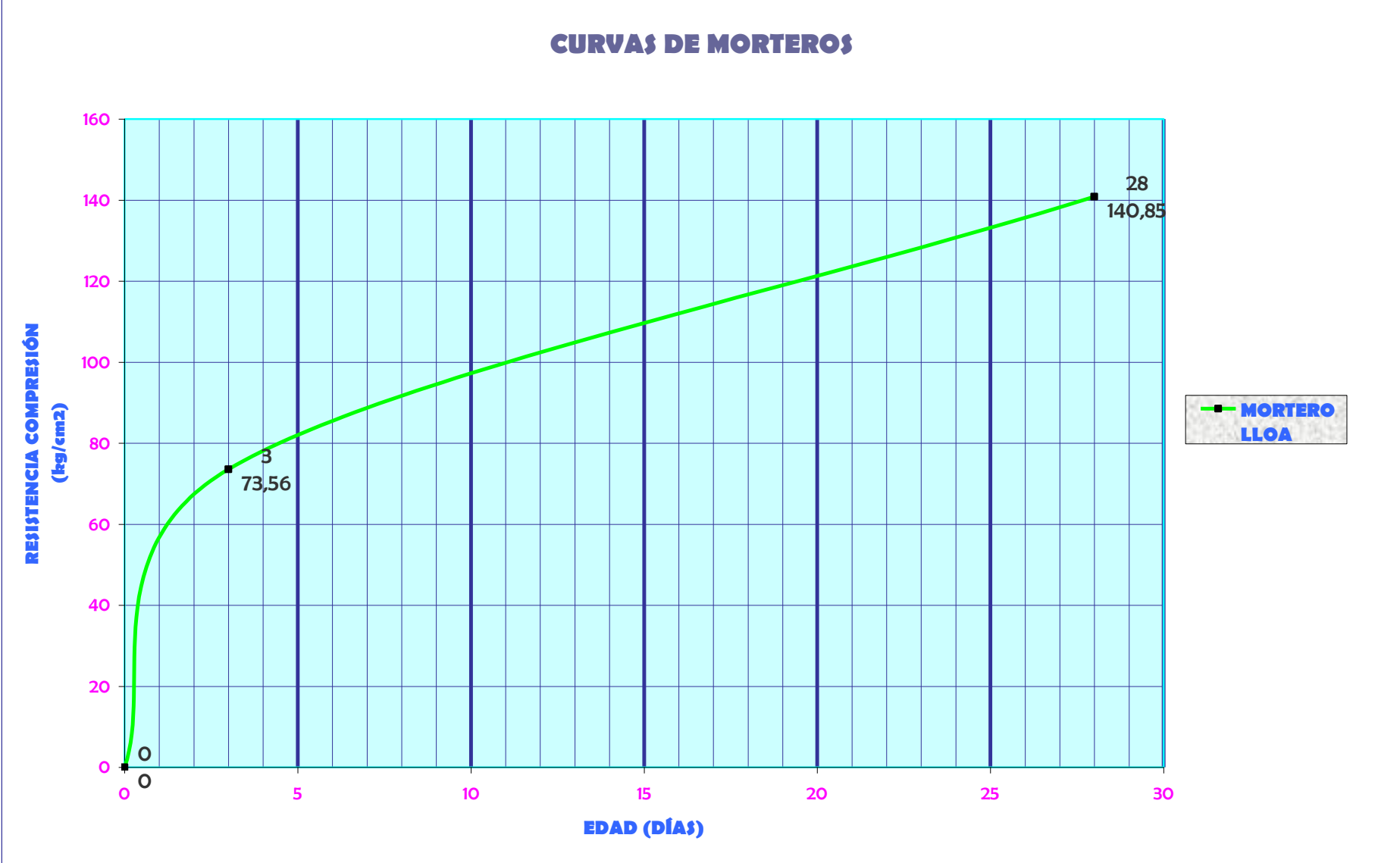


FIGURA N° 79: CURVA DE MORTERO ARENA DE LLOA, ADITIVO Y FIBRA

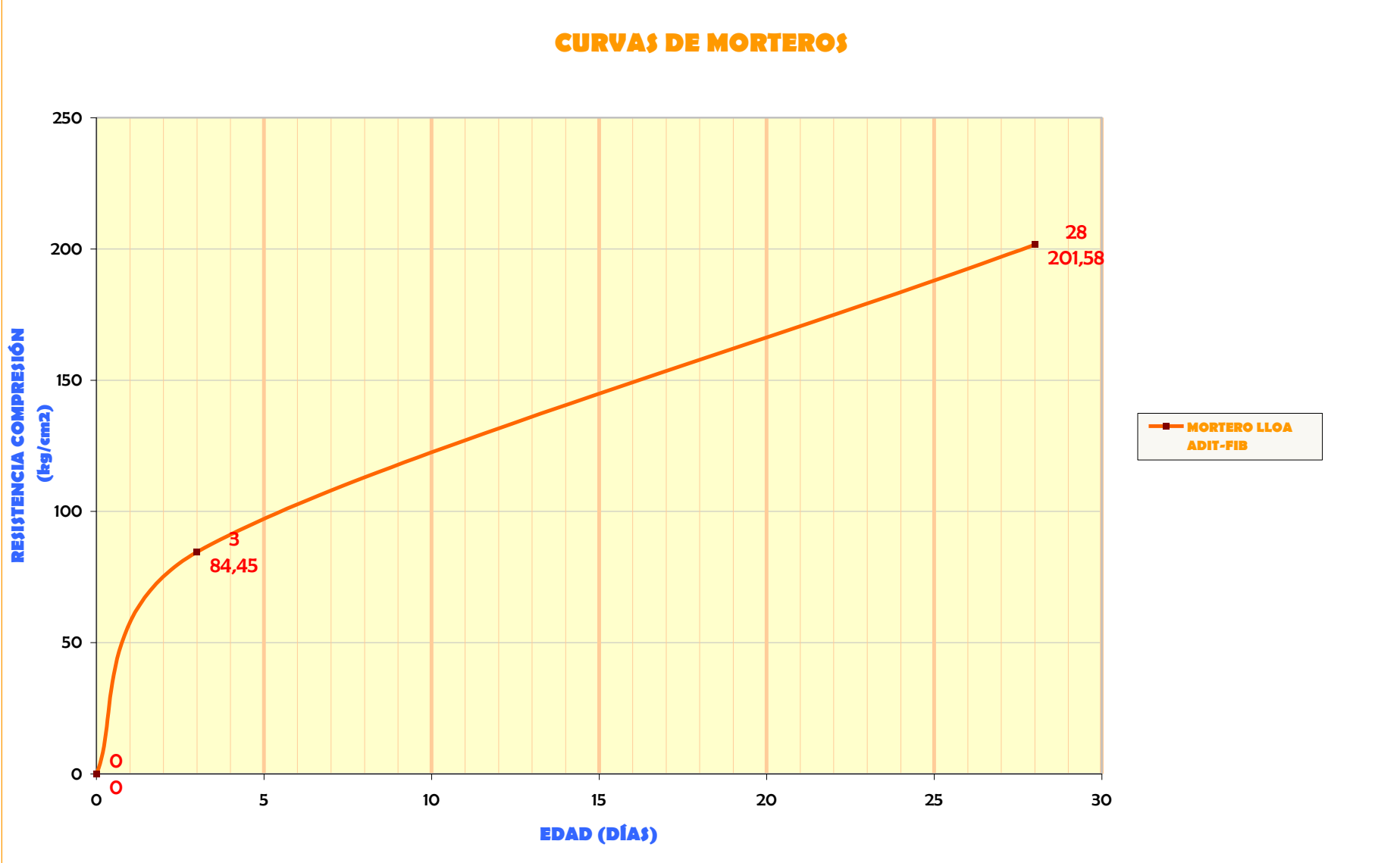


FIGURA N° 80: CURVA DE MORTERO ARENA DE PINTAG

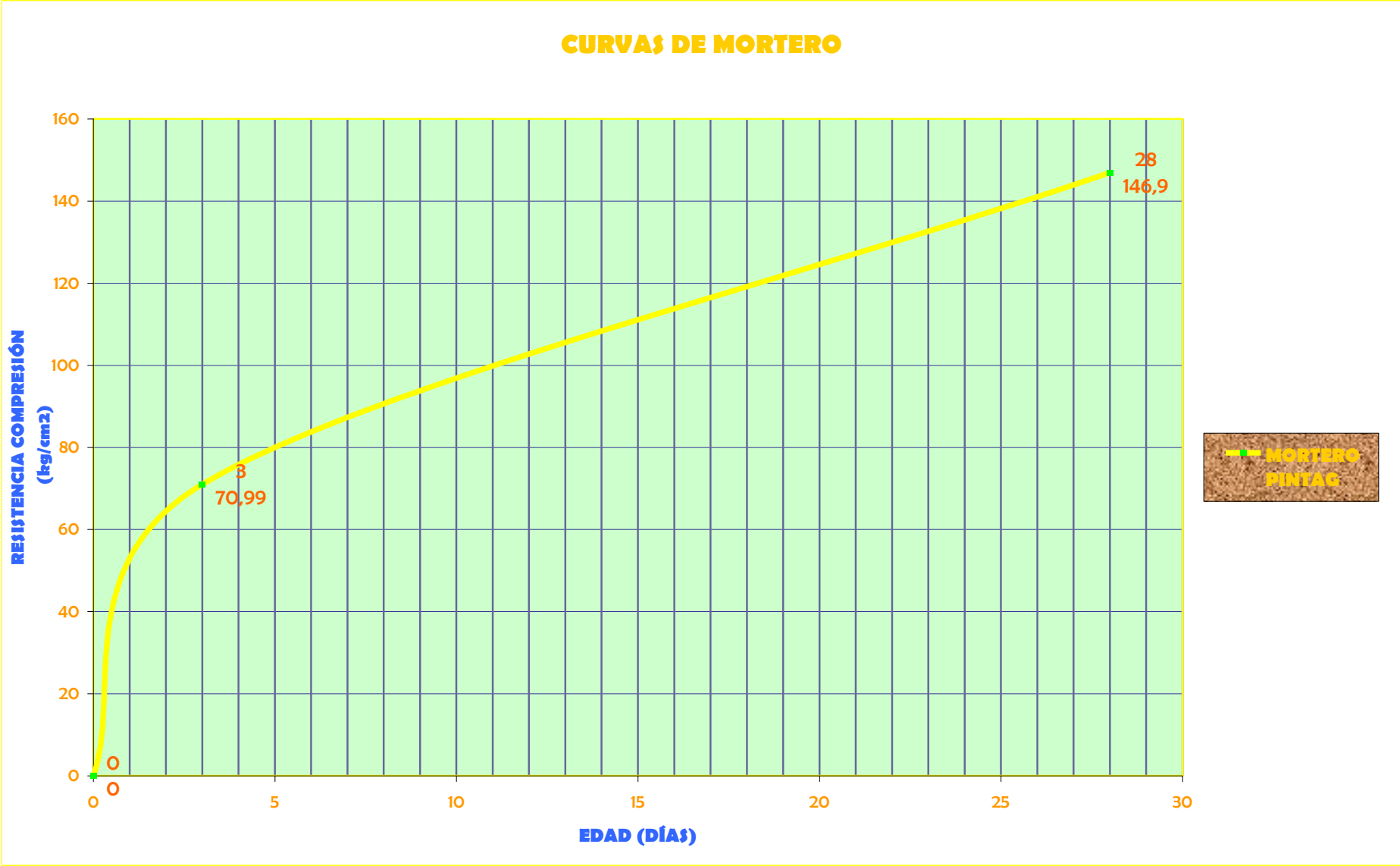


FIGURA N° 81: CURVA DE MORTERO ARENA DE POMASQUI

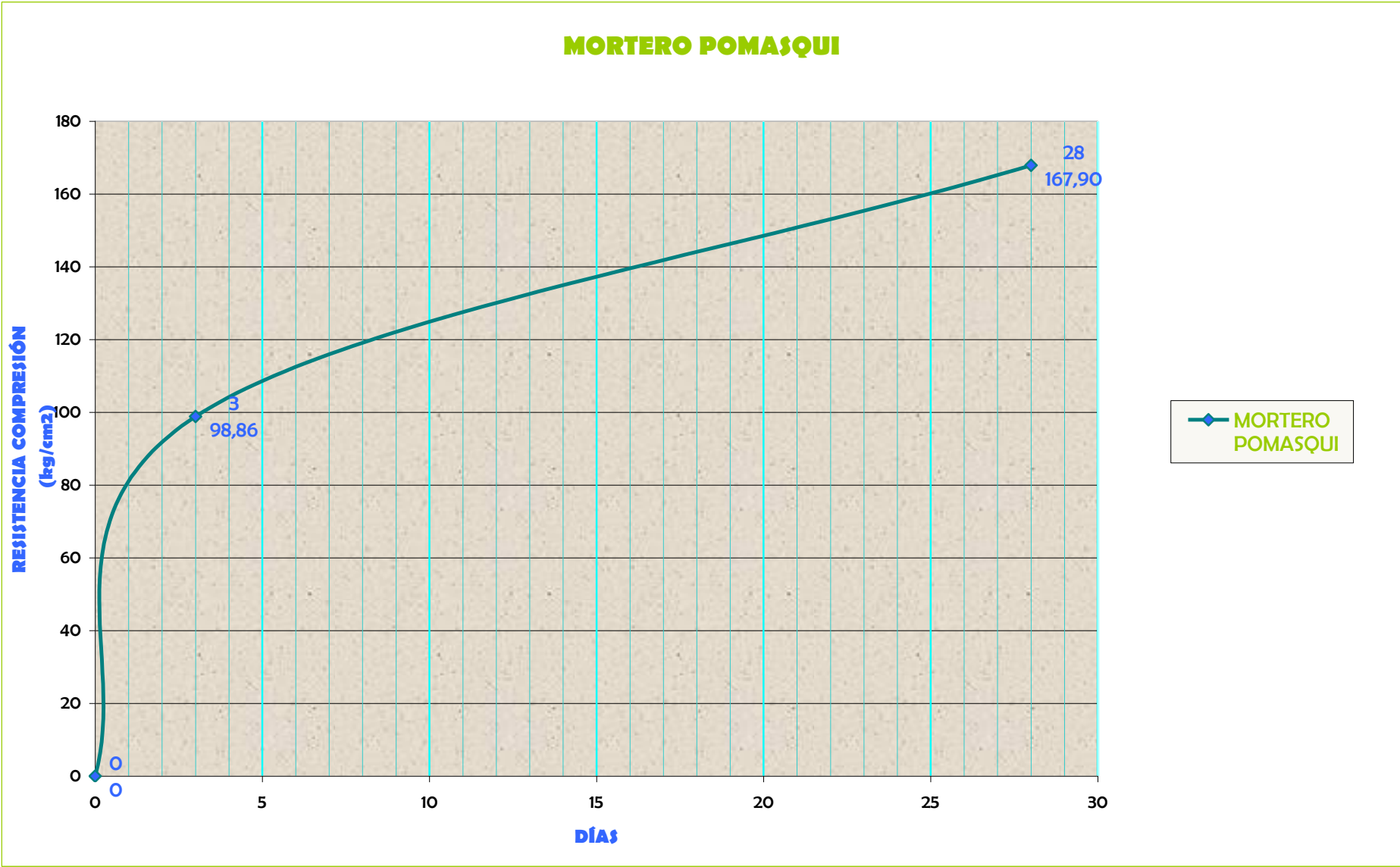
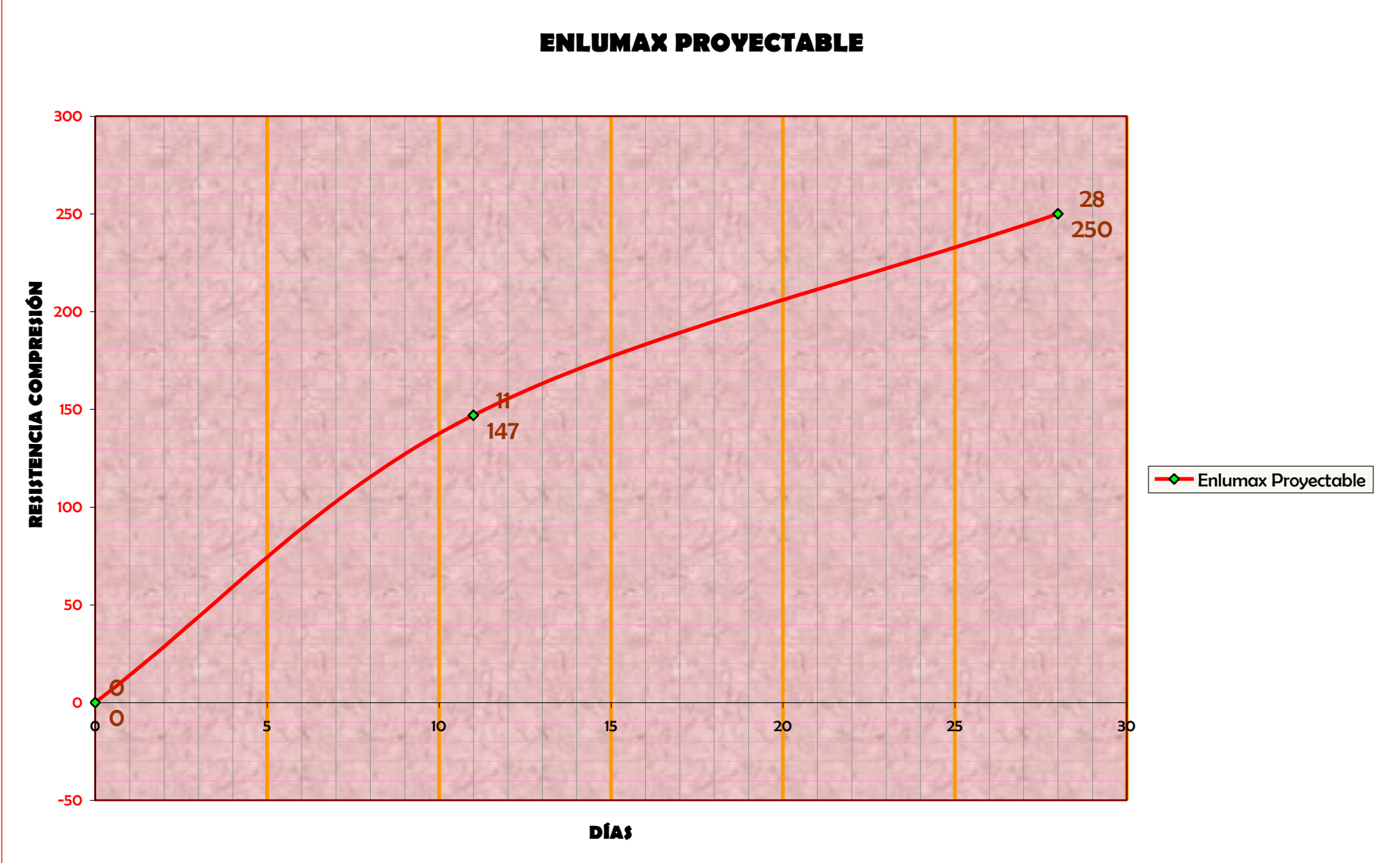


FIGURA N° 82: CURVA DE ENLUMAX PROYECTABLE



9.4.4 Experiencia en Obra

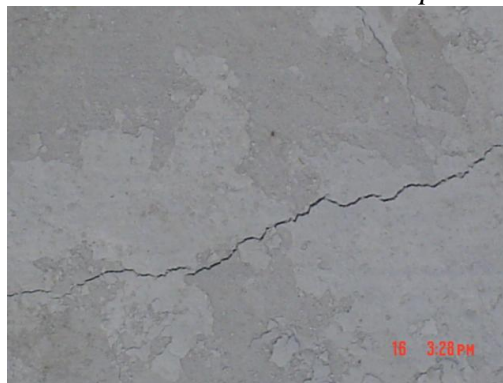
En las Instalaciones de Intaco se realizó el levantamiento de cuatro contrapisos cuyas dimensiones son: 2 x (2.5m x 2.0m x 0.06m); (1.2m x 1.90m x 0.06m); (1.93m x 1.20m x 0.06m), estos contrapiso fueron fundidos con una dosificación de mortero (1:2:3), el cemento empleado es marca Holcim, la arena procedente de Pomasqui (por la cercanía al lugar), la cantidad de agua que se empleó fue de 80 lts para los contrapisos grandes y un promedio de 36 lts de agua para los contrapisos pequeños, adicional a ello se colocó una capa de polietileno en los dos contrapisos grandes, esto impediría la presencia de humedad por capilaridad en la mampostería, ya que posteriormente se sometería a constante presencia de agua, sin embargo al poco tiempo de fundidos y curados éstos presentaron fisuras y descascaramiento en la superficie como se indica en las fotos.

Foto N° 20: Contrapiso Fisurado



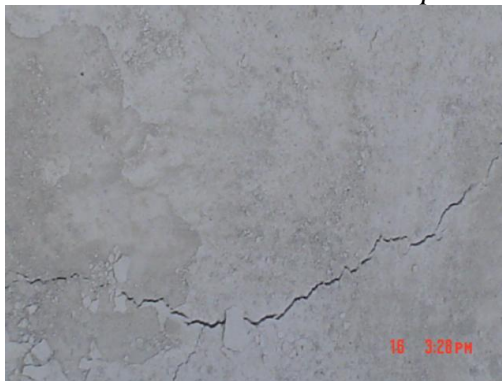
Fecha: 2006-05-16

Foto N° 21: Fisura en Contrapiso



Fecha: 2006-05-16

Foto N° 22: Fisura en Contrapiso



Fecha: 2006-05-16

La presencia de estas fisuras se atribuye a un exceso de agua al momento de elaborar el mortero, de contar con 24 a 25° C. de temperatura ambiente al colocar la mezcla sobre el área a fundirse y a la espera de media hora a la que estuvimos sometidos hasta nuevamente elaborar más mortero.

A pesar de que la mezcla se realizó con concretera, los resultados no fueron satisfactorios, por lo que para corregir estos imperfectos se colocó una capa de 3 mm de sellante Maxicrete con 4 lts de agua, de esta manera se cubrieron las fisuras.

Sobre estas superficies se alzó 1 m² de mampostería intercalando entre bloque de (40 x 20 x 15 cm.) y ladrillo mambrón de (35 x 16 x 8cm). Se empleó 12 bloques y 33 ladrillos por cada pared levantada para ejecutar el mencionado trabajo. Es importante mencionar que para levantar la mampostería se debe mojar el material por lo menos un día antes de su utilización (de tratarse con ladrillo), lo que facilitará la adherencia del mortero con el material. La dosificación empleada para la realización del mortero sellante y el enlucido de las paredes fue (1:3), puesto que esta es la dosis más empleada en las obras de la capital.

En las actividades realizadas se observó que previa la utilización del ladrillo, el material ya presentaba ligeras eflorescencias, las mismas que serían más notorias durante el remojo del material y posteriormente al entrar en contacto con el mortero.

Foto N° 23: Ladrillo con eflorescencias



Fecha: 2006-07-5

Foto N° 24: Vista de Mampostería Levantada



Fecha: 2006-07-25

Culminado el levantamiento de las paredes, se las enlucó utilizando la proporción antes mencionada y a 1 ½ cm de espesor para lo cual se empleó distintas arenas tal como se las expende en las distribuidoras de material. Los morteros realizados fueron: (Lloa, Pintag, Pomasqui) y adicional a ello se probó el Mortero Proyectable de Intaco, con el afán de observar el comportamiento de estos morteros frente a los diversos cambios climáticos por los que atraviesa la ciudad de Quito.

Posterior al enlucido se hizo un canal de (0.10 x 2.5 x 0.10) alrededor de los contrapisos para que el agua permanezca continuamente y ver la reacción de contrapisos y mampostería.

Los resultados obtenidos luego de dejar por espacio de cinco meses a la intemperie la mampostería fueron poco satisfactorios, debido a que encontramos muchas fisuras en contrapisos y en el enlucido de las paredes hechas con el material de Lloa y Pomasqui como se indica en las fotos.

***Foto N° 25: Mampostería enlucida con Arena de Lloa
(Luce bien fisurada)***



Fecha: 23-03-2007

Foto N° 26: Mampostería enlucida con Arena de Pomasqui



Fecha: 23-03-2007

Las fisuras presentes en la mampostería se deben a que existe un módulo de finura que es superior a los rangos establecidos por las normas tal como se indica en la tabla 57. Definiendo al módulo de finura como un índice que señala la finura del agregado puesto que mientras más alto es, más grueso será el agregado y al ser más grueso requiere de mayor cantidad de cemento para ligar bien

las partículas de arena. Además las normas señalan que el rango del módulo de finura no debe ser inferior a 2.3 ni superior a 3.1.

En este estudio se observa que las arenas trabajadas tal como las expenden tienen módulos de finura superiores al rango señalado por lo que se recomienda realizar un ajuste en las proporciones tanto de agregado fino como de cemento cuando se vaya a trabajar en obra, puesto que como vemos los resultados son poco satisfactorios y disminuyen la durabilidad de la mampostería.

TABLA N° 9.32: DATOS INTERPOLADOS PARA OBTENCIÓN DE MÓDULO DE FINURA DE LAS ARENAS ENSAYADAS

Tamiz	x	% Material que pasa Pintag	% Material que pasa Chasqui	% Material que pasa Lloa	% Material que pasa Sto. Domingo	% Material que pasa Pomasqui	% Material que pasa Intaco	% Retenido acumulado Pintag	% Retenido acumulado Chasqui	% Retenido acumulado Lloa	% Retenido acumulado Sto. Domingo	% Retenido acumulado Pomasqui	% Retenido acumulado Intaco
4	4,75	78,23	96,10	96,96	98,22	100,34	100,00	21,77	3,90	3,04	1,78	-0,34	0,00
8	2,36	62,00	93,00	80,00	92,00	99,00	100,00	38,00	7,00	20,00	8,00	1,00	0,00
10	2,00	58,07	90,49	75,51	89,01	94,40	100,00	41,93	9,51	24,49	10,99	5,60	0,00
16	1,18	48,00	79,00	60,00	74,00	73,00	78,00	52,00	21,00	40,00	26,00	27,00	22,00
30	0,60	36,00	64,00	44,00	58,00	49,00	50,00	64,00	36,00	56,00	42,00	51,00	50,00
40	0,43	29,74	55,18	36,35	48,69	37,99	39,40	70,26	44,82	63,65	51,31	62,01	60,60
50	0,30	24,00	47,00	30,00	40,00	29,00	33,00	76,00	53,00	70,00	60,00	71,00	67,00
100	0,15	12,00	31,00	16,00	22,00	14,00	25,00	88,00	69,00	84,00	78,00	86,00	75,00
200	0,08	5,46	14,60	4,08	6,18	0,44	20,09	94,54	85,40	95,92	93,82	99,56	79,91
<i>Módulo de Finura calculado:</i>								5,46	3,30	4,57	3,72	4,03	3,55

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado}}{100}$$

Causó cierto cuestionamiento el enlucido hecho con arena de Pintag, ya que este presentaba pocas fisuras (casi nada); siendo el material más propenso a reaccionar con el agua ya que en su composición presenta pequeños porcentajes de arcilla, lo que no posee los otros materiales.

Foto N° 27: Mampostería enlucida con Arena de Pintag



Fecha: 23-03-2007

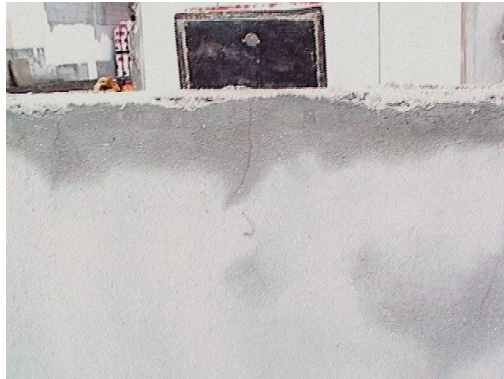
Además se observa manifestaciones de humedad en ciertas áreas de mampostería a las que se les colocó polietileno, esto fue más notario en el mortero proyectable y es debido a que su arena tiene altos contenidos de arcilla (40%) con respecto a los otros materiales y microfisuras en la mampostería enlucida con Enlumax.

***Foto N° 28: Mampostería enlucida con Enlumax de Intaco
(Ligera humedad y presencia de microfisuras)***



Fecha: 23-03-2007

**Foto N° 29: Mampostería enlucida con EnlumaX de Intaco
(Presencia de microfisura parte superior)**



Fecha: 23-03-2007

Referencias Bibliográficas

1. La patología y los estudios patológicos, en Metodología de la restauración y de la rehabilitación. MONJO. 1997.
2. Las Humedades en la Construcción. Ulsamer y Joseph Ma. Minoves. Pág. 153.
1964
3. Procedimiento de restauración y materiales: Protección y Conservación de edificios artísticos e históricos. Prado. 1999.

6.5 Referencias Bibliográficas

9. MANUAL DE REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.
Paulo Helene, Fernanda Pereira. Capítulo I. Acciones sobre las Estructuras de Hormigón. Págs. Consultadas: 1-57.
10. ASEFA. SOCIEDAD ANÓNIMA DE SEGUROS Y REASEGUROS.
PATOLOGÍAS DE LA CONSTRUCCIÓN N° 50. Análisis de Fisuras en Cimentaciones. www.asefa.es. 2004.

11. ACI 224 1R-93- CAUSAS, EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE FISURAS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. Varios autores.

www.init.gov.ar/airsoc/pdf/publicom/Causas_evaluacion_reparacion.pdf.

12. FISURAS, GRIETAS Y RAJADURAS EN MAMPOSTERÍA.

www.proyectoyobra.com

13. CÓMO ALICATAR LAS PAREDES?

www.facildehacer.com/albanileria/albanileria_tareas.

14. PREVENGA LAS FISURAS EN LAS PAREDES DE CONCRETO. Carolina

Carazo. www.clavosymartillos.com/htm/revista. 2005.

15. CAUSAS DE LA HUMEDAD. www.mailxmail.com. 2005.

16. FISURAS EN HORMIGONES. Su caracterización y reparación. Julio Torrejón.

Ing. Asesor ICHA. [www.revistabit.cl/body_articulo.asp? Articulo=948](http://www.revistabit.cl/body_articulo.asp?Articulo=948). 29 de marzo 2003.