

2. ESTRUCTURAS DE CONCRETO

2.1 Introducción a Estructuras de concreto

2.1.1 Propiedades del hormigón

Para el diseño de estructuras de hormigón simple, de hormigón armado, de hormigón preesforzado, de hormigón con perfiles laminados en caliente de acero, etc. se utilizan las propiedades mecánicas del hormigón endurecido. Entre las más importantes se tienen:

- Resistencia a la compresión
- Modulo de elasticidad
- Ductibilidad
- Resistencia a la tracción
- Resistencia al corte

2.1.2 Características mecánicas del hormigón.

Manejabilidad

Un hormigón fresco se considera manejable cuando puede adaptarse fácilmente a cualquier forma de encofrado, con un mínimo de trabajo mecánico (vibración) aplicado. Cuantitativamente la manejabilidad se mide mediante el asentamiento del Cono de Abrams o el diámetro de dispersión de la mesa de Flujo; mientras mayor es el asentamiento o mayor es el diámetro de dispersión, el hormigón es más manejable.

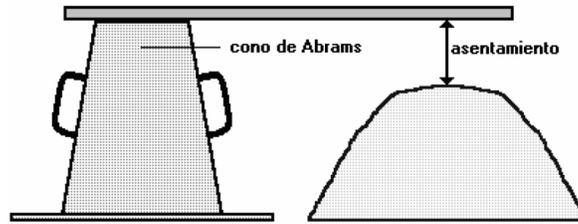


Figura 2.1 Medición de la manejabilidad

Asentamientos menores a 2" (5 cm) corresponden a hormigones poco manejables; asentamientos entre 3" (7.5 cm) y 5" (12.5 cm) corresponden a hormigones medianamente manejables; asentamientos superiores a 6" (15 cm) son característicos de hormigones muy manejables.

Modulo de elasticidad

Cuando se dibujan las curvas Esfuerzo-Deformación ($\epsilon - \sigma$) de las muestras cilíndricas de hormigón, sometidas a compresión bajo el estándar ASTM (American Standard Test Method), se obtienen diferentes tipos de gráficos que dependen fundamentalmente de la resistencia de la rotura del material, como se muestra en la siguiente figura.

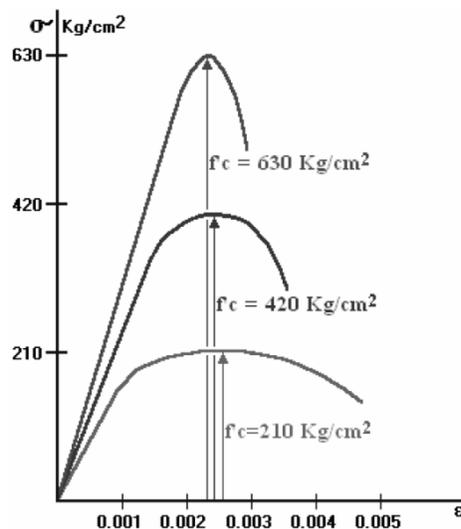


Figura 2.2 Modulo de elasticidad

Estructuras de concreto

Los hormigones de menor resistencia suelen mostrar una mayor capacidad de deformación que los hormigones más resistentes.

Todos los hormigones presentan un primer rango de comportamiento relativamente lineal (similar a una línea recta en la curva esfuerzo – deformación) y elástico (en la descarga recupera la geometría previa a la carga) ante la presencia incremental de sollicitaciones de compresión, cuando las cargas son comparativamente bajas (menores del 70 % de la carga de rotura), y un segundo rango de comportamiento no lineal e inelástico (con una geometría curva en la curva esfuerzo – deformación) cuando las cargas son altas.

La pendiente de la curva en el rango de comportamiento lineal recibe la denominación de Módulo de elasticidad del material o Módulo de Young, que se simboliza “ E_c ”.

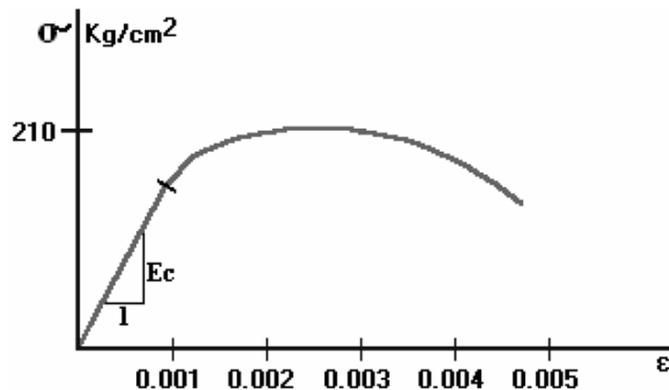


Figura 2.3 Curva esfuerzo-deformación

El modulo de elasticidad puede calcularse mediante la siguiente expresión

$$E_c = \frac{\sigma_{c,1}}{\varepsilon_{c,1}}$$

El modulo de elasticidad es diferente para distintas resistencias a la compresión de los hormigones, e incremente un valor cuando la resistencia del concreto es mayor. El ACI (American Concrete Institute) propone la siguiente expresión

obtenida experimentalmente, como forma aproximada de calcular el módulo de elasticidad del hormigón, en función de la resistencia a la compresión del mismo

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$$

Donde

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón medido en Kg/cm²

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón medida en Kg/cm²

2.2 Vida útil de las estructuras

2.2.1 Durabilidad y resistencia del hormigón

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del hormigón se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas, que duran unos pocos minutos. Esta resistencia se mide después de 28 días de fraguado bajo condiciones controladas de humedad [1]

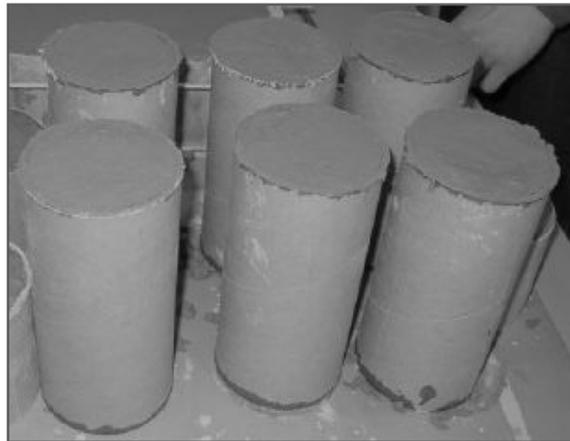


Figura 2.4 Muestras de cilindros estandarizados

2.2.2 Granulometría

La granulometría del hormigón consiste en la distribución del tamaño de sus partículas, ésta se determina haciendo pasar una muestra representativa de hormigón por una serie de tamices ordenados, de mayor a menor. Cada uno de estos pesos retenidos se expresa como porcentaje (retenido) del peso total de la muestra.

El porcentaje acumulado que pasa, que será simplemente la diferencia entre 100 y el porcentaje retenido acumulado. Fórmula $\% \text{ pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$.

Los resultados de un análisis granulométrico también se pueden representar gráficamente lo cual a este grafico se llama curva granulométrica. Estas gráficas se representan por medio de dos ejes perpendiculares entre sí, horizontal y vertical, en donde las ordenadas representan el porcentaje que pasa y en el eje de las abscisas la abertura del tamiz cuya escala puede ser aritmética, logarítmica o en algunos casos mixtos.

Las curvas granulométricas permiten visualizar mejor la distribución de tamaños dentro de una masa de agregados, permitiendo conocer además que tan grueso o fino es el hormigón. En consecuencia hay factores que se derivan de un análisis granulométrico como son:

- Tamaño máximo: Es el menor tamiz por el que se pasa toda la muestra.
- Tamaño máximo nominal: El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado, la malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

2.3 Técnicas existentes de monitoreo de la integridad y condiciones físicas de estructuras de concreto

La evaluación periódica del estado de salud de las estructuras civiles de concreto demanda un sistema de monitoreo activo. Por ejemplo, el concreto considerado como un material duradero, esta siempre expuesto a deterioración en la que se ve reflejada por la continua degradación de la estructura.

Dentro del monitoreo de la integridad de estructuras de concreto existen diferentes métodos o ensayos (como los mencionados en el capítulo 1) en donde por sus condiciones de operatividad son difíciles de implementar en el lugar o implica una mayor destreza para la interpretación de datos. Los métodos pulso-eco, radar y ultrasonido pueden tener diferentes ventajas a comparación de los métodos tradicionales.

2.3.1 Técnicas basadas en fibras ópticas

Sensor Interferómetro Fabry Perot

El principio básico del sensor Fabry Perot está basado en las multireflexiones de interferencia entre los dos espejos reflectores. Figura 2.5.

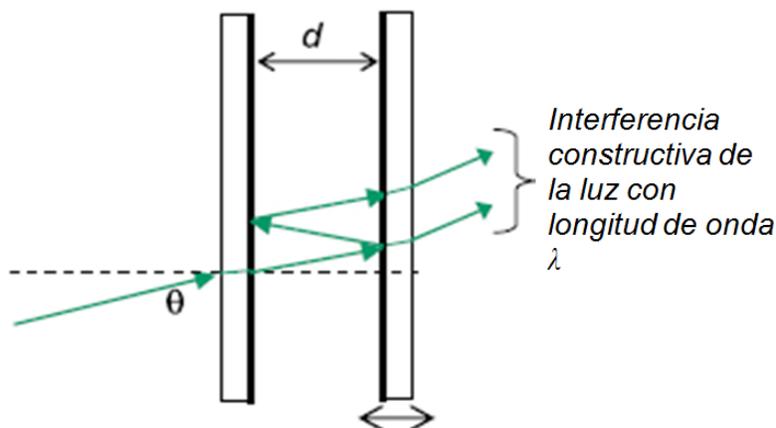


Figura 2.5 Principio de funcionamiento del sensor Fabry Perot

Estructuras de concreto

Este interferómetro construido por A. Fabry y Ch. Perot el rayo de luz incidente es dividido en varias componentes que interfieren unas con otras.

Para entender un poco más su funcionamiento, primero proponemos el análisis del interferómetro Michelson, mostrado en la figura 2.6.

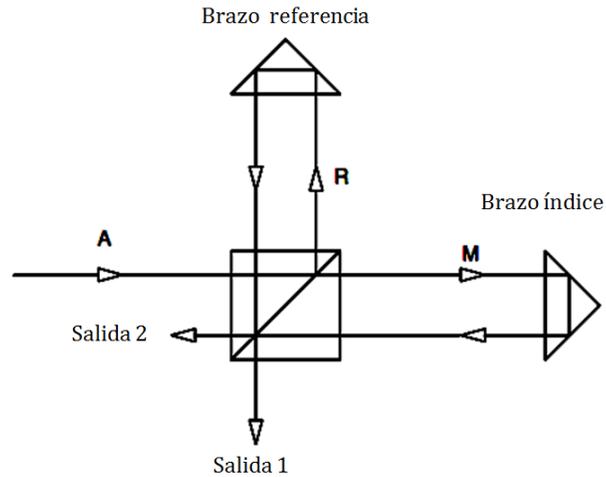


Figura 2.6 Interferómetro Michelson

El rayo incidente tiene un campo incidente $E_A = A_0 \sin(\omega t + kx_A)$

A_0 es la amplitud máxima y k es el número de onda

$$K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

El resultado Para el campo E_R es:

$$E_R = A_R \sin(\omega t + kx_R + \varphi_R)$$

Y para el campo E_M :

$$E_M = A_M \sin(\omega t + kx_M + \varphi_R)$$

$K(X_R - X_M)$ es el desfaseamiento de la onda opuesta a la onda de referencia, que ocurre porque la trayectoria del rayo incidente a través del brazo índice del interferómetro es más largo o más corto que la trayectoria del brazo de referencia. Este desfaseamiento de fase es también conocido como trayectoria de diferencia y es simbolizado como δ [2]

Φ_R y Φ_M son cambios de fase ocurridos a través de la reflexión en la superficie. Cuando las reflexiones acontecen en un reflector ideal, las ondas sufren un desfaseamiento de 180° .

Si seguimos la trayectoria del rayo a la salida 1, podemos ver que el rayo de referencia pasa por dos reflexiones y el rayo M atraviesa por tres reflexiones. El rayo M sufre un desfaseamiento de 180° opuesto al rayo de referencia.

El interferómetro Fabry-Perot hace el uso de múltiples reflexiones entre dos espacios cerrados parcialmente plateados. Parte de la luz es transmitida cada vez que la luz alcanza la segunda superficie, resultando en múltiples componentes que interfieren unas con otras. El gran número de rayos interferidos produce un interferómetro con alta resolución, así como las múltiples ranuras de una rejilla de difracción incrementa su resolución.

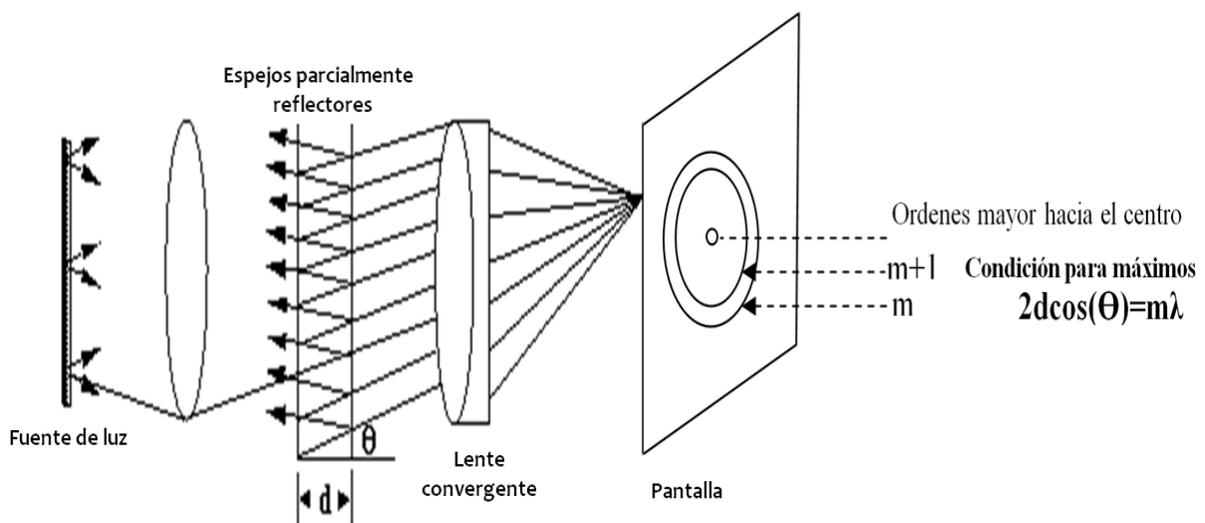


Figura 2.7 Interferómetro Fabry-Perot

Esta técnica, mencionada en diferentes artículos especializados, muestra cómo los sensores de Fabry Perot pueden ser empleados en cilindros de concreto como sensores de strain. Los resultados experimentales de la prueba de compresión del cilindro de concreto con Sistema de protección comparados con los resultados de la resistencia eléctrica son mostrados en la siguiente figura. [3]

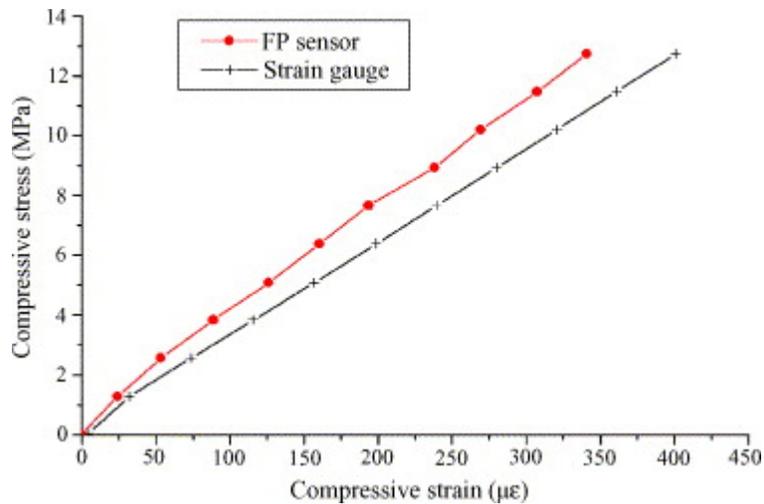


Figura 2.8 Correlación de resultados entre sensor FP y resistencia eléctrica [2]

Sensor polimérico Plate

El sensor Plate consiste en de un plato polimérico con un una fibra óptica embebida que puede ser pegada o introducida en un elemento estructural. El principio de funcionamiento es el siguiente:

Una vez la grieta es formada en un elemento estructural, el plato polimérico adherido se agrietara en la misma dirección y ubicación y una fibra interceptando la grieta a un ángulo de 90° tiene que doblarse para permanecer continua.

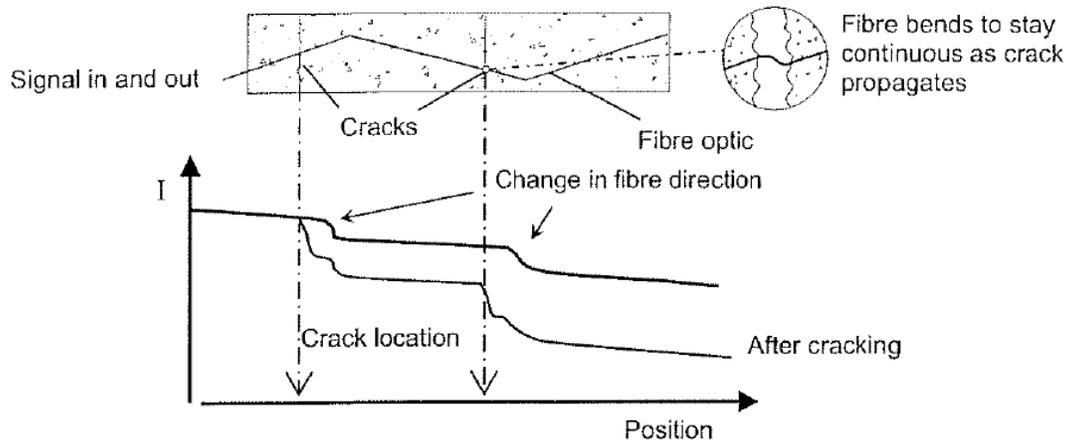


Figura 2.9 Funcionamiento sensor Plate

Esta perturbación en la fibra es muy abrupta y por lo tanto puede ser considerada como una microfisura. Estas microfisuras resultan en una caída pronunciada en la señal óptica, dependiendo de la caída de señal, la abertura de la grieta puede ser obtenida si un modelo de calibración es disponible. [4]

La elección de poliéster para la elaboración del sensor Plate está basada en su alto rendimiento y precio competitivo. Poliéster es durable y resíentete contra ataques ambientales incluyendo ataques químicos de contaminación y cambios extremos de temperatura.

Pruebas de tensión realizadas con el sensor Plate han demostrado que la ductibilidad característica del poliéster puede detectar únicamente grietas con una anchura determinada. [4] Por otra parte, para asegurar que el sensor detecta grietas delgadas, es importante asegurarse que el plato es quebradizo.

Los resultados de las pruebas de tensión llevadas a cabo en especímenes con diferentes dimensiones, geometría y densidad de los materiales agregados, demostraron que es posible incrementar eficientemente la sensibilidad del sensor.

2.4 Agrietamiento

Debido a la baja resistencia a la tensión del concreto, los elementos de este material tienden a agrietarse.

Son diversas las causas que conducen al agrietamiento del concreto, siendo la fundamentales las deformaciones debidas a cambios volumétricos y los esfuerzos ocasionados por fuerzas de tensión, por momentos flexionantes, o por las fuerzas cortantes. [5]

Los cambios volumétricos ocasionados por variaciones en la temperatura y por contracción producen esfuerzos de tensión en los elementos estructurales cuando existe algún tipo de restricción. Cuando estos esfuerzos son superiores a los que soporta el concreto se presentan agrietamientos. Estos agrietamientos pueden controlarse ya sea por medio de refuerzo apropiadamente distribuido, generalmente especificado por los reglamentos con bases empíricas, o ya sea disponiendo juntas de control que hacen que el agrietamiento aparezca en lugares definidos. El agrietamiento por cambios volumétricos es especialmente importante en elementos de concreto simple o concreto masivo.

Las fuerzas axiales de tensión, los momentos flexionantes o las combinaciones de estas acciones producen grietas normales a los ejes de los elementos estructurales. Este tipo de agrietamiento puede ser crítico cuando se utiliza acero de refuerzo con valores de esfuerzo de fluencia iguales o superiores a 4000 Kg/cm² o cuando las cuantías de acero son excepcionalmente altas. Aunque el agrietamiento no puede eliminarse por completo, en estructuras adecuadamente diseñadas con un detallado conveniente del refuerzo las grietas son de ancho pequeño, generalmente del orden de 0.1 mm y raras veces superiores a 0.5 mm, de manera que no afectan a la resistencia ni a la durabilidad de los elementos.

Estructuras de concreto

Grietas superiores de 0.2 mm pueden permitir la penetración de agua y sal (de agua de mar) induciendo la corrosión del metal. Estructuras con grietas mayores por varios mm pueden ser severamente dañadas y deben permanecer cerradas para una inspección detallada y/o reparación.

En particular, el monitoreo de grietas es útil en la determinación del estado de salud de las estructuras de concreto, en donde la degradación de las estructuras esta siempre acompañada por la formación de grietas.

.

Conclusiones

Las propiedades del hormigón dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes de la mezcla, así como de las condiciones de humedad y temperatura durante los procesos de fabricación y de fraguado.

La propiedad mecánica más importante del hormigón es la resistencia a la compresión, la cual debe ser lo suficientemente elevada para resistir todas las cargas previsibles que puedan actuar durante la vida útil de la estructura. El hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a demandas de tracción.

Desde hace varios años se ha demostrado que los sensores Fabry Perot tienen gran desempeño como sensores en estructuras de concreto, los resultados han demostrado una buena relación con sensores convencionales de resistencia eléctrica. Sin embargo, los sensores Fabry Perot junto con las Rejillas de Bragg no pueden localizar exactamente una grieta en una estructura de concreto debido su funcionamiento puntual.

El sensor polimérico Plate demuestra buen funcionamiento para detectar grietas con una anchura determinada. Varias grietas pueden ser detectadas, localizadas y monitoreadas con una sola fibra. Es elaborado con poliéster lo que hace un sensor competitivo en precio. Aunque es relativamente fácil la interpretación de datos, la desventaja del sensor Plate radica en la implementación en el lugar.

Bibliografía

- [1] Marcelo Romo Proaño, “Temas de hormigón armado”. Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.
- [2] Dickmann, Dr. W. Luhs, “Experiment 03 Fabry Perot Resonator”, Didactic Counsellor, MEOS GmbH 79427 Eschbach – 1992/2003.
- [3] J.S. Leng, R. A. Barnes, A. Hameed, D. Winter, J. Tetlow, G.C. Mays, G. F. Fernando, “Structural NDE of concrete structures using protected EFPI and FBG sensors”, Harbit Institute of technology, Royal Military College of Science, UK, 2005.
- [4] Cruz, P.J.S., León, A.D., “A new sensor for crack detection in concrete structures”, sustainable bridges.
- [5] González Cuevas Oscar, Francisco Robles Fernández- Villegas, “Aspectos fundamentales del concreto reforzado”, Tercera edición, Limusa, México, 1995.