

FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CIVIL

**Investigación teórica de la aplicación de concreto de alta resistencia en
Estructuras**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

Como parte de los requisitos para optar al título de

INGENIERO EN CIVIL

Realizado por

Francys Martínez

Profesor Guía

Vincenzo Bonadío

Fecha

10/03/2017

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios, por darme la salud y la fortaleza necesaria para lograr esta meta, por hacerse presente cuando sentí ganas de desistir, en fin por estar a mi lado siempre.

A mis padres Mary Fiorini y Juan Francisco Martínez, gracias a ellos es que cada día sigo luchando para lograr las metas que me propuse. Le agradezco a dios por estar cada momento conmigo y por darle mucha salud a mi familia.

A Jesús Guerrero ya que sin él esto no habría sido posible, por tantos momentos juntos y por nuestra hermosa Paulina que es mi motor de vida.

También le doy gracias al Ing. Vincenzo Bonadío por todo el apoyo, comprensión y enseñanza, por ser más que un tutor, un gran amigo, un guía, que en todo momento hizo todo por transmitir sus conocimientos y ayudarme a lograrlo.

Finalmente, a todas aquellas personas que siempre confiaron en mí, familiares, amigos y a mis compañeros que formaron parte de ese logro, por todo el apoyo y los buenos momentos vividos en la carrera.

Tabla de contenido

INTRODUCCION	5
CAPITULO I.....	6
PROBLEMA DE LA INVESTIGACION.....	6
1. Planteamiento del Problema.....	6
1.1 Objetivos de la investigación.....	7
1.2.1 Objetivo general	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.2 Justificación	7
1.3 Alcance y Limitaciones	8
CAPITULO II.....	9
MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL.....	9
2.1 Diseño de la investigación	9
2.2 Operacionalización de los objetivos del trabajo especial de grado	10
2.3 Etapas de la investigación	12
2.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos	12
CAPITULO III.....	13
MARCO METODOLÓGICO.....	13
3.1 Concreto de alta resistencia	13
3.1.1 Definición.....	13
3.1.2 Consideraciones generales.....	13
3.1.3 Antecedentes históricos.....	14
3.1.4 Componentes	15
3.2 Cemento	16
3.3 Agregados.....	17
3.4 Agua.....	20
3.5 Aditivos	20
3.5.1 Aditivos químicos	20
3.5.2 Sika de Venezuela S.A.....	22
3.5.3 Tecnoconcret.....	23
2.5.4 Adiciones minerales	23
3.6 Diseño de Mezcla	24
3.7 Control de Calidad	32

3.8 Experiencias en América Latina.....	32
3.8.1 Experiencias en Chile.....	33
3.8.2 Experiencias en México.....	34
3.8.5 Experiencias en Venezuela.....	38
CAPIULO IV.....	39
DISEÑO Y MODELACION DE UN PORTICO DE 8 PISOS POR MEDIO DEL PROGRMA SAP2000	39
4.1 Descripción General del Pórtico.....	39
4.2 Consideraciones Generales.....	39
4.3 Características de los pórticos.....	40
4.4 Parámetros de diseño.....	40
4.4.1 Pre dimensionado.....	42
4.4.2 Combinación de Carga.....	42
4.5 Espectro de diseño.....	42
4.5.1 Resultados del Espectro de diseño.....	43
4.6 Análisis de los pórticos mediante el programa SAP 2000.....	49
4.6.1 Cantidad de Acero en la estructura.....	49
4.6.2 Secciones mínimas de las Columnas y vigas.....	53
4.6.2 Reacciones Máximas en los Apoyos.....	53
4.6.2 Momentos en las Columnas.....	58
CAPITULO V.....	63
CONCLUSIONES.....	63
5.1 Conclusiones.....	63
5.2 Recomendaciones.....	64
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	65
REFERENCIAS ELECTRONICAS.....	66

INTRODUCCION

En los años cincuenta, un concreto con resistencia a las tensiones de compresión de 350kgf/cm^2 (34,3 MPa) era considerado de alta resistencia; hoy en día, este valor es considerado normal. En la siguiente década, valores de las tensiones de compresión de 400 a 500kgf/cm^2 (39,2 a 49.1 MPa) eran usados comercialmente en algunos sitios (principalmente en países desarrollados), y para los ochenta ya se producían concretos con valores que llegaban casi al doble.

Los concretos de alta resistencia se han podido elaborar desde los años sesenta, sin embargo solo se han podido comercializar en algunos lugares del mundo.

Los métodos y tecnologías para la producción de concreto de alta resistencia no son básicamente diferentes de las requeridas para el concreto de grado normal, excepto que en el concreto de alta resistencia el control de calidad es mayor.

El concreto de alta resistencia se caracteriza por tener una mayor resistencia a aquel que se emplea convencionalmente. Este se somete a fuerzas más altas, y por tanto requiere un aumento en la calidad de los materiales. El uso de concretos de alta resistencia permite la reducción de dimensiones de los miembros, lográndose ahorros significativos.

Por ejemplo el concreto que se usa en una construcción presforzada se caracteriza por una mayor resistencia que aquel que se emplea en el concreto reforzado ordinario. Se le somete a fuerzas más altas, y por lo tanto un aumento en su calidad generalmente conduce a resultados más económicos.

El concreto de alta resistencia no requiere el uso de materiales exóticos o de fabricación especial, pero si requiere de materiales de mayor calidad y propiedades específicas que los concretos convencionales.

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACION

1. Planteamiento del Problema

El propósito de este trabajo es realizar una investigación teórica sobre la aplicabilidad de concretos de alta resistencia, evaluando y comparando sus compuestos, comportamiento técnico y mecánico y determinar la relación costo beneficio entre el concreto normal y el concreto de alta resistencia.

El concreto es uno de los materiales de construcción más usados debido a su manejabilidad y resistencia. Se define como:

“El comité 363 del ACI denomina concretos de alta resistencia aquellos cuya resistencia especificada supere los 420 kgf/cm².” (Porrero J., Ramos C., Grases J., Velazco G. *Manual del concreto estructural 2009*. Caracas: SIDETUR.

Existen diferentes aplicaciones donde una de las más relevantes es en la construcción de edificios, las estructuras aporricadas son sistemas que presentan gran dureza en todos sus elementos y los mismos se encuentran adosados a través de juntas rígidas, estas estructuras pueden ser de concreto armado. El concreto de alta resistencia es de gran utilidad en los elementos de dichas estructura, en el cual tiene gran eficiencia en las columnas, se han realizado estudios en los que se ha demostrado distintas ventajas como la reducción en la dimensión de la sección, reducción en la cantidad de acero de refuerzo, o debido a su resistencia incrementar la cantidad de pisos.

A pesar de producirse hace varios años, siempre han presentado una dificultad importante que es el costo, por la aplicación de aditivos especiales y el control de calidad que se debe seguir en la producción.

En Venezuela actualmente existe un déficit habitacional, el área metropolitana es uno de los lugares de mayor fuente de trabajo en el país y se encuentra sobre poblada, por esta razón es factible la construcción de edificios cada vez más altos para reducir las áreas de ubicación y aprovechar al máximo las áreas edificables disponibles.

1.1 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Realizar una investigación teórica de la aplicación de concretos de alta resistencia en estructuras.

1.2.2 Objetivos específicos

- Definir concreto de alta resistencia.
- Caracterizar los componentes de un concreto de alta resistencia.
- Identificar las consideraciones especiales para el diseño de mezcla del concreto de alta resistencia.
- Comparación de ambos concretos en diseño con un modelo académico sencillo utilizando un programa computarizado.
- Estudio de los beneficios del uso de concreto de alta resistencia respecto al uso de concreto normal.
- Definir el proceso de control de calidad del concreto de alta resistencia y establecer una comparación con el concreto normal.

1.2 Justificación

El estudio tiene como finalidad investigar las diferentes características del concreto de alta resistencia y realizar comparaciones en las cuales se estudia el diseño, control de calidad, y factibilidad con respecto al concreto de uso normal.

También es importante tener en cuenta algunos puntos que son considerados como desventajas del uso de concreto de alta resistencia, como el mayor costo del material, mayor control del proceso constructivo, control estricto de materiales y tiempo entre otros aspectos.

1.3 Alcance y Limitaciones

El propósito de este trabajo es realizar una investigación teórica de la aplicabilidad de concretos de alta resistencia, evaluando y comparando sus compuestos, comportamiento técnico y mecánico y determinar la relación costo beneficio entre el concreto normal y el concreto de alta resistencia.

Con el fin de llevar a cabo y cumplir los objetivos planteados, se requiere limitar el alcance del Trabajo Especial de Grado, desarrollando únicamente los siguientes aspectos:

- Análisis de las características de los materiales para la producción de dichos concretos.
- Investigar las características físicas y químicas del tipo de cemento a utilizar y la incidencia de los diferentes tipo de aditivos presentes en el mercado.
- Planteamiento escenarios de diseño para identificar comparativamente las ventajas y desventajas del uso de concretos de alta resistencia.
- Establecer una comparación en el cálculo de las secciones transversales de elementos estructurales de concreto normal y concreto de alta resistencia.

CAPITULO II

MARCO REFERENCIAL CONCEPTUAL

En el presente capítulo, se define el marco referencial conceptual en el cual se desarrolla esta investigación, nombrando las distintas fases que se seguirán para la ejecución de la misma. Además, se definen las variables que serán analizadas con la metodología utilizada para el logro de los objetivos planteados al inicio.

2.1 Diseño de la investigación

La investigación tiene como propósito fundamental realizar la investigación teórica de la aplicación de concretos de alta resistencia en estructuras, investigando desde las características y composición del concreto, hasta el planteamiento de escenarios para identificar el comportamiento en diferentes elementos estructurales.

Para el cumplimiento de los objetivos, la investigación se define como *Investigación documental*, basada en una revisión de bibliografía especializada en concretos de alta resistencia y de las respectivas normas venezolanas.

En primer lugar, se revisaran las Publicaciones de comités del *ACI 363R-92 State of the Art Report on High-Strength Concrete* y *ACI 441R-95 High-Strength Concrete Columns: State of the Art* y las Normas Venezolanas COVENIN.

Por otro lado, se consultan distintos artículos técnicos y bibliografía especializada en el tema, recopilando la información necesaria para el desarrollo conceptual del TEG y para la elaboración del modelo estructural por medio del programa SAP 2000.

2.2 Operacionalización de los objetivos del trabajo especial de grado

El objetivo general del presente trabajo es realizar una investigación teórica de la aplicación de concreto de alta resistencia en estructuras. La Operacionalización de los objetivos, se define tal como se muestra en la siguiente clasificación:

Objetivos Específicos:

- 1) Definir concreto de alta resistencia.
 - Variables: Norma Americana *ACI 363R-92 State of the Art Report on High-Strength Concrete*.
 - Técnicas: Análisis Documental.
 - Instrumentos: Citas y notas de referencia de la Norma, Literatura especializada.
 - Fuentes de Información: Norma *ACI 363R-92 State of the Art Report on High-Strength Concrete*.

- 2) Caracterizar los componentes de un concreto de alta resistencia.
 - Variables: Normas Venezolanas COVENIN 277-2000 Concreto. Agregados. Requisitos (ASTM C33), COVENIN 3134:1994 Cemento Portland con adiciones. Especificaciones (ASTM C465), COVENIN 356:1994 Aditivos utilizados en el concreto. Especificaciones. (ASTM C494 y C1017).
 - Técnicas: Análisis Documental.
 - Instrumentos: Citas y notas de referencia de la Norma, Literatura especializada.
 - Fuentes de Información: COVENIN 277-2000 Concreto. Agregados. Requisitos (ASTM C33), COVENIN 3134:1994 Cemento Portland con adiciones. Especificaciones (ASTM C465), COVENIN 351:1994 Aditivos químicos utilizados en el concreto. Métodos de ensayo (ASTM C494 y C1017).

- 3) Identificar las consideraciones especiales para el diseño de mezcla del concreto de alta resistencia.
 - Variables: COVENIN 1753:2003 Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural. PORRERO, RAMOS, GRASES, VELAZCO. (2012) *Manual del Concreto Estructural*, Cuarta Edición, SIDETUR. Caracas.
 - Técnicas: Análisis Documental.

- Instrumentos: Citas y notas de referencia de la Norma, Literatura especializada.
 - Fuentes de Información: COVENIN 1753:2003 Proyecto y Diseño de Obras en Concreto Estructural. PORRERO, RAMOS, GRASES, VELAZCO. (2012) *Manual del Concreto Estructural*, Cuarta Edición, SIDETUR. Caracas.
- 4) Comparación de ambos concretos en diseño con un modelo académico sencillo utilizando un programa computarizado.
- Variables: Configuración de los Pórticos, Secciones y Resistencias Especificadas Variables.
 - Técnicas: Modelado por computadora
 - Instrumentos: Programa SAP2000
 - Fuentes de Información: Bibliografía especializada, Manual de Usuario SAP2000.
- 5) Estudio de los beneficios del uso de concreto de alta resistencia respecto al uso de concreto normal.
- Variables: Comparación concreto convencional con respecto al concreto de alta resistencia.
 - Técnicas: Análisis documental
 - Instrumentos: Citas y notas de referencias de las normas, literatura especializada.
 - Fuentes de Información: Bibliografía especializada.
- 6) Definir el proceso de control de calidad del concreto de alta resistencia y establecer una comparación con el concreto normal.
- Variables: COVENIN 338:2002 Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (ASTM C31, C39 y C192)
 - Técnicas: Análisis documental
 - Instrumentos: Citas y notas de referencias de las normas, literatura especializada.
 - Fuentes de Información: COVENIN 338:2002 Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto (ASTM C31, C39 y C192), PORRERO, RAMOS, GRASES, VELAZCO. (2012) *Manual del Concreto Estructural*, Cuarta Edición, SIDETUR. Caracas.

2.3 Etapas de la investigación

El proceso de desarrollo de este trabajo está enmarcado por las siguientes etapas de investigación: Etapa de Organización, Etapa de Investigación, Etapa de Aplicación, Etapa de Integración y Etapa de Escritura del TEG.

La Etapa de Organización, incluye la identificación del tema y el desarrollo de un corto borrador, como base para la investigación.

La Etapa de Investigación, consiste en el planteamiento del problema de investigación, descripción de los objetivos que se llevaran a cabo, justificación, limitaciones y alcance del estudio, revisión de la bibliografía especializada.

La Etapa de Aplicación, consiste en la descripción de la metodología a seguir para la resolución del problema de investigación, señalando instrumentos y técnicas empleadas para lograr cumplir los objetivos. Conjuntamente se realiza el modelado en el programa ETABS de un pórtico con distintas resistencias especificadas y secciones para analizar el comportamiento de los elementos.

La Etapa de Conclusión, se refiere al desarrollo de conclusiones y recomendaciones producto de la investigación.

Para culminar, La Etapa de Escritura del TEG donde se ensambla el tomo escrito.

2.4 Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

La investigación es definida como *Investigación Documental*, en la cual la recolección de datos está basada en la revisión de la literatura especializada que cuenta con toda la información necesaria en el tema de concretos de alta resistencia. Consta del estudio y análisis de libros, normativas vigentes, artículos técnicos de internet. A través de esta técnica, se obtendrá la información necesaria para establecer el marco de referencia conceptual de esta investigación.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se plantea el marco metodológico con el cual a través de una investigación documental, se realizó la base para desarrollar el presente Trabajo Especial de Grado.

Contiene toda la base teórica del concreto de alta resistencia, dando a conocer sus propiedades y características para su aplicación en estructuras.

3.1 Concreto de alta resistencia

3.1.1 Definición

El comité 363 del ACI define a un concreto de alta resistencia como aquel que alcanza una resistencia igual o superior a los 500 kgf/cm² a los 28 días. Es el que reúne una combinación especial de requerimientos que no siempre pueden ser logrados usando materiales tradicionales, mezclado normal, criterios de colocación normales y prácticas de curado ordinaria.

3.1.2 Consideraciones generales

La práctica actual sugiere una resistencia de 350 a 500 kgf/cm² para el concreto de alta resistencia, mientras el valor correspondiente para el concreto normal es de 200 a 250 kgf/cm² aproximadamente. Es importante conocer los beneficios del concreto de alta resistencia y conocer sus características para el aprovechamiento en las construcciones.

A pesar de producirse hace varios años, siempre han presentado una dificultad importante que es el costo. Sin embargo en los últimos años ha ido cambiando debido al uso de aditivos, que poco a poco han facilitado su inclusión.

Este tipo de concreto, al igual que los concretos convencionales, está conformados por el material cementante, agregados, agua y aditivos, así como parámetros de diseño de mezcla como la relación agua cemento, tamaño máximo, trabajabilidad, entre otros.

Los agregados triturados y lavados de primera calidad, y aditivos especiales aumentan el desarrollo de la resistencia sin afectar negativamente sus características básicas como cohesión, trabajabilidad, tiempos de fraguado.

El uso de concreto de alta resistencia permite la reducción de las dimensiones de la sección de los miembros, conveniente ahorro en peso en la estructura y proyectar estructuras más altas o con exigencias de resistencia mayores.

3.1.3 Antecedentes históricos

El concreto de alta resistencia es considerado relativamente un material nuevo, que se ha desarrollado en los últimos años. En la década de los 60 y 70 fue introduciéndose en el mercado de los edificios de gran altura en Chicago.

Se le llama concretos de alta resistencia por su elevada resistencia a la compresión en comparación con los concretos convencionales. Este concreto se fue expandiendo gradualmente, tanto que en el año 1997 ya se estaba utilizando alrededor de todo el mundo y despertando a su vez el interés de muchos investigadores por conocer mejor las propiedades de este nuevo y especial concreto.

En principio, la forma de obtención de una mayor resistencia era disminuir el índice de vacíos del concreto, lo cual se puede lograr también disminuyendo la relación agua/cemento a los niveles mínimos para la hidratación del cemento, utilizando plastificantes, superplastificantes y reductores de agua para obtener mejor trabajabilidad en obra.

A partir de estas primeras experiencias fueron aumentando los conocimientos de la relación entre calidad de los agregados y la calidad del concreto: tamaño máximo de los agregados gruesos, módulo de finura, módulo de finura de los agregados finos, tipo de cemento utilizado, tipo de plastificante o superplastificantes utilizado.

Un ejemplo de aplicación de concretos de alta resistencia en los últimos tiempos son las torres Petronas de Kuala Lumpur, es uno de los edificios más grandes del mundo, con una altura de 451 metros. Construidas con concreto de alta resistencia que le dieron una mayor rigidez a la estructura comparada con los construidos con estructuras de acero.



Fig. N°1 Torres Petronas.

Fuente: <http://www.tublogdearquitectura.com/?p=4288>

3.1.4 Componentes

Todos los materiales que se utilizan para la fabricación de un concreto de alta resistencia deben ser cuidadosamente seleccionados empleando todas las técnicas disponibles para asegurar uniformidad y la calidad del suministro.

Es necesario tomar en cuenta las características del cemento, tamaño máximo del agregado, forma y textura de las partículas, efecto de los aditivos plastificantes retardadores, puzolanas y microsílíce. Las mezclas de prueba serán indispensables para asegurar que se obtiene la resistencia deseada y que los materiales constitutivos son compatibles.

Para la producción de concretos de alta resistencia se deben cumplir con requisitos de viabilidad y con requisitos más rigurosos para el desarrollo y selección de materiales que para concretos de resistencia convencional.

La selección adecuada de los materiales para estructuras de concreto depende del tipo de estructura, de las características, de los agregados y del método de construcción.

3.2 Cemento

Es definido según la norma venezolana COVENIN 28-2003, como el producto obtenido por la pulverización de clinker portland, el cual consiste esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, con adición de agua y sulfato de calcio.

La elección del cemento portland para concretos de alta resistencia es muy importante, por ser el cemento el componente más activo del concreto y teniendo en cuenta de que las propiedades del concreto dependen de la cantidad y del tipo de cemento a usarse se debe realizar una dosificación adecuada, este debe cumplir con requisitos de uniformidad señalados en la norma ASTM C917.

Inicialmente, los certificados de prueba de silo se deben obtener de los proveedores potenciales para los últimos 6 a 12 meses. Esto no solo dará una indicación de las características de resistencia de la prueba de cubo de mortero según la norma ASTM C 109, si no también, y más importante aún, que proporcionara una indicación de la uniformidad del cemento. Si bien los ensayos de cubo de mortero pueden dar una aceptable indicación de la resistencia potencial, es recomendable hacer ensayos con mezclas de concreto. Estas deben contener los materiales que van a ser empleados en obra, preparados con la consistencia propuesta, y determinar su resistencia a 7, 28, 45 y 90 días de edad.

En Venezuela específicamente en Caracas hay poca producción de concretos de alta resistencia, pero existe en el mercado concreto de alta resistencia utilizado para reparaciones estructurales. Este es dimensionalmente estable y forma una unión integral al concreto existente y restablece su integridad estructural. Esta sola propiedad incluye también un desarrollo rápido de resistencia, de modo que los pisos, paredes y otros elementos estructurales puedan ser puestos en uso en el tiempo más corto posible.

Este tipo de concreto es recomendado principalmente para columnas, vigas, garajes, estacionamientos, plataformas de carga entre otros.

Actualmente en Venezuela la industria del cemento y la producción es manejada por La Industria Venezolana de Cemento INVECEM. En 2008 el estado venezolano anuncio el reordenamiento de la industria cementera con la finalidad de dar innovación tecnológica, garantizar la constante inversión, la ampliación de la cobertura geográfica del suministro del cemento y los materiales de construcción.

Esta empresa tiene como actividad la producción, venta y comercialización del cemento, piezas estructurales, tubos de cemento y concreto. Tienen plantas ubicadas en el territorio nacional; la planta productora de cemento se encuentra ubicada en el estado Falcón en Puerto Cumarebo, los centros de ventas se encuentran en Coro, Valencia, Maracay, Guatire y Caracas.

Se producen distintos tipos de cemento tales como Portland Tipo I para obras de concreto que requieran alto desempeño, entre el concreto premezclado se tiene el Concreto de Alta

resistencia, para estructuras que requieran alta resistencia a la compresión a los 28 días, Concreto de Alta resistencia inicial para concretos que requieran un rápido desarrollo de resistencia a temprana edad, Concreto Bombeable, con fibra, tradicional entre otros.

3.3 Agregados

Los agregados o áridos son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades específicas son abaratar a la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción de fraguado o retracción plástica.

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa de concreto, ya que alcanzan a representar entre el 70% y el 85% de su peso, razón por la cual las propiedades inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla. Están constituidos por dos fracciones granulares, una formada por partículas finas denominada arena o grano fino y otro por granos grandes, que pueden ser rocas trituradas a tamaños convenientes o granos naturales redondeados por el arrastre de las aguas denominado agregado grueso.

Deben cumplir con requisitos de calidad de los agregados y efectuar ciertos ensayos en condiciones específicas como realizarse sobre muestras representativas del yacimiento y debe ser llevado a cabo en laboratorios con personal y equipos adecuados siguiendo el procedimiento normativo.

Ambos agregados finos y gruesos utilizados para el concreto deben cumplir con la Norma Venezolana COVENIN 277:1998 Concreto, agregados requisitos.

El agregado grueso tiene una mayor influencia en los concretos de alta resistencia por sus características y configuración geométrica, su estado superficial, granulometría, propiedades mecánicas y estabilidad química. Por lo general, las gravas pequeñas son más resistentes que las de mayor tamaño, debido a que en el proceso de trituración se eliminan defectos internos de la roca de origen, como son poros, micro fisuras, materiales blandos, entre otros.

Muchos estudios han demostrado que la piedra triturada produce resistencias más altas que la grava redondeada. La razón más probable de esto es la mayor unión mecánica que puede desarrollarse con partículas angulares. Sin embargo, angulosidad acentuada se debe evitar debido a la alta demanda de agua auxiliar y menor trabajabilidad. Los agregados ideales deben estar limpios, cúbicos, angulares y con un mínimo de partículas planas y alargadas.

Se recomienda que el agregado grueso proceda de rocas ígneas plutónicas de grano fino, que han enfriado en profundidad, con dureza no menor de 7 y una resistencia a la compresión no

menor del doble de la resistencia que se desea alcanzar en el concreto. La capacidad de absorción del agregado deberá ser menor de 10%.

Características deseables en el agregado grueso se basan principalmente en el tamaño máximo que debe mantenerse entre $\frac{1}{2}$ " (12,7mm) y $\frac{1}{4}$ " (6,35mm). Estos pequeños tamaños además de proporcionar una mayor superficie adherente, disminuyen los efectos en torno a ellos. El agregado grueso debe tener un tamaño máximo pequeño para conseguir una superficie de contacto pasta-grava mayor y aumentar la superficie de adherencia.

El concreto de alta resistencia se puede producir con una amplia gama de agregados, pero los agregados con superficies lisas y/o redondeadas pueden tender a exhibir fallas de adherencia global a una intensidad relativamente baja.

La resistencia del agregado mas critica es la del agregado grueso. Para evaluarla se acude al ensayo de desgaste que produce la maquina conocida como de los Ángeles (Norma COVENIN 266, "Método de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, menores de 38,1mm ($1\frac{1}{2}$ "), por medio de la máquina de los Ángeles) con un desgaste no menor al 40%.

La selección del agregado fino se realiza sobre la base de obtener las mejores condiciones de limpieza en cuanto a materiales contaminantes, teniendo presente que no es tan relevante la granulometría para lograr concretos de alta resistencia. Es recomendable que el modulo de finura sea cercano a 3.00 este valor ayuda a obtener una mejor trabajabilidad y resistencia a la compresión.

La gradación óptima de agregado fino para concretos de alta resistencia está determinada más por su efecto sobre la demanda de agua que en el embalaje físico. Las arenas finas se deben evitar, particularmente aquella con alta absorción.

El agregado fino adecuado son arenas de rio o de minas, debe estar libre de cantidades nocivas de impurezas orgánicas.

El curado es extremadamente importante en la producción de concretos, para producir una pasta de cemento con tan alto contenido de sólidos, el concreto debe contener el agua de mezcla en lo mínimo absoluto. Sin embargo, después que el concreto está en su lugar y se establece la estructura de la pasta, el agua debe ser de libre acceso, sobre todo durante las primeras etapas de la hidratación durante este periodo, una gran cantidad de agua se combina con el cemento.



Figura N° 2. Agregados Fino y Grueso

Fuente: <https://canterassa.files.wordpress.com/2008/11/machacado1>.

Agregado	Definicion	Características deseables	Normativa
Fino	Suelen estar compuestos por arenas finas de río o provenientes de minas. Deben estar libre de cantidades nocivas de impurezas orgánicas.	El modulo de finura sea cercano a 3.00 entre el cedazo #50 y #30 este valor ayuda a obtener una mayor trabajabilidad y resistencia a compresion.	Porrero J., Grases J., Ramos C., Velazco G."Manual del Concreto Estructural" pp. 71
		Gradacion optima para mejor distribucion del material en la mezcla	COVENIN 277, "Concreto. Agregados. Requisitos"
		el contenido de ultra finos debe ser limitante incluso por debajo de lo señalado en la norma. El exceso de ultrafinos en la mezcla, favorece a la retraccion.	Porrero J., Grases J., Ramos C., Velazco G."Manual del Concreto Estructural" pp. 75
Grueso	Son agregados que pueden ser obtenidos de cualquier tipo de roca consistente, generalmente abundante. Las calizas y granito son los mas recomendados.	El Tamaño maximo Debe mantenerse entre 1/2" (12.7mm) y 1/4" (6.35mm). El tamaño maximo debe ser pequeño para conseguir una superficie de contacto pasta-grava mayor y aumentar la superficie de adherencia.	COVENIN 277, "Concreto. Agregados. Requisitos"
		forma y textura del agregado grueso, se deben evitar particulas planas y alargadas ya que dan lugar a mezclas asperas y poco trabajables	COVENIN 264 "Metodo de ensayo para determinar el cociente entre la dimension maxima y la dimenssion minima en agregados gruesos para el concreto"
		La resistencia al desgaste del agregado grueso de tamaños menores a 1 1/2" (38.1mm) por medio de la maquina de los angeles no tendra un desgaste no menor al 40%.	COVENIN 266, "Metodo de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados Gruesos. Menores de 38.1mm (1 1/2" pulgadas), Por medio de la Maquina de los Angeles"

Tabla 1. Resumen Agregados fino y grueso, Características deseables

Para la producción de concretos de alta resistencia se debe llevar un control riguroso en la calidad de los agregados, en los ensayos que se deben realizar ya que estos deben ser estrictamente inspeccionados, deben cumplir con las especificaciones establecidas en las Normas COVENIN y en lo posible superar los valores establecidos ya que la resistencia dependerá en gran parte de la calidad de esos.

3.4 Agua

Los requisitos para la calidad del agua para el concreto de alta resistencia no son más estrictas que en la del concreto convencional. Por lo general, se especifica que el agua para el concreto debe ser de calidad potable. Este es, sin duda conservador, pero generalmente no constituye un problema ya que la mayoría del concreto se produce con un suministro de agua municipal.

Debe cumplir con lo establecido en la Norma Venezolana COVENIN 2385:2000 “*Concreto y Mortero, agua de mezclado. Requisitos*”. Donde se establecen los requisitos físicos y químicos para el agua de mezclado.

El agua de mezclado cumple dos funciones hidratar el cemento y proporcionar fluidez y lubricación del concreto. Ciertas impurezas del agua pueden causar reacciones perjudiciales al concreto o alteraciones a sus propiedades. Las impurezas pueden estar en forma de solución (azúcares, sales como carbonatos, cloruros y sulfatos) o de suspensión (aceites, materia vegetal, limos, arcillas).

3.5 Aditivos

3.5.1 Aditivos químicos

Los aditivos químicos son ampliamente usados en la producción de concretos de alta resistencia, la selección del tipo, marca y dosificación de todos los aditivos, debe hacerse considerando el conjunto de materiales que se utilizan en un determinado proyecto.

Los fabricantes de aditivos químicos para el concreto compiten entre sí ofertas de productos, en muchos casos de muy similares acciones, cuyas características más frecuentes se orientan en aumentar la resistencia, modificar las velocidades del tiempo de fraguado, acelerándolo o retardándolo, o buscar mayor plasticidad de la mezcla de manera moderada.

Principalmente en concretos de alta resistencia se suelen utilizar aditivos como plastificantes y superplastificantes debido a sus características. Con añadir a la mezcla de

consistencia normal se consigue incrementar notablemente su trabajabilidad sin tener que incorporar agua, lo que reduce la relación agua-cemento sin variar la manejabilidad normal, obteniendo resistencias mecánicas mayores a todas las edades. Por este resultado, características como la impermeabilidad y la durabilidad del concreto también se ven incrementadas.

En el concreto fresco incrementa la trabajabilidad de la mezcla a bajas relaciones a/c, facilitando su colocación, reduce la segregación y aumenta la cohesividad de la mezcla. En concreto endurecido incrementa las resistencias considerablemente a todas las edades en climas fríos, medios y cálidos.

Plastificantes

Son aditivos líquidos compuestos por ligninas, libre de cloruros o de polímeros orgánicos y agentes retardadores, el pH y la densidad dependen del compuesto. Principalmente de color marrón y una durabilidad de almacenamiento aproximada de un año con las especificaciones de la empresa que lo elabora.

Superplastificantes

Son aditivos químicos, líquidos a base de resinas de naftaleno, libre de cloruros de color marrón, cuando se añade al concreto aumenta significativamente sus características de fluidez y trabajabilidad, como baja pérdida de asentamiento. También es capaz de proporcionar grandes aumentos de la resistencia en todas las edades del concreto.

Las dosificaciones depende de los efectos que se deseen, la empresa proveedora da la información de la dosificación adecuada para cada producto, pero en todo caso se recomienda realizar ensayos de prueba para determinar la dosis adecuada.

El modo de empleo es añadirse en la última agua de la mezcla en planta de concreto.

La normativa Venezolana, COVENIN 356 establece características mínimas que rigen para los materiales que se usan como aditivos químicos en mezclas de concreto a base de cemento Portland.

Tipo	Función	Clasificación
A	Reductores de agua. Son aquellos aditivos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia	PLASTIFICANTES
B	Retardadores, son aquellos que retardan el fraguado de concreto.	
C	Aceleradores, son aquellos que aceleran el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto	
D	Reductores de agua y retardadores, son aquellos aditivos que reducen al menos el 5% de la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, que retardan el fraguado e incrementan la resistencia.	
E	Reductores de agua y aceleradores, son aquellos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.	
F	Reductores de agua de alto rango, son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.	SUPERPLASTIFICANTES
G	Reductores de agua de alto rango y retardadores, son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, retardando el fraguado e incrementando su resistencia.	
H	Reductores de agua de alto rango y aceleradores, son aquellos aditivos que reducen al menos un 15% la cantidad de agua requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.	

Tabla N° 2 Clasificación de Aditivo

3.5.2 Sika de Venezuela S.A

Ofrece una gama de productos en función de las necesidades del cliente y del proyecto.

Plastificantes

PLASTIMENT BV-40, es un reductor de agua y de gran poder plastificante, un aditivo tipo A según la norma ASTM C-494/ COVENIN 356. Consigue incrementar notablemente su trabajabilidad sin tener que agregar agua, permite un incremento notable de resistencias mecánicas a todas las edades, así como la impermeabilidad y durabilidad.

Incrementa la manejabilidad de la mezcla a bajas relaciones a/c, reduce la segregación y aumenta la cohesividad de la mezcla.

Superplastificantes

SIKA VISCOCRETE 6 ES, VISCOCRETE-1045, VISCOCRETE-1078

Son superplastificantes que sobrepasan ampliamente los requerimientos de los superplastificantes según la norma ASTM C-494, COVENIN 356 Tipo F. Son adecuados para la producción de prefabricados de concretos, el concreto preparado con este aditivo se comporta como autocompactante, tiene alta reducción de agua, incidiendo en la densidad y las resistencias, excelente fluidez, desarrollo de resistencias tempranas, mejora el comportamiento ante las retracciones del concreto.

3.5.3 Tecnoconcret

Tiene una amplia gama de plastificantes, en general son retardadores de fraguado. Cuando este aditivo se añade al concreto, aumenta significativamente las características de fluidez y trabajabilidad, también proporciona grandes aumentos de resistencia en todas las edades del concreto, permite una reducción significativa del agua y una ganancia importante de la resistencia a la compresión, sin necesidad de aumentar el contenido de cemento.

2.5.4 Adiciones minerales

Las puzolanas, como cenizas volantes y humo de sílice, son los aditivos minerales más utilizados en el concreto de alta resistencia. Estos materiales imparten resistencia adicional al concreto, por reacción con productos de hidratación de cemento portland.

Por ejemplo el Cemento Suprecem Portland/Escoria producido por la empresa INVECEM, es un cemento definido por la Norma Venezolana COVENIN 935-76 “ *Cemento Portland con escoria* ” como la mezcla íntima y uniforme de cemento portland y escoria siderúrgica básica granulada y finamente molida, se fabrica por la mezcla y homogeneización de cemento portland y escoria siderúrgica básica granulada y finamente molida o por molienda conjunta de Clinker Portland y la citada escoria siderúrgica.

3.6 Diseño de Mezcla

La fabricación del concreto de alta resistencia consiste en hacer un uso óptimo de los ingredientes básicos que constituyen el concreto convencional. Es un proceso más delicado que el del concreto convencional ya que se requieren numerosas mezclas de prueba hasta lograr un diseño óptimo. Los factores a considerar para la dosificación además de la resistencia a la edad especificada incluyen: trabajabilidad deseada y efectos de incremento de temperatura.

En general el control de la producción no solo debe incluir correcta dosificación y mezcla de los ingredientes, sino también la inspección periódica y la comprobación de la producción, equipos, por ejemplo, el equipo de pesaje y medición, mezcladoras y aparatos de control. Seguimiento en el premezclado, este control debe extenderse al transporte y las condiciones de entrega también. Para controlar la retracción, la superficie de concreto acabado debe ser cubierto rápidamente con agentes de curado de retención de agua.

Método para determinar el diseño de mezcla mediante Porrero, Ramos, Grases, Velazco. (2012) *“Manual del Concreto Estructural”*, Cuarta Edición, SIDETUR. Caracas.

1. Datos de entrada para el diseño de mezcla

- Condiciones ambientales y, particularmente, el lugar de la obra.
- Tipo de obra, o parte de la estructura y sus dimensiones.
- Tipo de agregado y tipo de cemento.
- Resistencia del diseño de mezcla o algún dato relacionado.

Los agregados deben ser resistentes y durables. No es necesario que sean duros o de alta resistencia, pero si necesitan ser compatibles, en términos de rigidez y resistencia con la pasta de cemento. En general los agregados gruesos deben tener el menor tamaño máximo posible para lograr dichos concretos.

Las mezclas de concreto de alta resistencia tienen una mayor cantidad de materiales cementantes que incrementan el calor de hidratación y posiblemente produzcan una mayor cantidad de contracción (retracción) por secado, creando un mayor potencial de agrietamiento.

El concreto de alta resistencia necesita por lo general tener una baja relación agua cemento. Las relaciones agua cemento bajas solo se pueden obtener con muy altas dosificaciones de aditivos reductores de agua de alto rango o superplastificantes de acuerdo al tipo de agregado.

La resistencia promedio requerida (F'_{cr}) Es la resistencia del diseño de mezcla, es la resistencia media esperada para el material elaborado y la resistencia de cálculo (F_c).

La desviación estándar se obtiene mediante un registro de ensayos que cumplan con las variables representativas según la norma COVENIN 1753.

De acuerdo con la sección 5.4.2.1 de la norma COVENIN 1753, la resistencia promedio requerida **F_{cr}**

Para $F'c > 350 \text{ Kg/cm}^2$

$$F_{cr} = F'c + 1,34\sigma$$

$$F_{cr} = 0,9F'c + 2,34\sigma$$

Donde $F'c$ es la resistencia especificada en el proyecto y σ es la desviación estándar.

2. Ley de Abrams

$$R = M/N^{-\alpha}$$

Donde **R** representa la resistencia media esperada, α es la relación agua cemento en peso, M y N son constantes que dependen de las características de los materiales, componentes de la mezcla y de la edad de ensayo, así como la forma de ejecutarlos.

Relación agua-cemento

Al utilizar una baja relación agua cemento, un contenido alto de cemento implica la necesidad de que el agua demandada por los agregados sea lo más baja posible.

La relación agua cemento utilizada para la producción de concretos de resistencia convencional son igualmente validas cuando se aplica a concretos de alta resistencia, excepto que la relación agua cemento de diseño puede estar en el intervalo 0,3-0,35.

El concepto relación agua cemento es simple, siempre y cuando el cemento no contenga ningún material diferente al cemento portland ya que el concreto se realiza únicamente mediante el cemento portland.

3. Correcciones de α

La influencia del tamaño máximo se corrige a través de un factor que se simboliza como K_R , para el caso de concretos de alta resistencia se establece un tamaño máximo del agregado de 12,7mm donde el factor K_R sería de 1,10. La corrección por el tipo de agregado K_A se realiza mediante la tabla VI.8 del “*Manual del concreto estructural*”.

$$\alpha_C = \alpha \times K_R \times K_A$$

4. Relación triangular

La relación triangular se expresa mediante:

$$C = k \cdot T^n / \alpha^m$$

Donde:

C = dosis de cemento (Kgf/cm²);

α = a/C = relación agua/cemento en peso;

T = Asentamiento en el cono de Abrams;

k, m, n son constantes que dependen de las características de los materiales componentes de la mezcla y condiciones en que se elabora.

5. Correcciones del Cemento

Se realiza la corrección del cemento por medio de dos factores C_1 y C_2 , el primero relacionado con el tamaño máximo y el segundo con el tipo de agregado.

Para C_1 el valor para el tamaño máximo de 12.7mm es de 1,14 el C_2 depende del tipo de agregado y se obtiene mediante la tabla VI.12 del “*Manual del concreto estructural*”.

6. Cálculo de los componentes restantes

- Volumen de aire atrapado: el volumen de aire atrapado depende de diversas variables y su cálculo no es preciso pero basta una buena aproximación ya que su proporción siempre es pequeña.

$$V = \frac{C}{P} \left(\frac{\text{Litros}}{m^3} \right)$$

Donde se considera el tamaño máximo (**P**) y la dosis de cemento (**C**).

- Volumen Absoluto de granos de Cemento: el volumen absoluto ocupado por el cemento, sin considerar aire entre los granos, se obtiene al dividir el peso del cemento entre el peso específico.
- Volumen absoluto de agua: el peso del agua presente en la mezcla, el cual se simboliza como *a*, viene dado por:

$$a = C \cdot \alpha \left(\frac{\text{kgf}}{m^3} \right)$$

- Volumen absoluto de agregados: el volumen ocupado por los agregados, sin considerar el aire entre ellos. se obtiene de dividir el peso de cada uno entre su correspondiente peso específico.

Para simplificar el cálculo, es conveniente obtener el peso específico del agregado combinado ($G + A$). Esto puede hacerse con suficiente precisión práctica, calculando el promedio ponderado, basado en el valor β ;

$$V_{(A+G)} = (A + G) / \gamma_{(A+G)}$$

- Cálculo de la dosis de los Agregados: para calcular los pesos de *A* y *G* de los agregados fino y grueso, respectivamente, se utiliza la expresión de la relación β (formula 6.1) con lo cual:

$$A = \beta(A + G) \left(\frac{\text{kgf}}{m^3} \right)$$

$$G = (1 + \beta)(A + G) \left(\frac{\text{kgf}}{m^3} \right)$$

7. Efectos de los aditivos

Los aditivos ejercen distintos efectos sobre las mezclas, para concretos de alta resistencia es indispensable la adición de dichos químicos para darle distintas características necesarias.

Según la norma COVENIN 356:1994 los aditivos químicos para concretos están clasificados en distintos tipos, tabla VII.1 del Manual de concreto estructural.

- Modificadores de la relación triangular: los aditivos, principalmente los reductores de agua modifican una o varias de las constantes **k**, **m** y **n**.

$$C = k \cdot T^n / \alpha^m$$

Acción plastificante

Esta acción se pone en manifiesto cuando, al añadir a la dosis un aditivo reductor de agua, se obtiene un incremento moderado a significativo en el cono de Abrams. El incremento se logra sin modificar la dosis de cemento ni la relación agua/cemento.

Mediante el Procedimiento del Manual de Concreto estructural se llevo a cabo ejemplos de dosificaciones para distintas resistencias, tomando con parámetros $\beta=0.5$, los valores de α relación Agua/Cemento se tomaron de la Figura VI.2, siendo la Resistencia a la Compresión a los 28 días igual a la resistencia específica establecida. No hay datos de Peso específico de los Agregados así que se utilizara $\gamma= 2.65$ por ser un ejemplo académico para notar las distintas dosificaciones variando la resistencia específica.

F'c (Kgf/cm ²)	Componente	Peso (Kgf/m ³)	Volumen (L/m ³)
210	Cemento	279,2	83,8
	Agua	188,7	188,7
	Arena	934,9	352,5
	Gruoso	934,9	352,5
	Aire	-	22
250	Cemento	329,1	98,7
	Agua	195,9	195,9
	Arena	900,3	339,8
	Gruoso	900,3	339,8
	Aire	-	25,8
300	Cemento	401,95	120,58
	Agua	205,19	205,19
	Arena	851,43	321,29
	Gruoso	851,43	321,29
	Aire	-	31,64
350	Cemento	487,04	146,11
	Agua	214,49	214,49
	Arena	796,4	300,53
	Gruoso	796,4	300,53
	Aire	-	38,34
400	Cemento	599,62	179,88
	Agua	225,03	225,03
	Arena	725,94	273,94
	Gruoso	725,94	273,94
	Aire	-	47,21
500	Cemento	918,69	275,6
	Agua	248,32	248,32
	Arena	534,96	201,87
	Gruoso	534,96	201,87
	Aire	-	72,33

Tabla N° 3 Diseño de Mezcla para distintas resistencias

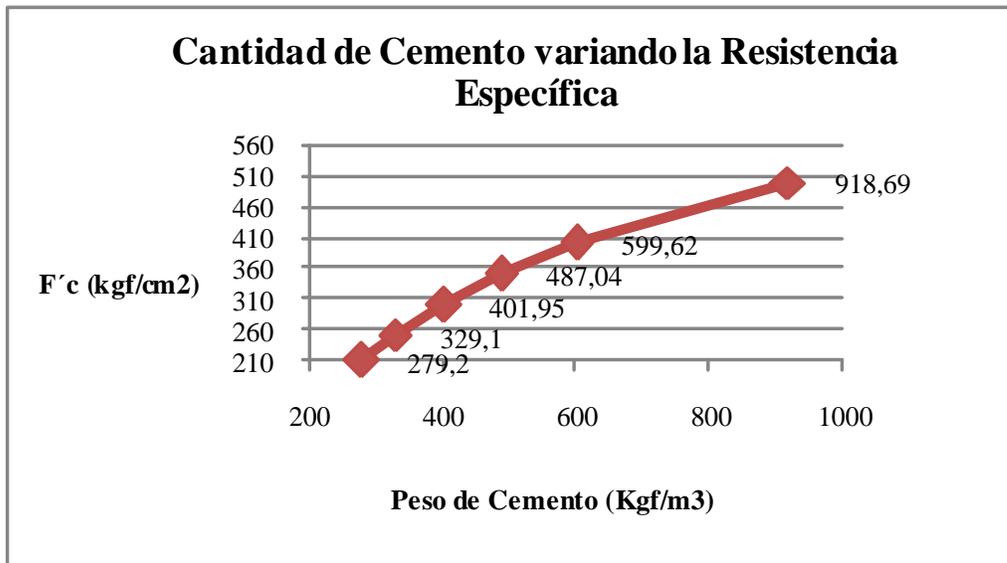


Grafico N° 1 cantidad de cemento variando la resistencia especifica

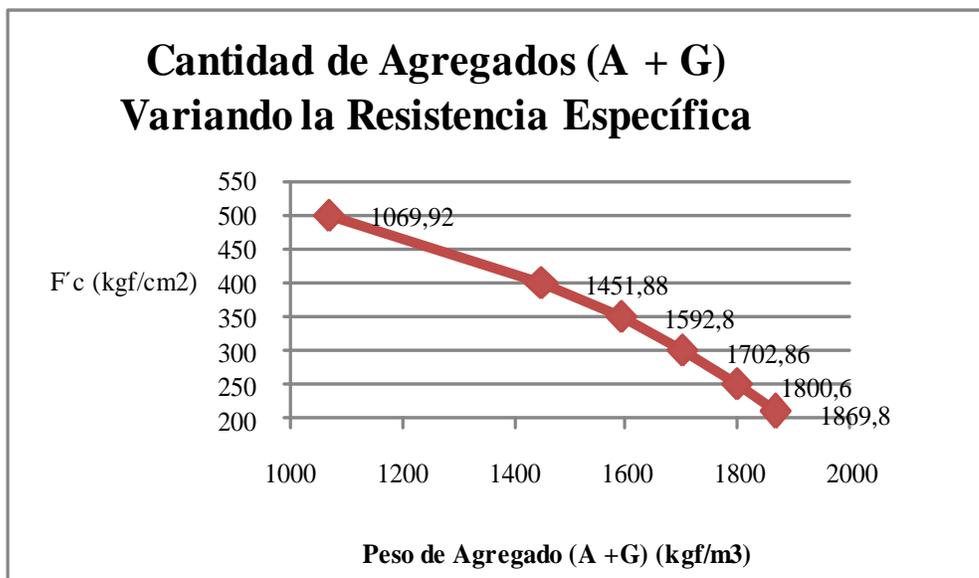


Grafico N° 2 Cantidad de agregado variando la resistencia especifica

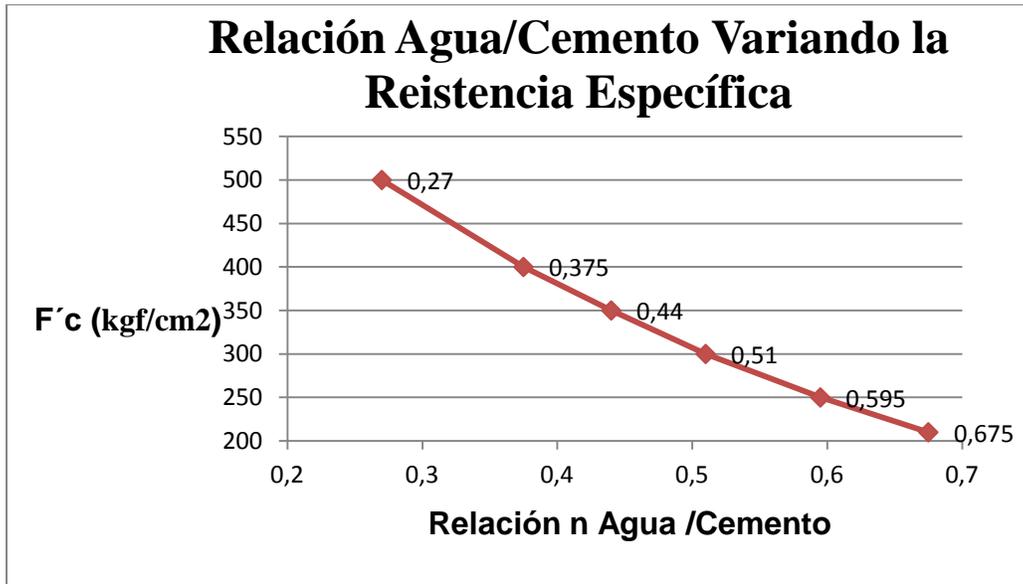


Grafico N° 3 Relación Agua/Cemento variando la resistencia especifica

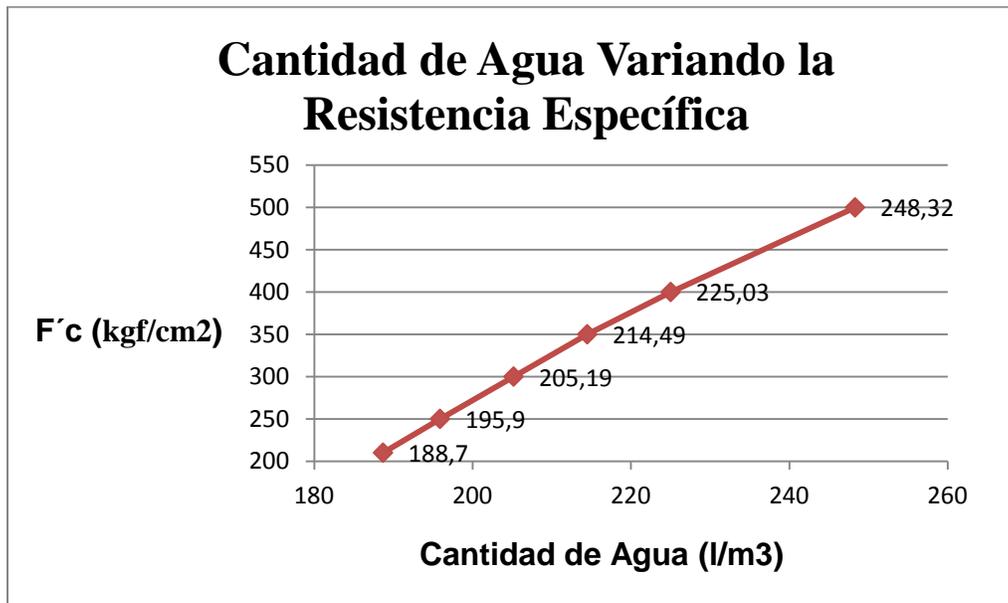


Grafico N° 4 Cantidad de Agua variando la resistencia especifica

3.7 Control de Calidad

En concretos de Alta resistencia el control de calidad es muy importante, los ensayos deben realizarse con más frecuencia que la establecida por la normativa para concretos convencionales, la calidad en los materiales juega un papel importante en la elaboración para así obtener la resistencia deseada.

Los materiales para la elaboración de concretos de alta resistencia deben estar en optimas condiciones y como se ha dicho anteriormente los resultados de los ensayos realizados deben cumplir establecido por la norma e inclusive superar las calidad de los mismos, los ensayos que se deben realizar deben tener un control adecuado y la aplicación correcta, los ensayos son los mismos que para concretos convencionales.

Al utilizar concreto premezclado en camiones se tomaran muestras en distintos puntos d la descarga

La inspección y certificación en la producción de concretos deseados es muy importante, es importante mantener la calidad del componente y el nivel desviación estándar así como medir adecuadamente para la dosificación de la misma.la y calibración de los equipos por empresas reconocidas.

Para concretos premezclados producidos en camiones se tomara un mínimo de dos muestras en puntos separados de descarga.

La fracción defectuosa se define como el cociente de muestras defectuosas entre el total de muestras que se obtienen d un lote, siendo estas muestras aquellas que no cumplen con las especificaciones requeridas.

En los ensayos realizados se busca siempre obtener el valor más bajo de facción defec6tuosa, ya que este es un método estadístico para el control de calidad realizado en muestras de concreto.

3.8 Experiencias en América Latina

La producción de concreto de alta resistencia en países de América ha aumentado al pasar de los años, en la actualidad los especialistas han desarrollado métodos para la producción de los mismos. Hay muchos factores involucrados en la producción de concretos, desde los materiales, la dosificación de la mezcla, el transporte, la colocación, el curado y los ensayos.

Las condiciones de los materiales son generalmente similares, los cementos poseen características apropiadas para la obtención de concretos de alta resistencia, principalmente para los que requieren resistencias finales, los agregados son provenientes de distintas regiones, el agregado grueso tiene que ser de altas resistencias mecánicas, estructura geológica sana, de tamaño pequeño y densidad elevada.

Los aditivos son recomendables, son utilizados tanto los aditivos químicos como plastificantes y superplastificantes, aditivos minerales como ceniza volante, microsílíce o escoria.

3.8.1 Experiencias en Chile

Los concretos de alta resistencia en Chile, en la industria de elementos pre y post-tensados ha sido importante, ya que estos exigían altas resistencias a edades tempranas. Por este motivo, ha sido recuente la producción de concretos con resistencias iguales o superiores a los 400 o 500 kg/cm² a 28 días, partiendo de condiciones de resistencia de unos 350 kg/cm² a 3 días. Para alcanzar estas resistencias, los concretos han sido dosificados generalmente con el uso de aditivos plastificantes eventualmente superplastificantes, con dosis de cemento de alta resistencia, que oscilan alrededor de los 380 a 400 kg/m³ y trabajabilidades de alrededor de 6 cm, medida como asentamiento en el cono de Abrams, y empleando áridos gruesos de tamaño máximo 3/4".

Existen dos tipos de concreto de Alta Resistencia, Concreto de alta resistencia final, cuando se necesita una resistencia a la compresión, medida en probetas cúbicas o cilíndricas normalizadas de acuerdo a NCh 1017 y NCh 1037, ensayadas a los 28 días superior a 500 Kg/cm². Concreto de alta resistencia inicial, cuando se necesita una resistencia temprana mayor a la normal en edades inferiores a los 28 días.

Estas condiciones, unidas a un riguroso control de calidad en la fabricación y puesta en obra de los concretos, han sido aplicadas en la producción de un volumen total en este país que supera largamente los 400.000 m³, elaborándose con esta metodología elementos tales como:

- Vigas pretensadas para cubierta de las Estaciones del Metro de Santiago.
- Losetas pretensadas para numerosas construcciones de viviendas y edificios Industriales.
- Postes pretensados de longitudes de hasta 18 metros
- Vigas pre y post tensadas para puentes

Condiciones de los materiales

Los cementos Chilenos poseen características que son apropiadas para la obtención de concretos de alta resistencia, en especial en lo que concierne a plazos largos, por ejemplo 28 días y posteriores. La calidad de los cementos está suficientemente normalizada y debido a un buen control de calidad ejercido por las fábricas y también por el Estado, la uniformidad de su producción puede considerarse adecuadamente garantizada.

En Chile existe una gama amplia de aditivos utilizables para concretos de alta resistencia, en particular plastificantes y superplastificantes y últimamente de sílice. No existe, en cambio, una normalización que permita una adecuada clasificación y previsión de las cualidades exigidas a los aditivos ni tampoco estandarizar la información entregada a los usuarios, aspecto que realmente debe ser superado para lograr una elevación más generalizada de las resistencias del concreto empleado en obra.

La resistencia natural de los áridos en este país es, por su constitución, ampliamente apropiada en la mayoría de los casos para obtener concreto de alta resistencia. No sucede, sin embargo lo mismo, con sus características de fabricación, en particular en aquellas regiones en que, por no existir plantas productoras de características industriales, su elaboración se efectúa en forma artesanal, por lo que la variabilidad de sus características los hace inapropiado para su empleo en concreto de alta resistencia.

La relación agua/cemento es un factor muy importante para obtener concreto de alta resistencia, por lo que debemos tratar de obtener aquella mínima razón que nos permita una buena trabajabilidad considerando los demás componentes del concreto.

Por lo tanto, para cementos Portland y los superplastificantes disponibles, con los métodos usuales de mezclado y colocación, y las prácticas de curado, se ha encontrado que el valor óptimo de esta razón agua/cemento es cercano a 0,22. Para valores más altos que 0,22 existe influencia de la razón agua/cemento sobre la resistencia; valores más bajos son perjudiciales por qué no se puede obtener en forma adecuada una alta densidad para la estructura de la pasta de cemento.

3.8.2 Experiencias en México

Para principios de los años sesenta, apenas era conocida en México la producción de concreto con resistencias a la compresión de 350 Kg./cm², en la actualidad los especialistas en tecnología del concreto han centrado su atención en el desarrollo de métodos que puedan hacer viables la producción de concreto de rangos muy superiores (hasta de 1500 Kg./cm²). Se han realizado diversas investigaciones sobre la resistencia del concreto, las cuales han arrojado que existe un incremento de resistencia en cuanto menor sea la relación agua/cemento así como mejoras en algunas de sus propiedades.

Los investigadores en general, consideran que la composición química y la finura del cemento jugarán un papel importante, un agregado grueso de buena calidad es igualmente fundamental, es decir, que tenga una alta resistencia a la compresión, así como que su capacidad de adherencia a la pasta sea buena y una absorción moderada o casi nula. En cuanto a la arena se recomienda que tenga un módulo de finura cercano a 3.00, sin embargo, se han realizado mezclas para concretos de alta resistencia con módulos de finura que oscilan entre 2.83 y 3.36.

En la producción de cementos Portland de la Zona metropolitana se tienen varias marcas, pero todas deben cumplir con las normas oficiales mexicanas: la NOM -C - 123(ASTM - C - 150) para los cementos tipo I al V y la NOM-” C -224 (ASTM--C -595) para los puzolánicos, así como la NOM -C - (ASTM -C -595) para el de escoria de alto horno.

Estudios realizados en México indican que para mejorar las propiedades mecánicas de los concretos que se emplean, es necesario emplear gravas con la menor absorción posible, se toma en cuenta que las gravas calizas tuvieron un comportamiento satisfactorio en cuanto a todas las propiedades mecánicas de los concretos que se habían estudiado (normales). Se debe resaltar que en la producción de agregados gruesos, dentro de la zona metropolitana también existen los de piedra basáltica y los de andesita, que durante muchos años fueron utilizados principalmente por economía.

Los aditivos químicos más usados para la elaboración de este tipo de concreto son:

- Reductores de agua de fraguado normal, (ASTM-C-494, tipo “A”): Los reductores de agua típicos proveen mejoras en la resistencia sin alterar la velocidad de fraguado del concreto, su selección deberá basarse sobre el desarrollo de las resistencias porque al optimizar la dosificación se tendrán mayores resistencias, al reducir su relación agua/cemento, pero se podría prolongar el tiempo de fraguado.
- Retardantes (ASTM-C-494, tipo B y D): Un aditivo retardante es frecuentemente benéfico para controlar la hidratación temprana, puede controlar la rapidez de fraguado y proveer más flexibilidad en la hora del colado. Debido a que frecuentemente provee un incremento a la resistencia, ésta será proporcional a la relación de la dosificación. Las mezclas pueden ser diseñadas para diferentes cantidades si se supone una diferencia significativa en las proporciones de los materiales que componen el concreto.
- Reductores de agua de alto rango, superplastificantes empleados a menudo como sinónimos, (ASTM-C-494, tipos “F” Y “G”): Una de sus aplicaciones consiste en utilizarse para fabricar concretos de baja relación agua/cemento y de alta resistencia con trabajabilidades dentro de los límites normalmente especificados para consolidar por medio de vibración interna. Con su utilización se puede obtener una reducción de agua entre el 12% y 30%, con esta disminución en la relación agua/cemento permite obtener resistencias superiores a compresión tanto a edades tempranas como finales.

Los parámetros ideales que deben cumplir las aguas naturales o contaminadas, diferentes de las potables, para el uso y curado del concreto se encuentran en la norma mexicana NOM- C - 122.

3.8.3 Experiencias en Colombia

En Colombia se consideran como concretos convencionales aquellos cuya resistencia a compresión menor o igual a 42 MPa, los concretos que estén entre 42 MPa y 100 MPa se les considerara como concreto de alta resistencia. Los materiales usados para generar concreto de alta resistencia son iguales a los utilizados en el concreto convencional, sin embargo se debe tener mayor previsión en la selección de materiales a utilizar.

Entre las características requeridas de los materiales que componen el concreto para que posea una alta resistencia a la compresión, se tiene:

Son recomendables los cementos tipos I y II, con contenidos significativos de silicato tricálcico (mayores que los normales), módulo de finura alto y composición química uniforme. Grava de alta resistencia mecánica, estructura geológica sana, bajo nivel de absorción, buena adherencia, de tamaño pequeño y densidad elevada. Arena bien gradada, con poco contenido de material fino plástico y módulo de finura controlado (cerca a 3.00).

El agua requiere estar dentro de las normas establecidas. La relaciones agua/cemento bajas (de 0.25 a 0.35), mezclado previo del cemento y del agua con revolvedora de alta velocidad, empleo de agregados cementantes, período de curado más largo y controlado, compactación del concreto por presión y confinamiento de la mezcla en dos direcciones.

Los aditivos se recomienda el empleo de aditivos químicos: superfluidificantes y retardantes; o, de los aditivos minerales, ceniza volante, microsílíce o escoria de alto horno.

La normativa colombiana para el control de calidad y características del concreto son las Normas Técnicas Colombianas (NTC). De las cuales se pueden considerar algunas tales como NTC-673 (2000) “Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto”, NTC-174 (2000) “Especificaciones de los agregados de concreto”.

3.8.4 Experiencias en Argentina

En los últimos años hubo una tendencia creciente al uso de concretos con resistencias superiores a las convencionales, tanto en lo referente a sus características como a sus propiedades elásticas. Esto se vio favorecido por la necesidad de mayores esbelteces en estructuras constituidas por este material y a las demandas de resistencias superiores en edades tempranas para reducir los tiempos constructivos.

Esto se vio favorecido por la necesidad de mayores esbelteces en estructuras constituidas por este material y a las demandas de resistencias superiores en edades tempranas para reducir los tiempos constructivos. Por el lado de la tecnología del concreto los logros alcanzados en la última década fueron relevantes. En el presente las resistencias de concretos comerciales en países desarrollados alcanzan los 100 MPa y en Argentina se construye actualmente con resistencias de 60 MPa, la cual duplica las resistencias más elevadas de construcciones civiles con este material.

A comienzos de la década del '90. La tendencia fue lograr resistencias que permitan hacer concretos con una resistencia comparable al acero en régimen de compresión, y con velocidades de fraguado elevadas para mejorar sus costos constructivos.

Entre los materiales utilizados se incluye la variabilidad de los cementos, la distribución del tamaño de partículas, el contenido de humedad, la composición mineralógica, las propiedades físicas, y la forma de los agregados y la acción de los aditivos empleados.

El uso de agregados finos y gruesos en el concreto queda justificado por dos razones, técnicamente hablando los áridos poseen mayor estabilidad volumétrica y durabilidad que el pasta de cemento, mientras que a la vez resultan un material de “relleno” más económico.

Los aditivos químicos están normalizados por la Norma IRAM 1663, la norma define los distintos tipos de aditivos químicos para el concreto que se usa en el país.

La producción involucra al tipo de planta y equipos para elaborar el concreto, el método de transporte hasta la obra, y los procedimientos y la mano de obra empleada para producir y colocar al material.

Los ensayos incluyen los procedimientos de muestreo, la preparación y el curado de las probetas de ensayo, además de los métodos de ensayo utilizados.

El subcomité de cementos, encargado de del estudio de las normas nacionales de este material, el objetivo propuesto fue la necesidad de simplificar la aplicación del conjunto de normas IRAM (Instituto Argentino de Racionalización de Materiales) de características y requisitos de los distintos tipos y clases de cemento en el país. Se logro resumir en tan solo dos documentos la información técnica contenida en ellas dando lugar a las normas IRAM siguientes:

IRAM 50000:2000 Cemento, Cemento para su uso general. Composición, características, evaluación de la conformidad y condiciones de recepción.

IRAM 50001:2000 Cemento, Cemento con propiedades especiales.

Es conocido que la resistencia del concreto depende, en primera instancia, de la relación a/c (agua / cemento) y, en segunda instancia de otros factores entre los que se encuentra la resistencia del cemento utilizado entre otros como la calidad de los agregados, etc.

La mayor resistencia del concreto se logra mejorando la calidad de cada uno de los componentes, e incorporando a la mezcla aditivos químicos (plastificantes, superplastificantes, retardadores de fraguado. A medida que aumenta progresivamente la resistencia del hormigón, van cambiando las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido.

3.8.5 Experiencias en Venezuela

Las distintas aplicaciones del concreto de alta resistencia entre las cuales una muy importante es que el concreto se puede colocar en servicio a una edad mucho menor, por ejemplo en la colocación de pavimentos.

La construcción de edificios altos reduciendo las secciones, principalmente en columnas, al permitir reducir la cantidad de acero de refuerzo y las dimensiones de las mismas permitiendo aumentar el área no se justifica en losas o vigas pues la disminución de dimensiones, debería ser compensada con refuerzo metálico adicional, aparte de los bien conocidos problemas de vibración perceptible por su menor rigidez. útil, o incrementar el número de pisos sin afectar los pisos inferiores.

El empleo de estos concretos resulta ventajoso en estructuras para estacionamientos de vehículos, pilas de puentes y otras instalaciones donde se requiera mayor densidad, menor permeabilidad o mayor durabilidad frente a la corrosión.

CAPITULO IV

DISEÑO Y MODELACION DE UN PORTICO DE 8 PISOS POR MEDIO DEL PROGRAMA SAP2000

4.1 Descripción General del Pórtico

La estructura es un pórtico de concreto reforzado, constituido por elementos como vigas, columnas y losas. Sera modelado hasta una Resistencia a la Compresión de 420 kgf/cm^2 , ya que concretos de mayor resistencia especificada mayor a esta quedan excluidos de la Norma Venezolana 1753:2006 “Proyecto y Construcción de obras de concreto estructural”.

Los materiales a utilizar deben cumplir con los requisitos especificados en la Norma Venezolana 1753:2006 “Proyecto y Construcción de obras de concreto estructural”, establecidos en el Capitulo 3.

4.2 Consideraciones Generales

- Para el diseño de los miembros que forman parte del sistema resistente a sismos del pórtico será con el Nivel de Diseño ND3.
- La Carga Permanente se ingreso con un factor de 1,0 lo que permite que SAP2000 calcule automáticamente el peso propio de los elementos.
- La resistencia especificada del concreto se variara con $F'c$ 210 kgf/cm^2 hasta 420 kgf/cm^2 .
- Se mostraran las comparaciones de los pórticos en secciones fijas de concreto y para secciones variables.
- Se comparara el cuantíl para las distintas resistencias especificadas de concreto.

4.3 Características de los pórticos

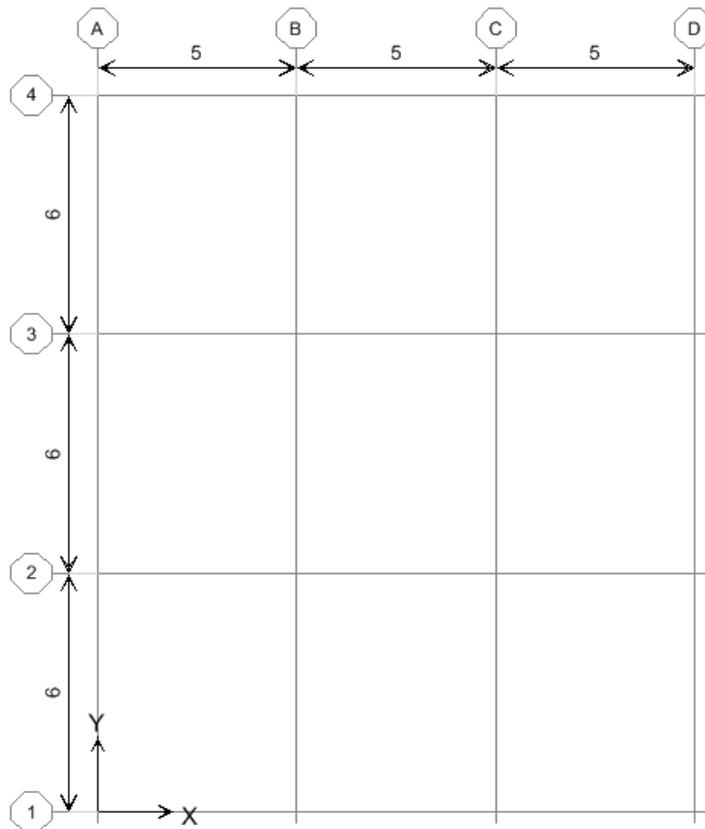


Figura N° 3. Plano Pórtico.

Fuente Propia

Las estructuras modeladas consisten en pórticos de 3 tramos con altura de 8 pisos. Las longitudes de las luces son 5 m, en una dirección y 6 m en la otra, las alturas de los pisos son de 3 m respectivamente. Los pórticos contarán con configuraciones diferentes de diseño en la sección de vigas y columnas.

4.4 Parámetros de diseño

Modulo de elasticidad para el concreto puede considerarse:

$$E_c = 15100\sqrt{f'_c}$$

Modulo de elasticidad para el acero se considera igual a:

$$E_s = 2,1 \times 10^6 \text{ Kgf/cm}^2$$

Losa de piso: 25 cm

$$F_y = 4200 \text{ Kgf/cm}^2$$

Acciones permanentes: representa las cargas gravitatorias debido al peso de todos los componentes estructurales y no estructurales, tales como muros, pisos, techos, tabiques, equipos de servicio unidos a la estructura y cualquier carga de servicio que sea fija.

- Peso propio del concreto: Contemplado en el programa
- Peso propio de la estructura: Contemplado en el programa
- Tabiquería 150 kgf/m²
- Revestimientos 100 kgf/m²
- Instalaciones 50 kgf/m²

La carga permanente será de **600 kgf/m²**, si bien en el programa se contempla el peso propio del concreto y de la estructura y las demás componentes estructurales, Se aumentara para obtener resultados más demostrativos debido a que es un ejemplo académico.

Acciones variables: cargas originada por el uso u ocupación del edificio, excluidas las cargas permanentes, de viento o sismo.

La carga será de **250 kgf/m²** cumpliendo con los requisitos de la Norma venezolana COVENIN-MINDUR 2002 – 88 “Acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”.

La carga Variable de Techo, será de **100 kgf/m²** cumpliendo con los requisitos de la Norma venezolana COVENIN-MINDUR 2002 – 88 “Acciones mínimas para el proyecto de edificaciones”.

Acción Sísmica: acción accidental debida a la ocurrencia de sismos, la cual incorpora los efectos traslacionales y los rotacionales respecto al eje vertical. La carga será la establecida por medio del programa SAP2000.

La acción sísmica se caracteriza mediante espectros de diseño, para el modelo académico del pórtico se ubicara en la zona metropolitana, perteneciendo a la Zona sísmica 5, siendo de peligro sísmico elevado, el material del suelo será roca sana/fracturada. Se diseñara con un Nivel de Diseño ND3 por el tipo de estructura, las características geológicas y sísmicas.

4.4.1 Pre dimensionado

- **Columnas (15% $F'c$) → Para concreto de 210 kgf/cm²**

Sección = 31,5 cm

- **Vigas $h = L/16$ → 40cm**

h= 40cm

b= 30cm

Se realizarán pórticos con secciones variables columnas para su análisis estructural las vigas tendrán dimensiones de 30 x 50cm ya que estas secciones serán permanentes.

De igual manera el uso del programa SAP2000 el cual permitió realizar el análisis del comportamiento del pórtico bajo distintas configuraciones de resistencias especificadas y secciones, permitiendo culminar el trabajo de investigación.

4.4.2 Combinación de Carga

Las combinaciones de Carga estudiadas para el análisis pórtico serán las siguientes:

- **1,4CP**
- **1,2CP + 1,6CV + SX + 0,3SY**
- **1,2CP + 1,6CV + SX - 0,3SY**
- **1,2CP + 1,6CV - SX + 0,3SY**
- **1,2CP + 1,6CV - SX - 0,3SY**
- **1,2CP + 1,6CV + 0,3SX + SY**
- **1,2CP + 1,6CV + 0,3SX - SY**
- **1,2CP + 1,6CV - 0,3SX + SY**
- **1,2CP + 1,6CV - 0,3SX - SY**

4.5 Espectro de diseño

El espectro de diseño fue realizado por medio de la página de Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), se selecciono como ubicación la microzona 5 Altamira- Zona Metropolitana.



Figura N° 4. Zona de análisis del espectro

Fuente: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

<http://www.funvisis.gob.ve/microzonas/>

4.5.1 Resultados del Espectro de diseño

Se obtuvo la grafica y la tabla de los resultados mostrada a continuación, fue exportada de página de Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS), al seleccionar la microzona en estudio. Siendo posteriormente ingresada al programa SAP 2000 para el estudio del pórtico.

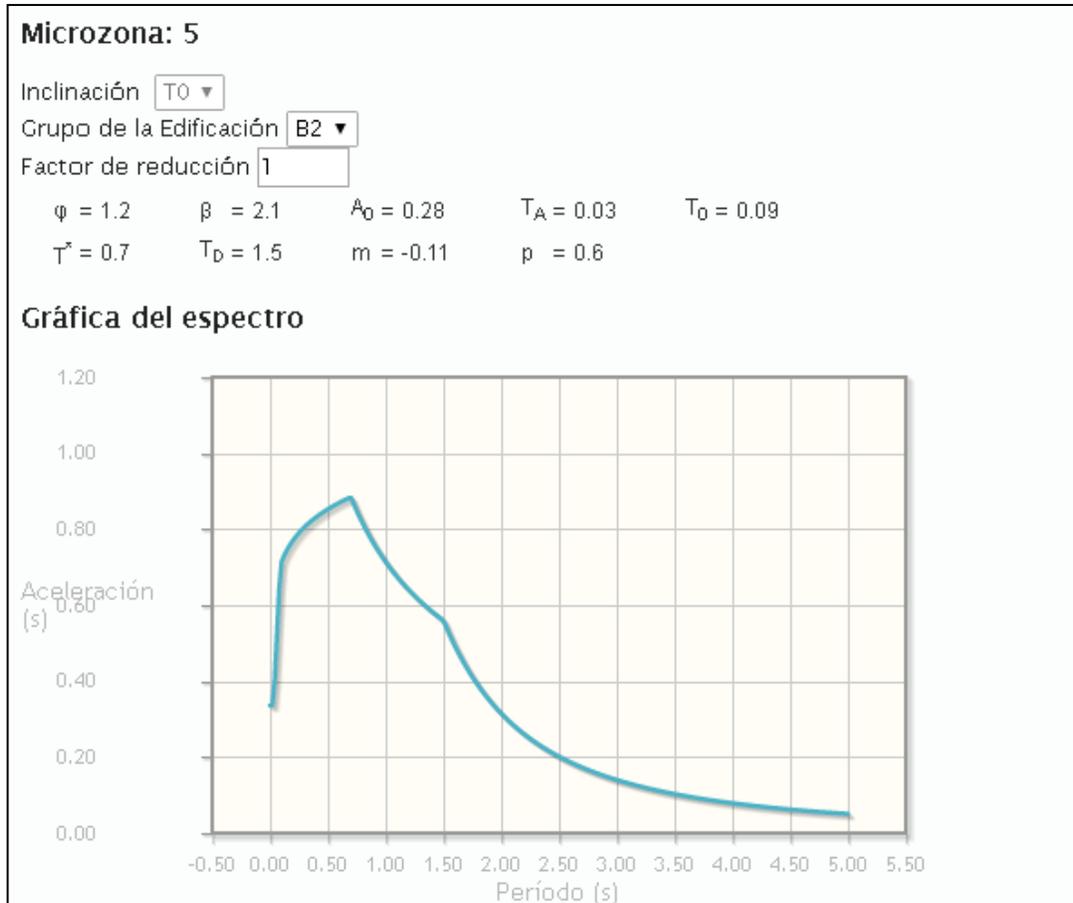


Figura N° 5. Espectro de Diseño.

Fuente:

Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

<http://www.funvisis.gob.ve/microzonas/>

ESPECTRO		ESPECTRO	
Periodo	Aceleración	Periodo	Aceleración
(s)	(s)	(s)	(s)
0	0,336	0,763052209	0,839612609
0,020080321	0,336	0,78313253	0,826628446
0,040160643	0,398589558	0,803212851	0,814166287
0,060240964	0,522284337	0,823293173	0,802192867
0,080321285	0,645979116	0,843373494	0,790677783
0,100401606	0,714140016	0,863453815	0,77959319
0,120481928	0,728606944	0,883534137	0,768913532
0,140562249	0,741066963	0,903614458	0,758615308
0,16064257	0,752032426	0,923694779	0,748676862
0,180722892	0,761839251	0,9437751	0,739078205
0,200803213	0,77072007	0,963855422	0,729800855
0,220883534	0,778842897	0,983935743	0,720827691
0,240963855	0,786333187	1,004016064	0,712142832
0,261044177	0,793287182	1,024096386	0,703731522
0,281124498	0,799780392	1,044176707	0,695580028
0,301204819	0,805873188	1,064257028	0,687675558
0,321285141	0,811614629	1,084337349	0,680006172
0,341365462	0,817045138	1,104417671	0,672560716
0,361445783	0,822198431	1,124497992	0,665328755
0,381526104	0,82710294	1,144578313	0,658300518
0,401606426	0,831782862	1,164658635	0,651466839
0,421686747	0,836258973	1,184738956	0,644819115
0,441767068	0,840549247	1,204819277	0,638349261
0,46184739	0,84466934	1,224899598	0,63204967
0,481927711	0,848632979	1,24497992	0,62591318
0,502008032	0,852452266	1,265060241	0,619933036
0,522088353	0,856137927	1,285140562	0,614102868
0,542168675	0,859699516	1,305220884	0,608416658
0,562248996	0,863145582	1,325301205	0,602868717
0,582329317	0,866483801	1,345381526	0,597453664
0,602409639	0,8697211	1,365461847	0,592166401
0,62248996	0,872863744	1,385542169	0,587002101
0,642570281	0,875917425	1,40562249	0,581956182
0,662650602	0,878887326	1,425702811	0,577024297
0,682730924	0,881778183	1,445783133	0,572202317
0,702811245	0,882080626	1,465863454	0,567486317
0,722891566	0,867296532	1,485943775	0,562872561
0,742971888	0,853155266	1,506024096	0,555233199

ESPECTRO		ESPECTRO	
Periodo	Aceleración	Periodo	Aceleración
(s)	(s)	(s)	(s)
1,526104418	0,540717927	2,289156627	0,240319078
1,546184739	0,526764504	2,309236948	0,236157788
1,56626506	0,513344304	2,329317269	0,232103652
1,586345382	0,500430499	2,34939759	0,228153024
1,606425703	0,487997929	2,369477912	0,224302409
1,626506024	0,476022976	2,389558233	0,22054846
1,646586345	0,464483454	2,409638554	0,216887968
1,666666667	0,453358505	2,429718876	0,213317857
1,686746988	0,442628507	2,449799197	0,209835175
1,706827309	0,432274982	2,469879518	0,206437091
1,726907631	0,422280522	2,489959839	0,203120886
1,746987952	0,412628715	2,510040161	0,199883952
1,767068273	0,403304073	2,530120482	0,196723781
1,787148594	0,394291976	2,550200803	0,193637965
1,807228916	0,38557861	2,570281124	0,190624191
1,827309237	0,377150917	2,590361446	0,187680232
1,847389558	0,368996543	2,610441767	0,184803949
1,86746988	0,361103797	2,630522088	0,181993284
1,887550201	0,353461605	2,65060241	0,179246255
1,907630522	0,346059473	2,670682731	0,176560956
1,927710843	0,338887451	2,690763052	0,17393555
1,947791165	0,331936098	2,710843373	0,171368271
1,967871486	0,325196454	2,730923695	0,168857415
1,987951807	0,318660009	2,751004016	0,16640134
2,008032129	0,312318674	2,771084337	0,163998464
2,02811245	0,306164763	2,791164659	0,161647262
2,048192771	0,30019096	2,81124498	0,159346262
2,068273092	0,294390305	2,831325301	0,157094047
2,088353414	0,288756171	2,851405622	0,154889245
2,108433735	0,283282244	2,871485944	0,152730537
2,128514056	0,277962508	2,891566265	0,150616645
2,148594378	0,272791226	2,911646586	0,148546337
2,168674699	0,267762924	2,931726908	0,146518425
2,18875502	0,26287238	2,951807229	0,144531757
2,208835341	0,258114607	2,97188755	0,142585224
2,228915663	0,253484842	2,991967871	0,140677751
2,248995984	0,248978535	3,012048193	0,1388083
2,269076305	0,244591334	3,032128514	0,136975867

ESPECTRO		ESPECTRO	
Periodo	Aceleración	Periodo	Aceleración
(s)	(s)	(s)	(s)
3,052208835	0,135179482	3,815261044	0,086514868
3,072289157	0,133418204	3,835341365	0,085611325
3,092369478	0,131691126	3,855421687	0,084721863
3,112449799	0,129997367	3,875502008	0,08384619
3,13253012	0,128336076	3,895582329	0,082984024
3,152610442	0,126706428	3,915662651	0,082135089
3,172690763	0,125107625	3,935742972	0,081299113
3,192771084	0,123538893	3,955823293	0,080475837
3,212851406	0,121999482	3,975903614	0,079665002
3,232931727	0,120488667	3,995983936	0,078866361
3,253012048	0,119005744	4,016064257	0,078079669
3,273092369	0,11755003	4,036144578	0,077304689
3,293172691	0,116120863	4,0562249	0,076541191
3,313253012	0,114717603	4,076305221	0,075788948
3,333333333	0,113339626	4,096385542	0,07504774
3,353413655	0,11198633	4,116465863	0,074317353
3,373493976	0,110657127	4,136546185	0,073597576
3,393574297	0,109351449	4,156626506	0,072888206
3,413654618	0,108068745	4,176706827	0,072189043
3,43373494	0,106808479	4,196787149	0,071499891
3,453815261	0,105570131	4,21686747	0,070820561
3,473895582	0,104353194	4,236947791	0,070150867
3,493975904	0,103157179	4,257028112	0,069490627
3,514056225	0,101981608	4,277108434	0,068839665
3,534136546	0,100826018	4,297188755	0,068197806
3,554216867	0,09968996	4,317269076	0,067564884
3,574297189	0,098572994	4,33735004	0,0669325187
3,59437751	0,097474696	4,357431004	0,066300151
3,614457831	0,096394653	4,377511004	0,065667784
3,634538153	0,095332461	4,397590361	0,065035417
3,654618474	0,094287729	4,417670683	0,064403050
3,674698795	0,093260078	4,437751004	0,063770683
3,694779116	0,092249136	4,457831325	0,063138316
3,714859438	0,091254543	4,477911647	0,062505949
3,734939759	0,090275949	4,497991968	0,061873582
3,75502008	0,089313013	4,518072289	0,061241215
3,775100402	0,088365401	4,53815261	0,060608848
3,795180723	0,087432791	4,558232932	0,060000000
		4,578313253	0,059400000

ESPECTRO	
Periodo	Aceleración
(s)	(s)
4,598393574	0,059556201
4,618473896	0,059039447
4,638554217	0,058529389
4,658634538	0,058025913
4,678714859	0,057528905
4,698795181	0,057038256
4,718875502	0,056553857
4,738955823	0,056075602
4,759036145	0,055603389
4,779116466	0,055137115
4,799196787	0,054676682
4,819277108	0,054221992
4,83935743	0,053772951
4,859437751	0,053329464
4,879518072	0,052891442
4,899598394	0,052458794
4,919678715	0,052031433
4,939759036	0,051609273
4,959839357	0,05119223
4,979919679	0,050780222
5	0,050373167

Tabla 4. Periodo vs aceleración Espectro de Diseño

Fuente: Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas.

<http://www.funvisis.gob.ve/microzonas/>

4.6 Análisis de los pórticos mediante el programa SAP 2000

4.6.1 Cantidad de Acero en la estructura

Se realizó el análisis de los pórticos mediante el programa académico, se variaron las secciones de las columnas de los pórticos obteniendo la sección mínima permitida por el programa antes de fallar, dando como resultado las secciones mínimas y el acero mínimo permitido entre $F'c$ 210 Kg/cm² y $F'c$ 420 Kg/cm².

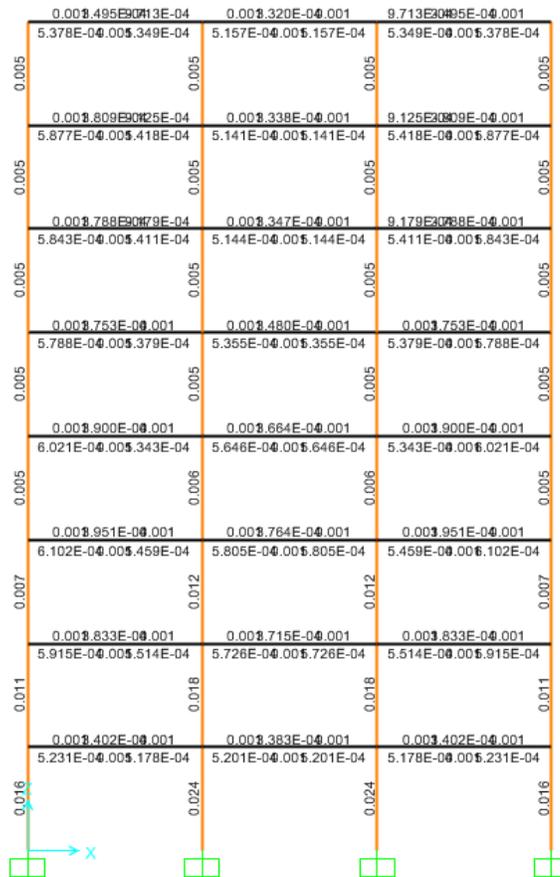


Figura N° 6. Cantidad de Acero $F'c$ 210

Fuente Propia

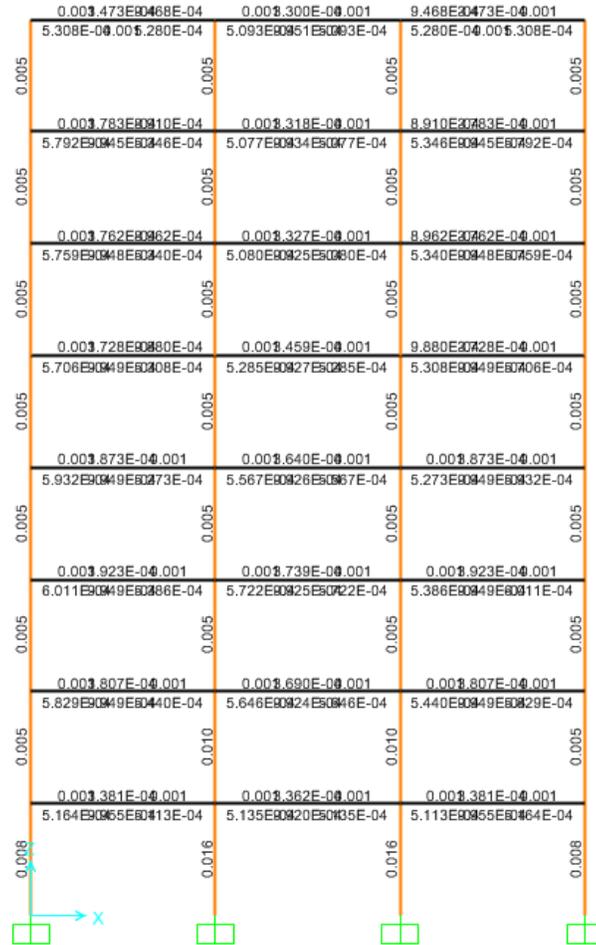


Figura N° 7 . Cantidad de Acero F'c 280

Fuente Propia



Figura N° 9. Cantidad de Acero F'c 420

Fuente Propia

4.6.2 Secciones mínimas de las Columnas y vigas

Secciones de Columnas		
F'c	Columnas	vigas
<i>Kgf/cm²</i>	<i>cm²</i>	<i>cm²</i>
210	70 x 70	30 x 50
280	60 x 60	30 x 50
350	60 x 60	30 x 50
420	50 x 50	30 x 50

Tabla 5. Secciones de Columnas

Fuente propia

4.6.2 Reacciones Máximas en los Apoyos

Carga Permanente		
Kgf/cm²	kgf	kgf
F'c	Columnas Externas	Columnas Internas
210	189161	225401
420	175584	211284

Tabla 6. Reacciones Máximas por Carga Permanente

Fuente propia

Carga Variable		
Kgf/cm²	kgf	kgf
F'c	Columnas Externas	Columnas Internas
210	325538	391232
420	312161	376876

Tabla 7. Reacciones Máximas por Carga Variable

Fuente propia

Carga Sísmica X		
<i>Kgf/cm2</i>	<i>kgf</i>	<i>kgf</i>
F'c	Columnas Externas	Columnas Internas
210	14284	156
420	12036	200

Tabla 8. Reacciones Máximas por Carga Sísmica X

Fuente propia

Carga Sísmica Y		
<i>Kgf/cm2</i>	<i>kgf</i>	<i>kgf</i>
F'c	Columnas Externas	Columnas Internas
210	9	9
420	287	294

Tabla 9. Reacciones Máximas por Carga Sísmica Y

Fuente propia

Combinación de Cargas		
<i>Kgf/cm2</i>	<i>kgf</i>	<i>kgf</i>
F'c	Columnas Externas	Columnas Internas
210	226993	270481
420	210701	253541

Tabla 10. Reacciones Máximas por Combinación de Cargas

Fuente propia

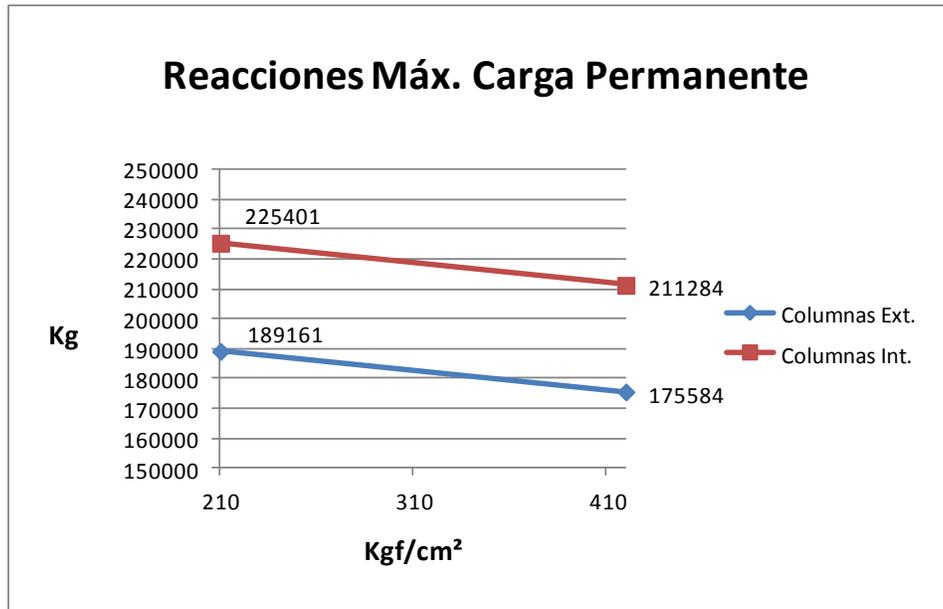


Grafico N° 5 Reacciones Máximas en los apoyos por
 Carga Permanente para F'c 210 y F'c 420

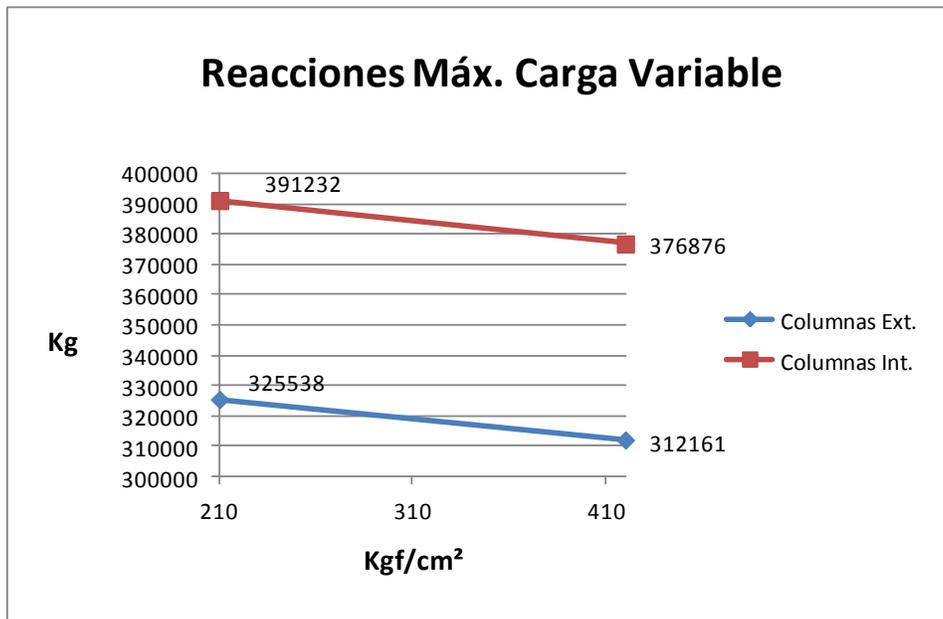


Grafico N° 6 Reacciones Máximas en los apoyos por
 Carga Variable para F'c 210 y F'c 420

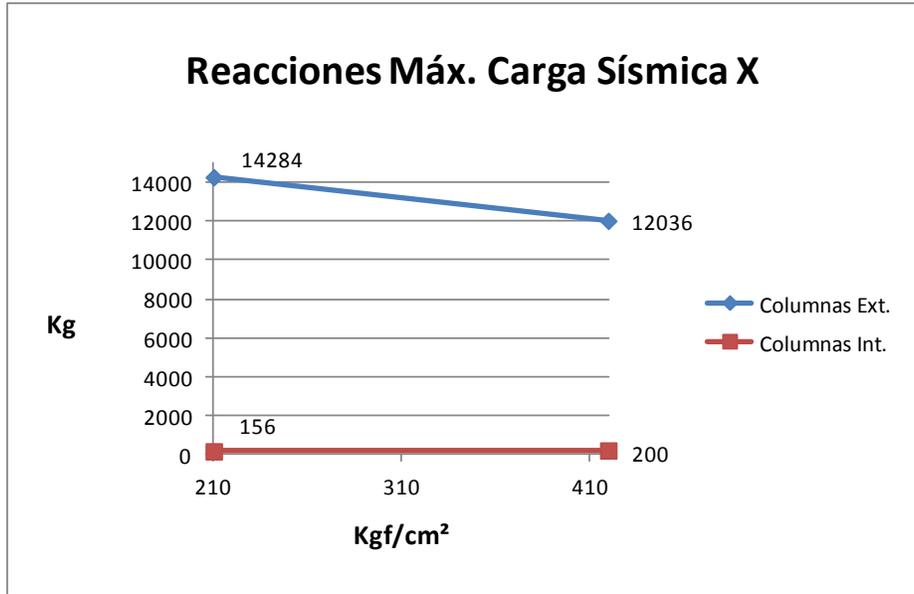


Grafico N° 7 Reacciones Máximas en los apoyos por
 Carga Sísmica X para F'c 210 y F'c 420

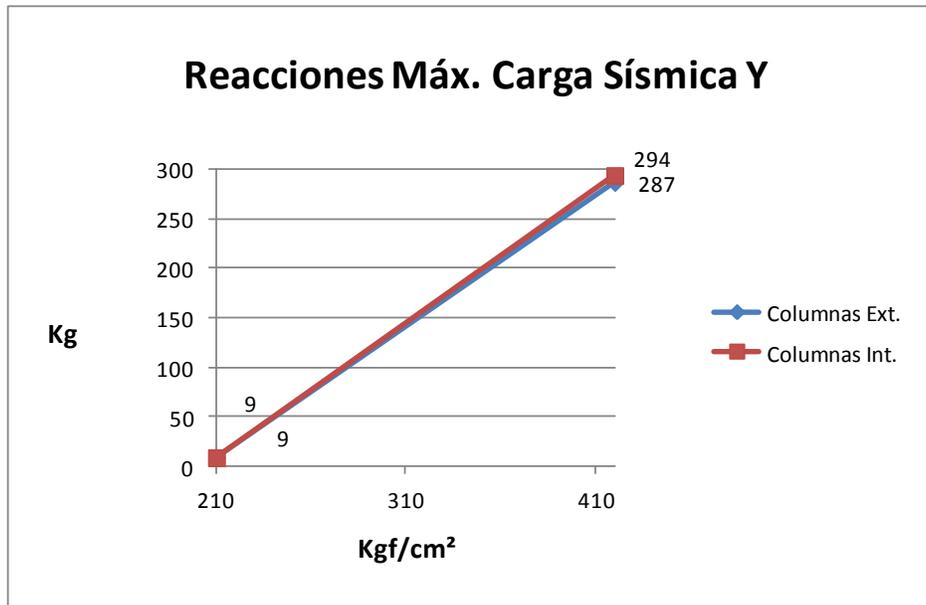


Grafico N° 8 Reacciones Máximas en los apoyos por
 Carga Sísmica Y para F'c 210 y F'c 420

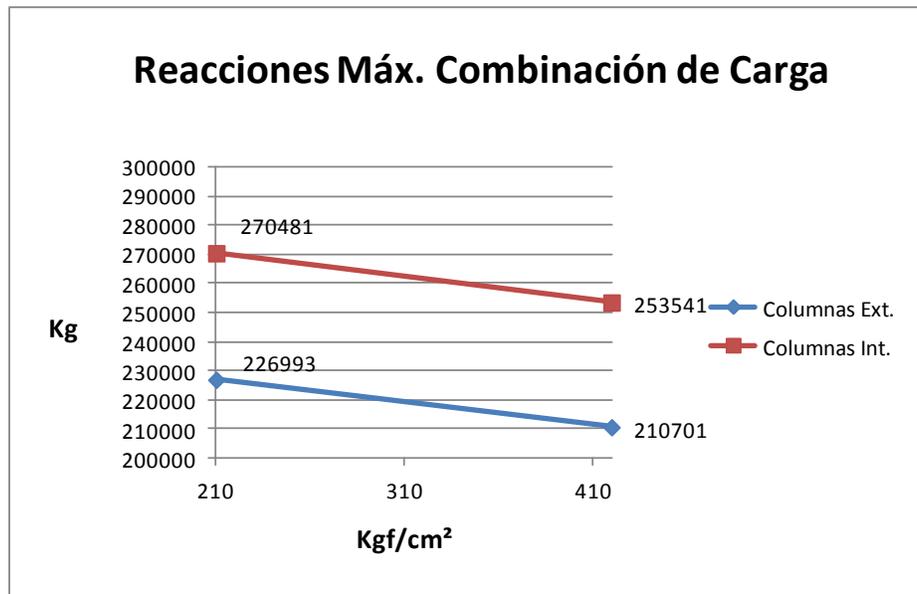


Grafico N° 9 Reacciones Máximas en los apoyos por Combinación de Carga para F'c 210 y F'c 420

4.6.2 Momentos en las Columnas

		F'c 210 (1A-1B-1C-1D) - (4A-4B-4C-4D)				
Columnas		CARGA PERMANENTE	CARGA VARIABLE	SISMO X	SISMO Y	COMBINACION DE CARGA
NIVEL 1	C 1 - C 61	1844,5	3343,6	11911,1	1,8	11911,1
	C 6 - C 66	77,4	140,4	12840,5	1	12840,5
	C 11 - C 71	-77,4	-140,4	12840,5	1	12840,5
	C 16 - C 76	-1844,5	-3343,6	11911,1	1,8	11911,1
NIVEL 2	C 2 - C 62	-2144,9	-3888,3	6422,1	2	6422,1
	C 7 - C 67	92,1	166,9	9114,5	2	9114,5
	C 12 - C 72	-92,1	-166,9	9114,5	2	9114,5
	C 17 - C 77	2144,9	3888,3	6422,1	2	6422,1
NIVEL 3	C 3 - C 63	2160,2	3915,9	4046,5	3	4046,5
	C 8 - C 68	202,9	367,8	7175,4	3	7175,4
	C 13 - C 73	-202,9	-367,8	7175,4	3	7175,4
	C 18 - C 78	-2160,2	-3915,9	4046,5	3	4046,5
NIVEL 4	C 4 - C 64	2227,3	4037,5	4249,2	4	4249,2
	C 9 - C 69	266,1	482,5	7154,2	4	7154,2
	C 14 - C 74	-266,1	-482,5	7154,2	4	7154,2
	C 19 - C 79	-2227,3	-4037,5	4942,2	4	4942,2
NIVEL 5	C 5 - C 65	2278,1	4129,6	4182,8	5	4182,8
	C 10 - 70	319,2	578,6	6690,6	5	6690,6
	C 15 - C 75	-319,2	-578,6	6690,6	5	6690,6
	C 20 - C 80	-2278,1	-4129,6	4182,5	5	4182,5
NIVEL 6	C 237 - C 225	-2306,8	-4181,6	3812,6	5,5	3812,6
	C 240 - C 228	-343,5	-622,6	5798,9	5,4	5798,9
	C 243 - C 231	343,5	622,6	5798,9	5,4	5798,9
	C 246 - C 234	2306,8	4181,6	3812,6	5,5	3812,6
NIVEL 7	C 238 - C 226	-2399,9	-4350,4	3134,4	6,4	3134,4
	C 241 - C 229	508,7	922,1	4451,3	5,6	4451,3
	C 244 - C 232	-508,7	-922,1	4451,3	5,6	4451,3
	C 247 - C 235	2399,9	4350,4	3134,4	6,4	3134,4
NIVEL 8	C 239 - C 227	4251,6	7707,1	1429,6	10,1	1429,6
	C 242 - C 230	490,2	888,6	2891,1	9,5	2891,1
	C 245 - C 233	-490,2	-888,6	2891,1	9,5	2891,1
	C 248 - C 236	-4251,6	-7707,1	1429,6	10,1	1429,6

Tabla 11. Resultados de Momentos en las Columnas para F'c 210 Kg/cm²

Fuente propia

		F'c 210 (2A-2B-2C-2D) - (3A-3B-3C-3D)				
		CARGA PERMANENTE	CARGA VARIABLE	SISMO X	SISMO Y	COMBINACION DE CARGA
NIVEL 1	C 21 - C 41	1844,5	3343,6	12580,5	0	12580,5
	C 26 - C 46	77,4	140,4	13559,9	0	13559,9
	C 31 - C 51	-77,4	-140,4	13559,9	0	13559,9
	C 36 - C 56	-1844,5	-3343,6	12580,5	0	12580,5
NIVEL 2	C 22 - C 42	-2144,9	-3888,3	6782,5	0	6782,5
	C 27 - C 47	92,1	166,9	9617,5	0	9617,5
	C 32 - C 52	-92,1	-166,9	9617,5	0	9617,5
	C 37 - C 57	2144,9	3888,3	6782,5	0	6782,5
NIVEL 3	C 23 - C 43	2160,2	3915,9	4271,7	0	4271,7
	C 2 - C 48	202,9	367,8	7559,4	0	7559,4
	C 33 - C 53	-202,9	-367,8	7559,4	0	7559,4
	C 38 - C 58	-2160,2	-3915,9	4271,7	0	4271,7
NIVEL 4	C 24 - C 44	2227,3	4037,5	4496,4	0	4496,4
	C 29 - C 49	266,1	482,5	7542,7	0	7542,7
	C 34 - C 54	-266,1	-482,5	7542,7	0	7542,7
	C 39 - C 59	-2227,3	-4037,5	4496,4	0	4496,4
NIVEL 5	C 25 - C 45	2278,1	4129,6	4412,6	0	4412,6
	C 30 - C 50	319,2	578,6	7048,1	0	7048,1
	C 35 - C 55	-319,2	-578,6	7048,1	0	7048,1
	C 40 - C 60	-2278,1	-4129,6	4412,6	0	4412,6
NIVEL 6	C 249 - C 261	-2306,8	-4181,6	4026,9	0	4026,9
	C 252 - C 264	-343,5	-622,6	6120,4	0	6120,4
	C 255 - C 267	343,5	622,6	6120,4	0	6120,4
	C 258 - C 270	2306,8	4181,6	4026,9	0	4026,9
NIVEL 7	C 250 - C 262	-2399,9	-4350,4	3322	0	3322
	C 253 - C 265	508,7	922,1	4713,4	0	4713,4
	C 256 - C 268	-508,7	-922,1	4713,4	0	4713,4
	C 259 - C 271	2399,9	4350,4	322	0	322
NIVEL 8	C 251 - C 263	4251,6	7707,1	1525,9	0	1525,9
	C 254 - C 266	490,2	888,6	3069,2	0	3069,2
	C 257 - C 269	-490,2	-888,6	3069,2	0	3069,2
	C 260 - C 272	-4251,6	-7707,1	1525,9	0	1525,9

Tabla 12. Resultados de Momentos en las Columnas para F'c 210 Kgf/cm²

Fuente propia

		F'c 420 (1A-1B-1C-1D) - (4A-4B-4C-4D)				
		CARGA PERMANENTE	CARGA VARIABLE	SISMO X	SISMO Y	COMBINACION DE CARGA
NIVEL 1	C 1 - C 61	1636,9	2967	6432,6	0	6432,6
	C 6 - C 66	-25,4	-45,7	7252,6	0	7252,6
	C 11 - C 71	25,4	45,7	7252,6	0	7252,6
	C 16 - C 76	-1636,9	-2967	6432,6	0	6432,6
NIVEL 2	C 2 - C 62	-2105,4	-3816	3582	1,6	3582
	C 7 - C 67	83,1	150,7	5982,9	1,5	5982,9
	C 12 - C 72	-83,1	-150,7	5982,9	1,5	5982,9
	C 17 - C 77	2105,4	3816	3582	1,6	3582
NIVEL 3	C 3 - C 63	2094,9	3797,5	3050,6	2,5	3050,6
	C 8 - C 68	207,4	376	5442	2,3	5442
	C 13 - C 73	-207,4	-376	5442	2,3	5442
	C 18 - C 78	-2094,9	-3797,5	3050,6	2,5	3050,6
NIVEL 4	C 4 - C 64	2180,5	3952,7	2902,6	3,2	2902,6
	C 9 - C 69	280,6	508,8	5078,4	3,1	5078,4
	C 14 - C 74	-280,6	-508,8	5078,4	3,1	5078,4
	C 19 - C 79	-2180,5	-3952,7	2902,6	3,2	2902,6
NIVEL 5	C 5 - C 65	2248,1	4075,9	2609,8	4	2698,2
	C 10 - 70	351	636,4	4463,4	3,8	4463,4
	C 15 - C 75	-351	-636,4	4463,4	3,8	4463,4
	C 20 - C 80	-2248,1	-4075,9	2609,8	4	2698,2
NIVEL 6	C 237 - C 225	2308,8	4185,3	2204,8	4,6	2770,6
	C 240 - C 228	374,6	679	3663,6	4,3	3663,6
	C 243 - C 231	-374,6	-679	3663,6	4,3	3663,6
	C 246 - C 234	-2308,8	-4185,3	2204,8	4,6	2770,6
NIVEL 7	C 238 - C 226	-2319,3	-4204,4	1702	4,8	2609,7
	C 241 - C 229	504,8	915,1	2651,2	4,5	2651,2
	C 244 - C 232	-504,8	-915,1	2651,2	4,5	2651,2
	C 247 - C 235	2319,3	4204,4	1702	4,8	2609,7
NIVEL 8	C 239 - C 227	3903,7	7076,4	789,6	7,7	4684,5
	C 242 - C 230	444,6	806	1593,4	6,8	1593,4
	C 245 - C 233	-444,6	-806	1593,4	6,8	1593,4
	C 248 - C 236	-3903,7	-7076,4	789,6	7,7	4684,5

Tabla 13. Resultados de Momentos en las Columnas para F'c 420 Kg/cm²

Fuente propia

		F'c 420 (2A-2B-2C-2D) - (3A-3B-3C-3D)				
		CARGA PERMANENTE	CARGA VARIABLE	SISMO X	SISMO Y	COMBINACION DE CARGA
NIVEL 1	C 21 - C 41	1636,9	2967	6812,9	0	6812,9
	C 26 - C 46	-25,4	-45,7	7677,1	0	7677,1
	C 31 - C 51	25,4	45,7	7677,1	0	7677,1
	C 36 - C 56	-1636,9	-2967	6812,9	0	6812,9
NIVEL 2	C 22 - C 42	-2105,4	-3816	3801,6	0	3801,6
	C 27 - C 47	83,1	150,7	6332	0	6332
	C 32 - C 52	-83,1	-150,7	6332	0	6332
	C 37 - C 57	2105,4	3816	3801,6	0	3801,6
NIVEL 3	C 23 - C 43	2094,9	3797,5	3240,1	0	3240,1
	C 2 - C 48	207,4	376	5754,1	0	5754,1
	C 33 - C 53	-207,4	-376	5754,1	0	5754,1
	C 38 - C 58	-2094,9	-3797,5	3240,1	0	3240,1
NIVEL 4	C 24 - C 44	2180,5	3952,7	3072,6	0	3072,6
	C 29 - C 49	280,6	508,8	5360,5	0	5360,5
	C 34 - C 54	-280,6	-508,8	5360,5	0	5360,5
	C 39 - C 59	-2180,5	-3952,7	3072,6	0	3072,6
NIVEL 5	C 25 - C 45	2248,1	4075,9	2763,6	0	2763,6
	C 30 - C 50	351	636,4	4715,8	0	4715,8
	C 35 - C 55	-351	-636,4	4715,8	0	4715,8
	C 40 - C 60	-2248,1	-4075,9	2763,6	0	2763,6
NIVEL 6	C 249 - C 261	2308,8	4185,3	2339,1	0	2770,6
	C 252 - C 264	374,6	679	3877,8	0	3877,8
	C 255 - C 267	-374,6	-679	3877,8	0	3877,8
	C 258 - C 270	-2308,8	-4185,3	2339,1	0	2770,6
NIVEL 7	C 250 - C 262	-2319,3	-4204,4	1808,2	0	2609,7
	C 253 - C 265	504,8	915,1	2810,6	0	2810,6
	C 256 - C 268	-504,8	-915,1	2810,6	0	2810,6
	C 259 - C 271	2319,3	4204,4	1808,2	0	2609,7
NIVEL 8	C 251 - C 263	3903,7	7076,4	843,3	0	4684,4
	C 254 - C 266	444,6	806	1690,2	0	1690,2
	C 257 - C 269	-444,6	-806	1690,2	0	1690,2
	C 260 - C 272	-3903,7	-7076,4	843,3	0	4684,4

Tabla 14. Resultados de Momentos en las Columnas para F'c 420 Kg/cm²

Fuente propia

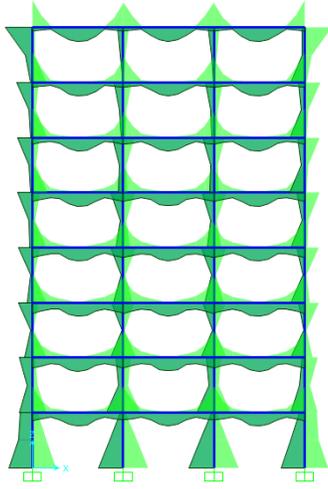


Fig. 10 Momento por Combinación de Carga

$$F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$$

Fuente Propia

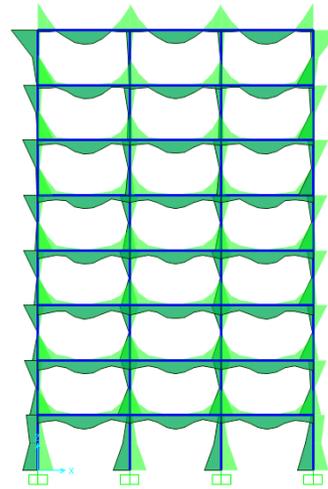


Fig. 11 Momento por Combinación de Carga

$$F'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

Fuente Propia

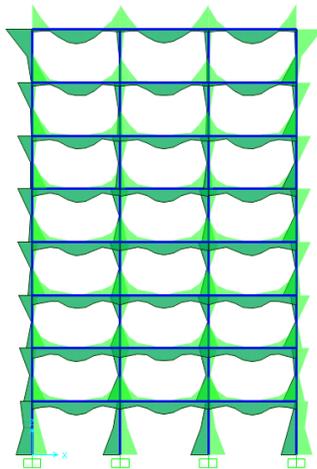


Fig. 12 Momento por Combinación de Carga

$$F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

Fuente Propia

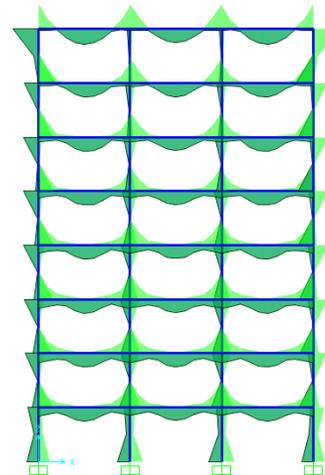


Fig. 13 Momento por Combinación de Carga

$$F'c = 420 \text{ Kg/cm}^2$$

Fuente Propia

CAPITULO V

CONCLUSIONES

En este capítulo se presentaran las conclusiones a las cuales se llegaron después de terminar todo el proceso de investigación y desarrollo de este Trabajo Especial de Grado, todo a partir de los objetivos planteados.

Luego para culminar se realizaran las recomendaciones que considero pertinentes, como aporte a la investigación sobre el tema de Concretos de Alta Resistencia aplicado a estructuras.

5.1 Conclusiones

De acuerdo a los objetivos planteados tanto general como los específicos se concluye:

- Mediante la revisión bibliográfica se comprobó que el tema se encuentra ampliamente normado. En la norma ACI 363 R-92, así como en las distintas normas investigadas de los países Chile, México, Argentina, Colombia.
- Diseñando según el método del manual del concreto fresco, se comprueba que para alcanzar resistencias superiores a los 250 Kgf/cm², es necesario utilizar aditivos plastificantes y superplastificantes, para mantener la relación agua-cemento en los valores entre 0.2 y 0.3.
- A partir de la investigación en algunos países de América se comprobó que las características deseables y el control de calidad en concretos de alta resistencia son muy similares, destacando como parámetros principales el tamaño de agregado, la trabajabilidad, la relación agua/cemento en un rango entre 0,2-0.3, así como la inclusión de aditivos químicos, principalmente plastificantes y superplastificantes.
- El proceso de control de calidad para concretos de alta resistencia en conclusión son los mismos controles y ensayos, estos tienen que ser más exigente que para concretos convencionales, ya que para lograr resistencias altas, los materiales deben estar en óptimas condiciones, realizar todos los ensayos requeridos por la Normativa correspondiente y que sean llevados a cabo por un personal calificado. A fin de garantizar una desviación mínima del valor de resistencia deseado.

- La investigación documental confirma los resultados obtenidos a partir de la aplicación de método del manual del concreto fresco con $F'c$ mayor a 250 Kgf/cm².
- Se procedió a realizar un Modelo académico mediante el programa SAP2000 donde se llevo a cabo el modelamiento de un pórtico de 8 pisos, al proceder con el análisis se obtuvo como resultado la reducción de las secciones de las columnas disminuyendo de 70x70 cm para una resistencia especificada de 210 Kgf/cm² a 50x50 cm para una resistencia de 420 Kgf/cm². A su vez se obtuvo una reducción de acero de refuerzo.
- Las cargas en la base de la estructura disminuyeron considerablemente, por lo que peso propio de la estructura también se disminuyo. Obteniendo reducción considerable en el volumen de concreto y el acero de refuerzo. Originando reducción de peso en la edificación y menores cargas sobre las fundaciones, lo que la hace más estable y haciendo que los momentos generados en las columnas sean menores.

5.2 Recomendaciones

- Incluir en las Normas Venezolanas el tema estudiado. Es importante el tema por las aplicaciones del concreto de alta resistencia, actualmente en la zona metropolitana hay importantes Proyectos viales, en los cuales los este concreto es utilizado por sus características.
- El diseño de mezclas con la aplicación de aditivos químicos es principalmente mediante de ensayos realizados por plantas de concreto, la incorporación de más información en el Manual de Concreto fresco es un gran aporte.
- El concreto de alta resistencia, se recomienda para alcanzar la resistencia final a edades tempranas, para elementos pre tensados y pos tensados, en instalaciones donde se requiera mayor densidad, mayor permeabilidad o mayor durabilidad frente a la corrosión.
- Analizar los factores de costos al momento de realizar un proyecto ya que el concreto de alta resistencia puede ser provechoso para obtener menor cantidad de acero, reducir la cantidad de concreto, así como disminuir el peso de la estructura.
- Realizar trabajos de grado orientados a optimizar el diseño de mezcla y optimizar los agregados de concretos de alta resistencia mediante la experimentación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Rivas, Ricardo. 2012. “*Guía de procesos para la elaboración del trabajo especial de grado (TEG)*”, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Católica Andrés Bello, Caracas. 46 páginas.
- Norma Venezolana COVENIN 338:2002. *Concreto. Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto*. (2da revisión). Caracas: FONDONORMA.
- Norma venezolana COVENIN 28:2002. *Cemento Portland. Especificaciones*. Caracas: FONDONORMA.
- Norma Venezolana COVENIN 3134:1994. *Cemento Portland con adiciones. Especificaciones*.
- Norma Venezolana COVENIN 277:2000. *Concreto. Agregados. Requisitos*. Caracas: FONDONORMA.
- Norma Venezolana COVENIN 356:1994. *Aditivos utilizados en el concreto. Especificaciones*.
- Norma Venezolana COVENIN 1756-1:2001. *Edificaciones Sismorresistentes. Requisitos*. (1ra revisión). Caracas: FONDONORMA
- Norma Venezolana COVENIN 1756-2:2001. *Edificaciones Sismorresistentes. Comentarios*. (1ra revisión). Caracas: FONDONORMA.
- Norma Venezolana COVENIN-MINDUR 2002:1988. *Criterios y acciones mínimas para el proyecto de edificaciones Comentarios*. Caracas: FONDONORMA.
- Norma Venezolana COVENIN 1753-2006 *Proyecto y Construcción de obras en concreto estructural*. Caracas: FONDONORMA.
- Aitcin, Pierre Claude. (1998) *High Performance Concrete* .E & FN Spon. University Sherbrooke, Canada. pp 94.
- Portugal, Pablo. *Tecnología del Concreto de Alto desempeño*.
- Porrero, Ramos, Grases, Velazco. (2012) *Manual del Concreto Estructural*, Cuarta Edición, SIDETUR. Caracas.

REFERENCIAS ELECTRONICAS

- “Concretos de Alta Resistencia”. Obtenido el 16 de Febrero del 2015 en <http://www.civilgeeks.com/2011/03/21/concretos-de-alta-resistencia/>
- “Tipos de Aditivos para concreto” Obtenido el 16 de Febrero del 2015 en <http://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-aditivos-para-concreto/>
- “Apuntes de Concreto de Alto desempeño” Obtenido el 8 de Marzo en <http://civilgeeks.com/tag/alta-resistencia/>
- “Aditivos para concreto” Obtenido 24 de Enero de 2015 en <http://ven.sika.com/es/soluciones-y-productos/02/02a001.html>
- “Concreto de reparación estructural de alta resistencia” Obtenido 8 de Marzo de 2015 en <http://tecnoconcret.com/wp-content/uploads/2013/02/FIVE-STAR-ESTRUCTURAL>

