

*Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Construcciones*



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CEMENTO IDEAL PARA
LOGRAR HORMIGONES DURABLES EN LA UNIDAD BÁSICA DE
SERVICIOS HORMIGÓN.**

Autor: Bryan A. Borges Ramírez

Tutores: Ing. Liset León Consuegra

Arq. Julián Porro Pérez

Matanzas, 2020

PENSAMIENTO

**LOS CIENTÍFICOS ESTUDIAN EL MUNDO TAL COMO ES; LOS INGENIEROS
CREAN EL MUNDO QUE NUNCA HA SIDO.**

Theodore Von Karman

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que yo, Bryan A. Borges Ramírez soy el único autor de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

Presidente

Secretario

Vocal

DEDICATORIA

A todas las personas que de una forma u otra me dieron fuerzas durante estos cinco años de duro trabajo.

AGRADECIMIENTOS

-A mis padres Ledys y Andrés por todo su sacrificio, no solo estos últimos 5 años, sino toda su vida, para que llegara este momento.

-A mis abuelos Norma y Bruno Evildo por su paciencia y dedicación.

-A mi hermana Brytnie por nunca hacerme sentir solo aunque estuviéramos lejos.

-A mi novia Claudia por todo su cariño.

-A la familia de mi novia por todo su apoyo, y en especial a mi suegra Magalys por acogerme como a un hijo.

-A mi tutora Liset León Consuegra, por su paciencia y por creer en mí desde el primer momento.

-A mi cotutor Julián Porro Pérez por toda su ayuda y compromiso.

-A todos los profesores que en algún momento nos ayudaron a formarnos como ingenieros.

-A todos mis compañeros de aula, aunque no hayan terminado, Velio, Arnold, Noel, Robert, Anny, Adis, Laura, Roly, Lester, César, y los que falten, por todos los buenos momentos.

-A mis amigos de siempre Jonathan, Rogelio, Osiris y Dayán por estar siempre ahí.

RESUMEN

En cuanto al ámbito de la construcción se refiere no cabe duda de que el hormigón es el material más utilizado a nivel mundial. Uno de los componentes que lo constituyen, el cemento, tiene un elevado costo, además, su excelsa demanda de producción constituye un grave problema ambiental debido a la alta emisión de CO₂. Precisamente en la construcción del Hotel Oasis se presentan elevados índices de consumo de cemento, que se ven reflejados en los altos valores de resistencia a compresión del hormigón que se obtienen, lo que representa un costo adicional para la empresa ARCOS-BBI, encargada de la construcción del mismo, ubicada en el balneario de Varadero. Por esta razón es que se propone la obtención del contenido óptimo de cemento para la elaboración del hormigón de la entidad, para el que se utilizarán arenas de las canteras Arimao y A. Maceo, áridos gruesos de la cantera Antonio Maceo, cemento de Cementos Cienfuegos S.A, y el aditivo SikaPlast 9100CU, a los cuales se les realizará una revisión bibliográfica con vistas a observar sus características y propiedades, además de realizarle todos los ensayos pertinentes, tanto a la mezcla como a los materiales que la componen. Se evaluaron los métodos de diseño de mezclas más utilizados en nuestro país y a nivel mundial, llegando a la conclusión de usar el método de la ACI para el experimento en cuestión al ser este el más completo y eficaz.

Palabras claves: cemento; contenido óptimo; resistencia; porosidad; sorptividad; rendimiento, durabilidad.

ABSTRACT

Regarding the field of construction, there is no doubt that concrete is the most widely used material worldwide. One of the constituent components, cement, has a high cost, and its high production demand constitutes a serious environmental problem due to the high CO₂ emission. Precisely in the construction of the Hotel Oasis, there are high rates of cement consumption, which is reflected in the high values of compressive strength of the concrete obtained, which represents an additional cost for the company ARCOS-BBI, in charge of the construction of the same, located in the watering place of Varadero. For this reason, it is proposed to obtain the optimal content of cement for the production of the entity's concrete, for which sands from the Arimao and A. Maceo quarries, coarse aggregates from the Antonio Maceo quarry, cement from Cementos Cienfuegos S.A will be used, and the SikaPlast 9100CU additive, to which a bibliographic review will be carried out with a view to observing its characteristics and properties, in addition to carrying out all the pertinent tests, both on the mixture and on the materials that compose it. The most widely used mix design methods in our country and worldwide were evaluated, reaching the conclusion of using the ACI method for the experiment in question as this is the most complete and effective.

Key words: cement; optimal content; resistance; porosity; sorptivity; performance, durability.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1: Fundamentación acerca de los materiales y propiedades componentes del hormigón, diseños de mezcla y el rendimiento de cemento.....	7
1.1 Hormigón.....	7
1.1.1 Origen Del Hormigón	7
1.1.2 Definición.....	8
1.2 Materiales componentes del hormigón.	9
1.2.1 Cemento (Aglomerante).....	9
1.2.1.1: Definición	9
1.2.1.2 Componentes.....	10
1.2.1.3 Propiedades.....	11
1.2.1.4 Tipos	11
1.2.1.5 Usos.....	12
1.2.1.6 Actualidad de la producción mundial de cemento	13
1.2.2 Agua	15
1.2.3 Áridos.....	16
1.2.3.1 Definición.....	16
1.2.3.2 Propiedades.....	17
1.2.3.3 Clasificación.....	18
1.2.3.4 Funciones que ejercen los áridos en la mezcla de hormigón	18
1.2.4 Aditivos.....	20
1.2.4.1 Definición.....	20
1.2.4.2 Historia.....	20
1.2.4.3 Clasificación.....	21
1.3 Estructura del Hormigón.....	22
1.4 Propiedades del hormigón	22
1.4.1 Propiedades del hormigón fresco.....	23
1.4.2 Propiedades del hormigón endurecido.....	24
1.4.3 Factores que influyen en la manejabilidad o trabajabilidad del hormigón	25
1.4.4 Factores que influyen en la resistencia del hormigón	25
1.4.5 Factores que influyen en la porosidad del hormigón	26
1.4.6 Factores que influyen en la sorptividad del hormigón.....	27
1.4.7 Factores comunes de los cuales dependen las propiedades del hormigón	27
1.5 Tipos y usos	28
1.6 Diseño de mezclas de hormigón.....	29
1.6.1 Método de Fuller-Thompson	30
1.6.2 Método de Bolomey.....	31
1.6.3 Método de Faury	31
1.6.4 Método de O' Reilly	32
1.6.5 Método de la ACI 211.1	33
1.7 Rendimiento del cemento.....	34
1.8 Conclusiones Parciales	36
2.1 Diseño del experimento.....	37

2.2: Descripción de los materiales.....	38
2.2.1 Agua.....	38
2.2.2 Cemento.....	39
2.2.2.1 CEMENTO HIDRÁULICO.CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO POR AGUJA VICAT NC 524: 2015.....	39
2.2.3 Áridos.....	40
2.2.3.1 Propiedades geométricas de los áridos.....	40
2.2.3.1.1 ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NC 178: 2002.....	40
2.2.3.1.2 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ DE 0.074 mm (No. 200). MÉTODO DE ENSAYO NC 182: 2002.....	41
2.2.3.2 Propiedades físicas del árido.....	43
2.2.3.2.1 ARENA. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGUA. MÉTODO DE ENSAYO NC 186: 2002.....	43
2.2.3.2.2 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO. MÉTODO DE ENSAYO NC 181: 2002.....	45
2.2.3.2.3 ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DEL PORCIENTO DE HUECOS. MÉTODO DE ENSAYO. NC 177.2002.....	46
2.2.3.3 Propiedades químicas de los áridos.....	46
2.2.3.3.1 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DE ARCILLA. MÉTODO DE ENSAYO NC 179: 2002.....	46
2.2.3.4 Propiedades mecánicas de los áridos.....	48
2.2.3.4.1 ÁRIDOS GRUESOS. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURABILIDAD. NC 190:2002.....	48
2.2.4 Aditivo.....	51
2.3 Descripción del método de la ACI 211.1.....	51
2.4 Ensayos realizados al hormigón.....	54
2.4.1 HORMIGÓN FRESCO. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO POR EL CONO NC 174: 2002.....	54
2.4.2 ENSAYOS AL HORMIGÓN — RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO NC 724: 2015.....	57
2.4.3 HORMIGÓN ENDURECIDO — DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD NC 345: 2011.....	58
2.4.4 HORMIGÓN HIDRÁULICO — CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA REAL A LA COMPRESIÓN NC 192:2012.....	59
2.4.5 HORMIGÓN HIDRÁULICO — DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (SORPTIVIDAD) NC 967:2013.....	66
2.5 Resultados esperados.....	69
2.6 Conclusiones Parciales.....	72
Conclusiones.....	73
Recomendaciones.....	74
Referencias Bibliográficas.....	75
Anexos.....	83

INTRODUCCIÓN

La historia del hormigón constituye un capítulo fundamental de la historia de la construcción. Cuando se optó por levantar edificaciones utilizando materiales arcillosos o pétreos, surgió la necesidad de obtener pastas o morteros que permitieran unir dichos mampuestos para poder conformar estructuras estables. Inicialmente se emplearon pastas elaboradas con arcilla, yeso o cal, pero se deterioraban rápidamente ante las inclemencias atmosféricas. Se idearon diversas soluciones, mezclando agua con rocas y minerales triturados, para conseguir pastas que no se degradasen fácilmente [Fadraga 2017].

Para su fabricación se usan materias primas tales como arena y rocas que constituyen un aproximado del 65% al 75% del volumen total del concreto, así como agua, material cementante y aditivos varios que representan el volumen restante, esto se traduce entonces a nivel global en una demanda de varios millones de toneladas de materias primas que son procesadas anualmente [Orozco et al. 2018].

El hormigón es el material de construcción más utilizado por el ser humano, estudios realizados por Mobasher [2008], determinaron que la producción de hormigón se ha duplicado desde la década de 1990, pasando de 170 millones de m³/año a más de 330 millones de m³ en 2004.

Actualmente el hormigón es el segundo material más utilizado en la tierra. También es el segundo mayor emisor de CO₂, contribuyendo con alrededor del 5 al 7% de las emisiones anuales. La continua popularidad del hormigón como material de elección en la industria del diseño y la construcción, junto con la creciente inquietud de las consecuencias medioambientales, lo ha puesto en el centro de atención de la innovación y la experimentación. Como resultado, los diseñadores, arquitectos e investigadores de todo el mundo están generando múltiples visiones sobre cómo podría ser el futuro del concreto en la arquitectura. El hormigón ha sido un material de elección para arquitectos y constructores durante miles de años, y el uso más antiguo conocido data de Siria y Jordania en 6000 a. C. Su bajo costo, versatilidad, aplicación rápida y gran familiaridad con los involucrados en su uso significa que se vierten aproximadamente 22 mil millones

de toneladas de concreto cada año. Se pronostica que para mantener el ritmo de las demandas en el sudeste asiático y el África subsahariana, la producción de cemento podría aumentar en un 25% para el 2030 [Walsh 2019].

El material más importante en la fabricación de hormigones, el cemento, es más antiguo de lo que muchas personas imaginan, pues las primeras referencias que se tienen del empleo de materiales cementantes, se remontan a la civilización Egipcia (3000 ANE), en la que se usaba barro mezclado con paja para pegar ladrillos. Fue en la Antigua Grecia cuando empezaron a usarse tobas volcánicas extraídas de la isla de Santorini, los primeros cementos naturales. En el siglo I a. C. se empezó a utilizar el cemento natural en la Antigua Roma, obtenido en Pozzuoli, cerca del Vesubio. Luego, en el siglo XIX, Joseph Aspdin y James Parker patentaron en 1824 el Cemento Portland, denominado así por su color gris verdoso oscuro similar a la piedra de Portland. Isaac Johnson, en 1845, obtiene el prototipo del cemento moderno, con una mezcla de caliza y arcilla calcinada a alta temperatura. En el siglo XX entra en auge de la industria del cemento, debido a los experimentos de los químicos franceses Vicat y Le Chatelier y el alemán Michaélis, que logran cemento de calidad homogénea; la invención del horno rotatorio para calcinación y el molino tubular y los métodos de transportar hormigón fresco ideados por Juergen Hinrich Magens que patenta entre 1903 y 1907. En la actualidad el Cemento Portland se encuentra entre los materiales para la construcción más empleados a escala mundial, fabricándose en más de 150 países y con mayor nivel de producción a nivel mundial [Silva 2019].

Autores como Borrás [2007] refieren, que la producción de cemento es una fuente de emisión de dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera, un gas que potencia el efecto invernadero producido por el cambio climático. El problema es que los hornos son de grandes dimensiones, por lo que requieren una enorme cantidad de energía para conseguir temperaturas superiores a los 2000°C , expulsando todo tipo de emisiones como partículas de polvo, gases como dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido y dióxido de carbono. Sin olvidar los cloruros, fluoruros, compuestos orgánicos tóxicos y metales pesados. Una verdadera bomba para el medio ambiente.

De acuerdo a FORESIGHTCUBA [2019], Cuba fue el primer país que produjo cemento en América Latina (1895). En 1958 se alcanza un récord de producción de 4,27 millones de toneladas. En 1960 el estado cubano nacionalizó todas las fábricas de cemento y pasaron a su control. La inversión del gobierno cubano en las plantas de cemento permite incrementar el procesamiento de roca desde 2,5 millones de metros cúbicos en 1960 a 47,6 millones en 1980. Más tarde, el corte de los subsidios soviéticos al precio del petróleo suministrado a Cuba conduce a la reducción drástica de la producción.

Cuba ocupa el último lugar en cuanto al consumo de cemento por habitante en América Latina, excluyendo a Haití, país que no está en las estadísticas. El consumo promedio de América Latina en el 2017 fue de 278 Kg por habitante.

En la actualidad, los avances en la tecnología del hormigón han hecho necesario su perfeccionamiento y a medida que su uso se ha ido generalizando, se han demandado de este material otras prestaciones necesarias de atender; lo que como es lógico, ha resultado en el surgimiento de un nuevo componente: los aditivos químicos [Quintana 2014].

El uso de los aditivos al ser capaz de modificar las propiedades de la mezcla de hormigón permite la disminución del contenido de cemento de la misma, a la vez que es amigable con el medioambiente ya que la producción del mismo es sumamente contaminante.

Sólo el 15 % de la producción nacional corresponde a cementos con adiciones: PP-350, PP-250 y el cemento para albañilería CA-160. En particular en la provincia de Matanzas actualmente consta con uno de los planes de construcción de mayor importancia económica para el país [Torres 2019].

La Unidad Básica De Servicios Hormigón UBS, ubicada en la localidad de Siguapa, en las inmediaciones de Varadero, produce alrededor de 4000 m³ mensualmente, como promedio, utilizados en gran medida en las construcciones que se levantan en ese polo turístico y en obras sociales en los municipios de Cárdenas y Matanzas. Según Jorge Alberto Rodríguez, jefe de operaciones, la planta tiene capacidad para producir 45 metros cúbicos de hormigón por hora. Esta entidad tiene un relevante peso en el crecimiento habitacional y extrahotelero en el conocido balneario, principal destino cubano de sol y

playa en el que se encuentran instalaciones de altos estándares como los hoteles Internacional de Varadero, Sirenas Coral, Paradisus y El Hotel Oasis en construcción. Estos servicios del polo turístico de Varadero son los máximos consumidores de hormigón, anualmente el volumen sobrepasa los 48 000 m³ por lo que el consumo de cemento es muy elevado también [Jesús 2019].

Por lo que se define la **situación problemática** como: en la construcción del Hotel Oasis la resistencia a compresión del hormigón obtenida es muy superior a la resistencia de proyecto, incluso llegando a duplicarla o más, reflejando un consumo innecesario de cemento, por lo que se generan costos adicionales. La actualidad de la investigación está dada por la importancia de disminuir el consumo de cemento a nivel nacional, sobre todo en el polo turístico de Varadero ya que una disminución del mismo disminuirá el costo de producción del hormigón. Esto puede depender de los aditivos plastificantes utilizados, diseño de mezcla y la tecnología de producción utilizada. Entonces se hace necesario la determinación del contenido óptimo de cemento con el objetivo de lograr un ahorro en cuanto a este aspecto, eficiencia de utilización y calidad del hormigón obtenido, lo que implicaría lograr un cumplimiento del rendimiento de cemento. Para esto se utiliza cemento P-35 procedente de Cienfuegos, áridos de las canteras Antonio Maceo y Arimao, y el aditivo SikaPlast. Esto tiene especial vigencia ya que responde a los lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución para el período 2016-2021, especialmente el número 228 referente a la construcción el cuál menciona que se debe continuar perfeccionando la elaboración del balance de los recursos constructivos del país sobre la base de una mayor coordinación con el proceso de planificación de la economía.

Por lo que se define como problema científico: ¿Cuál es el contenido de cemento ideal a utilizar en los diseños de mezcla de la Unidad Básica de Servicios Hormigón?

Objeto de estudio: diseños de mezcla.

Campo de estudio: diseños de mezcla de la Unidad Básica de Servicios Hormigón.

Hipótesis: Una disminución del contenido de cemento en los diseños de mezclas utilizados en la Unidad Básica de Servicios Hormigón permitirá obtener hormigones durables.

Se consideran las siguientes variables:

- ✓ **Variables dependientes:** Relación agua - cemento (a/c), resistencia a la compresión, contenido de cemento, consistencia, sorptividad y porosidad.
- ✓ **Variable independiente:** diseños de mezclas utilizados en la Unidad Básica de Servicios Hormigón.

Objetivo General: Determinar el contenido de cemento ideal para lograr hormigones durables en la Unidad Básica de Servicios Hormigón.

Del objetivo general se derivan los siguientes **objetivos específicos:**

1. Fundamentar el estado del arte relacionado con los materiales y propiedades componentes del hormigón, los factores que influyen en la laborabilidad, resistencia, porosidad y sorptividad del hormigón, los diseños de mezcla y el rendimiento de cemento.
2. Describir los materiales y métodos utilizados para los diseños de mezcla y el rendimiento de cemento.
3. Discutir los ensayos realizados al hormigón y a sus materiales componentes.

Métodos teóricos

El análisis-síntesis se utiliza para examinar la bibliografía y llegar a conclusiones a fin de determinar los diferentes enfoques y criterios relacionados con el objeto de investigación.

El histórico-lógico posibilita el establecimiento de las regularidades de la evolución en el tiempo, así como la tendencia actual del tema de investigación.

El inductivo-deductivo permite llegar a la generalización de las características más importantes obtenidas del diagnóstico del estado actual del diseño de mezcla empleado para elaborar el hormigón.

Métodos empíricos

La medición y experimentación se empleará para la medición de la resistencia del hormigón obtenida con la utilización del contenido óptimo de cemento.

Con el cumplimiento de los objetivos conduce a que se espere el **siguiente resultado:** análisis de la influencia del contenido óptimo de cemento para la elaboración de hormigón utilizado en el Hotel Oasis.

El trabajo encierra valor desde el punto de vista **práctico** porque permitirá una propuesta para el uso del contenido óptimo de cemento en la elaboración de hormigón usado en el Hotel Oasis. Desde el punto de vista **social** el valor se manifiesta pues contribuirá a lograr un mayor número y mejoramiento de la calidad de construcciones turísticas y de obras sociales.

El **valor económico** está determinado según los resultados alcanzados pues la propuesta del uso del contenido óptimo de cemento empleado en la elaboración de hormigón usado en el Hotel Oasis permitirá un aumento de los rendimientos de cemento, contribuyendo así a una menor contaminación del medio ambiente.

El trabajo de diploma **está estructurado** de la siguiente manera: resumen, introducción, dos capítulos, conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas, bibliografía consultada y anexos.

Capítulo 1: Fundamentación acerca de los materiales y propiedades componentes del hormigón, diseños de mezcla y el rendimiento de cemento.

Capítulo 2: Descripción de los materiales y métodos utilizados en los diseños de mezclas.

CAPÍTULO 1: FUNDAMENTACIÓN ACERCA DE LOS MATERIALES Y PROPIEDADES COMPONENTES DEL HORMIGÓN, DISEÑOS DE MEZCLA Y EL RENDIMIENTO DE CEMENTO.

Este capítulo tiene como objetivo fundamentar el estado del arte de los materiales y propiedades de los componentes del hormigón, diseños de mezclas y el rendimiento del cemento. Además, se hará referencia a los factores que influyen en la resistencia a compresión, porosidad, sorptividad, consistencia y la relación agua/cemento, así como a los diferentes métodos para la realización de los diseños de mezcla en Cuba y el mundo.

1.1 HORMIGÓN

1.1.1 ORIGEN DEL HORMIGÓN

Cuando el hombre desea construir de forma duradera, procede a utilizar como materiales minerales estables; una solución así consiste en tomar una piedra o roca y tallarla, lo cual limita las dimensiones, a menos que se cobije en la misma roca (cavernas, centrales subterráneas...). Esto fue lo que hicieron nuestros antepasados en los albores de la prehistoria.

Ya en la época del Paleolítico y del Neolítico la técnica de la construcción mejoró y el hombre comenzó a unir piedras por el método llamado de los muros de “mampostería en seco”, conformando muros sin el uso de ningún tipo de conglomerante, lo cual multiplica la aparición de gran cantidad de tensiones en las uniones entre piedras y provoca en muchos casos la rotura de las mismas.

Con el establecimiento de las primeras civilizaciones conocidas durante la Edad Antigua, se descubren nuevos materiales a utilizar como conglomerantes en las construcciones realizadas durante las mismas. De esta manera, en Mesopotamia, al principio, se utilizaron las breas de petróleo hasta la época en que los egipcios descubrieron la cal.

Durante el Imperio Romano el uso del hormigón como elemento constructivo tanto en grandes como en pequeñas estructuras e infraestructuras alcanzó un grado de tal satisfacción que no se volvió a lograr hasta el siglo XIX. Esto se debió posiblemente a la

gran habilidad constructiva de los romanos y a la facilidad de conseguir cerca de Roma arenas volcánicas con propiedades cementicias, con las que preparaban un mortero mezclando dichas arenas con piedras naturales (habitualmente cal y guijarros).

A Smeaton se le encargó, por parte de la *Royal Society*, la construcción definitiva del faro de Eddystone. Éste entendió rápidamente que la cal blanca comúnmente usada para el mortero era inferior en sus cualidades a la cal gris, que contenía algunas impurezas de arcilla. Posteriormente observó que la *pozzelana* tenía todavía unas cualidades hidráulicas superiores a las de la cal gris gracias a la combinación de sus componentes mayoritarios; óxido de calcio (cal) y silicato de aluminio (arcilla).

Ni que decir tiene que el uso de este tipo de mortero fue un gran descubrimiento en el ámbito de la ingeniería civil y el inicio de la era de lo que se podría denominar “El hormigón moderno” [Cordero et al. 2012].

1.1.2 DEFINICIÓN

La palabra hormigón procede del término fórmico, palabra latina que alude a la cualidad de «moldeable» o «dar forma». Además, el término concreto (usado en América latina) también es originario del latín: *concretus*, que significa «crecer unidos», o «unir». El hormigón es por tanto un ligante que se puede conformar fácilmente [Argullo 2009].

Según Otero [2012], el hormigón, tal y como se conoce hoy en día, es un material de construcción constituido básicamente por rocas, de tamaño máximo limitado, que cumplen ciertas condiciones respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una pasta formada por un conglomerante (cemento) y agua. A este material básico y en el momento de su amasado, pueden añadirse otros productos o materiales para mejorar algunas características determinadas.

El hormigón puede definirse de acuerdo a la NC 120: 2018 como un material constituido por una mezcla de cemento, árido grueso, árido fino y agua, con o sin la incorporación de aditivos o adiciones, que desarrolla sus propiedades al hidratarse el cemento.

Para Venegas y Riquelme [2016], el hormigón es el producto resultante de la mezcla de un aglomerante (generalmente cemento, arena, grava o piedra machacada y agua) que, al fraguar y endurecer adquiere una resistencia similar a la de las mejores piedras naturales.

Para otros autores como Zamora [2013], el hormigón es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando se refiere a hormigón o mortero, generalmente es un cemento artificial y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento Portland.

A consideración del autor, definición de hormigón dada por Otero [2012] es la más completa ya abarca ampliamente el concepto de hormigón. Aunque para a opinión del autor se hace necesario hablar además sobre diseños de mezcla, compactación y demás, pues sin este proceso no sería hormigón, sino simplemente una mezcla de varios materiales.

Cada uno de sus materiales componentes, así como las proporciones en que se usan, juegan un papel fundamental en las propiedades finales que se desean obtener de este tan valioso producto para la construcción.

1.2 MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

1.2.1 CEMENTO (AGLOMERANTE).

1.2.1.1 DEFINICIÓN

Según Tahsin [2017], el cemento es un agente aglutinante que se adhiere y endurece para adherirse a unidades de construcción como piedras, ladrillos, azulejos, etc. El cemento generalmente se refiere a una sustancia en polvo muy fina compuesta principalmente de piedra caliza (calcio), arena o arcilla (silicio), bauxita (aluminio) y mineral de hierro, y puede incluir conchas, tiza, marga, lutita, arcilla, escoria de alto horno, pizarra.

En Cuba se asume de acuerdo a la NC 120: 2018 que el cemento es un material mineral finamente molido, que después de ser mezclado con agua forma una pasta que fragua y

endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación y que, después de endurecer, conserva su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

Para Ball [2018], el cemento es un aglutinante, una sustancia utilizada para la construcción que fragua, endurece y se adhiere a otros materiales y los une. El cemento no se usa solo, sino para unir arena y grava.

Otros autores como Pérez [2016] refieren que el cemento es un material inorgánico que está formado básicamente por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, hasta la síntesis, de una mezcla de caliza y arcilla que recibe el nombre de clínquer y de un material empleado como regulador de fraguado que generalmente es yeso hidratado.

Como se observa, la mayoría de los autores describen el cemento simplemente como un aglutinante que endurece al reaccionar con agua, pero para efectos de construcción, el significado del término cemento se refiere a materiales aglutinantes utilizados con piedras, arena, ladrillos, bloques de construcción, etc.

El autor considera que, él cemento no es más que un conglomerante o aglutinante, utilizado para unir otros materiales de construcción, cuya materia prima fundamental es el clínquer y que al ser mezclado con agua endurece y conserva su resistencia incluso debajo del agua. Si bien todos los componentes que constituyen el hormigón son importantes, sin dudas el cemento puede darle unas u otras propiedades dependiendo de la composición y tipo de este último.

1.2.1.2 COMPONENTES

Según Molina [2013], la principal materia prima de la que se obtienen los cementos es el clínker. Los clínkeres de cemento empleados en cementos resistentes a los sulfatos y en cementos resistentes al agua de mar presentan limitaciones en su contenido de aluminato tricálcico y de la suma de sus contenidos de aluminato tricálcico y ferrito-aluminato tetracálcico. El clínker es un material hidráulico que se obtiene por sinterización de una mezcla especificada con precisión de materias primas (crudo, pasta o harina), cuya composición química se fundamenta en los siguientes óxidos: CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ y

otros compuestos. Los componentes de los cementos, dosificados en distintas proporciones y molturados conjuntamente, dan origen a los distintos tipos de cementos.

1.2.1.3 PROPIEDADES

Silva [2015] considera dentro de las propiedades físicas de los cementos la finura, la cual es una de las propiedades más importantes del cemento, ya que ella determina en gran medida la velocidad de hidratación, el desarrollo del calor de hidratación, la retracción y la adquisición de resistencia del cemento. La consistencia normal la cual indica el grado de fluidez con que se puede manejar la pasta de cemento, la densidad que se determina por la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa, el tiempo de fraguado que describe la rigidez de la pasta de cemento, y la resistencia a compresión del mismo.

Las propiedades mecánicas del cemento se pueden determinar a través de ensayos sobre la pasta de cemento o el mortero. Estas pruebas permiten asegurarse de que este posea la calidad deseada y que cumpla los requisitos especificados en las normas. Las propiedades mecánicas están directamente relacionadas con las físicas y dentro de ellas se encuentran según Gil [2018], la resistencia mecánica, la resistencia a la flexión y el ensayo a compresión.

1.2.1.4 TIPOS

Según Bouza [2016], el cemento Portland es un polvo de partículas muy pequeñas resultado de la molienda conjunta de clínker (96 %) y yeso (4 %), que actúa como regulador del fraguado del cemento. En el caso de los cementos con adiciones de puzolanas, hay que tener presente que las puzolanas no tienen propiedades hidráulicas, es decir, no se hidratan ni se endurecen en presencia de agua sola. Las puzolanas son generalmente silicatos o aluminosilicatos (contenidos altos de SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3) que reaccionan con la cal en presencia de agua, para dar productos similares a los de la hidratación del cemento Portland (fundamentalmente tobermorita), con propiedades aglomerantes y determinadas resistencias mecánicas.

De acuerdo a Kotwa [2017], el cemento aluminoso no se usa ampliamente en la industria de la construcción debido al fenómeno de conversión, lo que significa la transición de hidratos hexagonales en regular termodinámicamente estable. Su tipo depende del tipo y variedad de cemento. Los cementos de alúmina más utilizados son los cementos con un menor contenido de alúmina de aprox. 36% a 40%, denominados cementos simples, que son la mayoría de uso general en la construcción.

Para Andrés [2014], en el caso del cemento blanco, las cantidades de ferritos son muy bajas, ya que, para obtener el color blanco, las materias primas deben estar exentas de hierro. Las materias primas minerales para la fabricación de cemento blanco son: piedra caliza y arcilla blanca de caolín. En la fabricación del cemento blanco, la selección de las materias primas es mucho más crítica que en la fabricación del cemento gris. Deben ser minerales muy puros, que deben estar libres de hierro y otros elementos cromóforos, para asegurar la blancura del cemento.

Sin dudas cada tipo de cemento, debido a sus características particulares, tienen distintas utilidades, sin embargo, el más utilizado, no solo a nivel mundial, sino también en nuestro país, es el cemento Portland. A consideración del autor esto se justifica por las altas resistencias que se alcanzan con el mismo, ya que con este se pueden lograr resistencias de 35 MPa o incluso superiores, además de que el coste es menor con respecto a otras clases de cementos, tales como el puzolánico ya que este último contiene adicciones que lo hacen más costoso.

1.2.1.5 Usos

De acuerdo con Anupoju [2020], el cemento en el ámbito de la construcción se puede utilizar para preparar mortero de cemento ya que el cemento tiene buenas propiedades aglutinantes y se utiliza para crear un fuerte vínculo entre ladrillos o piedras en una mampostería. Se usa además para hacer hormigón de cemento que es un material que se utiliza ampliamente debido a sus maravillosas propiedades estructurales. También se usan para construir estructuras a prueba de fuego o de calor pues el cemento es un material resistente al fuego, construir estructuras hidrográficas y resistentes a las heladas o construir estructuras a prueba de químicos. Por otro lado Saleh [2018] plantea que

además de los usos anteriores los cementos también pueden ser usados como lechada para rellenar grietas, juntas, aberturas en cimientos o cualquier otro miembro estructural para mejorar su resistencia, para fabricar miembros prefabricados como las tuberías de concreto de cemento que se usan ampliamente como desagües y por último como estructuras estéticas ya que hoy en día el cemento está disponible en muchos colores. El cemento coloreado hace que la estructura sea hermosa sin ninguna pintura.

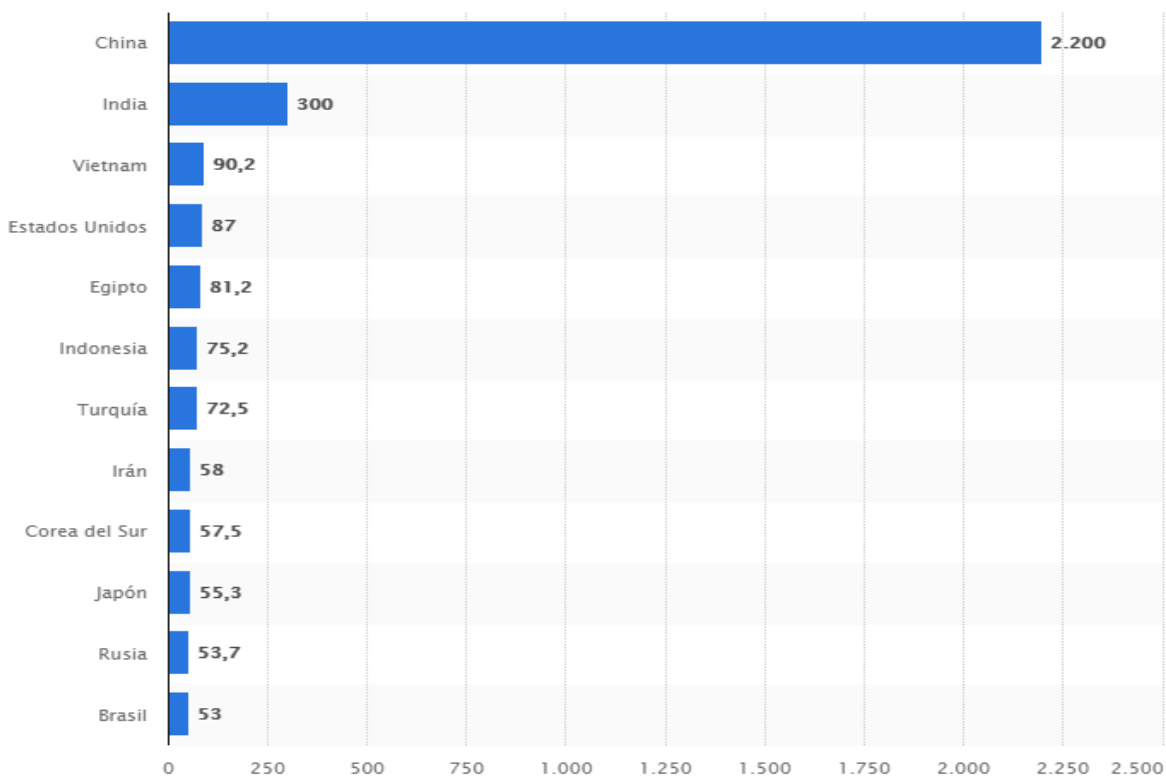
1.2.1.6 ACTUALIDAD DE LA PRODUCCIÓN MUNDIAL DE CEMENTO

Cardoso [2019], estima que la producción global de cemento en el año 2012 alcanzó los 3,6 billones de toneladas. China representó el 59,3% del total de la producción global de cemento, por encima del 56% alcanzado en 2011. De acuerdo a cifras provisionales, las tasas más altas fueron registradas en Suráfrica, Indonesia, Brasil y la India, en tanto que la Federación Rusa y Argentina, en donde la producción de cemento aumentó a altas tasas en años anteriores, sufrieron una recesión.

Según ASOCEMEN [2018], el consumo mundial de cemento alcanzó las 4,129Mt en el 2016. China continuó liderando la demanda de cemento con 2,395Mt en el 2016, alcanzando el 58% de la participación mundial. Excluyendo a China, el consumo mundial de cemento alcanzó las 1,734Mt en el 2016. El líder en las exportaciones de cemento y clinker fue China en el 2016, superando a Vietnam e Irán desde el 2014. Sin embargo, Vietnam se encuentra focalizado en incrementar sus exportaciones de cemento y clinker a distintas regiones del mundo.

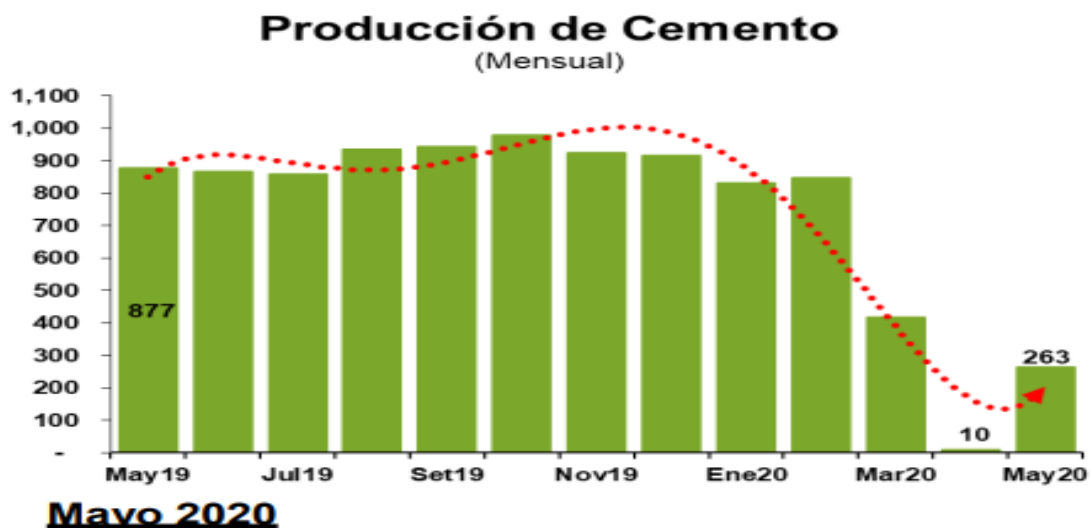
Ya para el año 2019 y hasta el 2020 la producción de cemento se comportó como muestran los gráficos siguientes:

Figura 1.1- "Países líderes en producción de cemento a nivel mundial en 2019"



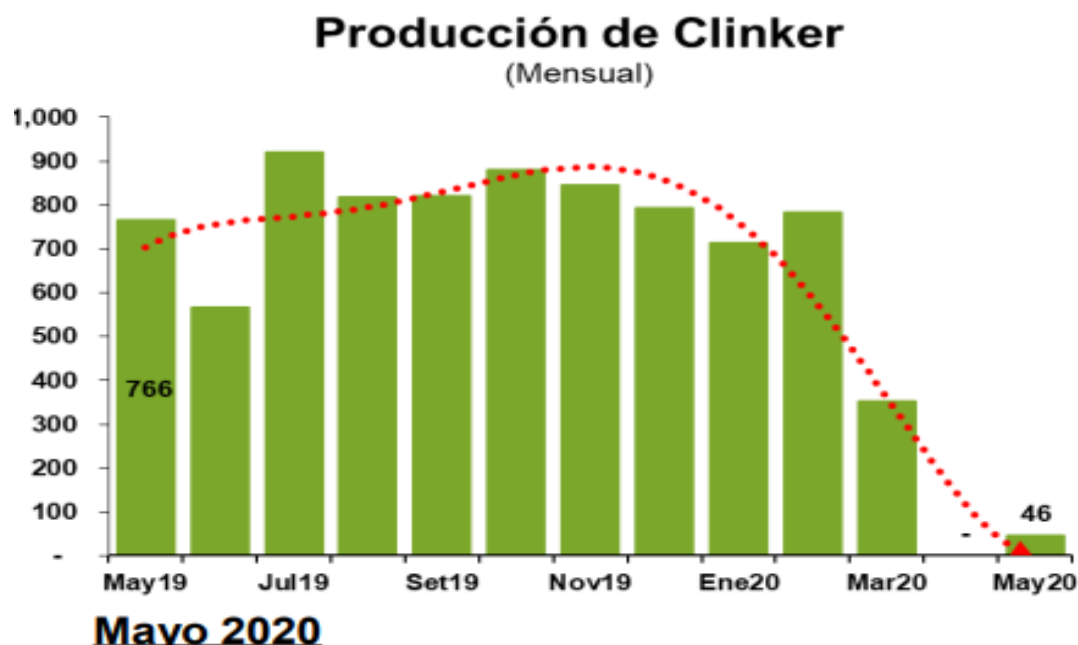
Fuente: Statista Research Department, 13 may. 2020

Figura 1.2- "Producción de Cemento mayo 2020"



Fuente: ASOCEMEN

Figura 1.3- "Producción de Clinker mayo 2020"



Fuente: ASOCEMEN

Como se observa hasta el año 2019 China se mantuvo como el máximo productor de cemento a nivel mundial, con una producción 7 veces mayor que la India, el segundo a nivel mundial. Para abril del año 2020 debido a la crisis económica mundial ocasionada por la pandemia del coronavirus, la producción de cemento a nivel mundial se vio reducida drásticamente como se observa en las siguientes gráficas que muestran la producción de los asociados a ASOCEMEN pertenecientes a Perú. Como se evidencia la producción tanto de cemento como de clínquer decayó considerablemente para abril del 2020 con una pequeña recuperación para el mes de mayo del mismo año.

1.2.2 AGUA

Para que el cemento logre su cometido como parte del hormigón este debe de reaccionar con agua primero. El agua interviene durante el amasado, fraguado y primer endurecimiento del hormigón para su uso durante cada una de estas etapas debe ser apto para cumplir su función. El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la necesaria, pues la sobrante que no

interviene en la hidratación se convertirá en un factor negativo en la durabilidad del hormigón de igual manera una reducción excesiva de agua originaría una mezcla seca, poco manejable y muy difícil de colocar en obra. Por ello es un dato muy importante fijar adecuadamente la cantidad de agua. Durante el fraguado y primer endurecimiento del hormigón se añade el agua de curado para evitar la desecación y mejorar la hidratación del cemento. Las especificaciones del agua se encuentran en la NC 353:2004 “Agua para el amasado y curado del hormigón y los morteros. Especificaciones” [Gómez 2012].

Si el ambiente de las obras es muy seco, lo que favorece la presencia de fenómenos expansivos de cristalización, la limitación relativa a las sustancias disueltas podrá hacerse aún más severa, especialmente en los casos y zonas en que no sean admisibles las eflorescencias. Cuando el hormigonado se realice en ambiente frío, con riesgo de heladas, podrá utilizarse para el amasado, sin necesidad de adoptar precaución especial alguna, agua calentada hasta una temperatura de cuarenta grados centígrados. Como excepcionalmente, se utilice agua calentada a temperatura superior a la antes indicada, se cuidará de que el cemento, durante el amasado, no entre en contacto con ella mientras su temperatura sea superior a 40°C [INGEPLAN 2014].

1.2.3 ÁRIDOS

1.2.3.1 DEFINICIÓN

El término “árido” engloba a un conjunto de materiales granulares inertes comúnmente conocidos con terminologías como arenas, gravas, gravillas, balasto, etc. [Rodríguez 2008].

Los áridos forman el esqueleto duro del hormigón, representando aproximadamente tres cuartos del volumen del hormigón total. Permiten darle resistencia al hormigón y evitan la retracción de la pasta de cemento [Chauveinc 2011].

Los agregados son partículas pétreas que dan una resistencia mecánica y textura superficial, que garantiza la adherencia a la pasta de cemento; controlan los cambios volumétricos que comúnmente se presentan durante el fraguado del concreto.

Generalmente los agregados constituyen más del setenta (70) por ciento del material en un metro cúbico de concreto; por tal motivo disminuyen el costo de las mezclas [Quintero & Rico 2014].

1.2.3.2 PROPIEDADES

Según Montoya [2010], los áridos poseen ciertas características tales como porosidad o absorción que significa que tiene gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y, por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. La densidad que es el cociente entre la masa seca de la muestra del árido y el volumen ocupado por su materia sólida. La resistencia mecánica ya que un mortero o un hormigón no pueden tener más resistencia a compresión que la que tienen los áridos que lo forman. La dureza, pues los áridos que van a utilizarse en obras en las que el hormigón va a estar sometido a desgaste o impacto. Y la adherencia de la pasta al árido, la cual depende de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente su estado superficial.

Además, según Niño [2010], los áridos también poseen propiedades tales como la granulometría que no es más que la distribución de los tamaños de las partículas que forman una masa de agregados y se determina mediante el análisis granulométrico. La forma de las partículas, pues la forma del agregado depende mucho del tipo de roca que lo origino y del sistema de trituración. La textura la cual influye en la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado. Y por último la tenacidad que es la resistencia a la falla por impacto, la cual depende netamente de la roca de origen.

Para el autor los áridos presentan gran importancia para lograr una mezcla de hormigón con las propiedades adecuadas. Estas propiedades dependen principalmente de la naturaleza de los mismos y se pueden conocer por medio de ensayos en el laboratorio. Es importante conocer sus características para la selección del material, para esto se debe tener en cuenta el carácter de trabajo al que va ir destinado el material, condiciones climáticas, y otros factores.

1.2.3.3 CLASIFICACIÓN

Conforme con lo que dice Shraddhu [2018], generalmente los agregados se pueden clasificar según la fuente, la composición mineralógica, el modo de preparación, el tamaño de la partícula agregada. Los agregados pueden clasificarse de acuerdo a su origen como naturales cuando se forman a partir de material natural como la grava y la arena producto de la intemperie y la acción del agua corriente, o artificiales cuando se producen para algún propósito especial. Algunos agregados artificiales son el subproducto de un proceso industrial no relacionado como escorias de alto horno, cenizas, etc. Se clasifican además según la composición mineralógica como siliciosos o calcáreos. También según el modo de preparación en agregados reducidos a su tamaño actual por agentes naturales y el agregado triturado obtenido por una fragmentación deliberada de la roca. Y por último según el tamaño de la partícula en agregados gruesos cuando se retiene en su mayor parte en un tamiz de 4.75 mm y áridos finos al agregado cuando pasa a través del tamiz de 4.75 mm.

Es muy importante tener bien definidas las clasificaciones de los áridos, ya que en dependencia de las propiedades que se quieran lograr para el hormigón, se utilizarán los agregados con una determinada clasificación u otra. Por ejemplo, si se quiere lograr una granulometría continua hay que tener en cuenta la distribución del tamaño de partículas. Por esto es que es tan importante la clasificación de los áridos de acuerdo a su tamaño, puesto que con esta condición el volumen de los espacios entre partículas es mínimo y por consiguiente la cantidad de pasta necesaria para pegarlas y para llenar los espacios entre ellas será mínimo, lo cual dará lugar a una mezcla de mejores condiciones técnicas y además, económicas.

1.2.3.4 FUNCIONES QUE EJERCEN LOS ÁRIDOS EN LA MEZCLA DE HORMIGÓN

Para Seegebrecht [2020], los agregados generalmente se consideran relleno inerte dentro de una mezcla de concreto. Pero una mirada más cercana revela el papel principal y la influencia que desempeña el agregado en las propiedades del concreto fresco y endurecido. Los cambios en la gradación, el tamaño máximo, el peso unitario y el

contenido de humedad pueden alterar el carácter y el rendimiento de su mezcla de concreto.

Según Madrazo & Marquínez [2013], los áridos constituyen el relleno de la pasta y así se reduce el contenido de cemento por metro cúbico produciendo de esta forma una mezcla de hormigón económica. También proporcionan una masa de partículas capaz de resistir grandes esfuerzos a compresión, además de que disminuyen los cambios volumétricos que resultan en el proceso de fraguado.

Los áridos influyen en las propiedades del hormigón fresco. Según Bernal [2012], las propiedades más significativas alteradas tras la adición del refuerzo son las relacionadas con la manejabilidad de la mezcla. La absorción, el tamaño y la graduación (a mayor superficie de agregado, mayor mortero necesario y menor fluidez) son algunas de las propiedades de la misma. La adición de cemento puede conllevar una adición de agua para mantener la proporción mortero – agua necesaria; y estructuras cristalinas como la tubular pueden reducir sensiblemente la trabajabilidad de la mezcla. El grosor de los granos añadidos debe también ser tenida en cuenta y se regula mediante el módulo de finura (MF) que se encuentra normalizado.

Asimismo, los áridos también influyen en las propiedades finales del hormigón endurecido. Según Wilmshurst [2018], los agregados, tanto gruesos como finos, proporcionan un medio para reducir en gran medida la cantidad de cemento utilizado en el concreto. Simplemente desplazan gran parte de la pasta de cemento que de otro modo sería necesaria. Es decir, los agregados son un relleno. Otro efecto significativo es que un buen material agregado reducirá la contracción por secado. Además, un buen agregado será beneficioso para obtener un alto módulo elástico. Algunos parecen pensar que la interacción de las partículas de agregado grueso que se tocan entre sí es lo que le da fuerza al concreto.

Por otro lado Osorio [2015] refiere que la distribución granulométrica juega un papel importante en la resistencia del concreto, ya que si esta es continua permite la máxima capacidad del concreto en estado fresco y una mayor densidad en estado endurecido, lo que se traduce en una mayor resistencia. La forma y textura de los agregados también

influyen. Agregados de forma cúbica y rugosa permiten mayor adherencia de la interfase matriz-agregado respecto de los agregados redondeados y lisos, aumentando la resistencia del concreto. Sin embargo, este efecto se compensa debido a que los primeros requieren mayor contenido de agua que los segundos para obtener la misma manejabilidad. La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también influyen en la resistencia del concreto.

Para el autor, los áridos representan una parte muy importante del hormigón debido a la función que cumplen ya sea en el hormigón fresco o endurecido. Para cada estado de la mezcla, esos le confieren unas determinadas propiedades, logrando hormigones de alta calidad a la vez que se respeta la economía debido al menor coste de los agregados con respecto al cemento.

1.2.4 ADITIVOS

1.2.4.1 DEFINICIÓN

Los aditivos de concreto son sustancias que se agregan a la mezcla de cemento de agua y agregado en pequeñas cantidades para aumentar la durabilidad del concreto, fijar el comportamiento del concreto y controlar el fraguado o endurecimiento. Pueden ser aditivos líquidos o en polvo y se agregan al concreto en la planta o en el lugar de trabajo. El uso exitoso de aditivos depende del uso de métodos apropiados de dosificación y hormigonado [Otieno 2020].

1.2.4.2 HISTORIA

Entre los años 1873 a 1890 se le incorpora al cemento Portland un porcentaje de yeso crudo o cloruro de calcio, esto produjo un cambio muy importante en este tipo de cemento, ya que se obtuvo un fraguado más regular y uniforme. A principios del 1900, se comenzó a considerar la incorporación de otros tipos diferentes de aditivos en estudio, esta vez le correspondió hacer su aparición al silicato de sodio, en conjunto con diversos jabones que por sus características tenían como tarea la de impermeabilizar los diversos tipos de hormigones. Posteriormente, se incorporaron los primeros aditivos reductores de

agua o los también llamados aditivos plastificantes, más adelante, se sumó a la lista de los aditivos los incorporadores de aire, retardadores de fraguado y finalmente los aceleradores de fraguado. Durante el transcurso del año 1960, se inició el uso masivo de los aditivos plastificantes, producto que hoy en día es el más utilizado en todo el mundo. Actualmente, los aditivos para el hormigón, presentan un buen crecimiento, producto de su acción para mejorar las propiedades del hormigón, aspecto que resulta conveniente tanto desde el punto de vista técnico como económico. Su uso está destinado a producir hormigones más trabajables, de mejor terminación, resistentes, durables e impermeables. Hoy se afirma que los aditivos se han transformado en un componente esencial, junto con el agua y los áridos, para la obtención de un hormigón de alta calidad [Preisler 2005].

1.2.4.3 CLASIFICACIÓN

Existen muchas clasificaciones de aditivos, pero una de las más usadas corresponde a la norma ASTM-C-494, 1992b. Esta establece hoy en día, los siguientes tipos de aditivos reductores de agua (Plastificantes), retardantes, acelerantes, reductores de agua y retardantes, reductores de agua y acelerantes, reductores de agua de alto rango o superfluidificantes y reductores de agua de alto rango y retardantes.

Según la NC 228: 2005. Aditivos para hormigones, morteros y pastas, Parte 1: Aditivos para hormigón-Requisitos, se clasifican los aditivos en los términos siguientes:

- 1) Aditivo plastificante/reductor de agua
- 2) Aditivo superplastificante/reductores de agua de alto rango
- 3) Aditivo acelerador del fraguado
- 4) Aditivo acelerador del endurecimiento
- 5) Aditivo retardador del fraguado
- 6) Aditivo introductor de aire
- 7) Aditivo retenedor de agua
- 8) Aditivo hidrófugo de masa
- 9) Aditivo anticorrosivo
- 10) Aditivo multifuncional

Indudablemente los aditivos confieren a la mezcla de hormigón propiedades que sin el uso de estos no alcanzarían. Existen diversas clasificaciones de estos productos ya que tienen un amplio abanico de usos. Dentro de los tipos de aditivos existentes se encuentran los plastificantes y superplastificantes que son de los aditivos más usados a nivel nacional e internacional. Ya que, desde la década del 80, el uso de estos aditivos se ha extendido en todo el ámbito constructivo, generando mejoras en lo referente a la productividad y al tiempo de ejecución; además, de que, aunque se podría pensar lo contrario, su uso representa un ahorro económico para el sector de la construcción.

1.3 ESTRUCTURA DEL HORMIGÓN

El hormigón tiene una microestructura heterogénea, que consta de tres componentes, a saber, pasta de cemento, estructura de poros y zona de transición interfacial entre la pasta de cemento y los agregados. En la zona de transición interfacial, la estructura de la pasta de cemento es diferente de la de la pasta en masa en términos de morfología, composición y densidad. En comparación con la pasta a granel, la zona de transición interfacial tiene menos cemento no hidratado, cristales grandes de hidróxido de calcio, mayor concentración de ettringita y mayor porosidad (menor densidad).

La zona de transición interfacial, de aproximadamente 50 μm de espesor, desempeña un papel en la rigidez, resistencia y permeabilidad de los materiales cementosos que contienen agregado debido a su densidad y resistencia generalmente más bajas en comparación con la pasta de cemento a granel.

La calidad de la unión entre la matriz de pasta y los agregados está influenciada por la forma, el tamaño, la composición mineral, la rugosidad de la superficie, el contenido de humedad superficial y la porosidad de los agregados, así como la relación agua / cemento.[Hilal 2016].

1.4 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Las propiedades del hormigón según ASOCCEM [2015] son sus características o cualidades básicas. Las cuatro propiedades principales del hormigón son la trabajabilidad que es una propiedad importante para muchas aplicaciones del hormigón. En esencia, es

la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad. La impermeabilidad que puede mejorarse, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. La resistencia, que por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Y por último la durabilidad puesto que el hormigón debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

1.4.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

El concreto permanece en su estado fresco desde el momento en que se mezcla hasta que fragua. Durante este tiempo, el hormigón se manipula, transporta, coloca y compacta. Las propiedades del hormigón en su estado fresco son muy importantes porque influyen en la calidad del hormigón endurecido [Suryakanta 2015].

Para Chiluisa [2014], entre las propiedades del hormigón fresco figuran:

- ❖ **La homogeneidad:** Se dice que el hormigón es homogéneo cuando los materiales empleados están correctamente distribuidos en toda la mezcla realizada en una sola amasada.
- ❖ **Cohesión:** Aptitud del hormigón fresco por la cual la mezcla, tanto en estado de movimiento como en reposo en moldes y encofrados, se mantiene sin pérdida de homogeneidad.
- ❖ **Segregación:** La segregación se produce cuando los componentes del hormigón se separan después de ser amasado, se presenta cuando los hormigones no tienen cohesión, por lo tanto, la mezcla no es homogénea.
- ❖ **La trabajabilidad o docilidad:** Es la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone.
- ❖ **La consistencia.** Es la facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse, cuando todas las partículas del cemento se han hidratado completamente, y adquiere cierta plasticidad.
- ❖ **Exudación.** La exudación se produce en el hormigón fresco en el tiempo de fraguado por el ascenso del agua de amasado.

1.4.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Un concreto en estado endurecido las propiedades mecánicas son las principales exigencias para un adecuado funcionamiento de un concreto, aunque no solo la capacidad mecánica para soportar esfuerzos hace a un concreto adecuado para la construcción, sino que además se debe generar una composición idónea, que lo haga apto para resistir con éxito durante toda la vida útil las acciones detrimentales inherentes a las condiciones en que opera la estructura, que pueden generar deterioro prematuro del concreto [Niño 2010].

García [2019], plantea que dentro de las principales propiedades a tener en cuenta para el hormigón endurecido se encuentran:

- ❖ **Densidad:** Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado.
- ❖ **Compacidad:** Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten.
- ❖ **Permeabilidad:** Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases.
- ❖ **Resistencia:** El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es.
- ❖ **Dureza:** Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación
- ❖ **Retracción:** Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar.

Ya sea para el hormigón fresco o endurecido hay que tener muy en cuenta cada una de estas propiedades del hormigón, ya que lograr un estado óptimo de las mismas contribuirá a lograr un producto de calidad. La NC 120:2018 refleja como factores más importantes a controlar para el hormigón fresco la consistencia, el contenido de cemento y la relación agua/cemento, el contenido de aire en la mezcla y el tamaño máximo el árido. Asimismo, menciona para el hormigón endurecido los parámetros más importantes

que contempla son la resistencia a compresión, a tracción indirecta y a flexión, la sorptividad, la resistencia a la penetración del agua bajo presión y el desempeño ante el fuego. Estas propiedades se ven afectadas por distintos y variados factores en cualquiera de sus estados.

1.4.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MANEJABILIDAD O TRABAJABILIDAD DEL HORMIGÓN

La capacidad que el concreto tiene para ser colocado y compactado apropiadamente sin que se produzca segregación alguna, está representado por la facilidad a la compactación, como también el mantenerse como una masa estable, deformarse continuamente sin romperse y fluir o llenar espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe [Rojas & Corredor 2016].

Según Sepulveda [2013], dentro de los factores que influyen en la trabajabilidad del hormigón se encuentran el tamaño, forma, clasificación y textura superficial de los agregados. Además, influirán el contenido de agua y cemento en la mezcla. También actúan sobre la trabajabilidad el uso de aditivos y de materiales cementicios suplementarios.

La trabajabilidad del hormigón es importante cuando la mezcla se encuentra en estado fresco, ya que un grado óptimo de esta va a permitir un trabajo más fácil con la mezcla. En esta propiedad influyen todos los elementos que conforman el hormigón, por lo que habrá que estar atentos a las propiedades y cantidades de cada uno. Pero sin dudas tendrá marcada importancia el papel del agua, pues, a mayor cantidad en la mezcla en estado fresco mayor será la trabajabilidad, pero disminuirá la resistencia que alcanzará en estado endurecido.

1.4.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Para Elbek [2019], la resistencia del hormigón depende del tipo y antigüedad del cemento ya que, con la edad, la resistencia del cemento disminuye debido a la mayor absorción de humedad de la atmósfera. También de la relación cemento-agregado y la relación agua-cemento pues con el aumento de la última, la resistencia del hormigón disminuye.

Depende además del grado de compactación ya que una compactación inadecuada conducirá a la presencia de huecos de aire en el concreto que ciertamente reducirán su resistencia. Un buen curado es esencial para una ganancia de fuerza y durabilidad óptima, para esto es necesario mantener el contenido de humedad requerido, así como las condiciones de temperatura. El tiempo de mezcla influye y el tipo y tamaño del agregado son otros factores influyentes en la resistencia del hormigón.

Sin duda alguna la resistencia es para el autor la propiedad más importante que puede y debe presentar el hormigón endurecido. En determinadas circunstancias puede ser necesaria una u otra propiedad, pero en la mayoría de los casos la función del hormigón será la de soportar grandes cargas sobre él. Por eso cada factor que influye en la resistencia debe ser tenido muy en cuenta mediante la realización de ensayos previos a sus componentes y preparar las condiciones en que se ve a realizar la misma.

Además de la resistencia, la porosidad del hormigón también cumple una función importante en este material ya que el grado de porosidad va a influir en la resistencia del mismo.

1.4.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA POROSIDAD DEL HORMIGÓN

Dentro de los principales factores que influyen en la porosidad del hormigón se encuentran procesos tecnológicos tales como la compactación y el régimen de curado. A esto se le suman las características y cantidades de los materiales usados como parte del diseño y proporcionamiento de las mezclas de hormigón tales como el tipo y contenido de cemento utilizado, la humedad de los agregados y la relación agua-cemento. A esto se le añaden también las agresiones del medio. Para el autor existe una estrecha relación entre la capacidad de absorción y la porosidad del hormigón. Ya que mientras mayor sea la primera, más espacios vacíos o poros quedarán en el producto final, dando como consecuencia la disminución de las propiedades mecánicas del mismo. El principal problema con los poros en el hormigón significa que estos lo harán no ser tan fuerte y duradero. Es por eso que el concreto con alta porosidad no puede ser utilizado para áreas con mucho tráfico o áreas que exigen cargas pesadas. Además, un hormigón con alta porosidad es muy susceptible a las zonas de clima frío debido a su debilidad para

congelarse y descongelarse. El concreto poroso siempre experimentará condiciones de congelamiento y descongelamiento debido a sus vacíos [Ang & Lihndal 2017].

1.4.6 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA SORPTIVIDAD DEL HORMIGÓN

La sorptividad es la velocidad inicial de absorción de agua del hormigón, depende del diámetro de los poros del hormigón, su interconectividad y tortuosidad. La determinación de la velocidad de absorción de agua, pretende determinar la susceptibilidad de un hormigón no saturado a la penetración del agua [NC 120:2018].

Según Nasco [2016], dentro de los factores que influyen en la capacidad de absorción o sorptividad del hormigón se encuentra principalmente la estructura de poros del hormigón y su estado de humedad. La estructura de poros del hormigón depende de una variedad de factores tales como el diseño de mezcla del hormigón (relación a/c, contenido de cemento, tipos de agregado y su granulometría), el régimen de curado, la uniformidad y la compactación. Además, la humedad del hormigón depende de las condiciones del entorno y la estructura de poros en este caso.

Es de gran importancia la realización de este ensayo para medir la sorptividad, ya que se logra a medir la velocidad de absorción de agua del hormigón. Esto es muy importante ya que la cantidad de agua contenida en el mismo contribuye en gran medida al desempeño por durabilidad del hormigón, así como la resistencia del mismo.

1.4.7 FACTORES COMUNES DE LOS CUALES DEPENDEN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

Las propiedades del hormigón anteriormente descritas, sin importar si este se encuentra en estado fresco o endurecido, van a depender de un grupo de factores comunes, que deben ser analizados. Este análisis se debe a que los hormigones a elaborar deben cumplir con los rendimientos de cemento establecidos por el Ministerio de la Construcción.

Dichos factores son de acuerdo a Howland [2013], la tecnología con que se cuenta para elaborar el hormigón, dígase en planta dosificadora o estación móvil, el diseño de la mezcla de hormigón por cualquiera de los métodos existentes, y el tipo de aditivo

utilizado. Además, según el autor, deben considerarse también la distancia de transportación del hormigón, ya que se debe tener en cuenta la distancia que debe viajar el hormigón antes de su colocación para que no se endurezca o pierda sus propiedades, vertido del hormigón pues se deben tomar las debidas precauciones para evitar la disgregación de la mezcla y la compactación del hormigón debido a que una incorrecta compactación afectará las propiedades finales del hormigón.

1.5 TIPOS Y USOS

Existen varios tipos de concreto, incluso si el producto terminado se ve muy similar. Según Sparks [2019], los tipos más comunes de concreto son el concreto reforzado, que se utiliza junto con barras, fibras u otros materiales para mejorar la resistencia a la tracción del hormigón. El concreto ligero, hecho de piedra pómez en lugar del agregado habitual de piedra o roca. El hormigón de alta densidad que se fabrica cuando el contenido de la estructura de concreto necesita ser asegurado adicionalmente, como una planta de energía nuclear, por ejemplo. El concreto prefabricado que se fabrica en un entorno controlado, un proceso mucho más eficiente.

Otros autores como Jamal [2017], coinciden con Sparks en cuanto a los tipos de hormigones más utilizados pero además incluyen algunos más tales como el hormigón con aire atrapado, el cual se usa donde el concreto es vulnerable a la acción de congelación y descongelación. También menciona el hormigón autocompactante el cuál no requiere ningún vibrador para la compactación, se compacta por su propio peso. Además, habla acerca del hormigón proyectado que es uno de los tipos de concreto que utiliza aire comprimido para disparar concreto sobre (o dentro) un marco o estructura. Por último, menciona el hormigón permeable, que contiene una red de agujeros o huecos, para permitir que el aire o el agua se muevan a través del concreto.

De acuerdo a Rahman [2020], el hormigón tiene un amplio abanico de usos en el ámbito de la construcción. Entre estos usos se pueden destacar las presas en las cuales las cargas impuestas debido a la presión del agua son muy intensas, lo que hace que el concreto sea un material adecuado para la construcción de las presas. Además, se utiliza en construcción de los edificios residenciales y comerciales. También se usa para la

realización de carreteras o caminos de entrada, las construcciones marinas y alcantarillas gracias a su resistencia al agua, cimentaciones por su alta capacidad de carga y puentes gracias a la durabilidad.

1.6 DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN

Son múltiples los métodos o procedimientos que se han creado para dosificar el hormigón en diferentes países. Cada investigador ha procurado intervenir en sus ecuaciones o procedimientos, los múltiples factores influyentes en la calidad, en su estado plástico y endurecido, se parte de la relación a/c, calidad del cemento, temperatura ambiente, tipo de áridos, medios tecnológicos de producción.

La dosificación del hormigón es el proceso por el cual, se logran las mejores proporciones de los materiales componentes de este. Podemos dividir los métodos de dosificación de hormigón en dos grandes grupos según sea el parámetro principal de partida fijado que son los métodos de basados en el contenido de cemento por m^3 , los más empleados son los métodos de Fuller, Bolomey y Faury, siendo cada uno de ellos un perfeccionamiento del anterior, y los métodos en los que fijamos la resistencia a compresión como el Método del *American Concrete Institute* (ACI).

El proporcionamiento puede ser empírico (proporciones arbitrarias) basado en observación y cierta experiencia, teórico (método de proporcionamiento basado en las relaciones vacíos- cemento o vacíos morteros) o método empírico directo respaldado por principios y consideraciones técnicas (métodos de tanteos recomendado en la actualidad) [Ricardo 2016 a].

Como todo proceso se deben tener en cuenta de acuerdo a Huanca [2006] la economía ya que el costo del hormigón es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Debido a que el cemento es más costoso que los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el hormigón es el factor más importante para reducir el costo del hormigón. La trabajabilidad pues claramente un hormigón apropiadamente diseñado debe permitir ser colocado y compactado apropiadamente con el equipamiento disponible. Como regla general el hormigón debe

ser suministrado con la trabajabilidad mínima que permita una adecuada colocación. Y por último la resistencia y durabilidad puesto que por lo general las especificaciones del hormigón requerirán una resistencia mínima a compresión. Es importante asegurar que estos requisitos no sean mutuamente incompatibles. Las especificaciones también podrían requerir que el hormigón cumpla ciertos requisitos de durabilidad, tales como resistencia al congelamiento y deshielo o ataque químico.

1.6.1 MÉTODO DE FULLER-THOMPSON

El método de Fuller fue empleado en Cuba desde los años 50 de la pasada centuria en el diseño de mezclas de hormigón para elementos no muy armados, elaborados con áridos redondeados, con un tamaño máximo considerable, de 70 mm, y una masa mínima de cemento de 300 kg/m³. Fue un método eficiente en el diseño de mezclas para hormigones masivos, en el cual la dosificación de los áridos viene determinada por una curva de referencia, de granulometría continua, lo que contribuye a una buena laborabilidad y densidad del conjunto. La curva patrón de por cientos pasados sigue una relación igual a la raíz cuadrada del tamiz en cuestión entre el tamaño máximo del árido [Neville & Brooks 1998].

El método de dosificación de Fuller es uno de los métodos más clásicos, su aplicación está dirigida principalmente para diseños de hormigones en los cuales el tamaño máximo del árido se encuentra comprendido entre 75 mm, los áridos son rodados, no existen secciones fuertemente armadas y la cantidad de cemento por metro cúbico es superior a los 300 Kg/m³. Para la aplicación del método se considera como tamaño máximo del árido la abertura del menor tamiz que retiene menos del 25% (o pasa más del 75%) al cribar por él, sólo el árido de mayor tamaño (la grava), excluyéndose de esta determinación los grandes cantos de dimensiones anormales. La cantidad de cemento a introducir en el diseño de la mezcla será la real que se vaya a emplear en la fabricación del hormigón.

La cantidad de agua dependerá de la tipología de árido utilizada, de su tamaño máximo y de la consistencia que deba tener el hormigón. Si el hormigón debe ser bombeable o se debe colocar en secciones estrechas, es conveniente emplear una consistencia blanda; si

el hormigón se va a consolidar por vibración energética puede emplearse consistencia seca [Delgado 2017].

1.6.2 MÉTODO DE BOLOMEY

Bolomey, ya en la década de los años 60 del pasado siglo, propone un método también utilizado en nuestro país, que constituye un perfeccionamiento de la ley de Fuller ya que, aunque los datos para operar sean los mismos, se trata de obtener un hormigón económico en cemento en base a sus resistencias, consistencia de la masa y forma de los áridos, ya sean redondeados o triturados [Jiménez et al. 2013].

Resulta muy útil en el diseño de hormigones en masa o fuertemente armados, ya sea con áridos rodados o machacados. Los datos para dosificar el hormigón por este método es la cantidad de cemento a emplear, la consistencia de la mezcla (o sistema de compactación que se va a usar), la granulometría y densidad relativa de los áridos disponibles e, imprescindible en este método, el tipo de árido. La consistencia depende del sistema que se vaya a utilizar para compactar el hormigón. La consistencia está determinada por la tabla de asiento y escurrimiento para cada tipo de consistencia de cono de Abrams (mm) y mesa de sacudidas [Ricardo 2016 b].

1.6.3 MÉTODO DE FAURY

Autores como González [2012], el método de Faury, presentado en 1944 en Francia, se puede considerar otra extensión de los dos métodos ya mencionados. Éste se basa en las experiencias realizadas por su propio autor, las que constituyen una continuación de las que ya anteriormente habían ejecutado sobre principios similares otros investigadores tales como Fuller, Bolomey y principalmente Caquot. Este procedimiento, se caracteriza por introducir una serie de mejoras respecto a los anteriores convirtiéndolo en idóneo para todo tipo de hormigones: en masa, armados y, especialmente, en los destinados a piezas prefabricadas. Fundamentalmente, el método se basa en el criterio denominado efecto de pared, desarrollado por el investigador francés Caquot, que cuantifica el efecto que una superficie dura ejerce sobre la porosidad de un material granular en la zona adyacente a ella. Dicho efecto se define como la relación existente entre el tamaño

máximo del árido D y el radio medio del molde R, es decir, D/R. Esto hace que el método de Faury, como ya se ha indicado, sea especialmente adecuado en la construcción de piezas prefabricadas en las que predomina la superficie del molde sobre su volumen, es decir, en aquellas piezas en las que el efecto pared tiene un valor importante. Para definir el tamaño máximo del árido D, el método considera dicha dimensión como el diámetro suficiente de los orificios del tamiz que deja pasar todo el árido. El valor de D puede calcularse convencionalmente por la siguiente relación:

$$D = d_1 + (d_1 - d_2) \frac{x}{y} \quad (0.1)$$

Donde:

–d1 es el mayor de los tamices sobre el que quedan como residuo los granos más gruesos de la grava

–d2 el tamiz inmediatamente inferior y la relación entre ambos en progresión geométrica de razón de 2 ($d_2 = d_1/2$)

–x la proporción de granos de dimensiones superiores a d1 e y la proporción de granos comprendidos entre d1 y d2 retenidos

Para Ricardo [2016], este método de dosificación es bastante idóneo en la aplicación a todo tipo de hormigones, ya sea en masa o armados, y, especialmente, en los destinados a piezas prefabricadas en las que predomina la superficie del molde sobre su volumen: viguetas, vigas, dovelas.

La cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón se obtiene de la proporción del volumen de cemento con relación al volumen absoluto de los materiales sólidos, es decir, la suma de los áridos y el cemento.

1.6.4 MÉTODO DE O' REILLY

De acuerdo con Calderón [2015], tras un análisis profundo de los diferentes métodos de dosificación de concretos habitualmente utilizados (Bolomey, Fuller, Feret, ACI, etc.), Vitervo O' Reilly, observa un denominador común en todos ellos: la atención preferencial que prestan a la composición granulométrica de las partículas de agregados y la escasa

consideración que merece la relativa a la forma de dichas partículas. Este planteamiento implica el cuestionamiento de los referidos métodos de dosificación, especialmente para producción de agregado con elevada proporción de fracciones geoméricamente inadecuada, en los que resulta decisivo el factor de, forma del material y no es de aplicación el modelo de referencia de la "curva granulométrica ideal".

La aplicación de este método aporta ahorros considerables de cemento y logra que el concreto sea más compacto y menos porosos, también garantiza una mayor protección a las barras de acero que circundan, por lo que constituye un método ideal para la elaboración de hormigones de altos desempeños.

O'Reilly incorporó nuevos conceptos y factores que los antiguos investigadores no tuvieron en cuenta, como son: determinación de características de áridos gruesos, la influencia de la consistencia de la masa del concreto en estado fresco y la determinación de una forma más exacta de la cantidad de agua de la mezcla [Díaz 2007].

Para Rodríguez et al. [2016], el método de O'Reilly es uno de los métodos más completos que existe basado en la determinación correcta de las características de los áridos. El mismo es conocido en toda América, España, Francia, Estados Unidos, África, Vietnam, etc. Es considerado el método idóneo para lograr una máxima compacidad. El método de O'Reilly, para diseño de hormigones cuenta con los siguientes pasos:

1. Determinación experimental de la proporción óptima entre los áridos.
2. Determinación de la cantidad de agua necesaria para obtener la consistencia requerida de la mezcla de hormigón.
3. Determinación de la característica (A) de los áridos.
4. Determinación de la cantidad de cemento.

1.6.5 MÉTODO DE LA ACI 211.1

En el año 1991, el *American Concrete Institute*, ACI por sus siglas en inglés, sacó al mercado el ACI 211.1, "*Standard Practice for Selecting Proportions for Normal*,

Heavyweight, and Mass Concrete”. Este proceder, posteriormente fue revisado y actualizado en el año 2002.

El método del ACI se ha convertido en la actualidad en el mayoritariamente utilizado en Cuba, toda América y buena parte del mundo debido a la versatilidad de opciones que brinda y a la efectividad de los resultados en múltiples prestaciones. Sin embargo, el método del ACI no puede emplearse a ciegas. Contiene dos procedimientos que no siempre son aplicables en nuestro país. Primero, los niveles de agresividad ambiental que considera al valorar la relación agua/cemento no se corresponden exactamente con las normativas cubanas en este sentido, o sea, lo que señalan las NC 250:2005 y NC 120:2018. En segundo lugar, la forma en que esta metodología propone definir la forma en que se combinan el árido grueso con el árido fino parte de un módulo de finura de las arenas utilizadas entre 2,4 y 3,0, lo que no siempre se cumple en Cuba. Además, el método del ACI sólo concibe el empleo de dos áridos, uno grueso y otro fino, lo que muchas veces es necesario incrementar en Cuba [Martínez et al. 2018].

El método A.C.I. es un método de dosificación para el diseño de mezclas de hormigón; se basa en medir los materiales (cemento, agua, grava y arena) en peso y volumen, y se diseña tanto para una mezcla en estado fresco como endurecido.

La norma que rige los diseños de mezclas de concreto es la A.C.I 211.1 que, a su vez, está basada en la norma ASTM C33, donde se hace referencia a las especificaciones granulométricas [ACI 211.1].

1.7 RENDIMIENTO DEL CEMENTO

El consumo de cemento en la mezcla se determina a partir del rendimiento del cemento del lote. El rendimiento constituye uno de los mejores indicadores para medir la eficiencia en el uso del cemento tanto de un diseño determinado de mezcla de hormigón, como de todo el sistema de la producción del hormigón.

Se define como el cociente de la resistencia a compresión del hormigón a la edad especificada, expresada en kg/cm^2 , entre el consumo de cemento utilizado en su producción, expresado en kg/m^3 .

$$R_{\text{cemento}} = \frac{f_{cm} \text{ ó } f_{ck}}{C} \quad (0.2)$$

Donde:

- f_{cm} : Resistencia media a la compresión, kg / cm^2 .
- f_{ck} : Resistencia característica a la compresión, kg / cm^2 .
- C : Consumo de cemento, kg / m^3 .

Para el diseño de mezcla en el laboratorio, la resistencia a la compresión del hormigón a utilizar es la media (f_{cm}), pues en estos casos la población disponible es pequeña. A los efectos de la producción de campo del hormigón es indispensable utilizar la resistencia característica obtenida (f_{ck}), que es la resistencia especificada en los proyectos.

Tabla 1.2: Rendimiento del cemento a escala de laboratorio.

<i>Tipo de hormigón</i>	<i>Rendimiento del cemento Bueno</i>	<i>Rendimiento del cemento Aceptable</i>
Hormigones sin aditivos	0,75 o más	0,70 a 0,74
Hormigones con aditivos plastificantes (Hasta un 15 % de reducción del agua de amasado)	0,85 o más	0,80 a 0,84
Hormigones con aditivos superplastificantes (Hasta un 30 % de reducción del agua de amasado)	1,0 o más	0,90 a 0,99

Tabla 1.3: Rendimiento del cemento en condiciones de explotación en el campo.

<i>Tipo de hormigón</i>	<i>Rendimiento del cemento Bueno</i>	<i>Rendimiento del cemento Aceptable</i>
Hormigones sin aditivos	0,65 o más	0,60 a 0,64
Hormigones con aditivos plastificantes (Hasta un 15 % de reducción del agua de amasado)	0,75 o más	0,70 a 0,74
Hormigones con aditivos superplastificantes (Hasta un 30 % de reducción del agua de amasado)	0,80 o más	0,75 a 0,79

1.8 CONCLUSIONES PARCIALES

1. Los materiales componentes del hormigón poseen distintas propiedades que pueden hacer variar sus propiedades.
2. Un adecuado diseño de mezcla contribuirá a determinar el contenido óptimo de cemento logrando un hormigón más económico.
3. El rendimiento del cemento va a depender de factores como la resistencia a la compresión del hormigón, el consumo de cemento y aditivo utilizado.

CAPÍTULO 2: DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES Y MÉTODOS UTILIZADOS EN LOS DISEÑOS DE MEZCLAS

Este capítulo tiene como objetivo describir los materiales y métodos utilizados en los diseños de mezcla para elaborar hormigón. Además, se describe la aplicación del método experimental a los materiales, como parte de los métodos particulares empíricos de investigación científica. Se ofrecerán las recomendaciones necesarias para la continuación de la investigación.

2.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

La Unidad Básica de Servicios de Hormigón suministra el hormigón que se utiliza para la construcción del Hotel Oasis en el balneario de Varadero. En la misma se reportan resistencias a compresión del hormigón superior a la resistencia de proyecto de 35 MPa.

Por lo que se propone la obtención del contenido óptimo de cemento con el objetivo de disminuir el consumo de cemento de la construcción del Hotel Oasis.

Se utilizarán siguientes materiales:

- Áridos gruesos de la cantera A. Maceo
- Árido fino de la cantera A. Maceo
- Árido fino de la cantera Arimao
- Cemento de la planta Carlos Marx en Cienfuegos
- Aditivo SikaPlast 9100CU

La resistencia para la que se ha diseñado es de 35 MPa, se contó con un agregado grueso de tamaño de 10-20 mm (Granito) y otro de 25-10 mm (Gravilla), un módulo de finura de la arena de 2,93 y se utilizó con una relación agua/cemento de 0,40. Se utilizó el diseño de mezcla por el método A.C.I. 211.1 para hormigón normal, para 1 m³ de hormigón en una zona de agresividad muy alta propuesto por Torres [2019], arrojando los siguientes resultados expuestos en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Diseño de mezcla propuesto

Fuente: Torres [2019].

<i>Materiales secos</i>	<i>Peso inicial de los materiales de la empresa(Kg)</i>	<i>Peso de los materiales utilizados en el diseño propuesto.</i>
Agua	176	172
Cemento Portland (P-35)	450	430
Arena (Cantera Arimao)	940	290
Arena (Cantera A. Maceo)	0	755
Gravilla 25-10 mm (Cantera A. Maceo)	670	654
Granito 10-5 mm (Cantera A. Maceo)	280	280
Aditivo Sikaplas 9100, cu	3,2	3,0
Total	2519,2	2584

2.2: DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES

2.2.1 AGUA

El agua que se utilizó en la elaboración de la mezcla, se verificó que fuese potable, libre de cualquier materia o sustancias que pudiesen afectar el hormigón. Sus funciones principales fueron la de hidratar el cemento y para mejorar la laborabilidad de la mezcla.

Se agregó durante la elaboración de la mezcla en pequeñas cantidades cuidando que no se viese afectada la relación agua-cemento.

2.2.2 CEMENTO

En la caracterización del cemento se empleó la NC 95:2017 “Cemento Portland. Especificaciones”. El cemento utilizado es Portland P-35 procedente de Cementos Cienfuegos S.A. de la provincia de Cienfuegos.

2.2.2.1 CEMENTO HIDRÁULICO. CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPOS DE FRAGUADO POR AGUJA VICAT NC 524: 2015.

El método de ensayo consiste en la determinación de la consistencia normal y el tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico mediante la aguja Vicat. Con este método se determinó la cantidad de agua requerida para preparar la pasta de cemento hidráulico a ensayar.

➤ Preparación de la pasta de cemento

Se puso en la amasadora la paleta y el recipiente, bien secos en la posición como para mezclar. Se introdujeron los materiales y se mezcló de la siguiente manera:

1. Se puso toda el agua de la mezcla en el recipiente. Se usó agua destilada y se utilizó siempre para todos los ensayos de arbitraje y corporativos.
2. Se le añadieron 650 g de cemento al agua y se dejó que absorbiera esta durante 30s.
3. Luego se mezcló en velocidad lenta (140 rpm) por 30 s.
4. Se detuvo la amasadora después de este tiempo por 15 s, y durante este tiempo se raspó con la espátula, de modo que cualquier cantidad de pasta que quedó en las paredes del recipiente se pudo incorporar a la mezcla.
5. Se mezcló de nuevo a velocidad rápida (285 rpm) por 1 min.

➤ Moldeo de la muestra de cemento:

Rápidamente se formó una bola de la pasta de cemento con las manos enguantadas, se lanzó 6 veces de una mano a la otra hasta que se produjo una masa esférica que pudo ser

introducida fácilmente en el anillo Vicat. Luego se colocó el anillo por su base mayor y se enrasó la pasta sin presionar la misma.

➤ **Procedimiento para determinar la consistencia.**

Se centró la pasta confinada en el anillo, bajo la barra. El extremo sumergible se puso en contacto con la superficie de la pasta y se apretó el tornillo de fijación, se fijó el indicador movable en una lectura inicial y se liberó rápidamente la barra.

➤ **Procedimiento para determinar el tiempo de fraguado.**

Se mantuvo la muestra en la cámara durante 30 min después del moldeo sin perturbarla, luego se determinó la penetración de la aguja de 1 mm en ese momento y cada 15 min posteriores hasta que se obtuvo una penetración de 25 mm o menos. El tiempo de fraguado final se determinó cuando la aguja no se hundió visiblemente dentro de la pasta.

2.2.3 ÁRIDOS

Los áridos provinieron de las canteras Antonio Maceo y Arimao en Cienfuegos para el árido fino y para el grueso de la cantera de A. Maceo en Matanzas.

2.2.3.1 PROPIEDADES GEOMÉTRICAS DE LOS ÁRIDOS

2.2.3.1.1 ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO NC 178: 2002.

➤ **Fundamentos del método.**

El procedimiento consistió en la determinación de las fracciones granulométricas de las arenas de las canteras Arimao y A. Maceo por medio de un tamizado mecánico garantizando la continuidad del movimiento de la muestra sobre la superficie del tamiz, como indica la norma NC 178: 2002.

➤ **Preparación de la muestra.**

La muestra se determinó por el sistema de cuarteo de una muestra representativa del material a ensayar. El peso de la muestra una vez secado en la estufa a peso constante y a una temperatura de 105 a 110 °C fue de 500 g para el árido fino y 1000 g para el árido grueso como lo indica la norma NC 178: 2002.

➤ **Procedimiento para determinar la granulometría.**

Seguido de sacar la muestra de la estufa se dejó enfriar a temperatura ambiente. La arena, definida como las partículas de dimensión 4,76 hasta 0,074 mm, se le realizó un proceso de tamizado, en el cual se utilizó una serie de tamices de igual apertura que su granulometría. Los tamices que se usaron fueron los de malla cuadrada de la serie ASTM que van desde el N°4 – 4.76 mm hasta el N°200 – 0,074 mm, siendo la apertura de cada tamiz el doble de la siguiente y mitad del anterior. El tamizado se realizó en una tamizadora manual la cual sometió a las partículas del material ensayado a un movimiento lateral y vertical del tamiz, este movimiento también incluye la acción de sacudida. La muestra se movió continuamente sobre la superficie del tamiz. Una vez tamizada la muestra se procedió a pesar el material retenido en cada tamiz por medio de la balanza, cada cantidad de material retenido en los tamices cumplió las especificaciones granulométricas de la norma NC 251: 2018.

2.2.3.1.2 DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ DE 0.074 MM (No. 200). MÉTODO DE ENSAYO NC 182: 2002

➤ **Fundamentos del método.**

El procedimiento se basó en separar mediante lavados y tamizados sucesivos, las partículas finas existentes en los áridos. Entendiéndose por finos las porciones que pasan a través del tamiz de 0,074 mm (No. 200).

➤ **Preparación de la muestra.**

La muestra se homogenizó con suficiente humedad para evitar la segregación del árido objeto del análisis, procurando evitar que en este proceso se pierda alguna porción fina.

Se puso en un recipiente y se desecó en la estufa hasta peso constante a una temperatura que no excedió de 105 – 110 °C. El peso de la muestra para el ensayo se tomó según la NC 182: 2002 (anexo 1), cuando estuvo a temperatura ambiente y después de cuarteada.

➤ **Procedimiento.**

- La muestra después de pesada se colocó en el recipiente y se le añadió agua hasta cubrirla para poder mezclar y agitar convenientemente sin que se produjeran pérdidas, tanto de áridos como de agua.
- Se agitó vigorosamente con el fin de poner en suspensión las partículas finas que pasan por el tamiz de 0,074 mm (No. 200) hasta obtener su separación de las partículas gruesas.
- Inmediatamente después se vertió el agua que contenía las partículas en suspensión en los dos tamices colocados con el tamiz más grueso encima, evitando en lo posible la decantación de las partículas gruesas de la muestra.
- El proceso de lavado se repitió tantas veces como fue necesario hasta que el agua utilizada salió completamente limpia y clara.
- Todo el material retenido en los tamices se unió a la muestra lavada. El árido lavado se desecó hasta peso constante o durante 24 horas a una temperatura que no excedió los 105 - 110 °C.

➤ **Expresión de los resultados.**

La muestra inicial secada fue de 500 g, cuando se le realizó el proceso de lavado y tamizado se volvió a pesar, se determinó la diferencia de peso entre las dos fases de la muestra, se dividió entre el total y se multiplicó por cien. Se obtuvo el porcentaje de fino en la muestra cómo se expresa en la fórmula siguiente:

$$Pf = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (0.3)$$

Leyenda :

Pf : Porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N°200).

a : Peso de la muestra original seca.

b : Peso de la muestra seca después de lavada.

2.2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ÁRIDO

2.2.3.2.1 ARENA. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGUA. MÉTODO DE ENSAYO NC 186: 2002.

➤ Fundamentación del método.

Se obtienen los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua.

➤ Preparación de la muestra.

Se obtuvo mediante el sistema de cuarteo una muestra representativa de 1 000 g. Se secó en la estufa a una temperatura mantenida de 105 a 110 °C hasta peso constante durante 24 horas, se sumergió en agua y se dejó por un período de otras 24 horas. Se extendió la muestra en una superficie plana con el objetivo de disecar la superficie de la partícula por medio de una plancha metálica caliente moderadamente, mientras se zarandó para que la disecación sea uniforme. Esta disecación de la arena se le realizó hasta que las partículas fluyeron libremente sin adherirse unas con otras. Para garantizar que no se adhirieran las partículas, se llenó el molde cónico, ligeramente se apisonó 25 veces con la varilla de compactación y se levantó el molde verticalmente. Se comprobó que la primera vez las partículas se adhirieron entre sí, manteniendo el cono su forma original. Se le siguió realizando el proceso de secado hasta que se volvió a ejecutar la prueba y las partículas se desmoronaron suavemente, dando señal de que se secó superficialmente.

➤ Procedimiento.

Se vertió la muestra preparada en un frasco de 500 mL y se le añadió agua destilada hasta la marca de enrase. Para que se expulsaran todas las burbujas de aire en el interior del grano se sometió la muestra a un baño de María y se mantuvo en ebullición por 2 horas

aproximadamente. Seguidamente se enfrió la muestra a temperatura ambiente en agua por 1 hora aproximadamente, transcurrido el tiempo se le añadió agua destilada hasta alcanzar la marca de enrase y se determinó el peso total en la balanza. La muestra se sacó del recipiente y se secó a peso constante en la estufa a una temperatura mantenida de 105 a 110°C, luego se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó en la balanza.

➤ **Expresión de los resultados.**

$$PEC = \frac{A}{C + B + C_1} \quad (0.4)$$

Leyenda :

PEC : Peso específico corriente. El peso específico de las partículas desecadas incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles.

A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa.

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca.

C : Peso en gramos del frasco lleno con agua.

C1: Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase.

$$PEC = \frac{B}{C + B - C_1} \quad (0.5)$$

Leyenda :

PES : Peso específico saturado. El peso específico de las partículas saturadas de agua y con la superficie seca, incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles.

C : Peso en gramos del frasco lleno con agua.

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca.

$$PEA = \frac{A}{C + A + C_1} \quad (0.6)$$

Leyenda :

PEA: Peso específico aparente. El peso específico de las partículas desecadas incluyendo en el volumen sólo los poros inaccesibles al agua.

C: Peso en gramos del frasco lleno con agua.

C1: Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase.

$$\%ABS = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (0.7)$$

Leyenda :

%ABS: Porciento de absorción de agua.

A: Peso en gramos de la muestra secada en la estufa.

B: Peso en gramos de la muestra saturada con superficie seca.

2.2.3.2.2 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO. MÉTODO DE ENSAYO NC 181: 2002.

➤ Fundamentación del método.

La determinación del peso volumétrico se realizó mediante pesadas del material con un recipiente calibrado de volumen conocido.

➤ Preparación de la muestra de arena.

La muestra se secó en la estufa hasta peso constante a una temperatura mantenida de 105-110 °C por 24 horas.

➤ Procedimiento para determinar los pesos volumétrico, compactado y suelto.

- **Determinación del peso compactado:** El recipiente se llenó en tres capas a una altura no mayor de 50 mm para evitar la segregación de las partículas y en cada una se golpeó 25 veces con la varilla de compactación. Los golpes fueron esparcidos uniformemente en el interior de la superficie del recipiente y la compactación en las capas solo fueron del espesor de la misma en cada una de las capas correspondientes.

Después se enrasó la superficie con la misma varilla de compactación en un solo movimiento acelerado.

- **Determinación del peso suelto:** Se llenó el recipiente hasta el colmo utilizando una cuchara a una altura no mayor de 50 mm para evitar la segregación de las partículas. Luego se enrasó la superficie con la varilla de compactación.

➤ **Expresión de los resultados.**

Para obtener el peso volumétrico se le sustrae a los PMS y PMC la tara del recipiente y se divide por el volumen conocido del recipiente calibrado.

2.2.3.2.3 ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DEL PORCIENTO DE HUECOS. MÉTODO DE ENSAYO NC 177.2002.

➤ **Procedimiento**

A partir de la determinación del peso específico corriente y el peso volumétrico compactado según las normas de referencia, se aplicó la fórmula siguiente:

$$\%PV = \frac{PEC - PUC}{PEC} \times 100 \quad (0.8)$$

Leyenda :

PV = Porciento de vacíos

PEC = Peso específico corriente

PUC = Peso unitario compacto.

2.2.3.3 PROPIEDADES QUÍMICAS DE LOS ÁRIDOS

2.2.3.3.1 ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DE ARCILLA. MÉTODO DE ENSAYO NC 179: 2002.

➤ **Fundamentos del método.**

El ensayo consistió en determinar las propiedades de absorción de las arcillas y su consiguiente efecto de colorante sobre las soluciones acuosas de Azul de Metileno; es

decir se evalúa de forma cuantitativa la presencia de arcilla en los áridos finos de la fracción de 0–0,2 mm.

➤ **Preparación de la muestra.**

La muestra que se tomó fue superior a 200 g de acuerdo con la norma NC 885: 2012, la cual se mantuvo húmeda durante su almacenamiento para así evitar la segregación del agregado fino que se desea evaluar. Antes de ser ensayada fue secada en estufa una sub muestra de 200 g de la fracción granulométrica de 0–2 mm, hasta peso constante a una temperatura de 105 a 110 °C. Una vez que estuvo seca la sub muestra se tamizó a través del tamiz de 2 mm, rechazando lo que quede por encima. Posteriormente se pesó la muestra y se anotó su masa, conservándola en el secador.

➤ **Procedimiento de ensayo**

- Se preparó la solución indicadora de Azul de Metileno.
- Se clasificó la muestra de árido fino pasado por el tamiz 200 (75 μ) y se secó en estufa.
- Se pesó 200 g de la muestra y se secó nuevamente en estufa. Se mezcló, la muestra seca de 200 g con 500 mL de agua, en un beaker hasta lograr su homogeneidad durante 5 minutos.
- Se conectó a la mezcladora una bureta con 100 mL de la solución normal de Azul de Metileno, introduciendo dentro del beaker, con la muestra de árido fino pasado por el tamiz 200.
- Se añadió el Azul de Metileno de 5 en 5 mL goteando progresivamente las variaciones sobre un papel de filtro para determinar la saturación de la muestra y valorar el resultado del ensayo.

➤ **Expresión de los resultados.**

El valor de Azul de Metileno es expresado en gramos de colorante por 1 000 gramos de la fracción granulométrica analizada 0–2 mm y se calculó con la siguiente expresión:

$$MB = \frac{V}{M} \times 10 \quad (0.9)$$

Leyenda :

MB: Valor de Azul de Metileno, expresado en g /1000 g de muestra

V : Volumen total de la solución de Azul de Metileno añadido, mL.

M : Masa de la muestra, g.de la fórmula es la concentración de Azul de Metileno y tiene dimensión (g / L).

2.2.3.4 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS ÁRIDOS

2.2.3.4.1 ÁRIDOS GRUESOS. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURABILIDAD NC 190:2002.

➤ Fundamentos del método.

Se basó en la determinación del índice de triturabilidad de la porción de árido grueso sometida a esfuerzo de compresión constante.

➤ Aparatos y utensilios.

- Se utilizó una prensa hidráulica con capacidad de carga de 0 a 1 000 Se usó una balanza técnica de 0 a 20 kg y valor de división de 0,1 kg.
- La estufa utilizada fue capaz de mantener una temperatura de 105- 115 °C.
- Se usaron tamices con aberturas de malla cuadrada de 38,1 mm, 19,1 mm, 9,52 mm, 4,76 mm, 2,38 mm y 1,19 mm.
- Se usó una varilla metálica lisa y recta, con una sección circular de 16 mm de diámetro y 450 mm de longitud, con el extremo para compactar en forma semicircular.
- Se usaron depósitos consistentes en dos cilindros de 150 mm y 75 mm de diámetro con fondos desmontables y pistones según el diámetro.

➤ Preparación de la muestra.

El muestreo se realizó según se establece en la NC 54- 029. El árido grueso que constituyó la muestra de ensayo se pasó por tamices de abertura igual al tamaño máximo

y mínimo de la fracción en cuestión. La muestra del árido grueso ensayado fue secada en la estufa durante un tiempo no mayor de 24 horas y a un intervalo de temperatura de 105-110 °C. Concluido el secado, la muestra se enfrió a la temperatura ambiente del laboratorio.

➤ **Procedimiento**

- Preparación de la porción de ensayo.
- De la muestra de árido grueso ensayado que se tamizó, secó y enfrió se tomó una porción no menor de 6 kg, ésta a su vez se dividió en dos partes iguales con el fin de realizar dos ensayos paralelos.
- Se colocó el cilindro sobre el fondo desmontable, se pesó para conocer su masa y se comenzó a verter en el mismo la porción de árido grueso a ensayar en tres capas, se dejó caer el material desde una altura de 50 mm, compactando uniformemente la superficie de cada capa con la varilla de compactación. Esta acción se hizo dejando deslizar la varilla entre los dedos de la mano, la cual cayó por su propio peso. Posteriormente se niveló la superficie de manera tal que la misma quede a 15 mm del borde superior del cilindro. De no cumplirse esto, se procede a añadir o quitar partículas de la porción de árido grueso a ensayar hasta alcanzar la altura requerida.
- Después se pesó el cilindro con la porción del árido grueso a ensayar que contiene, para conocer su masa por diferencia de masa.
- A continuación, se colocó sobre la superficie nivelada el pistón del equipo triturador y éste se centra entre los platos de la prensa hidráulica, se aplicó una carga de 200 kN (20 tf) durante 2 minutos aproximadamente, contados a partir del inicio de la aplicación de la carga para la trituración.
- Transcurrido este tiempo, se retiró el cilindro y se sostiene, quitándole el fondo sobre una bandeja limpia. Se extrajo el material contenido en el cilindro golpeando las paredes del mismo con un martillo de goma adecuado hasta que las partículas sueltas caigan sobre la bandeja. El resto de las partículas y el polvo adherido al fondo del pistón y a las paredes interiores del cilindro serán desprendidos de ambos utilizando una brocha de cerdas.

- Posteriormente, el contenido de la bandeja fue tamizado por el tamiz de control según el límite de las fracciones del árido grueso. El tamizado fue interrumpido cuando durante un tiempo aproximado de un minuto, no pase más del 1 % de la masa del árido grueso triturado.

➤ **Expresión de los resultados**

El índice de triturabilidad se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$IT = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \times 100 \quad (0.10)$$

Leyenda :

m1 – Masa de la porción de árido grueso a triturar (g)

m2 – Masa de la porción de árido grueso triturada y retenida en el tamiz de control (g)

El índice de triturabilidad de una fracción de árido grueso se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$IT = \frac{\frac{m_{11} - m_{21}}{m_{11}} + \frac{m_{12} - m_{22}}{m_{12}}}{2} \times 100 \quad (0.11)$$

Leyenda :

m11 – Masa de la porción de árido grueso a triturar correspondiente al primer ensayo (g)

m21 – Masa de la porción de árido grueso triturada y retenida en el tamiz de control correspondiente al primer ensayo (g)

m12 – Masa de la porción de árido grueso a triturar correspondiente al segundo ensayo (g)

m22 – Masa de la porción de árido grueso triturada y retenida en el tamiz de control correspondiente al segundo ensayo (g)

El índice de triturabilidad de una mezcla se calcula de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ITM = \frac{SITF_n \times M_n}{100} \quad (0.12)$$

Leyenda:

SITFn – Índice de triturabilidad de cada una de las fracciones de árido grueso que componen la mezcla.

Mn – Porcentaje de cada una de las fracciones de árido grueso que componen la mezcla.

2.2.4 ADITIVO

En el hormigón elaborado en Unidad Básica de Servicios de Hormigón de Varadero se utilizó el aditivo denominado Sikaplas 9100CU, Superfluidificante, reductor de agua de rango medio de alta eficiencia y permanencia de trabajabilidad. Este aditivo se utiliza en la elaboración de concretos para todo tipo de estructuras, especialmente en aquellos que se quiere optimizar el contenido de cemento por metro cúbico requieren laborabilidad extendida. Este producto presenta una serie de ventajas tales como una excelente reducción de agua sin impactar las características del concreto fresco, que permite obtener concretos con trabajabilidad extendida, es utilizado en concretos que requieren un corto fraguado y aumenta las resistencias mecánicas. Este es un aditivo líquido, color café oscuro y una densidad de 1.13kg/L. Como reductor de agua de usa en una dosificación de 0.4% a 2% del peso del cemento. Aunque en la entidad no se cuenta con las condiciones necesarias para la realización de los ensayos de los aditivos, si se tiene la ficha técnica y se trabaja con los valores establecidos por la NC 228-1:2005 Aditivos para hormigones, morteros y pastas.

2.3 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE LA ACI 211.1

El método de dosificación del ACI (Instituto Americano de Concreto) se basa en tablas empíricas, como resultado de extensas investigaciones fundamentadas en los trabajos experimentales de Abrams y Talbot, este método le da mayor importancia a la influencia de la forma de la partícula y parte solo de su composición granulométrica (ACI 211.1). El mismo consta para su uso de 9 pasos.

Paso #1: Selección del revenimiento. Del anexo 11 se selecciona un revenimiento apropiado, dependiendo del tipo de obra a construirse.

Se puede incrementar en 2,5 cm el asentamiento cuando los métodos de compactación no sean mediante vibrado. También se puede incrementar el revenimiento cuando se emplean aditivos químicos, con la finalidad de mejorar la trabajabilidad, estos sin que potencialmente aumente el sangrado o la segregación.

Paso #2: Selección del tamaño máximo del agregado. El tamaño máximo del agregado debe ser el mayor posible y compatible con las dimensiones de la estructura, debido a que será más económico, porque mientras mayor es el tamaño del agregado ocupara menos cemento y menos agua. (Ver anexo 12: Tamaño máximo recomendado (cm) en función de dimensión mínima de la sección ACI).

Paso #3: Cálculo del agua de mezclado y contenido de aire. La cantidad de agua por volumen unitario del concreto que se necesita para obtener determinado asentamiento depende del tamaño máximo del agregado, del contenido de aire incluido, de la temperatura del hormigón y del uso de aditivos químicos. Para el diseño se debe suponer que los agregados están saturados y superficialmente secos, pero en la práctica no encontramos así a los materiales, pues en época caliente estarán secos y en épocas de lluvias estarán húmedos, valores que se deberán ajustar. (Ver anexo 13).

Paso #4: Selección de la relación agua/cemento. ACI 211.1. La relación agua/cemento (a/c) es de mucha importancia no solo para alcanzar la resistencia de diseño ($f'c$), sino para obtener otros factores como la durabilidad, esta relación determina la porosidad del hormigón endurecido y a mayor porosidad menor resistencia y por ende menor durabilidad [José 2009].

La resistencia promedio seleccionada ($f'cr$) a los 28 días curados y en condiciones normales debe exceder la resistencia especificada. Una vez determinado el valor $f'cr$ y si el concreto a diseñarse será con o sin inclusión de aire, se determina la relación A/C del anexo 14. Para condiciones de exposición severa la relación A/C o agua/materiales

cementantes se debe mantener baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con valores mayores, como se describe en el anexo 15.

Paso #5: Cálculo del contenido del cemento. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua mezclado dividido para la relación A/C, no obstante, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento, además de los requerimientos de resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a utilizar una mayor cantidad de cemento.

$$C = A / (A/C) \quad (0.13)$$

Dónde:

C = Cantidad de cemento por m³ de concreto

A = Cantidad de agua por m³ de concreto

A/C = relación agua / cemento

Paso #6: Estimación del contenido del agregado grueso. En el anexo 16 se muestra el volumen de agregado en m³, con base al peso volumétrico varillado seco (PVV), para un m³ de concreto. Se puede observar que el volumen de agregado grueso varillado en seco por m³ de hormigón depende del tamaño máximo del agregado y del módulo de finura.

Paso #7: Estimación del contenido del agregado fino

Estimación del agregado fino por el método del peso. El peso requerido de agregado fino es la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los demás componentes determinados previamente en Kg/m³. Para determinar el peso del concreto fresco la ACI propone el anexo 17, con la cual se obtiene un cálculo tentativo. Cuando se desea un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cúbico el ACI recomienda la siguiente fórmula [211.1, ACI]:

$$U = 10Ga (100 - A) + C(1 - Ga/Gc) - W(Ga - 1) \quad (0.14)$$

Donde:

U : Peso del concreto fresco, por m^3 .

G_a : Promedio pesado del peso específico de la combinación de Agregado fino y grueso, a granel en condición SSS.

G_c : Peso específico del cemento (generalmente es 3.15)

A : Porcentaje de contenido de aire.

W : Requerimiento de agua de mezclado, kg / m^3

C : Requerimiento de cemento, kg / m^3

Paso #8: Ajustes por humedad de los agregados. Los agregados están generalmente húmedos y sus pesos secos obtenidos se deben incrementar con el porcentaje de agua que contienen los agregados tanto por absorción, de la siguiente manera [211.1, ACI]:

$Agregado\ fino\ húmedo = Agregado\ fino\ seco (1 + w_{af})$

$Agregado\ grueso\ húmedo = Agregado\ grueso\ seco (1 + w_{ag})$

Donde:

w_{af} = Porcentaje de humedad del agregado fino

w_{ag} = Porcentaje de humedad del agregado grueso

Paso #9: Ajustes de las mezclas de prueba. Se debe verificar el peso volumétrico del concreto, su contenido de aire, la trabajabilidad apropiada mediante el *slump* y la ausencia de segregación y sangrado, así como las propiedades de acabado. Para correcciones por diferencias en el *slump*, en el contenido de aire o en el peso unitario del concreto se debe observar el informe ACI 211.1-91.

2.4 ENSAYOS REALIZADOS AL HORMIGÓN.

2.4.1 HORMIGÓN FRESCO. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO POR EL CONO NC 174: 2002.

➤ Procedimiento

1. El molde para realizar el ensayo estaba completamente limpio y no tenía restos de hormigón adheridos en su interior.

2. Se humedeció el molde y se colocó en una superficie horizontal y nivelada, plana, previamente humedecida y no absorbente.
3. El molde fue sostenido firmemente en el lugar mientras se llenó por el operador, parado sobre las dos piezas para apoyar los pies.
4. Se llenó el molde rápidamente con hormigón en tres capas cada una de aproximadamente un tercio del volumen del molde.
5. Se compactó cada capa con veinticinco golpes cada una con la varilla de compactación, distribuyendo los golpes en forma de espiral, uniformemente sobre la sección transversal de cada capa.
6. Para compactar la capa del fondo fue necesario inclinar la varilla ligeramente para lograr compactar la zona cercana al perímetro del cono y en forma vertical al centro del área de la sección transversal.
7. Una vez compactada la capa del fondo se agregó la segunda capa y se compactó y finalmente se agregó la última capa y se compactó. La compactación se realizó de forma tal que los golpes de la varilla penetraron ligeramente dentro de la capa subyacente.
8. Al llenar y compactar la capa superior debió dejarse que el hormigón sobresaliera ligeramente del molde.
9. Después que la capa superior fue compactada, se enrasó con la varilla de compactación, por medio de un movimiento haciendo rodar la varilla por el borde superior del molde y se limpió el derrame originado alrededor del cono.
10. Posteriormente se extrajo el molde rápidamente con cuidado en dirección vertical. La operación de extraer el molde se realizó aproximadamente en 5 segundos con un movimiento vertical y firme, sin que se produjeran movimientos laterales o torsión.
11. La operación de llenado del molde, compactación y extracción del molde se realizó sin interrupción en aproximadamente 2,5 minutos.
12. Inmediatamente que se extrajo el molde, este se colocó junto a la muestra de hormigón y se midió el asentamiento, mediante de una regla o la varilla colocada sobre el molde.

➤ **Los aparatos utilizados fueron:**

- Molde: Era el adecuado para conformar la muestra para el ensayo, está hecho de un metal que no reacciona con la pasta de cemento y con un espesor de chapa menor de 1,5 mm., Su interior será liso y libre de protuberancias y dientes. El molde tiene forma del cono truncado hueco y tiene las dimensiones internas siguientes:
 - Diámetro de la base: 200 mm \pm 2 mm
 - Diámetro del extremo superior: 100 mm \pm 2 mm
 - Altura: 300 mm \pm 2 mm

La base y el extremo superior están abiertos, paralelos entre sí y forman ángulos rectos con el eje del cono. El molde está provisto en la superficie exterior y superior, de dos asas simétricas situadas a las dos terceras partes de la altura, para asir el molde, y en el fondo dos pedazos de aletas también simétricas una a cada lado para apoyar los pies. El molde se sujeta a la base para: que pueda ser llenado sin movimiento o sin causar interferencia en la caída del hormigón. El molde se verificará visualmente cada vez que vaya a ser utilizado para asegurar que está limpio y no esté dañado, sucio o mellado. El cono se verificará anualmente para asegurar que sus dimensiones y condiciones permanecen dentro de sus tolerancias.

- Varilla de compactación: lisa, hecha de acero, de sección circular, con un diámetro de 16 mm \pm 1 mm, 600 mm \pm 5 mm de longitud, y con los extremos redondeados. La varilla puede ser extendida con un manipulador plástico, siempre que la longitud total no exceda los 1 000 mm. La varilla será verificada anualmente para asegurar que sus dimensiones y condiciones permanecen dentro de las tolerancias.
- Embudo: (optativo), está hecho de un material no-absorbente y que no es atacado por la pasta de cemento. El embudo consistió en dos conos truncados que tienen un diámetro común de 100 mm, y los extremos de diámetro mayor, un cono truncado para actuar como un embudo del relleno y el otro como un collar que permite su colocación en la superficie exterior del molde.
- Regla: graduada de 0 mm a 300 mm, con divisiones que no exceden de 5 mm y con el punto cero en un extremo de la regla.

- Placa o superficie base: placa u otra superficie lisa, rígida, plana, no absorbente en la cual se colocó el molde.
- Cuchara de miniestra: de punta cuadrada.
- Bandeja de re-mezclado: de construcción rígida y hecha de un material no absorbente y que no es atacado por la pasta de cemento. Tiene las dimensiones apropiadas para que el hormigón pueda ser cuidadosamente re-mezclado con la cuchara de miniestra de punta cuadrada.
- Cucharón grande: con un ancho de aproximadamente 100 mm.
- Cronómetro u otro dispositivo similar medidor de tiempo que permita la medir hasta 1 s. El reloj estará adecuadamente calibrado en el momento del ensayo.
- Paño húmedo.

2.4.2 ENSAYOS AL HORMIGÓN — RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO NC 724: 2015.

La probeta fue fijada por la norma cubana para la determinación de la resistencia a compresión es la cilíndrica de 150 x 300 mm de acuerdo a la NC-ISO 1920-3.

➤ Aparatos

El ensayo se llevó a cabo empleando una prensa o máquina estándar de ensayo a compresión, la máquina estaba calibrada y se verifica anualmente.

➤ Procedimiento

1. Preparación y ubicación de las probetas.

Las probetas fueron curadas en agua y se les quitó la humedad en exceso de la superficie antes de colocarlas en la máquina de ensayo. El tiempo transcurrido entre la extracción de la probeta del cuarto o tanque de curado hasta que fue ensayada fue lo más corto posible. Durante el tiempo en que la probeta estuvo fuera del cuarto o tanque de curado, se protegió del secado, cubriéndola con un paño mojado. Las superficies de los platos de la máquina de ensayo se limpiaron y se removieron los materiales extraños sobre las mismas. No utilizó ningún tipo de relleno, al no ser las planchas auxiliares o bloques de

espaciamiento entre la probeta y los platos de la máquina de ensayo. La probeta se centró en el plato inferior con una exactitud inferior al 1% del diámetro de las probetas cilíndricas.

2. Aplicación de la carga

La carga se aplicó sin saltos bruscos y se incrementó continuamente a una velocidad constante hasta que no pudo ser sostenida una carga mayor. Se seleccionó una velocidad de aplicación de los esfuerzos no menor de 0,15 MPa/s y no mayor que 1,0 MPa/s. Se emplearon máquinas con control manual. La carga máxima indicada se registró.

3. Valoración de tipo de fallo

Si la rotura fue satisfactoria se registrará. Si la rotura es insatisfactoria, se registra usando el número del modelo que más se aproxime a la realidad según el anexo 2.

➤ **Resultados del ensayo**

La Resistencia a Compresión se da por la ecuación:

$$f'c = \frac{F}{A_c} \quad (0.15)$$

Leyenda:

F'c: Resistencia a compresión expresada en (MPa)

F: Carga Máxima, expresada en (N)

Ac: Área de la sección transversal de la probeta sobre la cual actúa la fuerza a compresión, expresada en (mm²)

2.4.3 HORMIGÓN ENDURECIDO — DETERMINACIÓN DE LA ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD NC 345: 2011

➤ **Preparación de la muestra.**

Se usaron probetas cilíndricas de 150 X 300 mm curada por 7 y 28 días; tomadas del mismo proceso de mezclado y con la misma dosificación que las probetas ensayadas a flexión y compresión.

➤ **Procedimiento de ensayo**

1. Se tomó una probeta cilíndrica de 150 mm x 300 mm (que fue curada 28 días), esta fue aserrada como una lámina delgada de hormigón o mortero de $25 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ de espesor tomada del centro de la probeta.
2. La superficie de succión de la muestra fue la parte aserrada, esta estuvo libre de carbonatación y otras impurezas. Se cubrió previamente las áreas laterales curvas del espécimen con resina epoxi o parafina.
3. Las probetas ya preacondicionadas se colocaron sobre los extremos de unos cintillos de madera, plásticos finos o de cualquier otro material (como se muestra en la Figura 1), dentro de un recipiente estanco que contenía una altura de agua por encima de los cintillos de aproximadamente 5 mm.
4. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llenó una probeta de agua y se colocó en posición invertida a 5 mm, de manera tal que la misma quedó introducida en el agua, tal como se muestra en el anexo 3.
5. Las probetas fueron pesadas antes de ser colocadas en el agua y se volvieron a pesar a las edades de (1/12; 1/6; 1/4; 1/2; 1; 2; 3; 4; 6; 24; 48; 72; 96) horas contadas a partir de que comenzó el ensayo o su contacto con el agua, estas pesadas se realizaron cada 24 horas a partir de las 96 horas hasta que el peso de las mismas fue constante.
6. Con los pesos obtenidos a las diferentes edades indicadas se graficó el peso en kilogramos contra la raíz cuadrada del tiempo y se obtuvo una curva similar al anexo 4, si el eje del tiempo está en escala de raíz cuadrada, el punto crítico entre los estados 1 y 2 corresponde al punto cuando el frente de agua ha avanzado hasta alcanzar la parte superior y se considere el valor final de los resultados.

2.4.4 HORMIGÓN HIDRÁULICO — CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA REAL A LA COMPRESIÓN NC 192:2012.

➤ **Cálculo de la resistencia característica real a la compresión del hormigón**

- La resistencia a la compresión de cada una de las probetas ensayadas (f_{ci}) se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$f_{ci} = \frac{F}{A} \times 100 \quad (0.16)$$

Leyenda :

F : Carga de rotura (kN);

A : Área de la sección transversal de la probeta (cm²)

- La resistencia a compresión de la serie de probetas se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$f_{cs} = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (0.17)$$

Leyenda :

n : número de probetas de la serie

- El recorrido de la serie de probetas se calculó como la diferencia entre el valor mayor de resistencia a compresión de las probetas de la serie menos el valor menor. Si las probetas se han ordenado adecuadamente en el registro, o sea de mayor a menor, entonces:

$$R_i = f_{c1} - f_{cn} \quad (0.18)$$

- La resistencia media a la compresión del hormigón del lote (*f_{cm}*) se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$f_{cm} = \frac{\sum_{i=1}^m f_{cs}}{m} \quad (0.19)$$

Leyenda :

m : número de series del lote.

- El valor del recorrido medio del lote de hormigón (*R*) se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^m R_i}{m} \quad (0.20)$$

- La desviación típica interna del ensayo se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$S_1 = \frac{1}{d_2} \times R \quad (0.21)$$

Leyenda

1/d2: Constante que depende del número de probetas promediadas en una serie (Ver Tabla 2.2)

Tabla 2.2: Valor de la constante 1/d2.

<i>Cantidad de probetas</i>	<i>Cantidad de probetas valor de 1/d2</i>
2	20,8865
3	30,5967

- El coeficiente de variación interno del ensayo (*Within Test*) se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$V_1 = \frac{S_1}{f_{cm}} \times 100 \quad (0.22)$$

Los valores límites de V1 para diferentes grados de control se muestra en el anexo 5. Este coeficiente permite evaluar la calidad del ensayo y el nivel de control en la preparación de las probetas, tanto a pie de obra, en las plantas preparadoras, como en la confección de mezclas de prueba en el laboratorio.

La desviación típica del lote se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$S_n = \sqrt{\sum_{s=1}^m \frac{(f_{cm} - f_{cm})^2}{m-1}} \quad (0.23)$$

- La S_n reflejó las variaciones entre amasadas de hormigón, o lo que es lo mismo, entre las series de probetas. Estas variaciones son debidas fundamentalmente a las variaciones propias de las características y propiedades de los materiales componentes del hormigón, a las variaciones en la dosificación, el mezclado y el muestreo e incluyen la desviación típica interna del ensayo, tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$S_{n^2} = S_{1^2} + S_{2^2} \quad (0.24)$$

Leyenda :

S2: desviación típica de amasada a amasada, sin incluir las variaciones internas del ensayo (Within Test)

- El coeficiente de variación del lote se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$V_n = \frac{S_n}{f_{cm}} \times 100 \quad (0.25)$$

- La comprobación de la anormalidad en los valores de la resistencia a la compresión, se realizó para los valores extremos, o sea tanto para los muy bajos, como para los muy altos. Los valores anormales de la f_{ci} se evaluaron comparando el valor individual que resulte sospechoso con el valor promedio de la serie f_{cm} a que corresponde. La anormalidad de los valores de resistencia a la compresión de las series, se analizó cuando existieron deficiencias en la calidad de la probeta o si el valor sospechoso o muy desviado es provocado por factores ajenos, condiciones anormales o errores de ensayo y medición. En estos casos, a partir de los datos de resistencia media f_{cm} y la desviación típica del lote S_n , se halló el valor del estadígrafo t_n , mediante la siguiente fórmula:

$$t_n = \frac{(f_{c1} - f_{cm})}{S_n} \quad (0.26)$$

Leyenda :

fc1: Valor de la serie que se considera anormal (MPa).

- El valor de t_n se compara con el valor límite “h” dado en el anexo 6, en función de la población de series que se analizan, para un nivel de significación del 5%. Si se cumple que $t_n > h$ el $fc1$ es anormal y debe ser excluido.
- Una vez eliminados los valores anormales (individuales y de series), se recalculó la resistencia media a compresión del hormigón del lote por la fórmula (2.18) y la desviación típica del lote por la fórmula (2.22). La resistencia característica del lote se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1,34 \times S_n \quad (0.27)$$

Leyenda :

1,34: Valor de Z para una fracción defectuosa permisible aproximadamente del 10%.

La expresión (11) sólo puede aplicarse cuando se cuente con 15 o más valores de medias muestrales.

- En el caso de poblaciones más pequeñas la expresión de la resistencia característica del lote será:

$$f_{ck} = f_{cm} - t \times S_n \quad (0.28)$$

Leyenda :

t: Percentil de Student para un nivel de confianza del 90%,

cuyos valores, en función de los grados de libertad “v” se indican en la Tabla 2.6.

Donde (v = n - 1), o sea, la población de series menos 1.

Aunque los valores del percentil de Student permiten trabajar con una población de 2 series muestrales, la población muestral mínima para la determinación de la f_{ck} será de 6. Se obtendrán resultados más confiables con una población de 15 o más series muestrales. (Ver anexo 7)

- **Determinación de la fracción defectuosa real obtenida**

La fracción defectuosa real obtenida, o sea, el porcentaje de los valores de resistencia a compresión de las series, que son inferiores a la resistencia característica del hormigón especificada por el proyecto (f_{ck}), se determinó directamente de un examen de la población de las series, o se puede calcular si se cuentan con más de 15 valores de series muestrales, mediante la fórmula siguiente:

$$Z = \frac{f_{cm} - f_{ck}}{S_n} \quad (0.29)$$

En anexo 8 se aprecia la fracción defectuosa obtenida en %, en dependencia del valor de Z calculado por la fórmula (2.25).

- **Evaluación de la uniformidad del hormigón**

El grado de uniformidad o de control obtenido en la producción del hormigón de resistencia especificada $f_{ck} \leq 34,5$ MPa, se evaluó a partir de la comparación de la desviación típica del lote (S_n) y los valores indicados en el anexo 9, que se empleó tanto para la producción del hormigón a pie de obra o en planta preparadora, así como durante la confección de mezclas de prueba en el laboratorio.

El grado de uniformidad o de control obtenido en la producción del hormigón de resistencia especificada $f_{ck} > 34,5$ MPa, se evaluó a partir de la comparación del coeficiente de variación del Lote (V_n) y los valores indicados en el anexo 10, que se empleará tanto para la producción del hormigón a pie de obra o en planta preparadora, así como durante la confección de mezclas de prueba en el laboratorio.

- **La evaluación del grado de uniformidad del hormigón se medió como:**
 - ✓ Excelente para el control de campo, que debe garantizar la producción de hormigón en plantas de prefabricado y además en plantas centralizadas de hormigón premezclado con sistema de dosificación automático.
 - ✓ Muy Bueno para el control de campo que debe corresponder a plantas dosificadoras gravimétricas con sistema de control manual.
 - ✓ Bueno para el control de campo que debe caracterizar a la producción de hormigón a pie de obra en hormigoneras estacionarias con medición volumétrica de los materiales.
 - ✓ En cualquier caso, los resultados evaluados como “Aceptables” o “Deficientes”, requieren la toma de medidas inmediatas para mejorar el grado de control en la producción del hormigón. Los criterios anteriormente analizados, conjuntamente con los valores de la desviación típica y del Coeficiente de Variación V_n , permiten asumir un valor de S_n o de V_n para determinar la resistencia media de diseño de una dosificación de hormigón, siempre que no exista una estadística anterior que sea confiable, como es el caso de la producción inicial, y se calculará mediante las fórmulas siguientes, para los hormigones de $f_{ck} \leq 34,5$ MPa:

$$f_{cm} = f_{ck} + 1,34 \times S_n \quad (0.30)$$

En tanto que para los hormigones de $f_{ck} > 34,5$ MPa:

$$f_{cm} = \frac{f_{ck}}{1 - 1,34V_n} \quad (0.31)$$

- **Criterio de conformidad del lote de hormigón**

Los dos criterios de conformidad para la aceptación de un lote de hormigón por su resistencia a compresión, tanto para la producción inicial como continúa está indicado en la NC 120:2018. Si el lote de hormigón no cumple con el criterio de conformidad será rechazado y se procederá de acuerdo a lo establecido en la NC 207:2003.

2.4.5 HORMIGÓN HIDRÁULICO — DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (SORPTIVIDAD) NC 967:2013.

➤ **Principio.**

La velocidad de absorción de agua (sorptividad) del hormigón hidráulico se determinó midiendo el incremento de la masa de una probeta como resultado de la absorción de agua en función del tiempo, cuando sólo se expuso al agua una superficie de la probeta. La superficie de la probeta que estuvo expuesta al agua se sumergió y el agua ingresó al hormigón no saturado debido a la succión capilar a partir del contacto con el agua.

➤ **Reactivos y materiales.**

- Resina epóxica o parafina para el sellaje de las superficies laterales de la probeta. El material utilizado para el sellaje no requiere un tiempo de curado mayor de 10 minutos.
- Bolsas de polietileno para almacenaje, con cinta de sellado, lo suficientemente grandes para contener al menos una probeta de ensayo, pero no mayor que cinco veces el volumen de la probeta.
- Toalla de papel o paño, para secar el exceso de agua de la superficie de la probeta.
- Máquina extractora de testigos con sus aditamentos (de acuerdo con la norma NC 318:2015).
- Cortadora de probetas de hormigón (adecuada para obtener un corte uniforme).
- Calibrador o pie de rey para medir las dimensiones de las probetas hasta el 0,1 mm más cercano.
- Bandejas de laboratorio o cubetas de fondo plano que sean impermeables al agua de un material resistente a la corrosión y lo suficientemente grande para acomodar las probetas de ensayos apoyadas sobre los cintillos con las superficies a ser ensayadas expuestas al agua.
- Báscula de plato superior con capacidad suficiente para pesar las probetas de ensayo y con una exactitud como mínimo de $\pm 0,01$ gramos.

- Dispositivos de soporte, pines, cintillos de madera, plásticos finos o de cualquier otro material resistente a la corrosión en agua o en soluciones alcalinas, que permita el libre acceso al agua o a la superficie expuesta de la probeta durante el ensayo.
- Cronómetro, reloj con parada u otro dispositivo de tiempo con exactitud de ± 1 s.
- Cámara medioambiental, una cámara con circulación de aire capaz de mantener una temperatura ambiente de (50 ± 2) °C y una humedad relativa de (80 ± 3) %. Alternativamente se puede emplear una estufa que garantice una temperatura de (50 ± 2) °C y dentro un desecador lo suficientemente grande para contener las probetas a ensayar. La humedad relativa es controlada en el desecador a $(80 \pm 0,5)$ % mediante la colocación de agua en su parte inferior que no esté en contacto directo con las probetas.

➤ **Preparación y conservación de muestras para ensayos y probetas.**

- La probeta normalizada de ensayo fue un disco de (100 ± 6) mm de diámetro con un espesor de (50 ± 3) mm. Las probetas se obtuvieron a partir de las probetas cilíndricas normalizadas, elaboradas de acuerdo a la NC-ISO 1920-3. Cuando se tomaron testigos, se marcaron de manera que la superficie ensayada, relativa a su ubicación original en la estructura, quedó claramente indicada. La edad de las probetas a ensayar en todos los casos fueron como mínimo de 28 días.
- El promedio de los resultados de dos probetas constituyó el resultado del ensayo. Las superficies ensayadas, estuvieron a la misma distancia de la superficie original expuesta del hormigón.

➤ **Procedimiento.**

1. Se colocó las probetas de ensayo en la cámara medioambiental a temperatura de (50 ± 2) °C y una humedad relativa de (80 ± 3) % durante 3 días. Alternativamente, se colocó las probetas de ensayo en un desecador dentro de una estufa a temperatura de (50 ± 2) °C por 3 días. Si se emplea el desecador, controle la humedad relativa en el desecador con agua, pero no permita que las probetas de ensayo contacten con el agua.

2. Después de los 3 días, se colocó cada probeta dentro de una bolsa de polietileno para almacenaje sellable. Luego se utilizó una bolsa separada para cada probeta. Se tomaron precauciones para permitir el libre flujo de aire alrededor de cada probeta con vistas a asegurar un contacto mínimo de la probeta con las paredes de la bolsa.
3. Se almacenó la bolsa sellada a (23 ± 2) °C como mínimo durante 15 días antes de comenzar el procedimiento de la absorción.
4. Se extrajo la probeta del recipiente de almacenaje y registre la masa de la probeta acondicionada al 0,01 g más cercano, antes de sellar sus superficies laterales.
5. Se midió como mínimo 4 diámetros de la probeta en la superficie a que va a quedar expuesta al agua. Mida los diámetros al 0,1 mm más cercano y calcule el diámetro promedio al 0,1 mm más cercano.
6. Se selló la superficie lateral de cada probeta con resina epóxica, parafina o un material de sellado apropiado. Selle el extremo de la probeta que no va a quedar expuesto al agua utilizando una liga o banda elástica u otro sistema equivalente.

➤ **Expresión de los resultados.**

- La absorción I , es el cambio en la masa dividida entre el producto del área de la sección transversal de la probeta de ensayo y la densidad del agua. Para este ensayo la variación de la densidad del agua con la temperatura es obviada y se utilizó un valor constante de $0,001 \text{ g/mm}^3$. Las unidades de I son en mm.

$$I = \frac{M_t}{a \times d} \quad (0.32)$$

Leyenda :

I : Absorción (mm).

M_t : Cambio en la masa de las probetas en gramos, al momento t .

a : Área expuesta de la probeta, (mm^2).

d : Densidad del agua, ($0,001 \text{ g / mm}^3$).

- La velocidad inicial de absorción de agua ($\text{mm/s}^{1/2}$) se define como la pendiente de la línea que sea el mejor ajuste a I ploteado contra la raíz cuadrada del tiempo ($\text{s}^{1/2}$). Se

obtuvo esta pendiente utilizando el análisis lineal de regresión por los mínimos cuadrados, el análisis de regresión lineal de plotear I contra el tiempo”. Para el análisis de regresión lineal utilice todos los puntos desde 1 min hasta 6 horas, excluyendo los puntos para los tiempos después que el ploteo muestre un claro cambio de pendiente. Si los datos entre 1 min y 6 horas no siguen una relación lineal (un coeficiente de correlación menor de 0,98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad inicial de absorción no puede ser determinada.

- La velocidad secundaria de absorción de agua ($\text{mm/s}^{1/2}$) se define como la pendiente de la línea que sea el mejor ajuste a I plotado contra la raíz cuadrada del tiempo ($\text{s}^{1/2}$), utilizando todos los puntos desde 1 día a 7 días. Utilice la regresión lineal por mínimos cuadrados para determinar la pendiente. Si los datos entre (1 y 7) días no siguen una relación lineal (un coeficiente de correlación de menos de 0,98) y muestran una curvatura sistemática, la velocidad secundaria de absorción de agua no puede ser determinada.
- Precisión: El coeficiente de variación de la repetibilidad ha sido determinado como el 6,0 % en mediciones preliminares de la absorción por este método de ensayo, para un simple laboratorio y un simple operador. Se requiere la organización de un programa Interlaboratorios para desarrollar los valores de repetibilidad y reproducibilidad.
- Sesgo: El método de ensayo no tiene sesgo, porque la velocidad de absorción de agua determinada sólo puede ser definida en términos del método de ensayo

2.5 RESULTADOS ESPERADOS

Caracterización del cemento

En cuanto a los ensayos físicos del cemento, se espera una de evaluación de conformidad del hormigón de “Conforme” en cuanto a la resistencia normal y el tiempo de fraguado de acuerdo a la NC 524:2015.

Para los ensayos mecánicos del cemento se aguarda una evaluación de conformidad del hormigón de "Conforme" en cuanto a la resistencia a compresión de acuerdo a la NC 506:2013.

Caracterización de los áridos

- **Propiedades geométricas**

El comportamiento de la granulometría se analizó mediante la NC 251:2018 y se planea que tanto para el árido fino como para el grueso se obtenga una granulometría continua, pues la granulometría es determinante en el futuro comportamiento del hormigón en el estado plástico y su posterior endurecido.

El rango del módulo de finura para los áridos finos de acuerdo con la NC 251:2018 es de 2,2 a 3. Según Villanueva [2008] una arena con estas características constituye un ahorro en cuanto cemento, porque esta ayuda al cemento a cubrir la superficie de agregado, aportando menos porosidad y por tanto menos velocidad de absorción capilar en el hormigón.

La NC 251:2018 establece para material más fino que T-200(%) de áridos finos utilizados en hormigones un (%) <5, mientras que para áridos gruesos establece un (%) <1. Cuando este material se encuentra en exceso en los áridos tiende a adherirse a las partículas de mayor tamaño, impidiendo una buena adherencia de este último con la pasta de cemento. Esto trae como resultado baja resistencia a los esfuerzos mecánicos de los hormigones que contienen dichos áridos [Lima & Hernández 2015].

- **Propiedades físicas del árido**

De acuerdo a la NC 251:2018 el valor del peso específico exigido es de $>2,5 \text{ g/cm}^3$ y el porcentaje de absorción obtenido exigido es de < 3 . Si este valor no se tiene en cuenta, podría variar la relación agua/cemento de la mezcla conllevando a una adición de agua y cemento para mantener esta proporción, llegando a reducir sensiblemente la trabajabilidad de la mezcla, obteniendo así un hormigón más poroso, menos duradero y resistente.

Para la determinación de los pesos volumétricos se analizó de acuerdo con lo establecido en la NC 251:2018. El volumen que ocupa un árido según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad, propiedades que pueden afectar al hormigón en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla [Gayoso & Herrera 2007].

- **Propiedades químicas de los áridos**

La NC 251:2018 establece para los áridos tener un porcentaje de partículas de arcilla <1. Según Gayoso & Herrera [2007] la presencia de arcilla en el hormigón puede ser el origen de un aumento de la cantidad de agua necesaria para el amasado y de un eventual hinchamiento que motiva retracción y fisuración cuando la mezcla se seque, provoca, además, una disminución notable de la adherencia árido/pasta reduciendo considerablemente la resistencia de los hormigones.

- **Propiedades mecánicas del árido**

La NC 251:2018 establece según la determinación del índice de triturabilidad de la porción de árido grueso sometida a esfuerzo de compresión constante los tipos de hormigones para los cuales se puede utilizar el árido grueso.

Caracterización del aditivo

El aditivo SikaPlast 9100CU debería contribuir a minimizar los riesgos que ocasiona el no poder controlar ciertas características inherentes a la mezcla de hormigón original, como son los tiempos de fraguado, la estructura de vacíos, el calor de hidratación, etc.

Caracterización del agua

El agua utilizada no debería contener sustancias en suspensión o disueltas que puedan alterar el fraguado del cemento y con $\text{pH} < 7$. Debe ser incolora, inodora, fresca y no contener materia orgánica para que no se produzcan eflorescencias, agrietamientos, corrosiones o perturbaciones en el fraguado o endurecimiento de las masas.

Caracterización del hormigón

De acuerdo a la NC 120:2018 se espera una consistencia de la mezcla de hormigón "Muy Fluida" debido al aditivo superfluidificante utilizado, lo cual le otorgará a la mezcla una alta laborabilidad.

Se aguarda obtener una resistencia a compresión a los 28 días superior a la de proyecto de 35 MPa cumpliendo con lo exigido por la NC 120:2018.

Se tiene la expectativa de que el resultado del ensayo de porosidad a los 28 días cumpla con la NC 120:2018 que exige para un hormigón armado en una zona de agresividad alta no exceder el 10 % de porosidad efectiva. Con este valor de absorción capilar de agua se garantizaría el aumento de la durabilidad del hormigón en zonas de agresividad alta.

Se especula que la velocidad de absorción capilar de este material a los 28 días cumpla con la NC 120:2018 que establece para hormigones armados y una zona de agresividad alta una velocidad de absorción capilar no mayor de $5 \times 10^{-5} \text{ m/s}^{1/2}$. Con esta velocidad de absorción capilar, el hormigón podría ser utilizado en zonas de agresividad alta, como lo es la costa de Varadero, donde sería utilizado el hormigón.

2.6 CONCLUSIONES PARCIALES

1. Los materiales utilizados en la mezcla fueron sometidos a un proceso de caracterización con el objetivo de observar como influirán en las propiedades finales del hormigón.
2. Existen diversos métodos de diseños de mezcla en Cuba y el mundo pero el más adecuado para la realización del experimento en cuestión es el método de la ACI 211.1, ya que considera la influencia del medio agresivo en el que se encuentra el hormigón en cuestión.

CONCLUSIONES

1. Para garantizar que se cumpla con el rendimiento de cemento propuesto, el hormigón debe cumplir con los requisitos de durabilidad basado en propiedades como la resistencia a compresión, la porosidad y la sorptividad.
2. Los ensayos propuestos a los distintos materiales que componen el hormigón permitirán comprobar si estos cumplen con los requisitos para ser usados en el diseño de mezcla propuesto.
3. El uso del método de la ACI contribuirá a determinar el contenido óptimo de cemento para lograr la resistencia a compresión del hormigón deseada.
4. Una vez que se lleve a cabo el experimento se debe comprobar si se cumple con el criterio de resistencia planteado por la NC 120:2018.

RECOMENDACIONES

1. Efectuar los ensayos pertinentes al hormigón para comprobar los requisitos de durabilidad lo cual permita determinar el contenido ideal de cemento.
2. Usar distintos aditivos y agregados para ver cómo pueden influir en determinación del contenido óptimo de cemento.
3. Realizar los experimentos propuestos con el fin de obtener los resultados esperados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 211.1. 2002. Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.
- Andrés, M. V. 2014. “Cemento de bajo carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer – arcilla calcinada – caliza”, Tesis Doctoral Facultad de Construcciones, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.
- Ang, J. & Lihndal, E. 2017. Porous Concrete Design. Civil Engineering Senior Theses. Santa Clara University
- Anupoju, S. 2020. Types of Concrete & Characteristics | Concrete Classification.
- Argullo, J. V. 2009. Filamentos De Carbono En Hormigones [online], disponible en la internet en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3986764> 15-jun-2020.
- ASOCEM 2018. Panorama mundial de la industria del cemento [online], disponible en la internet en: <http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Vision%20General%20de%20la%20Industria%20del%20Cemento%20y%20sus%20Principales%20Actores.pdf>.
- ASTM-C-494. 1992. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- Ball, H. 2018. What is Cement vs. Concrete ? [online], disponible en la internet en: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/074752841806700107> acceso 13-mar-2020
- Bernal, A. 2012. “Los áridos y su influencia en el concreto”, Talleres Gráficos Soler, S.A., 2008, Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA).
- Borràs, C. 2017. El cemento debe reducir su impacto ambiental [online], disponible en la internet en: <https://www.ecologiaverde.com/el-cemento-debe-reducir-su-impacto-ambiental-80.html>.
- Bouza D. 2016. Manual Técnico, Procesos Productivos y uso de equipos para la Producción local de materiales de Construcción.
- Cardoso, R. 2019. Ideas conceptuales acerca del potencial del depósito arcilloso centeno para la producción de cemento de bajo carbono en el municipio Moa. Tesis presentada en opción al título de ingeniero en geología. República de Cuba Ministerio De Educación Superior Universidad De Moa “Dr. Antonio Nuñez Jimenez” Facultad de geología y minería, Departamento de geología.

- Chauveinc, J. A. 2011. Estudio experimental de propiedades mecánicas de hormigones con árido reciclado mediante la modificación del método de mezclado del hormigón. Memoria Para Optar Al Título De Ingeniero Civil, Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Civil.
- Chiluisa, J. R. 2014. Hormigones de alta resistencia ($f_c = 50$ MPa) utilizando agregados del sector de pifo y cemento armado especial- lafarge. Trabajo de graduación previo a la obtención del título de ingeniero civil. Universidad Central Del Ecuador Facultad De Ingeniería, Ciencias Físicas Y Matemática Carrera De Ingeniería Civil.
- Delgado, C. 2017. Diseño de mezclas método fuller. Universidad nacional de Trujillo
- Díaz, V. A. 2007. Métodos para Dosificar Concretos de Elevado Desempeño.
- Elbek, R. 2019. Factors Affecting The Concrete Strength
Текст научной статьи по специальности «Строительство и архитектура»
Department, Construction Engineering Faculty, Ferghana Polytechnic Institute, Ferghana, Republic Of Uzbekistan.
- Fadruga, J. 2017. Estudios de reología de hormigones fluidos de 35MPa producidos con el bioproducto CBQ-VTC y el aditivo químico SRC 20. Trabajo de diploma. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.
- FORESIGHTCUBA 2019. Industria del Cemento [online], disponible en la internet en: <https://foresightcuba.com/industria-del-cemento/>. acceso 20-feb-2020
- García, S. 2019. Propuesta de diseño de mezcla para la elaboración del hormigón en la Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones FAR No-4.
Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil. Universidad de Matanzas. Facultad de Ciencias Técnicas. Carrera de Ingeniería Civil
- Gayoso, Regino & Herrera, Rosa, (2007), “Áridos para Hormigón. Especificaciones y Ensayos”, Curso Áridos para Hormigón. Especificaciones y Ensayo, CTDMC.
- Gil, A. 2018. Propiedades físicas y mecánicas del cemento. [online], disponible en la internet en: https://prezi.com/yyiewfax4_gp/propiedades-fisicas-y-mecanicas-del-cemento/. acceso 30-may-2020
- Giordani, C. & Leone, D. 2018. “Evaluación de la fisuración de hormigones en zonas marinas, producto de cambios autógenos de volumen, específicamente debidos a la retracción por secado”, Trabajo De Diploma, Facultad De Construcciones Departamento De Ingeniería Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de las villas.

- Gómez, M. D. 2012. “Evaluación de la fisuración de hormigones en zonas marinas, producto de cambios autógenos de volumen, específicamente debidos a la retracción por secado”, Trabajo De Diploma, Facultad De Construcciones Departamento De Ingeniería Civil, Universidad Central "Marta Abreu" de las villas.
- González, E. 2012. Nueva Técnica De Dosificación De Hormigones Reciclados: Método Del Volumen De Mortero Equivalente. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Hilal, A. A. 2016. Microstructure of Concrete. [online], disponible en la internet en: <https://www.intechopen.com/books/high-performance-concrete-technology-and-applications/microstructure-of-concrete>
- Howland, J. J. 2013. “Estudio de la absorción capilar y la sorptividad de hormigones con áridos calizos cubanos”. .
- Huanca, S. 2006. “Diseño de Mezclas de Concreto”, Trabajo de diploma, Universidad Nacional del Altiplano.
- INGEPLAN 2014. “Aguas”, Pliego De Prescripciones Técnicas Particulares.
- Jamal, H. 2017. Types of Concrete & Characteristics | Concrete Classification [online], disponible en la internet en: <https://www.aboutcivil.org/types-of-concrete.html> 17-abr-2020.
- Jesús, V. D. 2019. Hormigón del nuevo Varadero. [online], disponible en la internet en: <http://www.granma.cu/cuba/2019-10-04/hormigon-del-nuevo-varadero-04-10-2019-22-10-20>
- Jiménez, C., Aponte, D. & Vázquez, E. 2013. “ Diseño de mezclas de hormigón reciclado mediante el método Volumen de Mortero Equivalente (EMV): validación bajo el contexto español y su adaptación al método de diseño de Bolomey ”, Materiales de construcción, ISSN 0465-2746, N°.311, 2013, págs. 341-360
- José, S. A. 2009. Evaluación de la Durabilidad de Concreto. Tesis de Evaluación de la Durabilidad de Concreto por el método de O'Reilly. (U. Veracruzana, Ed.).
- Kotwa, A. 2017. Parameters of Alumina Cement and Portland Cement with Addition of Chalcedonite Meal. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.
- Lima, Orlando & Hernández, Aymara, (2015), “Materiales Y Productos para la Construcción”, Ciencia y Sociedad, vol. XXXXV
- Madrazo, J. A. P. & Marquínez, J. S. 2013. Cementos, morteros y hormigones ,3. Morteros y hormigones (1)

- Martínez, R. A., Pérez, M. L. & Dominguez, A. F. 2018. Dosificación de hormigones para las obras de la Zona Especial de Desarrollo del Mariel. Conference: XII Conferencia Científico Técnica de la Construcción, La Habana. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, CUJAE, CECAT, Departamento de Construcciones.
- Mobasher, B. 2008. SA-concrete construction industry-cement based materials and civil infrastructure. CBM-CI International Workshop, Karachi, Pakistan, 73-90.
- Montoya, P. J. 2010. Hormigón Armado (15 edición).
- Nasco, A. G. 2016. Evaluación del transporte de iones cloruros en especímenes de hormigón hidráulico producidos con cementos de bajo carbono. Trabajo De Diploma. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas Facultad de Construcciones Departamento de Ingeniería Civil.
- NC 95:2017 “CEMENTO PORTLAND. ESPECIFICACIONES” Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 120:2018 “HORMIGÓN HIDRÁULICO-ESPECIFICACIONES“ Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 174:2002 “HORMIGÓN FRESCO. MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO POR EL CONO” Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 177:2002 “ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DEL PORCIENTO DE HUECOS.MÉTODO DE ENSAYO “. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 178:2002 ”ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO”, Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 179:2002 “ ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE PARTÍCULAS DE ARCILLA “. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 181:2002 ”ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO. MÉTODO DE ENSAYO”, Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 182:2002 “ÁRIDOS.DETERMINACIÓN DEL MATERIAL MÁS FINO QUE EL TAMIZ DE 0,074 MM (N. 200) “. Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 186:2002 ”ARENA. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGUA. MÉTODO DE ENSAYO”, MÉTODO DE ENSAYO”, Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.

- NC 190:2002 "ÁRIDO GRUESO. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE TRITURABILIDAD", Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 192:2012 "HORMIGÓN HIDRÁULICO. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA REAL A LA COMPRESIÓN", Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 228:2005 "ADITIVOS PARA HORMIGONES, MORTEROS Y PASTAS". Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 345:2011 "HORMIGÓN ENDURECIDO.ABSORCIÓN DE AGUA POR CAPILARIDAD". Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 524:2015 "HORMIGÓN HIDRÁULICO. MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL Y TIEMPO DE FRAGUADO POR AGUJA VICAT", Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 724:2015 "ENSAYOS DE HORMIGÓN. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN EN ESTADO ENDURECIDO", Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- NC 967:2013 "HORMIGÓN HIDRÁULICO. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ABSORCIÓN DE AGUA (SORPTIVIDAD) ". Oficina Nacional de Normalización, Ciudad de La Habana, Cuba.
- Neville, A. M. & Brooks, J. J. 1998. " Tecnología del Concreto " . Versión en español de la primera edición.
- Niño, J. R. 2010. Tecnología del concreto Tomo 1: Materiales, propiedades y diseño de mezclas. Tercera edición. Bogotá D.C: Asocreto. 2010. 228p. .
- Orozco, M., Avila, Y., Restrepo, S. & Parody, A. 2018. Factores influyentes en la calidad del concreto: una encuesta a los actores relevantes de la industria del hormigón. Revista ingeniería de construcción, version On-line ISSN 0718-5073.
- Osorio, J. D. 2015. Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión.
- Otero, A. V. 2012. El Hormigón. Escuela Politécnica Superior de Ávila.
- Otieno, P. 2020. High Performance Concrete Additives [online], disponible en la internet en: <https://constructionreviewonline.com/2017/05/concrete-additives/acceso> 18-mar-2020.

- Pérez, L. 2016. Evaluación de cementos de bajo carbono producidos localmente con sustitución del 50% de cemento P-35 por adiciones de polvo de cerámica roja y caliza. Trabajo De Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas.
- Preisler, C. A. 2005. Plastificantes para el hormigón. Tesis para optar al título de constructor civil. Universidad Austral De Chile
- Quintana, V. 2014. Breve reseña - Los aditivos químicos y su impacto en el medio ambiente. [online], disponible en la internet en: <http://www.revistacyt.com.mx/pdf/mayo2014/tecnologia.pdf>.
- Quintero, A. & Rico, J. 2014. Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I. y efectos de la adición de cenizas volantes de termotasajero en la resistencia a la compresión. Trabajo De Investigación Presentado Como Requisito Parcial Para Obtener El Título De Ingeniero Civil. Universidad Santo Tomás Facultad De Ingeniería Civil Bogotá D.C.
- Rahman, F. U. 2020. 10+ Uses of Concrete in Civil Engineering. [online], disponible en la internet en: <https://theconstructor.org/concrete/uses-concrete-civil-engineering/35992/>.
- Ricardo, A. G. 2016. Dosificaciones de hormigón con aditivo Dynamón SRC 20 y sin aditivo para la Empresa Constructora de Obras de Arquitectura ECOA 19. Trabajo de Diploma en Opción al Título de Ingeniería Civil. Universidad de Holguín, Facultad de Ingeniería, Departamento de Construcciones.
- Rodríguez, L., Espinosa, A. & García, Á. V. 2016. Comportamiento del ensayo de resistencia a la compresión del cemento p 35 para diferentes adiciones de zeolita. [online], disponible en la internet en: <http://revistas.unica.cu/uciencia>
- Rodríguez, T. V. 2008. Los áridos. [online], disponible en la internet en: <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Los%20aridos.pdf>
- Rojas, L. E. T. & Corredor, I. L. C. 2016. Análisis de las propiedades mecánicas de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Católica De Colombia Facultad De Ingeniería Programa De Ingeniería Civil Alternativa Trabajo De Investigación Bogotá D.C.
- Saleh, H. M. 2018. Introductory Chapter: Properties and Applications of Cement- Based Materials. [online], disponible en la internet en: <https://www.intechopen.com/books/cement-based-materials/introductory-chapter-properties-and-applications-of-cement-based-materials>
- Seegebrecht, G. 2020. The role of aggregate in concrete [online], disponible en la internet en: <https://www.concretenetwork.com/aggregate/acceso> 16-mar-2020.

- Sepulveda, A. 2013. “Factores Determinantes De La Resistencia A Compresión Del Concreto”, Trabajo De Diploma, National University of Colombia.
- Shraddhu, S. 2018. Aggregates: Meaning and Classification | Materials | Concrete.
- Silva, O. J. 2015. Conociendo las propiedades físicas del cemento: ¿Qué y cómo?. [online], disponible en la internet en: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/category/cemento/propiedades-fisicas-del-cemento>
- Silva, R. C. D. 2019. Ideas Conceptuales Acerca Del Potencial Del Depósito Arcilloso Centeno Para La Producción De Cemento De Bajo Carbono En El Municipio Moa
- Sparks, R. 2019. 5 types of concret you would know. [online], disponible en la internet en: <https://www.columbiaprecastproducts.com/blog/5-types-of-concrete-you-should-know-about/>
- Suryakanta, S. 2015. What Are The Properties Of Fresh Concrete? [online], disponible en la internet en: <https://civilblog.org/2015/04/09/what-are-the-properties-of-fresh-concrete/> 23-may-2020.
- Tahsin, S. 2017. What is Cement? History- Chemistry- Industries [online], disponible en la internet en: <https://civiltoday.com/civil-engineering-materials/cement/81-cement-definition-and-full-details> acceso 13-mar-2020.
- Torres, L. 2019. Propuesta de diseño de mezcla para la elaboración del hormigón en la Unidad Básica de Servicios de Hormigón. Trabajo de Diploma en Ingeniería Civil. Universidad de Matanzas.
- Venegas, K. C. & Riquelme, E. P. 2016. Tipos de Hormigones y Características Generales. [online], disponible en la internet en: https://www.academia.edu/7129092/Tipos_de_hormigones_y_caracter%C3%ADsticas_generales.
- Villanueva, Tomás, (2008), “Los áridos”, Talleres Gráficos Soler, S.A., 2008, Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León (SIEMCALSA)
- Walsh, N. P. 2019. What is the future of concrete in architecture? [online], disponible en la internet en: <https://www.archdaily.com/926854/what-is-the-future-of-concrete-in-architecture>.
- Wilmshurst, D. 2018. What are the functions of aggregates in concrete? [online], disponible en la internet en: <https://www.quora.com/What-are-the-functions-of-aggregates-in-concrete>, acceso 17-mar-2020.

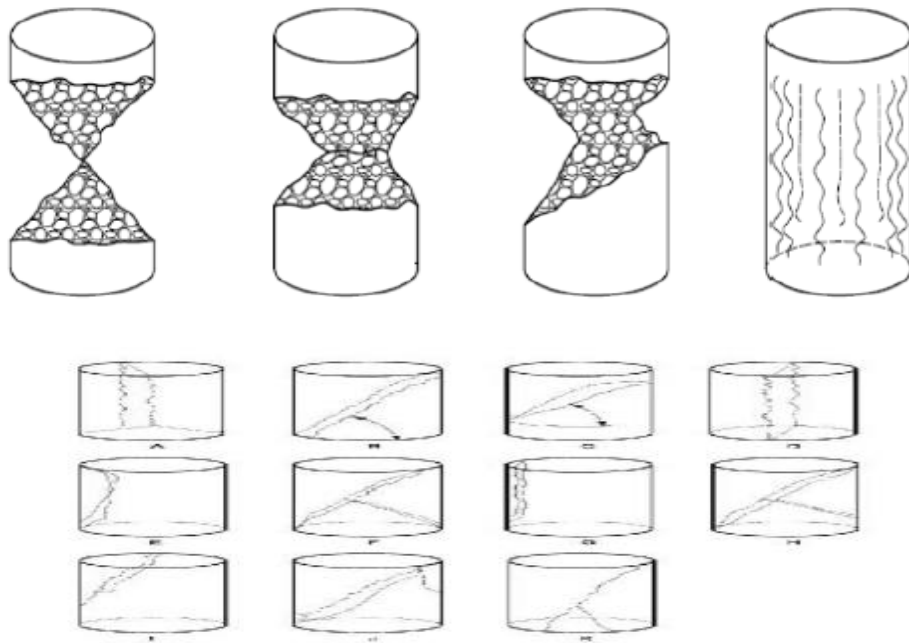
Zamora, L. M. 2013. Límites de conformidad de finos pasados por el tamiz 200. Influencia reológico-mecánica en la matriz del hormigón. Tesis de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil. Departamento de Construcciones. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.

ANEXOS

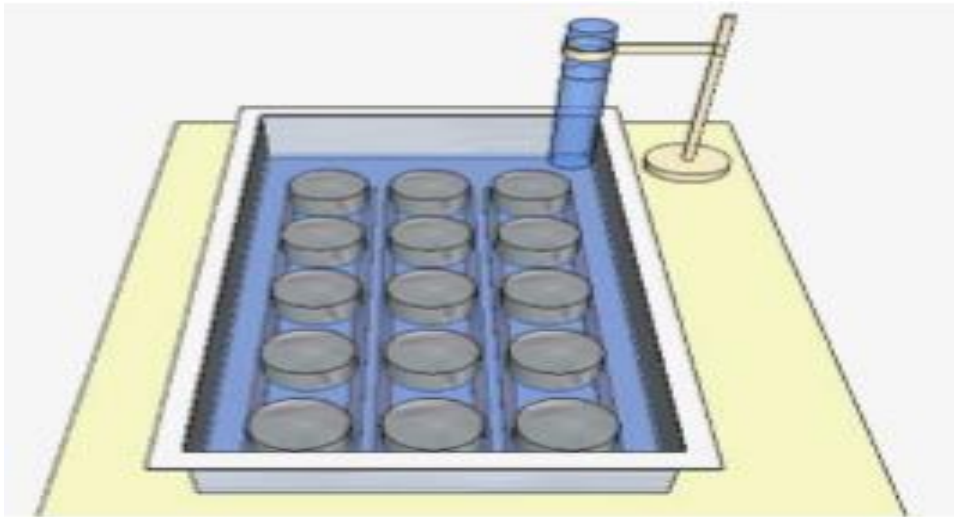
Anexo 1-Peso de la muestra para el ensayo

<i>Tamaño nominal de las partículas mayores</i>	<i>Peso de la muestra (kg)</i>
Hasta 4,76 mm	0,5
Mayores de 4,76 mm y menores de 38 mm	2,5
38 mm o mayor	5,0

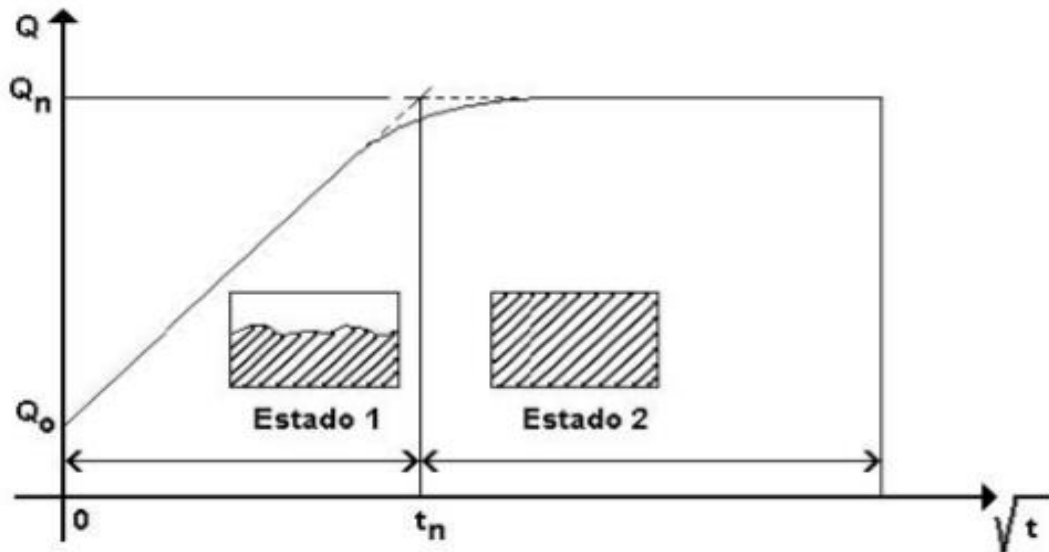
Anexo 2-Tipo de rotura



Anexo 3- Esquema de bandejas con el ensayo de absorción y la probeta invertida para garantizar una altura constante de agua en la bandeja



Anexo 4- Gráfico Peso (Kg) vs. Raíz cuadrada del tiempo. Método de la ACI 211.1



Anexo 5-Valores de V1 para diferentes grados de control.

<i>Tipo de operación</i>	<i>Valor de V1 en % para diferentes grados de control</i>				
	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Deficiente</i>
Control de campo (a pie de obra o en planta)	Menor que 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	Mayor que 6
Mezclas de prueba en el laboratorio	Menor que 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	Mayor que 5

Anexo 6-Valores de h para un nivel de significación del 5%.

<i>Población de series</i>	<i>h</i>	<i>Población de series</i>	<i>h</i>	<i>Población de series</i>	<i>h</i>
3	1,15	12	2,29	25	2,87
4	1,46	13	2,33	30	2,93
5	1,67	14	2,37	40	3,02
6	1,82	15	2,41	50	3,08
7	1,94	16	2,44	100	3,28
8	2,03	17	2,48	250	3,53
9	2,11	18	2,50	500	3,70
10	2,18	19	2,53	-	-
11	2,23	20	2,57	-	-

Para valores intermedios a los indicados se podrá interpolar

Anexo 7-Valores del percentil t de Student para un nivel de confianza del 90%.

<i>Grados de libertad (V)</i>	<i>t</i>	<i>Grados de libertad (V)</i>	<i>t</i>	<i>Grados de libertad (V)</i>	<i>t</i>
1	3,078	12	1,356	23	1,319
2	1,886	13	1,350	24	1,318
3	1,638	14	1,345	25	1,316
4	1,533	15	1,341	26	1,315
5	1,476	16	1,337	27	1,314
6	1,440	17	1,333	28	1,312
7	1,415	18	1,330	29	1,311
8	1,397	19	1,328	30	1,310
9	1,383	20	1,325	40	1,303
10	1,372	21	1,323	60	1,296
11	1,363	22	1,321	120	1,289

Anexo 8-Valores de fracción defectuosa para diferentes valores de Z.

<i>Z</i>	<i>Fracción defectuosa %</i>	<i>Z</i>	<i>Fracción defectuosa %</i>	<i>Z</i>	<i>Fracción defectuosa %</i>
0,1	46,0	1,10	13,6	2,10	1,8
0,2	42,1	1,20	11,5	2,20	1,4
0,3	38,2	1,30	9,7	2,30	1,1
0,4	34,5	1,40	8,1	2,40	0,8
0,5	30,9	1,50	6,7	2,50	0,6
0,6	27,4	1,60	5,5	2,60	0,45
0,7	24,2	1,70	4,5	2,70	0,35
0,8	21,2	1,80	3,6	2,80	0,25
0,9	18,4	1,90	2,9	2,90	0,19
1,0	15,9	2,00	2,3	3,00	0,13

Anexo 9-Valores de la Sn para diferentes grados de control en hormigones de fck ≤ 34,5MPa.

<i>Tipo de operación</i>	<i>Valor de Sn en MPa con diferentes grados de control</i>				
	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Deficiente</i>
Control de campo (a pie de obra o en planta)	Menor que 2,81	2,82 a 3,52	3,53 a 4,22	4,23 a 4,92	Mayor que 4,92
Mezclas de prueba en el laboratorio	Menor que 1,41	1,42 a 1,76	1,77 a 2,11	2,12 a 2,46	Mayor que 2,46

Anexo 10-Valores de Vn para diferentes grados de control en hormigones de fck > 34,5 MPa.

<i>Tipo de operación</i>	<i>Valor de Vn en % con diferentes grados de control</i>				
	<i>Excelente</i>	<i>Muy bueno</i>	<i>Bueno</i>	<i>Aceptable</i>	<i>Deficiente</i>
Control de campo (a pie de obra o en planta)	Menor que 7,0	7 a 9	9 a 11	11 a 14	Mayor que 14
Mezclas de prueba en el laboratorio	Menor que 3,5	3,5 a 4,5	4,5 a 5,5	5,5 a 7,0	Mayor que 7

Anexo 11-Revenimiento

<i>Tipos de construcción</i>	<i>Revenimiento en cm.</i>	
	<i>Máximo</i>	<i>Mínimo</i>
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

Anexo 12-Tamaño máximo recomendado (cm) en función de dimensión mínima de la sección (ACI)

<i>Dimensión Mínima de la Sección (cm)</i>	<i>Tamaño Máximo Recomendado (cm)</i>			
	<i>Muros armados , vigas y pilares</i>	<i>Muros sin armadura</i>	<i>Losas muy armadas</i>	<i>Losas débilmente armadas o sin armadura</i>
6 - 12	1.25 - 2.0	2.0	2.0 - 2.5	2.0 -4.0
14 - 28	1.25 - 2.0	4.0	- 4.0	4.0 - 7.5
30 -74	4.0 - 7.5	7.5	4.0 - 7.5	- 7.5
>= 76	4.0 - 7.5	1.5	4.0 - 7.6	7.5 - 15.0

Anexo 13-Agua (Kg/m³) según tamaño máximo del agregado y del revenimiento

<i>Revenimiento</i>		<i>Agua, kg/m³ de concreto para los tamaños máximos nominales de agregado indicados</i>							
cm)	pulg)	9.5 mm (3/8")*	12.5 mm (1/2")*	19 mm (3/4")*	25 mm (1")*	37.5 mm (1 1/2")*	50 mm (2")*+	75 mm (3")++	150 mm (6") ++
Concreto sin aire incluido									
2.5 a 5.0	1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	----
Cantidad aproximada de aire atrapado en el concreto sin aire incluido, %		3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incluido									
2.5 a 5.0	1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107

7.5 a 10	3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
15 a 17.5	6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	----
Contenido promedio & total de aire, para el nivel de exposición, %									
Exposición	Baja	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5**xx	1.0**xx
	Media	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5**xx	3.0**xx
	Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5**xx	4.0**xx

Anexo 14-Relación agua/cemento según resistencia a la compresión

<i>Resistencia a la compresión a los 28 días (Kg/cm²)</i>	<i>Relación agua-cemento por peso</i>	
	<i>concreto sin aire incluido</i>	<i>concreto con aire incluido</i>
420,00	0,41	0,00
400,00	0,42	0,00
350,00	0,47	0,39
300,00	0,54	0,45
280,00	0,57	0,48
250,00	0,61	0,52
210,00	0,68	0,59
200,00	0,69	0,60
150,00	0,79	0,70
140,00	0,82	0,74

Anexo 15-Relación agua/cemento o agua/materiales cementantes máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas

<i>Tipo de estructura</i>	<i>Estructura continuamente húmeda o frecuentemente expuesta a congelamiento y deshielo</i>	<i>Estructura expuesta a agua de mar o sulfatos</i>
Secciones delgadas (baldas, bordillos, comisas y trabajos ornamentales) y secciones con menos de 5 mm de recubrimiento sobre el refuerzo	0,45	0,40
Todas las estructuras	0,50	0,45

Anexo 16-Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

<i>Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm y pulg)</i>		<i>Volumen de agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto, para distintos módulos de finura de la arena.</i>			
		2.4	2.6	2.8	3.0
9.5	(3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	(1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19	(3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25	(1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	(1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50	(2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75	(3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150	(6")	0.87	0.85	0.83	0.81

Anexo 17-Primera estimación del peso del concreto

<i>Tamaño Máximo Nominal del Agregado (mm y pulg)</i>		<i>Primera estimación del peso del concreto fresco Kg/m³</i>	
		<i>Concreto sin aire</i>	<i>Concreto con aire incluido</i>
9.5	(3/8")	2280	2200
12.5	(1/2")	2310	2230
19	(3/4")	2345	2275
25	(1")	2380	2290
37.5	(1 1/2")	2410	2350
50	(2")	2445	2345
75	(3")	2490	2405
150	(6")	2530	2435