

*Universidad de Matanzas
Facultad de Ciencias Técnicas*



Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Civil

**DISEÑO DE MEZCLA IDEAL A PARTIR DE COMBINACIONES DE
ÁRIDOS PARA UNIDAD BÁSICA DE SERVICIO HORMIGÓN DE
VARADERO QUE GARANTICE DURABILIDAD.**

Autor: Luis Valdés Suárez

Tutor: Ing. Liset León Consuegra

MSc. Ing. Carlos Rodríguez García

Matanzas, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que 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

RESUMEN

Los áridos son los materiales de construcción más utilizados por el hombre y uno de los componentes principales del hormigón. Los consumos de este material tanto a nivel internacional como en Cuba se han acrecentado debido principalmente a la demanda de nuevas obras de construcción. La Unidad Básica de Servicios de Hormigón (UBS Hormigón), perteneciente a la Empresa de Construcción y Montaje de Obras del Turismo de Varadero, es la entidad encargada de suministrar el hormigón a las diferentes obras la cual en ocasiones su producción se ha visto limitada debido a la escasez de áridos provenientes de la cantera Antonio Maceo y ha utilizado como alternativa emplear arena natural procedente de Arimao lo cual aumenta los costos de producción del hormigón y los consumos de materiales, al no contar con diseños de mezcla ideales. Por lo que se hace necesario obtener diseños de mezcla ideales a partir de combinaciones de áridos que garanticen hormigones durables. En los diseños de mezclas se utilizó cemento de “Cementos Cienfuegos S.A” y en las combinaciones, utilizando en método de Bolomey, áridos de las canteras Arimao y Antonio Maceo. Para la caracterización de los materiales se utilizaron métodos experimentales. Se obtuvo como resultado que las propiedades de los materiales cumplen con los requisitos establecidos en la NC 251: 2018, las combinaciones obtenidas mediante la aplicación del método de Bolomey no necesitan incluir tres áridos para lograr la mejor composición granulométrica y el diseño de mezcla.

Palabras claves: Áridos, hormigones, granulometría, combinación.

ABSTRACT

Aggregates is one of the most used for the man on the construction materials and one of the main components of concrete. Consumption of this material both internationally and in Cuba has increased mainly due to the demand for new construction works. The Basic Unit of Concrete Services (UBS Hormigón), belonging to the Construction and Assembly Company of Varadero Tourism Works, is the entity in charge of supplying concrete to the different works, whose production has sometimes been limited due to the shortage of aggregates from the Antonio Maceo quarry and has used as an alternative to use natural sand from Arimao which increases the production costs of concrete and the consumption of materials by not having ideal mix designs. Therefore, it is necessary to obtain ideal mix designs from aggregate combinations that guarantee durable concretes. “Cementos Cienfuegos S.A” cement was used in the mix designs and aggregates from the Arimao and Antonio Maceo, quarries were used in the Bolomey method. Experimental methods were used to characterize the materials. It was obtained as a result that the properties of the materials comply with the requirements established in NC 251: 2018, the combinations obtained by applying the Bolomey method do not need to include three aggregates to achieve the best particle size composition and mix design.

Key words: Aggregates, concretes, granulometry, combination.

TABLA DE CONTENIDO

Introducción	1
Capítulo 1 Fundamentación del estado del arte relacionado con los áridos, diseños de mezclas de hormigón y combinaciones de áridos.....	6
1.1 Áridos.....	6
1.2 Clasificación	8
1.3 Forma de Obtención.....	10
1.4 Composición y Estructura.....	13
1.5 Propiedades de los Áridos.....	14
1.6 Usos.....	17
1.7 Métodos para realizar diseños de mezclas	19
1.7.1 Métodos para combinar áridos.....	25
1.8 Conclusiones parciales.....	28
Capítulo 2 Materiales y métodos para el diseño de experimento	30
2.1 Diseño del experimento	30
2.2 Caracterización de los materiales.....	31
2.2.1 Los Agregados	31
2.2.2 Funciones de los Agregados en la mezcla	41
2.3 El Cemento.....	41
2.4 El agua	42
2.5 Descripción del método de combinación de árido utilizado.....	43
2.6 Preparación del Hormigón	46
2.7 Conclusiones parciales.....	52
Capítulo 3. Análisis de los resultados obtenidos en los diferentes diseños de mezcla.	53
3.1 Resultados obtenidos del ensayo realizado a los áridos. Propiedades geométricas. Árido fino proveniente de la cantera de Arimao.....	53
3.2 Características del Cemento P-35 de Cienfuegos	56
3.3 Diseños de mezclas obtenidos a partir de las combinaciones de áridos mediante la aplicación del Método de Bolomey.	57
3.3.1 Comparación de los resultados con la curva ideal de Bolomey.....	59
3.4 Comparación de los resultados obtenidos en los tres diseños de mezcla con la combinación utilizada actualmente en la Unidad Básica de Servicios y la ideal de Bolomey.....	61
3.5 Conclusiones Parciales.....	62
Conclusiones	63
Recomendaciones	64
Referencias Bibliográficas	65

INTRODUCCIÓN

Desde los comienzos de la humanidad, los áridos han estado presentes en forma directa e indirecta en casi todos los logros del desarrollo de la sociedad, obras civiles, carreteras, aeropuertos, escuelas, hospitales, entre otras.

Datos recientes, aportados por la Federación de Áridos Española, hacen referencia a que cada habitante de su país consume entre siete y diez toneladas al año de áridos, es decir entre veinte y veinticinco kilogramos diarios, siendo el producto de mayor consumo después del agua.[ANEFA, 2018]

Según las estimaciones finales de la Federación de Áridos, el año 2018 se cierra con un crecimiento del 6,6%, para un consumo total de áridos naturales para la construcción de 121 millones de toneladas. No obstante, se ha experimentado en el ejercicio una desaceleración respecto a las perspectivas iniciales. Además, se mantienen variaciones territoriales importantes y una de las Comunidades Autónomas experimentó un nuevo decrecimiento. A esta cantidad hay que añadir 1,7 millones de toneladas de áridos reciclados y 0,7 millones de toneladas de áridos artificiales. El consumo total de áridos para la construcción alcanzó los 123,3 millones de toneladas.[ANEFA, 2018]

Tabla 1.1 Consumo de áridos para la construcción en 2018

Fuente: [ANEFA, 2018]

	<i>Millones de toneladas</i>	<i>%</i>
Áridos Naturales	120.9	98.1
Áridos Reciclados	1.7	1.4
Áridos artificiales	0.7	0.6
Total	123.3	100

En la actualidad, los áridos son indispensables para la construcción, por lo cual hay que tener mucha dedicación y cuidado al momento de producirlo, ya que si se obtienen de calidad, se estará entregando resistencia al hormigón, lo que indica que son directamente proporcionales a mayor calidad del árido mayor resistencia del hormigón.

Particularmente en Cuba, a partir del triunfo de la Revolución, se ha acrecentado la demanda de nuevas obras de construcción, de carácter social, y con ello, se ha intensificado el desarrollo de la actividad minera. En la actualidad se explotan más de 100 canteras de áridos, sin embargo, se presentan limitaciones en la industria de materiales para la construcción, relacionadas con el desarrollo tecnológico, ambiental y minero. Tales limitaciones se relacionan con la carencia de estudios científicos sobre el tema, el insuficiente registro de datos oficiales sobre el crecimiento nacional de este sector y la falta de equipamiento para realizar la minería. Este último factor es altamente determinante en el incumplimiento de los planes de producción de materiales que respaldan el proceso inversionista, principalmente en la provincia de Matanzas. [Hernández-Jatib, 2018]

Desde hace varios años, el polo turístico de Varadero se encuentra sometido a un fuerte proceso inversionista, lo que ha demandado grandes consumos de áridos en el territorio. Múltiples han sido las obras construidas hasta el año 2019 e inicio del 2020, como es el Hotel Internacional y el proyecto Oasis, el cual se encuentran en etapa de construcción. La Empresa de Construcción y Montaje de Varadero ha jugado en papel determinante en la ejecución de estos proyectos, pero no solo el proceso inversionista ha estado relacionado con el sector del turismo sino que se ha extendido a otros programas de infraestructura, los cuales influyen positivamente en el desarrollo socio económico del país.

En la concreción de este auge constructivo el hormigón de cemento Portland ha ocupado un lugar fundamental en el aseguramiento de la construcción, por lo que ha sido necesario efectuar cuantiosas inversiones en la adquisición de equipamiento tecnológico, piezas de repuesto e insumos para garantizar su producción.

Ejemplo de ello, en el año 2018 la Unidad de Servicios Básicos Hormigón (UBS Hormigón), perteneciente a la Empresa de Construcción y Montaje de Obras del Turismo de Varadero, se efectúa la remodelación y modernización a la planta dosificadora de Palmeras, lo cual la convierte en mezcladora, lo que posibilita elevar la producción de hormigón hasta la actualidad, incrementándose a su vez el consumo de áridos.

La demanda anual de materiales para el año 2020 de la UBS Hormigón sobrepasa los 40 500 m³ de áridos finos y 37 800 m³ de áridos gruesos, los cuales deben ser suministrados

por la cantera Antonio Maceo, la misma posee un material conforme con los requisitos según NC 251 [2018] pero se encuentra en condiciones desfavorables para cumplir con los volúmenes necesarios, por lo que la dirección del territorio se ha visto obligada a buscar como alternativa de apoyo la provincia de Cienfuegos con arena natural procedente de Arimao.

Situación Problémica:

El desarrollo de las inversiones en el polo turístico de Varadero es vital para la economía del país, hoy se desarrollan proyectos fundamentales que propician el incremento de habitaciones en el sector del turismo. Todo ello requiere la necesidad de fomentar la infraestructura de construcciones y la producción de materiales, fundamentalmente los áridos que representan el 80 por ciento de todos los recursos necesarios. El déficit en la capacidad de producción de áridos finos en la planta Antonio Maceo de Coliseo ha generado un costo adicional a la producción de hormigones de la UBS Hormigón de Varadero, teniendo esta que transportar desde Cienfuegos el 75 % de la demanda total del árido fino con que se elaboran los hormigones y morteros. Por lo que se considera de vital importancia conocer la combinación óptima de materiales que favorecería los requisitos de durabilidad y resistencia del hormigón según NC 120: 2018 y garantizaría un ahorro del capital financiero a la UBS de Hormigón de Varadero.

Problema Científico:

¿Cuál es el diseño de mezcla ideal a partir de combinaciones de áridos que garantice en la Unidad Básica de Servicios de Hormigón de Varadero la obtención de hormigones durables?

Objetivo General:

Obtener diseños de mezcla ideal a partir de combinaciones de áridos para la Unidad Básica de Servicios de Hormigón de Varadero que garanticen hormigones durables.

Objetivos Específicos:

1. Fundamentar el marco teórico-referencial relacionado con los diseños de mezclas de hormigón.
2. Describir los materiales y métodos utilizados en los diseños de mezclas y obtención de los hormigones.
3. Discutir los resultados obtenidos de los diseños de mezclas a partir de combinaciones de áridos.

Hipótesis de la Investigación:

Con la utilización del diseño de mezcla ideal a partir de combinaciones de áridos en la Unidad Básica de Servicios de Hormigón se garantizarán hormigones durables.

Campo de Acción:

Diseños de mezclas en la Unidad Básica de Servicios de Hormigón para hormigones de 35 MPa.

Objeto:

Diseños de Mezclas

Variables:

Independientes: Diseños de Mezcla.

Dependientes: Hormigones durables.

Los **métodos de investigación** utilizados en el desarrollo del trabajo son:

Métodos teóricos

El análisis-síntesis, se utiliza para fundamentar la bibliografía relacionada con el tema y arribar a conclusiones relacionados con el objeto de investigación.

El histórico-lógico, posibilita analizar los diversos criterios sobre el tema y la tendencia actual del tema de investigación.

El inductivo-deductivo, permite generalizar los componentes y características más importantes de los diseños de mezclas y los métodos de combinación de áridos.

Métodos empíricos

Se emplea para la caracterización de los materiales utilizados en los diferentes diseños de mezcla y el hormigón obtenidos de la medición y experimentación.

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

En el **Capítulo I** se fundamenta el marco teórico-referencial relacionado con los áridos, diseños de mezcla de hormigón y los métodos de combinación de áridos, comúnmente más empleadas.

En el Capítulo II, se describen los materiales y métodos utilizados en los diseños de mezclas y la caracterización del hormigón.

En el Capítulo III, se analizan los resultados obtenidos en los diferentes diseños de mezcla obtenidos a partir de combinaciones de áridos, determinándose el diseño de mezcla ideal.

CAPÍTULO 1 FUNDAMENTACIÓN DEL ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LOS ÁRIDOS, DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGÓN Y COMBINACIONES DE ÁRIDOS.

En este capítulo se recoge la definición conceptual de los áridos, su clasificación, la forma de obtención y composición y estructura. Además se detalla sobre las propiedades, su uso y aplicación en la construcción, los métodos de diseño de mezclas de hormigón y los métodos de combinación de áridos encontrados por el autor en la bibliografía consultada, que incluye desde los libros ya tradicionales hasta los artículos internacionales de mayor vigencia en el tema.

1.1 Áridos

En la evolución del hombre el trabajo ha jugado un papel importante, así también el progreso de las construcciones que hoy en día son la base fundamental que determina el nivel de desarrollo de un país, se destaca en ellas la utilización de materiales pétreos que son la base esencial que componen las construcciones según su tipología, y complejidad. Para hacerse una idea de la importancia que tiene el consumo de áridos, baste decir que un kilómetro de autopista necesita 25,000 toneladas de áridos, un metro cúbico de hormigón 2 toneladas, o un kilómetro de doble vía de ferrocarril unas 10,000 toneladas. Por ello, estos materiales son el recurso mineral más utilizado por el ser humano, dejando al margen el agua. Una persona, en un país desarrollado, puede llegar a consumir, a lo largo de su vida, más de 500 toneladas de este materia prima.

A nivel internacional diversos autores se han referido al concepto de áridos (*aggregates*) los cuales han incluido en sus terminologías el uso al cual se somete el material. Dentro de ellos se encuentra la Asociación Europea de Áridos [2010] la cual los define como material granular utilizado en la construcción, a esta misma idea se suma la Asociación Nacional Española de Fabricantes de Áridos [ANEFA, 2018] la que añade, a la definición anterior, que también se emplean en diversas aplicaciones industriales.

Sin embargo en contraste con estas definiciones escuetas y genéricas, existen otras que tratan de desarrollar de forma más detallada tanto su origen como las aplicaciones, Jimeno

[1994] establece que áridos son los materiales minerales, sólidos inertes, que con las granulometrías adecuadas que se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos.

En las terminologías anteriores fundamentalmente se hace referencia a sus aplicaciones, sin embargo otras posturas han sido más profundas, como es el caso del Instituto Geológico Minero de España [IGME, 2018], que en su publicación Panorama Minero, define los áridos como "una serie de rocas que, tras un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales, o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante, de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases y sub-bases para carreteras, balasto y sub-balasto para las vías de ferrocarril, o escolleras para la defensa y construcción de puertos marítimos".

No solo a nivel internacional se ha hecho referencia al concepto de áridos, en Cuba también se encuentran terminologías relacionadas con el tema, como es el caso de la NC 120: 2018 denominada Hormigones hidráulicos. Especificaciones, la cual plantea que los áridos son materiales minerales granulares adecuados para su uso en el hormigón. Pueden ser naturales, artificiales o reciclados a partir de materiales previamente utilizados en la construcción. Como se observa, la norma incluye en su concepto a los áridos como materiales reciclados, por lo que a criterio del autor hace esta postura superior a las anteriores, en la actualidad se debe prestar especial atención a la utilización de materiales de construcción provenientes de demoliciones, dada la importancia que se le atribuye al cuidado del medio ambiente y por ende a la disminución del impacto ambiental que generan los trabajos asociados a la construcción. Es importante destacar que en muchos países como en Cuba no se ha generalizado la utilización de estos áridos reciclados debido a que en la mayoría de las ocasiones no se cuenta con la tecnología adecuada para el reciclaje, aunque se han hecho algunos intentos como es el caso de los trabajos ejecutados por la Oficina del Conservador de la Ciudad de La Habana y algunos trabajadores por cuenta propia a lo largo del país.

Es importante destacar que los áridos son fragmentos tanto de rocas como de arenas, que coloquialmente se conocen como gravas, gravillas, arenas o piedras. Este material es la base de la mayor parte de edificaciones, pues todo lo que es construido contiene áridos entre sus componentes, por lo que, como puede verse, hablamos de algo de gran relevancia en el mundo de la construcción.

La esencia que se quiere es presentar los áridos como componentes de obra civil y edificación, quedando fuera otras aplicaciones industriales así como los materiales de préstamo, utilizados sin modificación de sus características naturales para la construcción de terraplenes o pedraplenes, cuyas exigencias normativas son menores y tienen también menor valor comercial.

Si bien con estas definiciones no excluyen a ningún material pétreo para su uso como árido, en la práctica, el árido a utilizar en obra debe cumplir una serie de requisitos de resistencia y estabilidad que son los que realmente acotan las litologías que se pueden utilizar.[Explora Geología, 2010].

Además teniendo en cuenta lo planteado con anterioridad el autor asume que al hablar de áridos estamos haciendo referencia a una materia prima que puede ser extraída del suelo.

1.2 Clasificación

Para la utilización de los áridos es de vital importancia analizar su clasificación .Un ejemplo es la que adopta la [UNE, 2010] la cual los dividen en tres grandes grupos:

- ✓ Áridos naturales: árido de origen mineral que únicamente ha sido sometido a procesos mecánicos. A menudo se utiliza este término para designar áridos producidos sin intervención de proceso de trituración, simplemente mediante cernido o lavado.
- ✓ Áridos artificiales: árido de origen mineral resultante de un proceso industrial que suponga modificación térmica u otra.
- ✓ Áridos reciclados: árido resultante del tratamiento de material inorgánico previamente utilizado en la construcción.

Los naturales se subdividen a su vez, en dos grandes grupos: granulares y de machaqueo, cuya diferencia principal es la concurrencia de un proceso de trituración. De esta forma,

los granulares provienen de la extracción y clasificación de materiales sueltos y se obtienen en graveras localizadas en terrazas de río, llanuras aluviales y otros depósitos Terciarios y Cuaternarios. Por su parte, los áridos naturales de machaqueo, provienen de la extracción, trituración y clasificación de macizos de roca (en canteras) aunque también pueden ser producto de la trituración de las fracciones más gruesas de áridos granulares.

Por su parte, los áridos artificiales se obtienen como subproductos de procesos industriales, como son los estériles mineros, cenizas del carbón, etc., y los áridos reciclados del machaqueo y clasificación de residuos de demolición de edificios, pavimentos y otros. El uso de estos dos tipos de materiales es poco frecuente y forman un porcentaje muy pequeño dentro del volumen total de áridos utilizados en la construcción.

También existen otras clasificaciones según [Explora Geología, 2010] la cual clasifica atendiendo a criterios diferentes como son el tamaño de grano (finos y gruesos), la continuidad de la explotación (continua o intermitente) o el uso al que van destinados (materiales de relleno y plataforma, subbases y bases granulares, materiales para mezclas bituminosas, para hormigones y morteros, balasto, escolleras, áridos ligeros, etc.) [Explora Geología, 2010]

Por otra parte existen documentos que se refieren al tamaño de los granos como es la NC 251:2018 la cual al referirse al tema los clasifica como árido fino el que posee partículas de un tamaño desde 0,149 mm hasta 4,76 mm y árido grueso el que posee principalmente, partículas de un tamaño superior a 4,76 mm.

Además analizando esta norma el autor plantea que no solo el tamaño de los granos y la procedencia definen la clasificación, sino que hay ciertos parámetro o propiedades que también pueden influir en esta, como es el caso de la granulometría, se especifica en la Tabla # 5 denominada Granulometría de los áridos finos, de la referida norma y contenido de material más fino que el tamiz 200. De estos parámetros destacar que en muchas ocasiones como es el caso de la granulometría depende de la tecnología con que cuente su proceso de obtención.

1.3 Forma de Obtención

Diversas son las formas de obtención de los áridos naturales, derivados de una u otra forma de la disgregación de las rocas. Son los materiales habituales en la producción de hormigón. Se extraen en yacimientos (areneros, graveras, etc.) de origen fluvial, eólico o marino y en canteras abiertas en formaciones rocosas. Tanto los unos como las otras pueden tener un carácter permanente o explotarse solo para una obra determinada (siempre que esta sobrepase unas ciertas dimensiones).

La forma de explotación tiene en todo caso una importancia decisiva para obtener un árido correcto, llegándose incluso a obtener un árido aceptable de una procedencia mediocre, o viceversa; desafortunadamente, en muchas ocasiones la producción de áridos (extracción, eventual trituración y clasificación) tiene un carácter marcadamente artesanal que redundan negativamente en la calidad de la producción.

Por razones ambientales y económicas, se impone cada vez más la necesidad de utilizar preferentemente los materiales locales y de aprovecharlos al máximo, sean cuales fueren sus características y aunque en principio no satisfaga todas las especificaciones.

A nivel internacional algunas de las formas más comunes de procedencia de áridos son aquellos que fueron extraídos de yacimientos, canteras o subproductos industriales. A continuación se explica detalladamente la teoría que comprende cada procedencia.

Los que provienen de yacimientos, considerados como depósitos naturales de áridos, a veces las partículas (redondeadas, rodadas) que en ellos se encuentran pueden emplearse incluso sin ningún tipo de preparación (se utiliza el material directamente como un todo, tal como se encuentra en el yacimiento). En otros casos, puede ser necesario retirar los tamaños más gruesos o un eventual exceso de tamaños finos; suele convenir en todo caso dividir el material en varias fracciones por un proceso de clasificación mediante cribas a fin de reducir las posibilidades de una segregación por tamaños. Por otro lado las partículas en su totalidad o en parte pueden someterse a proceso de trituración.

Los yacimientos granulares más comunes se encuentran en las terrazas fluviales. Su explotación puede producir problemas de hidráulica fluvial (socavaciones, desvíos del curso, desbordamientos, etc.) y daños al ecosistema.

Por ello, en muchos países este recurso está muy restringido. En España por ejemplo, aunque se siguen explotando los yacimientos granulares existentes, es muy difícil conseguir los permisos para explotar otros nuevos. Esta limitación contribuye a acentuar el carácter oligopolístico que en muchas regiones tiene la producción de áridos. En Cuba se encuentran ciertos yacimientos de materiales finos como es el caso de la cantera Arimaó en la provincia de Cienfuegos.

La naturaleza y las características de los materiales granulares encontrados en una terraza dependen del régimen fluvial y de las formaciones rocosas existentes aguas arriba. En todo caso, son arenas y gravas de mayor o menor tamaño, que en algunos lugares se encuentran separadas y en otros mezcladas.

En el caso los que proceden de canteras reconocidas como unas explotaciones de materiales pétreos abiertas en formaciones rocosas masivas, las rocas pueden ser de tipo ígneo, metamórfico o sedimentario. En todo caso, dado que los áridos para hormigón tienen que ser materiales relativamente resistentes, su extracción precisa de una fase inicial de fragmentación mediante voladuras; a veces se necesita incluso una voladura secundaria (taqueo) para reducir suficientemente el tamaño de los fragmentos obtenidos. El material resultante se somete a un proceso posterior de trituraciones y cribas sucesivas hasta conseguir los tamaños deseados.

A nivel internacional existen grandes cantidades de canteras, que además presentan una gran diversidad de materiales de acuerdo a su composición y utilización ejemplo de ellas es “La Ponderosa de Alcover” en el estado de Tarragona en España, suministrando áridos a todo el corredor del Mediterráneo.

En Cuba, y específicamente en la provincia de Matanzas, se cuentan con cuatro canteras destinadas a la producción de áridos finos y gruesos como planta “Libertad, “5 de

Diciembre”, “Arenera Cárdenas”, “Antonio Maceo”, esta última suministra todo el árido a la construcciones del polo turístico de Varadero.

Las consideraciones ambientales limitan también hoy día la apertura de nuevas canteras (como en el caso de los yacimientos, acentúa su carácter oligopolístico en muchas regiones); obviamente, esa apertura solo será posible en zonas relativamente montañosas donde existan las formaciones rocosas. Por eso cada vez con mayor intensidad se consideran como fuente de áridos la propia excavación de los desmontes en roca y la perforación de los túneles; en ambos casos se pueden llegar a extraer importantes volúmenes de materiales que tienen que ser aprovechados de manera prioritaria. (Su deposición en un vertedero puede dar lugar a problemas ambientales).

Es importante destacar que los que se originan de subproductos industriales no son los más utilizados ni abundantes, ya que la mayor parte de los áridos utilizados en la construcción de firmes proceden de la fragmentación de las rocas. Sin embargo, las consideraciones ambientales, energéticas y una eventual escasez de áridos naturales, así como incluso la necesidad de unas características especiales, pueden conducir en ocasiones (cada vez más a menudo) a la utilización de áridos artificiales.

Estos áridos surgen de procesos industriales de los cuales son un subproducto, del tratamiento industrial de áridos naturales, de la trituración y posterior clasificación de productos de demolición y del reciclado de firmes envejecidos.

Entre los áridos artificiales según [Oyarzo, 2013], los cuales son subproductos de los procesos industriales, cabe citar los siguientes:

- ✓ Gangas y desechos de explotaciones mineras y de canteras.
- ✓ Escorias cristalizadas de horno alto.
- ✓ Escorias de acería.
- ✓ Cenizas volantes de centrales térmicas.
- ✓ Escorias de la incineración de residuos sólidos urbanos.
- ✓ Desechos de las industrias cerámicas y del vidrio.

El aprovechamiento de todos estos materiales satisface un doble objetivo: se ahorran materias primas, eludiendo el impacto negativo de su extracción, y se da una salida a materiales que en otro caso deberían llevarse a vertedero, también con un cierto impacto ambiental.[Oyarzo, 2013]. Según criterio del autor, para poder utilizar estos materiales aunque sean los más eficientes es importante analizar si su composición, estructura y por lo tanto sus propiedades están en correspondencia con el uso.

1.4 Composición y Estructura

La calidad de estos productos según [Explora Geología, 2010] depende sobre todo de las propiedades de la roca, que son su mineralogía, textura y fábrica, las características del depósito, en particular su homogeneidad, morfología y grado de meteorización y a su vez apunta las siguientes consideraciones generales las cuales plantean que :

- ✓ Mineralogía: son indeseables los minerales de yeso, sales, sulfuros y cualquier partícula blanda que reste homogeneidad (sean estas partículas minerales que han sufrido mayor meteorización que la matriz u otras sustancias como por ejemplo fragmentos orgánicos).
- ✓ Textura y fábrica: fábricas planares o planolineares pueden producir un árido lajoso con mal coeficiente de forma. Este sería el caso de las pizarras, de rocas ígneas muy orientadas o el de algunas rocas sedimentarias formadas por elementos planares. Además en las rocas foliadas el valor de la resistencia a compresión simple será mayor o incluso elevado cuando se ejerza el esfuerzo en perpendicular a la foliación y muy inferior cuando este esfuerzo sea paralelo.
- ✓ Tamaño de grano: las rocas ígneas condicionan su resistencia, se puede decir que las de grano fino, presentan valores de resistencia a la compresión y al desgaste mejores que las ígneas de grano grueso.
- ✓ Textura y la mineralogía: inciden directamente sobre la porosidad, que va a condicionar la densidad del árido y la accesibilidad de fluidos que favorecen la meteorización.
- ✓ Grado de meteorización: los materiales meteorizados que forman la montera de algunos yacimientos de roca, así como el nivel de suelo residual ofrecen valores peores en cuanto a resistencia, durabilidad y plasticidad (en el caso de los suelos) que la roca

- sana, y a menudo no llegan a cumplir con los parámetros normativos. Por esto, su retirada es la primera fase en la explotación de los yacimientos de áridos. También es negativa la presencia de partículas meteorizadas blandas procedentes de fallas o estratos blandos intercalados, que restan resistencia y homogeneidad al producto final.
- ✓ Homogeneidad del yacimiento: la existencia de diferentes litologías dentro de un mismo depósito, como pueden ser conglomerados poligénicos, alternancias sedimentarias, roof pendants en los granitos, pasadas de rocas sedimentarias o metamórficas en ofitas, etc., pueden impedir la extracción de un todo homogéneo y con ello de un árido de calidad, ya que las propiedades del conjunto deben referirse a las del tipo más desfavorable.
 - ✓ Bancos de estratos tableados dentro de un macizo rocoso masivo pueden dar lugar a partículas predominantemente planares. Además estos estratos tableados suelen encontrarse más meteorizados que el resto de la masa, restando resistencia al árido final producto de ambas partes.
 - ✓ Morfología del yacimiento: los factores que dificultan la explotación de un depósito son sus dimensiones (de poca extensión o de escasa potencia), la morfología irregular, el requerir grandes desmontes de estériles, el afloramiento del nivel freático, etc.

Por lo tanto analizando las consideraciones anteriores el autor plantea que la composición y estructura de los áridos son los que determinaran sus propiedades y el uso al cual serán destinados.

1.5 Propiedades de los Áridos

Cuando se analizan las propiedades de los áridos existen tres tipos de requisitos para verificar si pueden ser usados en morteros o hormigones, están los requisitos físicos dentro de los cuales se encuentran los relacionados con la resistencia a la desintegración (Pérdida de Masa por inmersión y secado) y desgaste de los áridos (Máquina de los Ángeles). Además incluir que las propiedades físicas son las relacionadas con el peso, volumen y permeabilidad.

Con respecto a los requisitos químicos, están los relacionados directamente con los componentes que alteran la velocidad del fraguado y la del endurecimiento de morteros y

hormigones, tales como cloruros y compuestos que contengan azufres. A su vez no es más que la resistencia química que ofrecen los materiales destacándose la durabilidad de los mismos.

También se deben incluir las propiedades o requisitos mecánicos, los cuales se relacionan con las resistencias mecánicas a diferentes esfuerzos que deben soportar los materiales.

Como último requisito se deben respetar las propiedades geométricas de los áridos que se van a producir, estas propiedades están relacionadas con los ensayos de granulometría, contenido de finos, índice de trituración y el porcentaje de chancado del material. [Oyarzo, 2013].

Es importante destacar que Cuba al hacer alusión a los materiales de construcción en las diferentes normativas, y así se establecen los valores para cada ensayo, el término que se usa es el de propiedades, cuyos valores se establece en la NC 251:2018 denominada Áridos para hormigones. Requisitos.

Por lo tanto resumiendo cuando se hace referencia a propiedades de los materiales de construcción se agrupan en: físicas, químicas, geométricas y mecánicas. Seguidamente se describe la esencia de cada una.

Los áridos poseen ciertas características físicas, dependiendo de la zona en que se encuentren, para revisar las características del árido es necesario hacer prospecciones para verificar si el material de la zona sirve y cumple con los requisitos físicos que pide las normas. Hay que tener en cuenta que las características físicas del material no son reparables, por lo tanto se debe tener sumo cuidado al momento de realizar los ensayos para verificar si estos realmente pueden ser usados en la fabricación de hormigones, morteros, pasta u otros materiales o productos de la construcción.

Algunos de los ensayos físicos que se realizan, los cuales tienen un procedimiento normativo establecido tanto a nivel internacional como en Cuba son:

- ✓ Resistencia al desgaste. Máquina de los Ángeles.
- ✓ Determinación del peso específico y absorción de agua en los áridos gruesos.

- ✓ Determinación del peso específico y absorción de agua en los áridos finos.
- ✓ Determinación de partículas ligeras.

Las propiedades químicas del árido indican qué minerales o impurezas puede tener este en su estado natural, para ver los parámetros que se deben tener en cuenta se realizan ensayos según las normas cubanas. Es importante destacar que en la mayoría de las ocasiones este tipo de ensayos son que en menor medida se realizan en los laboratorios de materiales de construcción pues en ocasiones no se cuenta con los materiales indispensables para su realización o no son solicitados por los clientes pues conocen el comportamiento químico del material de otras investigaciones. Dentro de los ensayos químicos tenemos:

- ✓ Arena. Determinación del contenido de impurezas orgánicas. Método de ensayo (NC 185:2002).
- ✓ Áridos .Estabilidad a la acción del Sulfato de sodio o del Sulfato de magnesio. (NC 183:2002).

En cuanto a las propiedades geométricas estas características del árido a diferencia de las otras, son modificables en el proceso mediante el cual se disminuye el tamaño de las rocas mineralizadas, triturándolas en equipos llamados chancadoras o molinos, se pueden reparar agregando un lavado o modificando las chancadoras para ir variando la cantidad de finos o el tamaño del material.

Para verificar estas propiedades geométricas al material se les realiza una serie de ensayos los cuales cuentan con documentos normalizativos que rigen su procedimiento de trabajo dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

- ✓ Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm (Tamiz No.200).Método de ensayo. (NC 182:2002)
- ✓ Áridos. Análisis granulométrico. (NC 178:2002)

Idealmente el monitoreo debería ser permanente. Sin embargo en la práctica muchas veces es necesario establecer planes de muestreos e intervalos de ensayos que garanticen responsablemente que el peligro está bajo control. Se requieren análisis estadísticos para determinar los planes de muestreo y los tiempos entre un ensayo y otro, esto dependerá del nivel de peligro que se esté dispuesto a aceptar en la empresa. [Oyarzo, 2013]

En cuanto a las propiedades mecánicas, la resistencia a la fragmentación, la resistencia al pulimento, la resistencia al desgaste como ejemplo podemos citar la resistencia para que los coches no se deslicen en la carretera y por último la porosidad, densidad y contenido de agua.

Los llamados ensayos mecánicos son aquellos que determinan la resistencia de las rocas o los áridos obtenidos con ellas, tanto en unidades fundamentales (N/mm^2) o mediante otras unidades arbitrarias por ej. Índices relativos en por ciento. Ellos pueden dividirse en:

- ✓ Los que se realizan en ensayos con muestras de rocas conformadas, que conducen a la expresión de los resultados en unidades fundamentales, tales como contenido de cloruros, impurezas, masa específica corriente.
- ✓ Los que se realizan con áridos obtenidos mediante trituración de las rocas. Se incluyen los ensayos de Abrasión Los Ángeles, Triturabilidad de Áridos, granulometría de los áridos gruesos y finos. [Herrera & Gayoso, 2007].

Haciendo un análisis, todas las propiedades son importantes y están estrechamente vinculadas pues las que mayor influencia tienen son las relacionadas con las resistencias mecánicas en las construcciones según [Herrera & Gayoso, 2007].

Una vez que cada árido es ensayado y analizadas sus propiedades los expertos son capaces de recomendar teniendo en cuenta los resultados alcanzados el uso al cual pueden ser sometidos.

1.6 Usos

Los áridos se emplean en cantidades considerables en todos los ámbitos de la construcción, ya sea en viviendas, obras de infraestructura, vías de comunicación, equipamientos, industria, etc. Sin embargo, esta materia prima no es nada conocida por el gran público quien, normalmente, utiliza o adquiere los bienes ya terminados donde esta materia prima ya está integrada y no en su estado natural.[Luaces, 2007]

DISTRIBUCIÓN DE LAS APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS

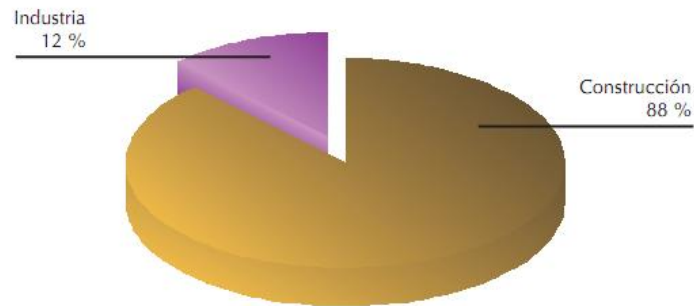


Figura 1.1 Distribución de las Aplicaciones de los áridos

Fuente: Luaces [2007]

Según la Figura 1.1 la mayor utilización está destinada al sector de la construcción y las principales aplicaciones según [Luaces, 2007] son:

- ✓ Morteros: empleados para unir ladrillos o revestir paredes 1 m³ de mortero contiene 1,3 t de áridos.
- ✓ Hormigones: que pueden ser estructurales (cimientos, vigas y pilares) o en masa (pavimentos, etc.). Para la fabricación de 1 m de hormigón son necesarias entre 1,8 y 1,9 t de áridos.
- ✓ Prefabricados: como ladrillos, bloques, vigas, bordillos, aceras, tuberías, etc.
- ✓ Bases, subbases y aglomerados asfálticos: que son los elementos que componen las carreteras, autopistas, calles, aparcamientos, pistas, etc. Para 1 km de autopista son necesarias unas 30, 000 t.
- ✓ Balasto: para construcción de vías férreas, y sobre el que se apoyan las traviesas y los raíles. 1 km de vías de ferrocarril requiere unas 10,000 t de áridos.
- ✓ Piedras y bloques de escollera para puertos.
- ✓ Otras aplicaciones como: presas, puentes, aeropuertos, calles, centros comerciales, parques de ocio, viviendas, recintos feriales, edificios singulares, rascacielos, túneles, universidades, etc.

También dentro de la construcción en edificaciones los áridos son de gran importancia autores como Luaces [2007], una vivienda familiar necesita entre 100 y 400 toneladas de

áridos; para un colegio hacen falta entre 2000 y 4000 toneladas de áridos; la construcción de un estadio de fútbol requiere unas 300 000 toneladas del material.

La construcción es el sector que más consume los áridos, por lo que se hace de vital importancia su uso racional y la utilización de los materiales locales. En el caso de Cuba el estado presta especial atención a este tema y así lo deja plasmado en los Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el Período 2016 – 2021 cuando en su lineamiento 191, Recuperar e incrementar la producción de materiales para la construcción que aseguren los programas inversionistas priorizados del país (turismo, viviendas, industriales, entre otros), la expansión de las exportaciones y la venta a la población. Desarrollar producciones con mayor valor agregado y calidad. Lograr incrementos significativos en los niveles y diversidad de las producciones locales de materiales de construcción y divulgar sus normas de empleo.

Cuando los áridos se van a utilizar en la elaboración de morteros y hormigones, existen a nivel internacional diversos métodos de dosificación o diseños de mezclas que permiten el uso racional y eficiente de los mismos. Justificado esto por lo que plantean diversos autores como Giraldo [2006], Huanca [2006] y Chapotin & Castillo [2013] cuando refieren a la temática y expresan que existen diferentes métodos a emplear que permiten realizar diseños de mezclas más eficientes.

1.7 Métodos para realizar diseños de mezclas

La gran versatilidad de la construcción en hormigón y las crecientes exigencias técnicas especificadas para este material llevan a diversos investigadores a conjugar investigación, experiencia y empirismo en la búsqueda de un método para encontrar la dosificación de materiales que garantizara la obtención de un hormigón con las características que más se ajustasen a la necesidad que se tuvieran en cada caso. Esta búsqueda aún continúa y no ha llevado a un método único ni por lo menos exacto; sin embargo, si ha definido varios procedimientos, unos más empíricos que otros, que se basan en el ensayo y error para al final, y en el caso de haber usado los datos o la información correcta, recomendar las proporciones del hormigón esperado[Giraldo, 2006].

En el diseño de una mezcla de hormigón intervienen un gran número de variables que determinan su comportamiento en servicio, desde su concepción, pasando por su mezclado, fraguado y endurecimiento, hasta su madurez, dichas variables son, entre otras, el costo, la resistencia, la trabajabilidad, la durabilidad y la apariencia.

El diseño consiste en optimizar estas variables según los materiales previamente seleccionados o escogiendo los que mejor se ajusten a cada caso específico, haciendo que cada necesidad determine un hormigón distinto en el cual predomina una o diversas variables, siendo éstas quienes en realidad se optimizan y adopten valores mínimos para las demás.

Por estas razones es que han surgido varios métodos, cada uno especial para optimizar unas variables en particular y obtener hormigones con calificativos como: normal, seco, pesado, liviano, de alta resistencia, autonivelante, de fraguado rápido, con adiciones, con aditivos y de alto desempeño.

A continuación se describen algunos de estos métodos (ACI 211.1 Hormigón normal, Fuller-Thompson, Bolomey y Faury), los cuales sirven de base para un estudio preliminar sobre la dosificación de mezclas de hormigón, según lo planteado por [Giraldo, 2006].

Fuller y Thompson, en 1901 con motivo de la construcción de varios tanques para agua, en el estado de New Jersey en los Estados Unidos verificaron experimentalmente que partir de la curva granulométrica del agregado total, se conducía a hormigones de máxima compacidad y resistencia a compresión, proponen una ecuación representativa del fenómeno. Considerados los primeros en defender la importancia de aplicar la composición granulométrica de los agregados en la dosificación de hormigón, establecieron una serie de reglas para el proporcionamiento de los materiales constituyentes del hormigón.

Bolomey en 1925 introdujo el uso de la trabajabilidad en el hormigón, propone el empleo de las curvas granulométricas ideales elaboradas por Fuller y Thompson. Planteó una ecuación para determinar la resistencia del hormigón, que es la más difundida mundialmente, al considerar que la característica de forma de los áridos tiene una marcada influencia en la resistencia final del hormigón que se diseña.

Faury en 1941 incorporó los estudios de Caquot y Bolomey, propuso un método de diseño basado en una nueva curva granulométrica que consideraba el efecto pared y la laborabilidad del hormigón.

El American Concret Institute (ACI) en 1944 publica en los Estados Unidos el texto elaborado en 1936 por su Comité 613; constituye el primer documento normativo consensual para las América, sobre dosificación del hormigón.

El ACI en 1954 realiza la primera revisión del documento elaborado por el Comité 613 y publicado en 1944. Se incluyeron los aspectos relativos al aire incorporado y estimación del árido grueso, a partir del volumen aparente compactado seco, por unidad de volumen de hormigón, para diferentes módulos de finura de las arenas, indicados en el texto ACI613-54. Este Comité, a partir del año 1970, cambió al ACI 211.1.

1. Método de Fuller-Thompson

La principal característica es que es un método analítico, la diferencia fundamental entre este y el método del ACI radica en que este último intenta llegar a la dosificación final de una manera más práctica, haciendo correcciones sucesivas por asentamiento y resistencia. Los métodos analíticos no sugieren corregir la dosificación inicial, suponen que con la aplicación de los procedimientos que proponen se cumplen los requisitos de trabajabilidad y resistencia requeridos.

En los métodos analíticos la correlación entre las propiedades de los agregados y las del hormigón es más rigurosa ya que “partiendo de unos determinados agregados se propone conformar una granulometría conjunta del material, de manera que se ajuste aproximadamente a una curva típica tomada como referencia y obtenida experimentalmente de ensayos sobre trabajabilidad y densidad del hormigón”.

Estos métodos tienen entonces por ventaja poder combinar varios agregados para obtener así una granulometría más compacta. Los métodos analíticos son diseñados para que no sean necesarios ensayos de campo o de laboratorio como los de asentamiento y resistencia. Para que esto sea posible, en dichos métodos se realizan ensayos sobre trabajabilidad y densidad máxima con el fin de depurar los resultados y ajustar sus curvas y tablas. Sin

embargo el ajuste y la depuración obedecen a ciertas características y condiciones particulares de cada región de estudio.

Este método corresponde a las investigaciones de Weymouth, W. Fuller y S. E. Thompson quienes seleccionaron una curva granulométrica continua para la composición óptima de los agregados en el hormigón. La curva es de la forma:

$$Y = 100x\left(\frac{d}{D}\right)^n \quad (1.1)$$

Dónde: “D” es el tamaño máximo del agregado total, “Y” el porcentaje en peso de agregados que pasan a través del tamiz “d” y “n” la potencia granulométrica que varía entre 0,2 y 0,5.

Cuando $n = 0,5$ se tiene el caso especial de curva Fuller. Según la bibliografía estudiada este método resulta recomendable cuando la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón es superior a los 300Kg, la estructura no posee demasiado refuerzo, el tamaño máximo del agregado es menor a los 70 mm y los agregados son redondeados.[Giraldo, 2006].

2. Método de Bolomey

Propone una curva granulométrica continua de agregado más cemento, muy similar a la propuesta por Fuller-Thompson, de ecuación:

$$Y = Ax(100 - A)\sqrt{\frac{d}{D}} \quad (1.2)$$

Dónde: Y: Porcentaje acumulado que pasa por la malla de abertura d

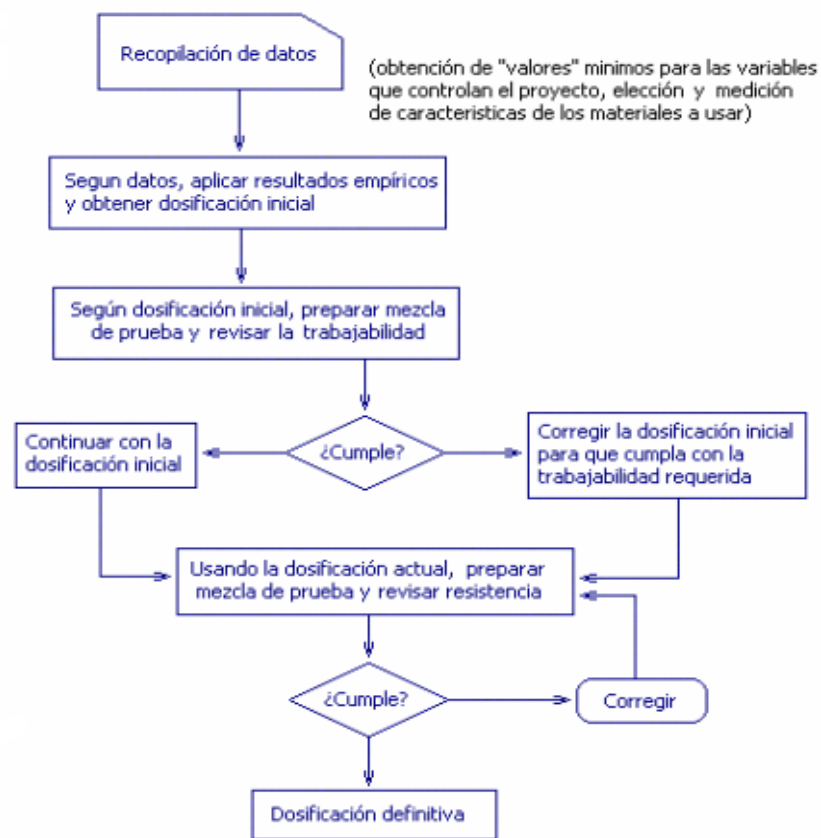
d: Abertura de las mallas en milímetros o en pulgadas

D: Tamaño máximo del agregado total en milímetros o en pulgadas

A: Coeficiente que depende de la forma del agregado y de la consistencia del hormigón, sus valores se muestran en la tabla.

4. Método de la ACI 211.1

El Instituto Americano del Hormigón (ACI) presenta, como resultado de extensas investigaciones y fundamentándose en los trabajos experimentales de Abrams, Richard y Talbot, Goldbeck y Gray, a la altura del año 1900, un método con resultados aceptables para hormigones con dos agregados, de masa unitaria entre los 2,0 Mg/m³ y los 2,5 Mg/m³ y con requisitos de resistencia menores a 42 MPa, los cuales son llamados usualmente hormigones normales. La forma más simple de trabajar este método se indica a continuación.[Giraldo, 2006]



Algoritmo para el diseño de mezclas de hormigón por el método ACI 211.1

Figura 1.3 Algoritmo para el diseño de mezclas de Hormigón

Fuente: Giraldo [2006]

El de la 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. Antes de diseñar la mezcla, se

deben tener datos previos del tipo de obra que se va a construir y los tipos de materiales que se van a usar.

Estos métodos en su mayoría, también ofrecen la posibilidad de combinar varios tipos de áridos, lo cual posibilita un mejor aprovechamiento de los materiales y mayor calidad en el hormigón.

En función de los objetivos que se persigan y de los medios y condiciones generales con que se cuente en una situación dada, se pueden utilizar distintos métodos o procedimientos para determinar la proporción en la que resultaría más conveniente mezclar dos o más áridos o fracciones granulométricas. Se han estudiado y aplicado métodos de carácter experimental, métodos analíticos basados en determinados parámetros de los agregados involucrados en el análisis, y varios métodos gráficos que se basan en la composición granulométrica de los áridos.[Rodríguez, 2017]

1.7.1 Métodos para combinar áridos

Según [Carballo, 2015] en función de los objetivos que se persigan, de los medios y condiciones generales con que se cuente en una situación dada, se pueden utilizar distintos métodos o procedimientos para determinar la proporción en la que resultaría más conveniente mezclar dos o más áridos o fracciones granulométricas. Se han estudiado y aplicado métodos de carácter experimental, métodos analíticos basados en determinados parámetros de los agregados involucrados en análisis y varios métodos gráficos que se basan en la composición granulométrica de los áridos los cuales según la bibliografía relacionada plantean que:

Métodos experimentales: se apoyan en resultados directos de los ensayos de laboratorio, determinándose la propiedad o parámetro que se persigue y seleccionándose la proporción que mejor comportamiento tenga. En ocasiones el análisis es bastante complejo, pues no siempre la proporción más conveniente se relaciona directamente con un valor característico (máximo, mínimo, promedio, etc.), sino que deben hacerse interpretaciones del posible comportamiento del conjunto de áridos desempeñado sus funciones en el aglomerado.

Dada la dificultad práctica de experimentar con todas las posibles combinaciones de las materias primas disponibles, se debe realizar un diseño de experimento donde mediante tanteo, se pueda llegar a seleccionar la proporción más conveniente, con un error aceptable. Indudablemente los métodos más precisos son los experimentales, pues se basan en la práctica concreta, pero ellos tienen el inconveniente de que resultan en general muy laboriosos, requieren de mucho tiempo y recursos materiales para su realización.[Carballo, 2015].

Un ejemplo de aplicación de los procedimientos experimentales para la mezcla de áridos es el método de diseño de mezclas de hormigón de O'Reilly, se emplea, para la determinación de las proporciones en que deben mezclar los áridos a utilizar en un hormigón dado, se toma como criterio que el porcentaje de vacío y la superficie específica mínimos de una mezcla de áridos es la que señala la composición óptima, la cual requerirá una cantidad mínima de cemento. El método establece que para determinar el porcentaje de vacío mínimo, hay que ensayar las mezclas de los áridos con las proporciones en peso de arena y gravilla siguientes: (35:65, 60:40, 45:55 50:50 y 55:45). Tomando como base el peso específico corriente y el peso unitario compactado de cada una de las mezclas, se determina entonces el porcentaje de vacío de cada una de ellas. Se elige como combinación óptima la que tenga menor porcentaje de vacío.

Métodos Analíticos: toman como base el módulo de finura de las fracciones a considerar. Como se conoce, el módulo de finura de un árido nos proporciona una idea sobre el tamaño promedio de las partículas componentes del mismo, no así de su granulometría.

Un factor de mucha importancia en las mezclas donde se emplean los áridos es la superficie específica de los mismos, ya que influye, entre otros aspectos, en la cantidad de agua necesaria para lograr una cierta consistencia. En general, el incremento del contenido de agua en una mezcla afecta seriamente sus propiedades, por lo que generalmente se trata de utilizar el mínimo contenido posible, que garantice adecuadamente las distintas operaciones a realizar. A medida que disminuye el módulo de finura de un árido, mayor es su exigencia de agua, pues ya de por sí, tiene mayor área que mojar y que lubricar. Es por eso que en ocasiones se establecen módulos de finura ideales para las mezclas de áridos a utilizar en la fabricación de aglomerados, los cuales están contemplados como especificaciones de las normas de muchos países.

Si se toma como base el conocimiento del módulo de finura (MF) deseado, ya sea por la especificación establecida por una norma o por recomendaciones empíricas, es posible mediante un método analítico simple, calcular las proporciones en que han de mezclarse dos áridos (que no poseen el MF deseado), para que la mezcla resultante satisfaga el requerimiento planteado. Partiendo de los MF de cada árido se puede plantear la siguiente expresión:

$$MF(\text{mezcla}) = MFAx\% A + MFBx\% B \quad (1.4)$$

Donde: MF (mezcla) =Módulo de finura deseado en la mezcla de áridos

MFA y MFB = Módulo de finura del árido A y del árido B

% A y % B =% del árido A y del árido B en la mezcla

El problema planteado puede resolverse fácilmente si se logra formular otra ecuación con esas dos incógnitas. Efectivamente, se puede plantear que:

$$\%A + \%B = 100\% \quad (1.5)$$

Métodos Gráficos: el interés por lograr una buena granulometría en la mezcla de áridos tiene como objetivo fundamental el incremento de la compacidad del conjunto, a partir de llenar los espacios inter-granulares con material cada vez más fino. O sea, que de modo general, en la mayoría de los casos lo ideal es tener una mezcla con máxima compacidad y superficie específica mínima, es aquí donde los efectos se manifiestan de modo opuesto, pues mientras por un lado tratamos de buscar máxima compacidad llenando los espacios con grano más fino (vacío mínimo), esto hace que se incremente la superficie específica. La solución está entonces en encontrar una proporción que satisfaga las exigencias principales sin comprometer otros parámetros técnicos.

Entre los métodos gráficos que más se utilizan para la determinación de la proporción más conveniente en la cual se deben combinar varios áridos para lograr una cierta granulometría se encuentran:

- ✓ Método del Nomograma o del Rectángulo. (Bolomey)
- ✓ Método de Fuller

- ✓ Método de Faury.
- ✓ Método del Prisma.

Estos métodos según el autor presentan aspectos en común como por ejemplo; ninguno de ellas toma como base la densidad deseada en el hormigón de diseño, utilizan una curva granulométrica ideal, la cual se considera que proporciona la mejor compacidad y docilidad, el principal dato de partida es la dosificación del cemento.

El criterio del autor es que el método de Bolomey resulta en este caso más favorable para el diseño que se desea lograr en este trabajo, dados los siguientes aspectos:

- ✓ Indicado para hormigones en masa, grandes macizos, presas, etc.
- ✓ Trata de obtener un hormigón económico en cemento en base a sus resistencias, consistencia de la masa y forma de los áridos, ya sea redondeados o triturados.
- ✓ Utiliza una curva de referencia de granulometría variable en función de la consistencia deseada en el hormigón y la forma de los áridos (teniendo en cuenta el tamaño máximo de árido).
- ✓ El ajuste se puede hacer a través de módulos granulométricos que resultan más exactos que el tanteo.

Cuando se realiza la optimización granulométrica usando la curva ideal de Bolomey, se le está dando prioridad al agregado fino, según [Almeida, 2019; Antonio, *et al.*, 2018; Gómez, 2019], aspecto que a consideración del autor resulta de vital importancia para esta investigación tomando en consideración que la mayor cantidad de árido fino proviene de Cienfuegos generando altos consumos de combustibles.

1.8 Conclusiones parciales

1. Es importante el estudio de los áridos como componente esencial en los hormigones hidráulicos, debido a que sus características influyen directamente en los resultados de las mezclas.
2. Los métodos de dosificación se emplean de acuerdo a las condiciones y el tipo de trabajo que se desee realizar, no existe en tal sentido uno superior a otro.

3. Existen diferentes métodos que se emplean para lograr combinaciones granulométricas, destacándose el de Fuller-Thompson, Bolomey y el Prisma, basados en una curva granulométrica ideal que proporciona la mejor compacidad granulométrica de los áridos.

CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE EXPERIMENTO

Este capítulo tiene como objetivo describir los materiales y métodos que se utilizan en la investigación. Para la descripción de los métodos se tienen en cuenta los requerimientos de las diferentes normas cubanas relacionadas con el tema tanto en áridos, cemento y hormigón.

2.1 Diseño del experimento

La Unidad Básica de Servicios de Hormigón debido a la carencia de áridos existente en el territorio necesita obtener diseños de mezcla ideales que garanticen hormigones durables cuales se basen en combinaciones de áridos por lo que para ello se utilizaron áridos de las canteras Antonio Maceo, Arimao y cemento a granel P-350 de Cementos Cienfuegos S.A. Los materiales a utilizar en las combinaciones de áridos se muestran en la Tabla 2.1

Tabla 2.1 Materiales a utilizar en las diferentes combinaciones.

Fuente: Elaboración propia

Combinación 1	Combinación 2	Combinación 3
Arena Arimao	Arena Antonio Maceo	Arena Arimao
Granito Antonio Maceo	Gravilla Antonio Maceo	Arena Antonio Maceo
Gravilla Antonio Maceo		Gravilla Antonio Maceo

Los porcentos a mezclar de las diferentes combinaciones de áridos fueron obtenidos a partir del método de Bolomey y seguidamente los diseños de mezclas por el mismo método para los cuales se partió de un contenido de cemento de 449 kg valor conocido de trabajos anteriores para una calidad del hormigón 35MPa.

Se elaboraron hormigones hidráulicos con los resultados obtenidos de diseños de mezclas a partir de combinaciones de áridos .Se decidió resolver esta investigación por medio de la vía experimental tanto para la caracterización de los áridos y cemento así como para el hormigón obtenido debido a que se puede planificar de la forma más racional posible, de manera que los datos obtenidos puedan ser procesados adecuadamente y que mediante un

análisis objetivo conduzcan a deducciones aceptables del problema planteado, que es precisamente lo que se desea.

El objetivo del experimento es obtener un diseño de mezcla ideal a partir de combinaciones de áridos que garanticen hormigones durables.

Las variables de investigación son las siguientes:

- I. Relación a/c
- II. Asentamiento
- III. Resistencia característica del hormigón a los 7 y 28 días
- IV. La porosidad
- V. La sorptividad

Como rendimiento se define hormigones durables.

2.2 Caracterización de los materiales

En los hormigones durables, aún cuando la matriz del cementante tenga buenas cualidades, es posible que la máxima resistencia del hormigón esté limitada por la resistencia del agregado. Por ello, se recomienda utilizar agregados resistentes, limpios, sin fisuras y tomar en cuenta que su forma, tamaño, granulometría y composición mineralógica afectarán las características finales del hormigón y la demanda de agua de la mezcla.

2.2.1 Los Agregados

Los agregados representan más del 70 % del material componente del concreto, la mezcla está compuesta generalmente por agregados finos y agregados gruesos.

Los agregados finos y gruesos que se emplean en la investigación proceden de la Cantera Antonio Maceo ubicada en Coliseo, en la provincia de Matanzas, el cual fue sometido a un proceso de trituración mecánica y lavado para eliminar contenido de arcilla. Otro árido fino utilizado procede de Arimao, en la provincia de Cienfuegos, obtenido de forma natural por la disgregación de las rocas del río y sometido a un proceso de tamizado y lavado.

Propiedades geométricas

I. Áridos. Análisis granulométrico.

Fundamentos del método.

El procedimiento se basa en la determinación de las fracciones granulométricas de los áridos por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, acompañado de una acción de sacudida, de manera que la muestra se mueva continuamente sobre la superficie de los tamices.

Los utensilios empleados son una balanza calibrada, un juego de tamices de agujeros cuadrados, brochas de 2.5 cm y una estufa.

La preparación de la muestra se realiza por el método de cuarteado a una muestra representativa del material proveniente de la dos canteras.

El peso de la muestra representativa secada en la estufa a peso constante con una temperatura entre los 105 y 110 °C fue de 500 g según establece la NC 178:2002 en su Tabla 2.

Procedimiento:

La arena después de enfriarse a temperatura ambiente se le practica un proceso de tamizado, utilizando una gama de tamices desde el 4,76 hasta el 0,074mm. Las muestras se separan de acuerdo a las especificaciones usando solo los tamices necesarios. La operación de tamizado se lleva a cabo por medio de un movimiento lateral y vertical del tamiz, este movimiento está acompañado de una acción de sacudida, de manera que la muestra tenga un movimiento continuo sobre la superficie del tamiz. Una vez terminado el proceso se emplea una balanza para pesar el material retenido en cada tamiz

II. Áridos gruesos. Determinación de partículas planas y alargadas. Método de ensayo

Fundamentos del método.

Se obtienen las partículas planas y alargadas contenidas en los áridos gruesos por medio de la separación de las muestras en fracciones, separación de las partículas planas y alargadas y determinación del porcentaje que representan del peso del árido.

Los utensilios necesarios son estufa, balanza, tamices, pie de rey.

Preparación de la muestra:

El árido grueso para este ensayo se separa de acuerdo a las masas de las partículas que se establecen en la Tabla 1 de la NC 189:2002 para los diferentes tamaños de partículas presentes en las proporciones de 5 % o más, para lo cual se parte del ensayo de granulometría de la muestra tomada, para conocer el porcentaje retenido parcial de cada tamaño o fracción.

Procedimiento:

Después de separadas las cantidades de partículas a ensayar se depositan en bandejas perfectamente identificadas, a fin de evitar que se mezclen los diferentes tamaños o fracciones, se procede a extender sobre una superficie limpia el contenido de una de las bandejas, por simple inspección visual se separan las partículas planas y alargadas que no ofrecen dudas en sus formas y dimensiones. De la misma forma se procede con las partículas que no eran planas y alargadas. Las partículas que no pudieron ser determinadas en la inspección visual se miden con el pie de rey, determinándose la relación existente entre sus dimensiones. Así sucesivamente se procede con cada una de las partículas que no pudieron ser identificadas en la inspección visual. Posteriormente se determina la masa de las partículas planas y alargadas halladas en cada muestra.

Método de cálculo:

Se calculan los porcentajes de partículas planas y alargadas halladas en cada muestra ensayada aplicando la fórmula:

$$PPA = \frac{A}{B} \times 100 \quad (2.1)$$

Donde:

PPA - Porcentaje en masa de partículas planas y alargadas

A – Masa de las partículas planas y alargadas halladas en cada muestra ensayada (g)

B – Masa de la muestra ensayada (g)

Por último es necesario corregir el resultado obtenido aplicando la siguiente fórmula:

$$PPAC = \frac{PPA + RP}{100} \quad (2.2)$$

Donde:

PPA - Porcentaje en masa de partículas planas y alargadas

RP – Porcentaje retenido parcial de la fracción de la muestra ensayada

El resultado final se obtiene sumando todos los PPAC obtenidos.

III. Áridos. Material más fino que el tamiz de 0.074mm (No 200). Método de ensayo

Fundamentos del Método

El procedimiento se basa 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 0,074mm (No. 200).

Los aparatos y utensilios necesarios para su realización son: estufa, recipiente metálico, tamices y frasco lavador.

Preparación de la Muestra

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

Se pone en un recipiente y se deseca en la estufa hasta peso constante a una temperatura que no exceda de 105 – 110°C.

El peso de la muestra para el ensayo se toma cuando está a temperatura ambiente y después de cuarteada.

Procedimiento

La muestra después de pesada se coloca en el recipiente y se le añade agua hasta cubrirla para poder mezclar y agitar convenientemente sin que se produzcan pérdidas, tanto de áridos como de agua.

Se agita 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 vierte el agua que contiene 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 repite tantas veces como sea necesario hasta que el agua utilizada salga completamente limpia y clara.

Todo el material retenido en los tamices se une a la muestra lavada. El árido lavado se deseca hasta peso constante o durante 24 horas a una temperatura que no exceda 105 a 110°C.

Determinación por volumen

Se toma un volumen de agua suficiente para cubrir la muestra y se echa en el frasco. Se introduce la muestra de peso conocido y se agita el frasco hasta eliminar el aire atrapado.

El volumen combinado de la muestra y el agua se determina mediante la lectura directa cuando se utilice un frasco graduado.

Cuando se utilice un frasco de volumen conocido, se determina el volumen combinado de la muestra y el agua, llenando el frasco hasta la marca con un volumen medido de agua y restando este volumen del frasco.

El agua desplazada por la muestra se determina mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ pasado} = \frac{a-b}{a} \times 100 \quad (2.3)$$

Donde:

% pasado: porcentaje de material que pasa por el tamiz 0,074 (No 200)

a: peso de la muestra original seca

b: peso de la muestra seca después de lavada

Propiedades Físicas

El peso volumétrico compactado y el peso volumétrico suelto se determinan en correspondencia con la NC 181:2002.

I. Determinación del peso volumétrico. Método de ensayo

Fundamentos del método.

Los pesos volumétricos se determinan por medio de pesadas del material contenido en recipientes calibrados de volumen conocido.

Los utensilios necesarios son: varilla de compactación, balanza y recipientes metálicos de forma cilíndrica bien calibrados.

Preparación de la Muestra: las arenas son secadas en la estufa a una temperatura de 105 °C a 110 °C hasta mantener peso constante.

Procedimiento de apisonado: El recipiente se llena en tres capas, dándosele 25 golpes con la varilla de compactación, en cada capa, para lograr su compactación; los golpes son distribuidos uniformemente sobre la superficie, de manera que la primera serie llegue hasta el fondo sin golpearlo fuertemente. La compactación en las otras capas es sólo en el espesor de las mismas. Después es enrasada la superficie del árido con una regla de bordes rectos y fuertes.

Método de cálculo: se determina el peso neto del árido contenido en el recipiente mediante la balanza calibrada, luego se obtiene el peso volumétrico suelto y compactado multiplicando el peso neto obtenido por el factor de calibración calculado, expresando el resultado en kg/m^3 .

II. Determinación del peso específico y Absorción de agua. Método de ensayo

Fundamentos del método.

Se determinan los pesos específicos y la absorción de agua en los áridos gruesos por medio de pesadas.

Los utensilios necesarios para el ensayo son una balanza, una estufa, un cesto de alambre, un recipiente y un dispositivo para colgar el cesto en el centro de la balanza.

Las condiciones del local son conforme a lo establecido en la NC 187:2002.

Preparación de la muestra: se selecciona por el método de cuarteo una muestra de 5 kg del árido, después de haber lavado bien el árido, para quitarle el polvo o cualquier otro material adherido a la superficie de las partículas, se seca la muestra hasta obtener peso constante a una temperatura de 105- 110 °C. Posteriormente se sumerge la muestra en agua a temperatura ambiente durante 24 horas, después del período de inmersión en agua, se secan las partículas rodándolas sobre una tela absorbente hasta eliminar toda la película de agua visible, aunque su superficie aparezca todavía húmeda. La muestra se pesa en el aire, se coloca inmediatamente en el cesto de alambre y se determina su peso dentro del agua. Posteriormente la muestra se seca en la estufa hasta peso constante a una temperatura de 105- 110 °C, se deja enfriar a temperatura ambiente y se pesa en el aire.

Una vez realizadas estas mediciones es posible determinar el Peso específico corriente mediante la ecuación:

$$\text{Peso específico corriente} = \frac{A}{B - C} \quad (2.4)$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (g)

B = Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Peso específico saturado:

$$\text{Peso específico saturado} = \frac{B}{B - C} \quad (2.5)$$

Donde:

B = Peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Peso específico aparente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{A - C} \quad (2.6)$$

Donde:

A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Por ciento de absorción:

$$\% ABS = \frac{B - A}{A} \times 100 \quad (2.7)$$

Donde:

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

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

III. Determinación del por ciento de huecos. Método de ensayo

Fundamentos del método.

Según la NC 177:2002 la determinación del por ciento de huecos, se obtiene utilizando el peso específico corriente y el peso volumétrico compactado obtenido de los mismos.

Método de cálculo:

El porcentaje de huecos en los áridos se determina con arreglo a la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de huecos} = \frac{PEC - PVC}{PEC} \times 100 \quad (2.8)$$

Donde:

PEC – Peso específico corriente del árido

PVC – Peso volumétrico compactado del árido

Agregados Gruesos

Propiedades mecánicas

I. Áridos Gruesos. Determinación del índice de triturabilidad. Método de ensayo.

Fundamentos del Método

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

Los utensilios a utilizar son: prensa hidráulica, balanza, estufa, tamices, varilla de compactación y depósitos en forma de cilindros.

Preparación de la muestra.

El muestreo se realiza según se establece en la NC 54- 029. El árido grueso que constituye la muestra de ensayo se pasa por tamices de abertura igual al tamaño máximo y mínimo de la fracción en cuestión. La muestra del árido grueso a ensayar se seca 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 enfría a la temperatura ambiente del laboratorio.

Preparación de la porción de ensayo.

De la muestra de árido grueso a ensayar que ha sido tamizada, secada y enfriada se toma una porción no menor de 6 kg, ésta a su vez se divide en dos partes iguales con el fin de realizar dos ensayos paralelos.

Se coloca el cilindro sobre el fondo desmontable, se pesa para conocer su masa y se comienza a verter en el mismo la porción de árido grueso a ensayar en tres capas, dejando caer el material desde una altura de 50 mm, compactando uniformemente la superficie de cada capa con la varilla de compactación. Esta acción se realiza dejando deslizar la varilla entre los dedos de la mano, la cual cae por su propio peso. Posteriormente se nivela 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 pesa el cilindro con la porción del árido grueso a ensayar que contiene, para conocer su masa por diferencia de masa.

A continuación se coloca sobre la superficie nivelada el pistón del equipo triturador y éste se centra entre los platos de la prensa hidráulica, se aplica 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 retira el cilindro y se sostiene, quitándole el fondo sobre una bandeja limpia. Se extrae 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 se tamiza por el tamiz de control según el límite de las fracciones del árido grueso. El tamizado se interrumpe cuando durante un tiempo aproximado de un minuto no pase más del 1 % de la masa del árido grueso triturado.

2.2.2 Funciones de los Agregados en la mezcla

Los agregados cumplen con las siguientes funciones dentro de la mezcla de concreto:

- ✓ Esqueleto o relleno de la pasta y así reducir el contenido de cemento por metro cúbico. Producir una mezcla de concreto económica.
- ✓ Proporcionar una masa de partículas que sea capaz de resistir grandes esfuerzos a compresión.
- ✓ Disminuir los cambios volumétricos que resultan en el proceso de fraguado.

2.3 El Cemento

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, permite la unión de materiales minerales entre sí, formando una mezcla compacta y homogénea.

El material utilizado procedente de la planta Carlos Marx de la provincia de Cienfuegos, se designa como cemento P-35, en correspondencia con la NC 95:2017 Cemento Portland. Especificaciones.

Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la consistencia normal y tiempo de fraguado por aguja Vicat. NC 524: 2015

Procedimiento: una vez seca la amasadora, el recipiente y las paletas se coloca la muestra del material y se realiza el mezclado de acuerdo con las especificaciones 5.1.1 a la 5.1.5 contenidas en la NC 524:2015.

Determinación de la Consistencia: rápidamente después se centra la pasta confinada en el anillo, que descansa en el plato, bajo la barra. El extremo sumergible se pone en contacto con la superficie de la pasta y se aprieta el tornillo de fijación, se fija el indicador movable en una lectura inicial y se libera rápidamente la barra.

Determinación del tiempo de fraguado: se toman 650g de cemento en la cámara o local húmedo durante 30 min después del moldeo sin perturbarla, luego se determina la penetración de la aguja de 1 mm en ese momento y cada 15 min posteriores hasta que se obtiene una penetración menor de 25 mm, obteniéndose el tiempo de fraguado inicial. El tiempo de fraguado final se determina cuando la aguja no se hunde visiblemente dentro de la pasta.

Cemento Hidráulico. Método de ensayo. Determinación de la densidad NC 523:2015.

Procedimiento: se llena en frasco de Lechatelier con queroseno hasta un punto entre las marcas deseadas, se realiza la primera lectura después de sumergido en baño de agua a temperatura constante. Se introduce en el frasco 64g de cemento en pequeñas porciones entre el tiempo de la primera lectura y la última lectura. La diferencia entre las dos lecturas representa el volumen de líquido desplazado por la masa de cemento, por último se realiza el cálculo de la densidad del cemento conforme al epígrafe 5.2 de la norma.

2.4 El agua

El agua utilizada es suministrada por Aguas Varadero, procedente de la fuente de “Tierras Negras”, apta para el consumo humano y libre de impurezas que puedan afectar las propiedades del hormigón. Se utiliza como hidratante para el cemento y así lograr que desarrolle sus funciones como ligante, además como vía de mejoramiento en la laborabilidad de la mezcla. Es suministrada de acuerdo a los valores existentes en planta y respetando la relación agua- cemento determinada en estudios anteriores.

2.5 Descripción del método de combinación de árido utilizado

El método empleado para combinar los áridos es el propuesto por Bolomey, se conoce el tipo, granulometría y tamaño máximo del árido a emplear, además por experiencia y a modo de referencia se toma el contenido de cemento y la relación agua cemento de las dosificaciones existentes en la planta.

Se realizan los siguientes pasos para obtener el porcentaje en la mezcla de cada material:

1. Determinar el por ciento que representa el cemento del total de la mezcla.

Se resta del volumen total del m³ considerado como (1025dm³) la cantidad estimada de agua, obteniéndose el volumen total del sólido, se convierte el volumen de cemento anteriormente definido a litros y se calcula el por ciento que representa el cemento del total de la mezcla:

$$\% \text{ cemento} = \frac{V_{\text{cemento}}}{V_{\text{áridos}}} \times 100 \quad (2.9)$$

Cálculo de los módulos de finura ideales de Bolomey.

Los valores de a para cada valor de d/D se recogen en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2 Valores de a en función de y .

Fuente: Almeida [2019]

d/D	a = 10	a = 11	a = 12	a = 13	a = 14
1	100	100	100	100	100
1/2	73.6	73.9	74.2	74.5	74.8
1/4	55	55	56	56.5	57
1/8	41.8	42.5	43.1	43.8	44.4
1/16	32.5	33.3	34	34.8	35.5
1/32	25.9	26.7	27.6	28.4	29.2
1/64	21.3	22.1	23	23.9	24.8
1/128	18.3	19.2	20.1	21.0	21.9
1/256	15.6	16.6	17.5	18.4	19.4
1/512	14	14.4	15.9	16.8	17.8
1/1024	12.8	13.8	14.8	15.7	16.7

El valor del módulo de finura ideal de Bolomey finalmente se obtiene del cociente entre la sumatoria del por ciento de pasado en cada tamiz entre 100.

2. Cálculo del porcentaje de cemento del total de la mezcla

El ajuste granulométrico de la mezcla de los áridos a la curva de Bolomey está basado en los módulos granulométricos en los cuales se considera que el porcentaje de cemento que entra en la composición del hormigón viene dado por:

$$t_0 = \frac{PC \times 100}{\frac{\partial c}{Vt - Va}} \quad (2.10)$$

Donde:

PC- Peso del cemento por m³

∂c - Densidad relativa del cemento

Vt- Volumen total de los componentes (1025)

Va- Volumen de agua

3. Determinación del porcentaje de cada fracción de árido:

$$t_0 + t_1 + t_2 + \dots + t_n = 100 \quad (2.11)$$

En el caso de tres áridos, los porcentajes vendrán dados por:

$$t_0 + t_1 + t_2 = 100 \frac{m3 - mt3}{m3 - mt2} \quad (2.12)$$

$$t_1 = \frac{(t_0 + t_1 + t_2) \times (m2 - mt2) - t_0 m2}{m2 - m1} \quad (2.13)$$

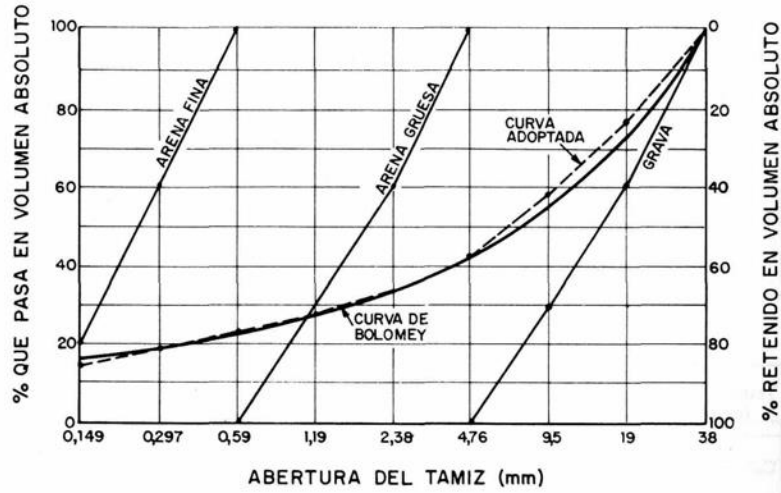
$$t_2 = (t_0 + t_1 + t_2) - (t_0 + t_1) \quad (2.14)$$

$$t_3 = 100 - (t_0 + t_1 + t_2) \quad (2.15)$$

4. Representación gráfica de los resultados obtenidos para observar el comportamiento de ajuste granulométrico.

Figura 2.1 Composición de los áridos para adaptarlos a la curva de Bolomey.

Fuente: Almeida [2019]



5. Convertir los por cientos obtenidos para cada material a Kg utilizando la ecuación general:

$$\frac{Pa}{\lambda_{agua}} + \frac{Pc}{\lambda_{cemento}} + \frac{Pg}{\lambda_{gravilla}} + \frac{Par}{\lambda_{arena}} + 10 \alpha = 1000 dm^3 \quad (2.16)$$

Donde:

Pa- Peso del agua

Pc- Peso del cemento

Pg- Peso de la grava

Par- Peso de la arena

6. Confeccionar una tabla donde se expresen los resultados obtenidos en por ciento que corresponde a cada uno de los componentes de la mezcla de hormigón en correspondencia con los valores calculados en kg y lo que representan del volumen total del m³ de hormigón, los mismos posteriormente deben ser reajustados de acuerdo a la humedad, con la finalidad de obtener una combinación lo más eficiente posible.

2.6 Preparación del Hormigón

En los hormigones durables, aun cuando la matriz del cementante tenga buenas cualidades, es posible que la máxima resistencia del hormigón esté limitada por la resistencia del agregado. Por ello, se recomienda utilizar agregados resistentes, limpios, sin fisuras y tomar en cuenta que su forma, tamaño, granulometría y composición mineralógica afectan las características finales del hormigón y la demanda de agua de la mezcla.

Ensayos al Hormigón. Parte -2: Propiedades en estado fresco, NC ISSO 1920-2:2010

Determinación de la Consistencia: se realiza mediante el ensayo de asentamiento, a través de una muestra tomada al hormigón fresco. Después de haber sido homogenizada correctamente se coloca en el molde de forma de cono truncado y se compacta con una varilla de compactación de sección circular con extremos redondeados. Una vez realizada esta operación se extrae el molde de forma rápida y evitando movimientos laterales o de torsión, inmediatamente después se determina el asentamiento utilizando una regla midiendo la diferencia entre la altura del molde y la altura del centro del hormigón descendido, en valores menores que 210mm.

Cuando se determina la consistencia del hormigón, éste será ensayado en el momento de su utilización o en el caso del hormigón premezclado, en el momento de la entrega. Si el hormigón es entregado en un camión hormigonera o en un camión agitador, la consistencia puede medirse sobre una muestra puntual obtenida de la descarga inicial. La muestra puntual se toma una vez que se haya descargado aproximadamente 0,3 m³.

Ensayos al hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido NC 724:2015

Las probetas para ensayos son cilindros que reúnen los requisitos de la Norma Cubana NC 221 o testigos perforados que se extraigan de las estructuras y que reúnan los requisitos de la Norma Cubana NC 318.

Determinación de la resistencia a compresión: las probetas fijadas por la norma cubana para la determinación de la resistencia a compresión es la cilíndrica de 150 X 300 mm. Las probetas que estén fuertemente llenas de oquedades y burbujas se consideran que no son representativas del hormigón suministrado. En general las probetas que presenten estas deficiencias no son ensayadas pues representan una manifestación de una deficiente elaboración de las mismas. Cuando se decide ensayar probetas con reconocimiento de estos defectos, el informe de los ensayos incluye las anotaciones correspondientes de la presencia de estas oquedades y burbujas. Para aplicar el ensayo resulta necesario contar con una prensa o máquina estándar de ensayo a compresión, la máquina estará calibrada y se verifica anualmente.

Preparación de las probetas: las probetas son curadas en agua, al sacarlas se les quita 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 es ensayada es tan corto como sea posible y nunca más de 3 h. Durante el tiempo en que la probeta está fuera del cuarto o tanque de curado, se protege del secado, por ejemplo cubriéndola con un paño mojado.

No se emplea 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.

Los medios físicos para asegurar el centrado de la probeta en los platos de la máquina de ensayo, estarán calibrados y tienen que cumplir los requisitos establecidos para la exactitud de centrado.

Aplicación de la carga: la carga se aplica sin saltos bruscos y se incrementa continuamente a una velocidad constante hasta que no pueda ser sostenida una carga mayor. Se selecciona una velocidad de aplicación de los esfuerzos mayor de 0,15 MPa/s y menor que 1,0 MPa/s.

Las roturas satisfactorias para las probetas cilíndricas son:

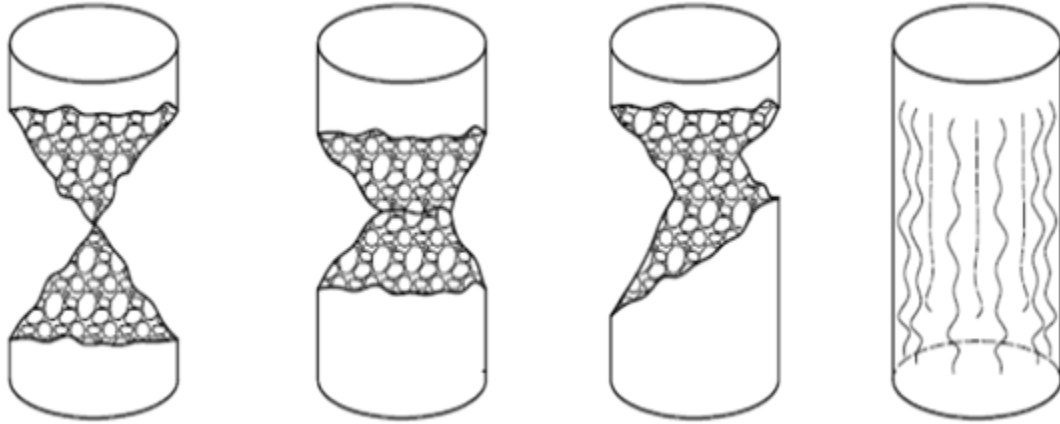


Figura 2.2 Roturas satisfactorias en las probetas cilíndricas.

Fuente: NC 724 [2015]

La resistencia a compresión está dada por la siguiente ecuación:

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (2.17)$$

Donde:

f_c Resistencia a Compresión expresada en (MPa)

F Carga máxima, expresada en (N)

A_c Área de la sección transversal de la probeta sobre la cual actúa la fuerza a compresión expresada en (mm²).

Hormigón endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad NC 345:2011.

Preparación de la muestra: se toma una probeta cilíndrica 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 compresión.

Procedimiento de ensayo: después de ser secadas en la estufa fueron pesadas y colocadas sobre un lecho de arena fina de no más de 10 mm de espesor estanco, con una altura de agua por encima del lecho de arena de 5 mm. Para mantener el nivel del agua en el recipiente se llena una probeta de agua y se coloca en posición invertida a 5 mm sobre el lecho de arena. Se utiliza agua potable. Estas se vuelven a pesar a las edades de 4; 8; 24; 72; 120 y 168 horas contadas desde el inicio del ensayo o su contacto con el agua.

La resistencia a la penetración del agua se determina por:

$$m = \frac{t_n}{h^2} \quad (2.18)$$

Donde:

t_n tiempo en el punto crítico

h altura o espesor total del espécimen (m)

El coeficiente de absorción capilar se determina:

$$k = \frac{Q_n - Q_0}{\sqrt{t_n}} \times \frac{1}{A} \quad (2.19)$$

Donde:

Q_0 peso del espécimen al inicio (kg)

Q_n peso del espécimen en el punto crítico (kg)

t_n tiempo en el punto crítico (s)

A área de succión del espécimen (m²)

La porosidad efectiva se determina:

$$\zeta = \frac{Q_n - Q_0}{A \times h \times 1000} \quad (2.20)$$

Donde:

Q_0 peso del espécimen al inicio (Kg)

Q_n peso del espécimen en el punto crítico (Kg)

A área de succión del espécimen (m^2)

h altura o espesor total del espécimen (m)

Determinación de la velocidad de absorción de agua (Sorptividad) NC 967:2013

La velocidad de absorción de agua (sorptividad) del hormigón se determina midiendo el incremento de la masa de una probeta como resultado de la absorción de agua en función del tiempo, cuando sólo se expone al agua una superficie de la probeta. La superficie de la probeta que está expuesta al agua se sumerge, ingresando el agua al hormigón no saturado debido a la succión capilar a partir del contacto con ella.

Utensilios y reactivos necesarios: resina epóxica o parafina para el sellaje de las superficies laterales de la probeta, 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, 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.

Además pueden utilizarse 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, cámara

medioambiental, una cámara con circulación de aire capaz de mantener una temperatura ambiente de $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $(80 \pm 3) \%$.

Procedimiento: se colocan las probetas de ensayo en la cámara medioambiental a temperatura de $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y una humedad relativa de $(80 \pm 3) \%$ durante 3 días.

Después de los 3 días, se colocan las probetas dentro de una bolsa de polietileno para almacenaje sellable, luego se utiliza una bolsa separada para cada probeta. Se toman 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.

Se almacena la bolsa sellada a $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ como mínimo durante 15 días antes de comenzar el procedimiento de la absorción.

Se extrae la probeta del recipiente de almacenaje y se registra la masa de la probeta acondicionada al 0,01 g más cercano, antes de sellar sus superficies laterales.

Se mide como mínimo cuatro diámetros de la probeta en la superficie a que va a quedar expuesta al agua.

Se sella la superficie lateral de cada probeta con resina epóxica, parafina o un material de sellado apropiado. Sellando el extremo de la probeta que no va a quedar expuesto al agua utilizando una liga o banda elástica.

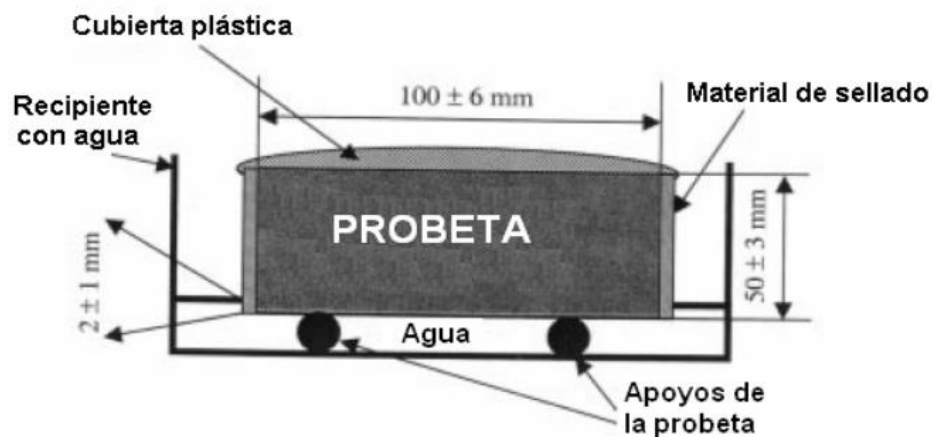


Figura 2.3 Esquema del procedimiento.

Fuente: NC 967 [2013]

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 el ensayo la variación de la densidad del agua con la temperatura es obviada y se utiliza un valor constante de 0,001 g/mm³.

Las unidades de I son en mm.

$$I = \frac{Mt}{axd} \quad (2.21)$$

Donde:

I: Absorción (mm).

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

a: Área expuesta de la probeta, (mm²).

d: Densidad del agua, (0,001 g/mm³).

Curado del Hormigón según NC 120:2018

El mejor método de curado es mantener húmeda la superficie de los elementos de hormigón mediante riego directo que no produzca el deslavado. El agua utilizada en el curado debe cumplir con los requisitos de la NC 120:2018. La duración mínima del curado para la mezcla con cemento Portland P-35 es de siete días. En el caso de elementos prefabricados, siempre y cuando se hayan alcanzado las propiedades especificadas para su desmolde, pueden reducirse los tiempos de curado.

2.7 Conclusiones parciales

1. La caracterización de los materiales mediante las normas establecidas facilita el conocimiento necesario para la evaluación de los mismos.
2. Resulta factible utilizar tres tipos de áridos, en función de las características de los materiales.

CAPÍTULO 3. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS DIFERENTES DISEÑOS DE MEZCLA.

En este capítulo se analizan los resultados obtenidos de los ensayos efectuados a los materiales utilizados en los diseños de mezcla, así como al hormigón. Los mismos son comparados según los requisitos de sus normas correspondientes.

3.1 Resultados obtenidos del ensayo realizado a los áridos. Propiedades geométricas. Árido fino proveniente de la cantera de Arimao.

Áridos, análisis granulométrico.

Tabla 3.1 Granulometría de los áridos finos.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis granulométrico de agregado fino No. 4 (4.75mm) – No. 100 (0.15mm)												
TAMICES	PULGADAS	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100
	(mm)	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
Por ciento Pasado	%	100	100	100	100	100	98	82	57	15	9	4
Especificaciones	Máximo %	100	100	100	100	100	100	100	80	60	30	10
	Mínimo %	100	100	100	100	100	90	70	45	25	10	2

Árido fino proveniente de la cantera de Antonio Maceo.

Tabla 3.2. Granulometría de los áridos finos.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis granulométrico de agregado fino No. 4 (4.75mm) – No. 100 (0.15mm)												
TAMICES	PULGADAS	1 ½"	1"	¾"	½"	3/8"	No 4	No 8	No 16	No 30	No 50	No 100
	(mm)	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15
Por ciento Pasado	%	100	100	100	100	100	86	69	44	20	16	9
Especificaciones	Máximo %	100	100	100	100	100	100	100	80	60	30	10
	Mínimo %	100	100	100	100	100	90	70	45	25	10	2

Árido grueso (Granito) proveniente de la cantera de Antonio Maceo.

Tabla 3.3 Granulometría de los áridos gruesos.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis granulométrico de agregado grueso 3/8" (9.5mm) – No 4 (4.75mm)							
TAMICES	PULGADAS	1"	3/4"	3/8"	No 4	No 8	No 16
	(mm)	25	19	9.5	4.75	2.36	1.18
Por ciento Pasado	%	100	100	97	19	1	1
Especificaciones	Máximo %	100	100	100	100	100	100
	Mínimo %	100	100	100	100	100	90

Árido grueso (Gravilla) proveniente de la cantera de Antonio Maceo.

Tabla 3.4 Granulometría de los áridos gruesos.

Fuente: Elaboración Propia

Análisis granulométrico de agregado grueso 3/4" (20.0mm) – 3/8" (9.5mm)							
TAMICES	PULGADAS	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No 4
	(mm)	37.5	25	19	12.5	9.5	4.75
Por ciento Pasado	%		100	99	41	5	2
Especificaciones	Máximo %	100	100	100	100	100	100
	Mínimo %	100	100	100	100	100	90

Tabla 3.5 Determinación de partículas planas y alargadas.

Fuente: Elaboración Propia

	Granito de Antonio Maceo (%)	Gravilla de Antonio Maceo (%)
Partículas planas y alargadas	3,4	3,4

Tabla 3.6 Material más fino que el tamiz 0,074mm (No.200)

Fuente: Elaboración Propia

	Arena Arimao (%)	Arena Antonio Maceo (%)	Granito Antonio Maceo (%)	Gravilla Antonio Maceo (%)
Material más fino que el tamiz (No. 200)	1,30	3,80	0,5	1,14

✓ Propiedades Físicas:

*Tabla 3.7 Módulo de Finura
Fuente: Elaboración Propia*

	Arena Arimao	Arena Antonio Maceo	Granito Antonio Maceo	Gravilla Antonio Maceo
Módulo de Finura	2,51	3,56	-	-

Partículas de Arcilla.....	0%	} Arena Arimao
✓ Peso volumétrico suelto.....	1585kg/m3	
✓ Peso volumétrico compactado.....	1626kg/m3	
✓ Peso específico corriente.....	2.65g/cm3	
✓ Peso específico saturado.....	2.66g/cm3	
✓ Peso específico aparente.....	2.68g/cm3	
✓ Absorción.....	1.80%	
✓ Por ciento de huecos.....	37.10%	

Partículas de Arcilla.....	0%	} Arena Antonio Maceo
✓ Peso volumétrico suelto.....	1438kg/m3	
✓ Peso volumétrico compactado.....	1633kg/m3	
✓ Peso específico corriente.....	2.52g/cm3	
✓ Peso específico saturado.....	2.54g/cm3	
✓ Peso específico aparente.....	2.56g/cm3	
✓ Absorción.....	0.60%	
✓ Por ciento de huecos.....	41.10%	

Partículas de Arcilla.....	0%	} Granito Antonio Maceo
✓ Peso volumétrico suelto.....	1369kg/m3	
✓ Peso volumétrico compactado.....	1505kg/m3	
✓ Peso específico corriente.....	2.57g/cm3	
✓ Peso específico saturado.....	2.64g/cm3	
✓ Peso específico aparente.....	2.75g/cm3	
✓ Absorción.....	2.5 %	
✓ Por ciento de huecos.....	41.43%	

Partículas de Arcilla.....	0%	} Gravilla de Antonio Maceo
Partículas Planas y alargadas.....	3.4%	
✓ Peso volumétrico suelto.....	1368kg/m ³	
✓ Peso volumétrico compactado.....	1497kg/m ³	
✓ Peso específico corriente.....	2.59g/cm ³	
✓ Peso específico saturado.....	2.64g/cm ³	
✓ Peso específico aparente.....	2.72g/cm ³	
✓ Absorción.....	1.80%	
✓ Por ciento de huecos.....	41.30%	

✓ Propiedades Mecánicas. Árido grueso procedente de Antonio Maceo.

Determinación del Índice de triturabilidad.

IT = 17.77%

3.2 Características del Cemento P-35 de Cienfuegos

✓ Ensayos Físicos

Determinación del tiempo de fraguado por aguja Vicat

Consistencia normal y tiempo de fraguado:

Tiempo de fraguado inicial (min)..... 140

Tiempo de fraguado final (h)..... 3.0

Consistencia normal (%)..... 24

Densidad del Cemento (g/cm³)..... 3.12

Por ciento de Residuo (%)..... 10.3

✓ Ensayos Mecánicos

Resistencia a la Compresión (MPa).. 28.2

Resistencia a la Compresión (MPa).. 38.3

3.3 Diseños de mezclas obtenidos a partir de las combinaciones de áridos mediante la aplicación del Método de Bolomey.

La cantidad en por ciento de materiales se obtiene de la aplicación del método de Bolomey a las diferentes combinaciones de áridos las cuales se muestran en la tabla 2.1; posteriormente aplicando este método se obtienen los valores gravimétricos y volumétricos.

Primera Combinación.

En la Tabla 3.8 se muestran el diseño de mezcla obtenido a partir de la primera combinación.

Áridos finos procedentes de Arimao, granito y gravilla de Antonio Maceo, con relación agua/cemento de 0,45.

Tabla 3.8 Diseño de mezcla a partir de la Combinación 1.

Fuente: Elaboración Propia

	Material	Cantidad de Material	Gravimétrica	Volumétrica
		(%)	(Kg)	(m ³)
1	Cemento	18	449	0.183
	Agua		202	0.082
	Arena Arimao	37	813	0.331
	Arena Coliseo			
	Granito Antonio Maceo	10	358	0.146
	Gravilla Antonio Maceo	35	637	0.259
	Total	100	2459	1

Segunda Combinación.

Áridos finos procedentes de Antonio Maceo y gravilla de Antonio Maceo, con relación agua/cemento de 0,45.

Tabla 3.9 Diseño de mezcla a partir de la Combinación 2.

Fuente: Elaboración Propia

	Material	Cantidad de Material	Gravimétrica	Volumétrica
		(%)	(Kg)	(m ³)
2	Cemento	18	449	0.183
	Agua		202	0.082
	Arena Arimao			
	Arena Coliseo	46	914	0.372
	Granito Antonio Maceo			
	Gravilla Antonio Maceo	36	716	0.291
	Total	100	2281	1

Tercera Combinación:

Áridos finos procedentes de Arimao y Antonio Maceo, gravilla de Antonio Maceo, con relación agua/cemento de 0,45.

Tabla 3.10 Diseño de mezcla a partir de la Combinación 3.

Fuente: Elaboración Propia

	Material	Cantidad de Material	Gravimétrica	Volumétrica
		(%)	(Kg)	(m ³)
3	Cemento	18	449	0,183
	Agua		202	0,082
	Arena Arimao	15	155	0,063
	Arena Coliseo	31	319	0,130
	Granito Antonio Maceo			
	Gravilla Antonio Maceo	36	1176	0,478
	Total	100	2301	1

3.3.1 Comparación de los resultados con la curva ideal de Bolomey.

Combinación 1

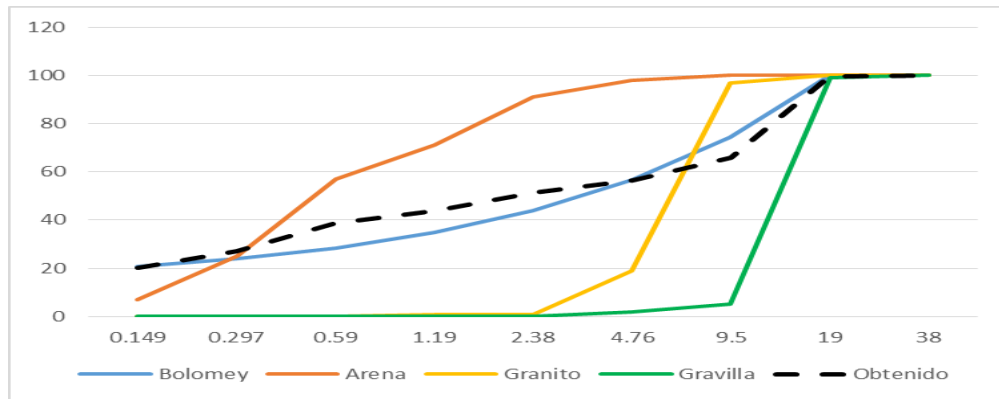


Figura 3.1 Análisis de la curva obtenida en la primera combinación con la ideal de Bolomey.

Fuente: Elaboración Propia

En este caso podemos apreciar que la curva resultante se acerca a la ideal de Bolomey, pero no logra adecuarse lo suficiente, el porcentaje de granito en la combinación es bajo y la cantidad de arena favorece la laborabilidad de la mezcla.

Combinación 2

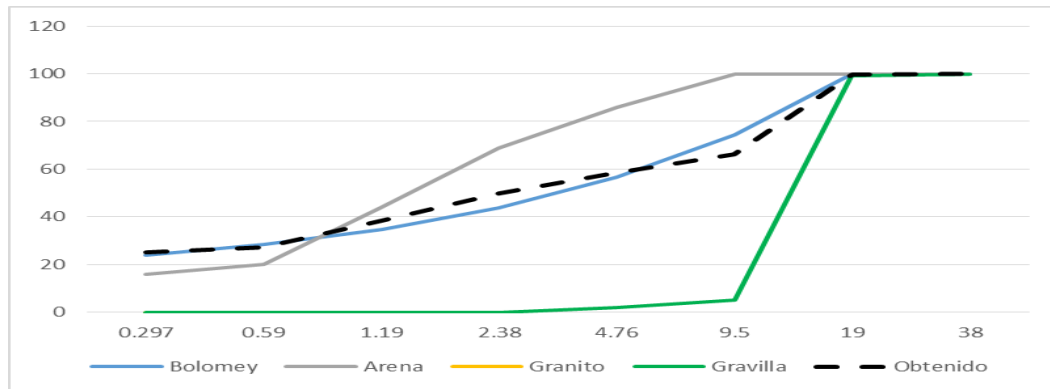


Figura 3.2 Análisis de la curva obtenida en la segunda combinación con la ideal de Bolomey.

Fuente: Elaboración Propia

En este caso la curva obtenida se acerca bastante a la curva ideal de Bolomey para los áridos, el porcentaje de granito es negativo, lo cual significa que no es necesario utilizarlo en la mezcla. Por lo tanto se ajusta el porcentaje de árido fino, para que no afecte la cantidad

de cemento al incrementarse la superficie específica a recubrir por la pasta del cemento según varios autores [Antonio, *et al.*, 2018; Fernandez & Howland, 2016; Romero, 2014].

Combinación 3

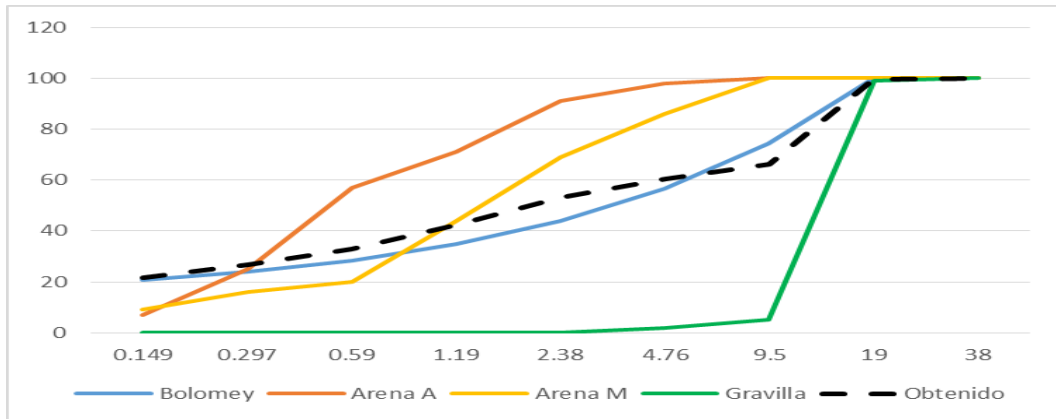


Figura 3.3 Análisis de la curva obtenida en la tercera combinación con la ideal de Bolomey.

Fuente: Elaboración Propia

En esta combinación no se utiliza el granito, se combinan las dos arenas y la grava, la curva resultante se ajusta a la ideal de Bolomey presentando algunas desviaciones. El por ciento de arena sigue siendo elevado con respecto al de gravilla.

La combinación que se utiliza actualmente en la Unidad Básica de Servicios la cual se muestra en la Figura 3.4, el resultado de la curva obtenida difiere en mayor desviación que la ideal de Bolomey.

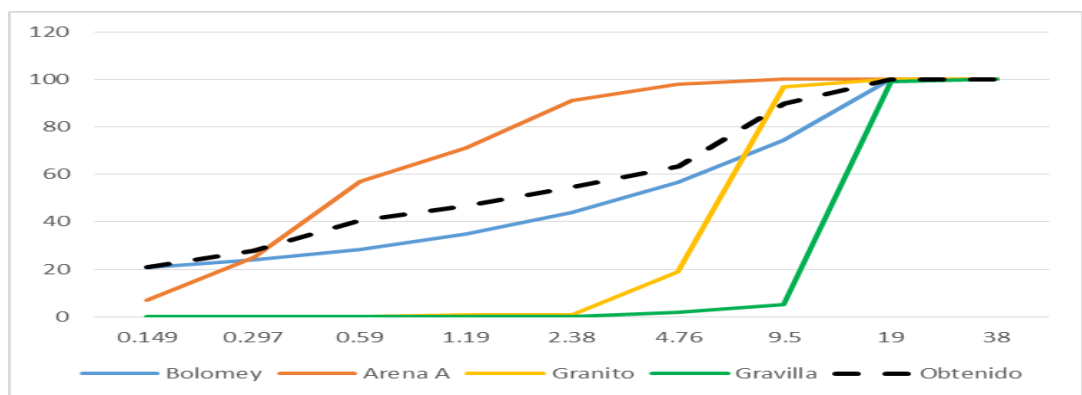


Figura 3.4 Análisis de la curva obtenida en la combinación actual utilizada en la Planta con la ideal de Bolomey.

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Comparación de los resultados obtenidos en los tres diseños de mezcla con la combinación utilizada actualmente en la Unidad Básica de Servicios y la ideal de Bolomey.

Tabla 3.11 Comparación de los resultados obtenidos según las diferentes combinaciones.

Fuente: Elaboración Propia

Tamiz	Por ciento de pasado ideal				
	Bolomey	Actual	Arimao	Maceo	Arimao/Maceo
0.149	20.7	20.81	20.37	21.99	21.68
0.297	23.9	27.97	26.97	25.24	26.63
0.59	28.3	40.70	38.70	27.10	32.83
1.19	34.8	46.59	43.93	38.26	42.44
2.38	43.8	54.55	51.27	49.89	53.29
4.76	56.5	63.34	56.32	58.50	60.36
9.5	74.5	89.64	65.80	66.08	66.08
19	100	99.90	99.56	99.55	99.55
38	100	100.00	99.92	99.91	99.91

Haciendo una comparación de las curvas obtenidas durante el experimento con la ideal de Bolomey, la aplicada en la Planta y aprobada por la Empresa Nacional de Investigaciones Aplicadas del Ministerio de la Construcción, se puede resumir que las curvas obtenidas presentan menor desviación al superponerlas con la ideal de Bolomey que la que se emplea hoy en la Planta, lo que evidentemente deviene en un resultado más eficiente.

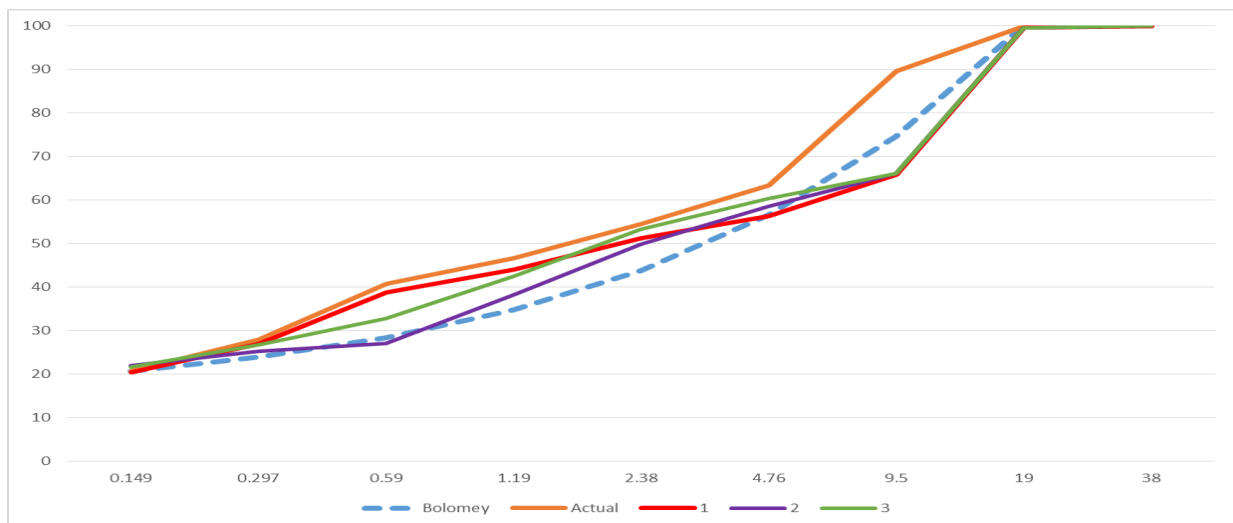


Figura 3.5 Comparación de los resultados obtenidos con la curva ideal de Bolomey y la utilizada actualmente.

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Conclusiones Parciales

1. Los resultados obtenidos de la medición de las propiedades a los materiales cumplen con los requisitos establecidos en la NC 251: 2018.
2. La combinación 2, obtenidas mediante la aplicación del método de Bolomey no necesita utilizar tres áridos para lograr la mejor compacidad granulométrica.
3. Gráficamente la curvatura de las mezcla obtenida con la aplicación del método Bolomey ofrece un comportamiento más eficiente comparada con la se utiliza actualmente en la Unidad Básica de Servicios.
4. Los valores obtenidos en los diseños de mezcla realizados definen las cantidades de material a utilizar en correspondencia con su granulometría.

CONCLUSIONES

1. Los áridos desempeñan un papel fundamental como componentes del hormigón hidráulico, su dosificación es esencial para lograr un material de calidad.
2. Se pueden emplear combinaciones de tres o más áridos en los diseños de mezcla, para obtener mejores resultados.
3. Gráficamente la curva de la mezcla obtenida con la aplicación del método de Bolomey ofrece un comportamiento más eficiente comparada con la que se utiliza actualmente en la Planta.

RECOMENDACIONES

1. Considerar en los diseños de mezcla la introducción de aditivos en busca de favorecer la relación agua – cemento y el contenido de cemento.
2. Validar y evaluar los resultados obtenidos en función de los requisitos de la NC 120:2018.
3. Aplicar métodos de algoritmos genéticos para la optimización de las combinaciones resultantes.
4. Realizar diseños de mezcla a partir de combinaciones que incluyan el uso de la piedra de hormigón como material grueso en la elaboración de hormigones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, W., (2019) *Análisis comparativo de metodos de diseño de mezclas de un hormigón de alta resiustencia*. Universidad Politécnica Saleciana Sede Quito.

ANEFA, (2018) *Consumo de áridos*. <https://www.aridos.org/estadísticas> ANEFA, enero 2020.

Antonio, R.; Puig Martínez, R.; Técnicas, C.; Llanes, M.; En, D. ; Fernandez, A., (2018) *TÍTULO: Dosificación de hormigones para las obras de la Zona Especial de Desarrollo del Mariel*.

Asociación Europea de Áridos, (2010) *Informe Anual 2009-2010 UEPG*. Bruselas, Belgica: UEPG Aisbl.

Carballo, J.A., (2015) *Propuesta de utilización de escorias siderurgicas en hormigones de 20 Mpa*. Universidad de Holguin Oscar Lucero Moya.

Chapotin, R.J. ; Castillo, R.C., (2013) *Caracterización de aridos finos y minerales arcillosos con el empleo del azul de metileno como herramienta para la clasificación*. V Congreso cubano de minería (MINERIA´2013): Centro Técnico para el Desarrollo de los Materiales de la Construcción

Explora Geología, (2010) *Estudio sobre áridos*. [www.explorageologia.com] 28/01/2020.

Fernandez, A. ; Howland, J.J., (2016) “Relación entre la resistencia a compresión de testigos y probetas de hormigón. Estado del arte y propuestas para actualización de la normativa cubana”. *XI Conferencia Científico-Técnica de la Construcción*. La Habana (Cuba).

Giraldo, O., (2006) *Dosificación de Mezclas de Hormigón. Metodos*. Medellín (Colombia): Universidad Nacional de Colombia.

Gómez, S.M., (2019) *Metodos de optimización de muestras granulométricas utilizadas en el diseño de mezclas de concreto simple hidráulico*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Hernández-Jatib, N., (2018) *Diagnóstico del desempeño de la cantera de áridos La Inagua* Cuba: Ciencias sociales

Herrera, R. ; Gayoso, R., (2007) *Curso Aridos para Hormigón. Especificaciones y Ensayos*. Cuba.

Huanca, S., (2006) *Diseño de Mezclas de Concreto* Peru: Universidad Nacional del Altiplano

Jimeno, C.L., (1994) *Manual de áridos*. España: Editorial Española de Cataluña.

Luaces, C., (2007) “Los Áridos y el Cemento El recorrido de los Minerales”. *Consejería de Economía e Innovación /Tecnológica. Comunidad de Madrid*.

NC 178, (2002) *Áridos. Análisis granulométrico*. Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 182, (2002) *Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0,074 mm* Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 183, (2002) *Áridos .Estabilidad a la acción del Sulfato de sodio o del Sulfato de magnesio*. Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 185, (2002) *Arena. Determinación del contenido de impurezas orgánicas*. Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 251, (2018) *Aridos para hormigones hidráulicos.Requisitos*. Habana, Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 345, (2011) *Hormigón endurecido. Determinación de la absorción de agua por capilaridad* Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 724, (2015) *Ensayos al hormigón. Resistencia del hormigón en estado endurecido*. Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

NC 967, (2013) *Determinación de la velocidad de absorción de agua (Sorptividad)*. Habana Cuba: Oficina Nacional de Normalización.

Oyarzo, E., (2013) *Plan de aseguramiento de la calidad de aridos usados en hormigón*. Universidad Austral de Chile.

Rodríguez, S.B., (2017) *Materiales para la Construcción*. Habana Cuba.

Romero, A., (2014) *Diseño de Mezclas de Hormigón por el metodo de la ACI, y efectos de la adición de cenizas volantes*. Universidad de Santo Tomás. Bogotá.