

Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ciencias Técnicas

Departamento de construcciones



Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Civil

Propuesta de utilización de áridos de la cantera Seboruco

Autor: Ada Isabel Durán Vienes

Tutor(es): Ing. Lisset León Consuegra

MsC. Ing. Ovidio Rodríguez Rodríguez

Matanzas, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Por medio de la presente declaro que yo **Ada Isabel Durán Vienes** soy la única autora de este trabajo de diploma y, en calidad de tal, autorizo a la Universidad de Matanzas a darle el uso que estime más conveniente.

NOTA DE ACEPTACIÓN

Miembros del Tribunal:

_____	_____	_____
Presidente	Secretario	Vocal

DEDICATORIA

A MI FAMILIA, POR TODO EL AMOR, EL APOYO Y LA PACIENCIA.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por creer en mí incluso cuando yo no podía.

A Pedrito, por ser más que sólo médico, amigo, consejero, familia.

A la Doctora Saily, donde quiera que esté.

A mi querida maestra Daisy Salgado De La Rosa, por ver las posibilidades más allá de las limitaciones.

A mi maestro Rogelio, gran influencia en mi predilección por las ciencias y la ingeniería.

A mi profe Efrén, por tanta paciencia y exigencia.

A mi primo del alma, por haber sido un apoyo tremendo durante estos seis años, por tantas horas de quemarnos las pestañas, de soportarme los colapsos y acompañarme en las buenas, las malas y las regulares.

A mi profe Manuel, por apoyarme cuando mi salud me ha puesto en jaque, por creer en mí e impulsarme a ir varios pasos más allá de los que me creía capaz.

A mis tutores por su paciencia y apoyo durante todo el desarrollo de este trabajo, en especial en esta etapa tan difícil y compleja.

A Raciél, el padrino de mi ahijada bella, por los repasos emergentes, las horas de viaje y por ser parte de mi familia extendida.

A mi padrino Gerardo, por tanta fe y cariño.

RESUMEN

El desarrollo de la infraestructura de cualquier país depende en gran medida del desarrollo productivo del sector de la construcción, dentro del mismo, los áridos constituyen del 75 al 100% de los componentes de las unidades de obras de edificación y obra civil (Bustillo, 2009). Cuba no queda exenta de esta condición y como tal se ponen en práctica planes de desarrollo que mejoren la calidad de la infraestructura constructiva provocando un alza en la demanda de esta materia prima. La provincia de Matanzas tiene la particularidad de contar con un centro de inversiones importante como es Varadero, en el cual se concentran la mayor parte de las inversiones en el campo de la construcción y su alta demanda dificulta el cumplimiento de los planes de entrega por parte de las canteras de la provincia que deben proveer también a otros proyectos como son los llevados a cabo por la Empresa Provincial de Mantenimiento y Construcción, EPMC. Para aliviar esta situación se desarrolla un estudio de las canteras inactivas de la provincia, resaltando la Cantera Seboruco debido a su cercanía a la cabecera provincial, la facilidad de extracción del material y su naturaleza caliza, por lo que se decide realizar un estudio de sus propiedades física-mecánicas a fin de comprobar si es posible el uso de los áridos extraídos de esta como material de construcción.

Palabras claves: Áridos; cantera; propiedades física-mecánicas, usos.

ABSTRACT

The development of the infrastructure of any country depends largely on the productive development of the construction sector, within it, aggregates constitute 75 to 100% of the components of the building works and civil works units (Bustillo, 2009). Cuba is not exempt from this condition and, as such, development plans are implemented that improve the quality of the construction infrastructure, causing a rise in demand for this raw material. The province of Matanzas has the particularity of having an important investment center such as Varadero, in which most of the investments in the construction field are concentrated and its high demand makes it difficult to comply with delivery plans by of the province's quarries, which must also supply other projects such as those carried out by the Provincial Maintenance and Construction Company, EPMC. To alleviate this situation, a study of the inactive quarries of the province is carried out, highlighting the Seboruco Quarry due to its proximity to the provincial capital, the ease of extraction of the material and its limestone nature, for which reason it was decided to carry out a study of its physical-mechanical properties in order to check if it is possible to use the aggregates extracted from it as construction material.

Keywords: Aggregates; physical-mechanical properties; quarry; uses.

ÍNDICE

Introducción	1
Capítulo 1 Estado del Arte Equation Chapter 1 Section 1	10
1.1 Desarrollo histórico del uso de áridos en la construcción.	10
1.2 Situación internacional del uso de áridos	12
1.3 Desarrollo de los materiales de construcción en Cuba.....	14
1.4 Situación nacional del uso de áridos.....	18
1.5 Desarrollo histórico del uso de áridos en Matanzas.	18
1.6 Origen de los áridos:.....	21
1.7 Obtención de los áridos:	24
1.8 Propiedades de los áridos	26
1.9 Composición granulométrica:.....	29
1.10 Sustancias perjudiciales:	30
Conclusiones del Capítulo 1:	32
Capítulo 2 Materiales y métodos Equation Chapter (Next) Section 1	33
2.1 La cantera Seboruco	33
2.2 Toma de muestras.....	34
2.3 Laboratorio	35

2.4	Características del árido.....	35
2.5	Ensayos.....	35
2.6	Análisis Granulométrico:.....	36
2.7	Determinación del peso volumétrico.....	41
2.8	Determinación del peso específico.....	43
2.9	Determinación del contenido de partículas de arcilla:.....	47
	Conclusiones parciales del Capítulo 2:.....	48
	Capítulo 3 Análisis de los Resultados.....	49
	Conclusiones.....	50
	Recomendaciones.....	51
	Referencias Bibliográficas.....	52
	Anexos.....	56

INTRODUCCIÓN

El continuo crecimiento poblacional humano ha sido históricamente soportado por el desarrollo de actividades productivas dependientes de la explotación de recursos naturales renovables y no renovables (Álvarez et al., 2018).

Los materiales de construcción están íntimamente ligados al desarrollo del ser humano. Bustillo (2009) al hablar del tema expone que han sido utilizados, desde tiempos inmemoriales, para dar cobijo frente a las inclemencias del tiempo (la piedra o la madera), facilitar el transporte de personas o mercancías (las calzadas romanas) o servir de base para la construcción de obras de ingeniería (el acueducto de Segovia para el transporte de agua).

Es indudable que la fabricación de los materiales de construcción supone una enorme demanda de materias primas, las cuales son, en su práctica totalidad, excepción hecha de la madera y el corcho, sustancias que se integran en los que se denomina “recursos naturales almacenados, es decir, recursos minerales no renovables, salvo a escala de tiempo geológico, existentes en la superficie o zonas próximas de la corteza terrestre (Bustillo, 2009). Actualmente la industria de la construcción consume el 50% de los recursos mundiales, convirtiéndose en la actividad menos sustentable del planeta (Evans, 2010, Orbea & Villarroel, 2019) Los áridos, particularmente, son uno de los recursos naturales más abundantes y a la vez uno de los más ampliamente utilizados a nivel global.

La NC 251:2018 define los áridos como un material mineral procedente de rocas que se encuentran en estado natural o precisan de trituración mediante procesos industriales. De acuerdo a la publicación Panorama Minero (2018) , los áridos o agregados, se emplean en la industrias 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, balastos y sub-balastos para las vías de ferrocarril o escolleras para la defensa y construcción de puertos.

Egesi & Tse (2012) en su trabajo sobre la evaluación ingeniero geológica de materiales pétreos de Bansara exponen otros usos de los áridos de construcción como son la purificación del agua, el control de emisiones, el control de la erosión del suelo y otros productos de mejora ambiental. Más del 90% del pavimento de asfalto y el 80% del hormigón consisten en áridos. El resto es un aglutinante como el asfalto o el cemento. Alrededor del 52 % de todo el árido de la construcción es piedra triturada, mientras que el 48% restante es arena y grava.

Dentro del sector de la construcción, los áridos constituyen del 75 al 100% de los componentes de las unidades de obras de edificación y obra civil (Bustillo, 2009). Por ello la evolución de su consumo es un indicador de crecimiento de la actividad económica de un país.

En las diversas formas en que se usa el árido está expuesto a una variedad de tensiones, y la respuesta de la estructura en la que se use dependerá en gran medida de las propiedades del agregado. En este sentido al referirse a un árido que será empleado en la construcción debe mantenerse un control sobre las condiciones en las que ha sido obtenido pues estas son capaces de influir en el desempeño del producto final.

Dígase entonces que los áridos para ser aptos a uso en la construcción deberán tener cierto grado de dureza, durabilidad, limpieza y estar libres de arcillas; a la vez que no deben contener materiales dañinos como piritas de hierro, carbón, mica, lutita o materiales laminados similares, o partículas escamosas o alargadas, en tal forma o cantidades suficientes para afectar negativamente la durabilidad del hormigón, además de lo anterior para el hormigón de refuerzo, cualquier material que pueda atacar el refuerzo.

Al mantener un ritmo sostenido de extracción de los áridos de las canteras, Cuba se encuentra con una demanda creciente de estos materiales, una situación que puede decirse, se ha mantenido como tendencia durante varios años. La demanda nacional de áridos es cada vez mayor, fundamentalmente a partir de la ejecución de los programas de la Batalla de Ideas y de construcción y rehabilitación de viviendas; en concordancia esfuerzos hechos por el cumplimiento de los Lineamientos del Partido aprobados en el 7mo. Congreso del PCC, especialmente el 232 que establece el mantener la atención prioritaria al aseguramiento del programa de viviendas a nivel municipal, incrementando la producción local y la comercialización de materiales de la construcción, empleando las materias primas y tecnologías disponibles, que permitan aumentar la participación popular, mejorar la calidad y disminuir los costos de los productos . La demanda de materiales de construcción para el fondo habitacional y para el sector estatal continúa en aumento junto a las nuevas políticas de desarrollo que aplica el país. Sumado a lo anterior se hace preciso mencionar que la posición geográfica del archipiélago cubano lo hace vulnerable a eventos meteorológicos de mayor o menor intensidad como son los huracanes y tormentas tropicales que afectan a la región trayendo consigo daños a las edificaciones, estos daños pueden extenderse desde afectaciones menores hasta derrumbes parciales o totales.

A lo anterior se añade la acumulación de años sin adecuados procesos de mantenimiento y rehabilitación, las indisciplinas urbanísticas y técnicas, el deterioro de las capacidades constructivas y el impacto de las tendencias demográficas que han provocado que casi el 40 % del patrimonio inmobiliario cubano se encuentre en estados entre regular y malo.

Las condiciones técnicas de los hogares en muchos sitios del país, incluyendo la capital nacional y la propia Matanzas, fuerzan la ejecución de algún proceso constructivo. Ello implica no solo la solvencia económica para aquellas viviendas ejecutadas “por esfuerzo propio”, sino también visita las unidades de comercialización de insumos necesarios que, en muchas ocasiones no están disponibles, aunque la industria nacional y el grupo de

producción local de materiales de la construcción los abastezcan constantemente. La demanda supera ampliamente la oferta.

Una casa diaria. Tal es la aspiración del Programa de la Vivienda nacional en respuesta a los Lineamientos del Partido en orden de satisfacer un déficit habitacional de más de 292000 hogares, entre los que es necesario construir desde los cimientos y los que requieren trabajos de rehabilitación. El Grupo Empresarial de Industrias de la Construcción (GEICON) es la entidad en Cuba que provee a lo largo de la isla los materiales de construcción. EN la actualidad posee una capacidad de producción instalada de 7 000 000 m^3 de áridos y 2961000 T de cemento al año; sin embargo, no se alcanzan estas cifras a causa de la gran obsolescencia del equipamiento, la baja disponibilidad técnica y desbalance tecnológico. En los años 2016 y 2017 las producciones se vieron afectadas y disminuyeron como consecuencia de la reducción de los portadores energéticos. En el año 2018 se trabajó para sostener las cifras que mantuvieron hasta el 2016 las cuales, en muchos casos fueron superadas; además en este mismo año a GEICON le aprobaron nuevas inversiones con financiamiento central que permiten incrementar las capacidades de producción.

Como respaldo y soporte fundamental de los cambios introducidos en la política para el incremento y mejora del fondo habitacional y hábitat, se emprendió hace 17 años el programa de producción local y venta de materiales de la construcción en todo el país.

Durante el 2017, se fabricaron en las mini-industrias alrededor de 316000 m^3 de áridos.

Por otra parte, se detectó como la principal deficiencia, la insuficiente gestión por parte de los presidentes de los municipios de las materias primas y la solución de sus principales dificultades.

El programa es uno de los principales proveedores para la construcción de viviendas por esfuerzo propio, incluyendo los subsidios además de constituir fuente de abastecimiento para las reparaciones, el mantenimiento de las instalaciones y las inversiones. Aunque en

el plan se incluye la recuperación de la industria nacional de materiales para la construcción y la intervención del Estado, más del 60 % de dichas viviendas deberán ser construidas por esfuerzo propio y con el desarrollo de la producción local de materiales, la cual debe diversificarse hasta convertirse en la principal fuente de recursos.

En Matanzas, las entidades más involucradas con esta labor son la Empresa Provincial de Materiales de la Construcción, con un rol protagónico; y el Grupo Empresarial Gardis.

La materia prima utilizada en el Programa la obtienen de tres formas: al balance nacional, es decir una de las reservas del país en cuya categoría se incluyen el cemento, el acero y los electrodos; una asignación que ofrece la provincia, sobre todo los áridos, y de la explotación de los recursos, por ejemplo, las canteras de un territorio en específico.

Entre los bienes que ofertan dichas entidades están las vigas para cubiertas, lozas, elementos de muros como bloques y cantos, carpintería de hormigón, baldosas de granito, tanques de agua, mesetas, lavaderos sencillos y dobles. Estos insumos gozan de buena aceptación entre los clientes, por la calidad y sus bajos precios; sin embargo, de 34 renglones en los que se trabajaba en años anteriores el número se ha reducido a 16.

El principal problema lo constituye la falta de materias primas; las asignaciones de áridos son insuficientes para cubrir la demanda y a esto se suma la desactualización y deterioro de la maquinaria.

La provincia de Matanzas cuenta con un total de 262 canteras registradas en el Catastro de Canteras que mantiene la ENIA, de ellas 5 canteras pertenecen a industrias de materiales: Regalito (El Molino), Caoba (Planta Libertad), Coliseo (Antonio Maceo), La Montaña y la Calcarenitas que está al suroeste de Cárdenas, todas manejadas por la Industria de Materiales de la Construcción, proveedoras de distintos tipos de áridos, lo que causa que la alta demanda, tanto del territorio de Matanzas como de gran número de obras turísticas de la zona de Varadero deban solicitar el material requerido en estas

canteras; como se había mencionado anteriormente, la oferta no logra satisfacer la demanda y empresas pequeñas como a Empresa Local de Materiales de la Construcción quedan rezagados tras proyectos de mayor prioridad. Por esto se decide realizar estudios a otras canteras de la provincia, más precisamente en este trabajo se estudiarán los áridos de la cantera Seboruco, cercana a la Ciudad de Matanzas.

Situación Problémica:

La alta demanda de áridos en la provincia de Matanzas actualmente supera la oferta ofrecida por las canteras en explotación por parte de la Industria de Materiales de Construcción lo que entorpece el desarrollo de los programas de vivienda en los que actualmente está enfrascado el país, creando la necesidad de puesta en explotación de nuevos frentes de canteras de producción de áridos, como recurso natural existente en la provincia de Matanzas, que contribuya a aliviar la demanda actual.

Problema Científico:

¿Cumplirán con las propiedades física-mecánicas contenidas en la NC 251:2018 los áridos de la cantera Seboruco, para su uso como material de construcción en los principales renglones de producción de la Empresa Provincial de Materiales de Construcción de Matanzas?

Objeto de Estudio: Áridos de la cantera Seboruco

Campo de estudio: Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de los áridos de la cantera Seboruco.

Objetivo general: Evaluar las propiedades de los áridos de la cantera Seboruco para su uso como material de construcción en los principales renglones de producción de la Empresa Provincial de Materiales de Construcción de Matanzas.

Hipótesis: Si los áridos de la cantera Seboruco cumplen con las propiedades física-mecánicas podrían utilizarse para la elaboración de materiales o productos de la construcción.

Para alcanzar este propósito la autora propone los siguientes **objetivos específicos:**

1. Profundizar en los fundamentos teóricos -metodológicos sobre los áridos, su origen, proceso de producción, usos y los factores que influyen en sus propiedades.
2. Describir las propiedades físico-mecánicas de los áridos de la cantera Seboruco
3. Determinar los posibles usos de los áridos obtenidos de la cantera Seboruco en concordancia con sus propiedades física-mecánicas.

Para dar respuesta a las preguntas científicas, se plantean las siguientes **tareas específicas:**

1. Profundización en los fundamentos teórico-metodológicos sobre los áridos, su origen, proceso de producción, usos y los factores que influyen en sus propiedades.
2. Descripción de las propiedades física-mecánicas de los áridos de la cantera Seboruco.
3. Determinación de los posibles usos de los áridos de la cantera Seboruco en concordancia con sus propiedades física-mecánicas.

Se aplicarán diferentes métodos de la investigación científica, los **métodos de nivel teórico** y los **métodos de nivel empírico**.

Entre los **métodos de nivel teórico:**

El **analítico-sintético** se utiliza para el examen bibliográfico y llegar a conclusiones a fin de determinar los diferentes enfoques y criterios relacionados y aplicables al uso y producción de áridos.

El **histórico-lógico** posibilita el establecimiento de las regularidades de la evolución en el tiempo, así como la tendencia actual de la demanda de áridos en el territorio.

El **inductivo-deductivo** permite llegar a la generalización de las características más importantes obtenidas del diagnóstico del estado actual de los áridos provenientes de la cantera Seboruco.

Entre los métodos de **nivel empírico**:

La **revisión de documentos** se utiliza para la recopilación de datos de las propiedades y usos de los áridos provenientes de la cantera Seboruco.

La **observación**, permite constatar las características de la cantera.

Pruebas de Hipótesis: Se aplican para determinar si los parámetros de calidad de los áridos cumplen con las especificaciones requeridas.

El trabajo de diploma está estructurado de la siguiente forma:

- Resumen/Abstract

- Introducción

- Capítulo 1: Presenta un análisis de los aspectos que se reflejan en la bibliografía especializada sobre las propiedades de los áridos y sus usos y la construcción, y las principales herramientas para evaluar dichas propiedades

- Capítulo 2: Se describen los materiales y métodos empleados para el análisis de las propiedades.

Capítulo 3: Se exponen los resultados obtenidos en el trabajo y el análisis crítico de los mismos

- Conclusiones

- Recomendaciones

Capítulo 1 Estado del Arte

En el presente capítulo se expone el estado del arte, el desarrollo histórico, la conceptualización y consideraciones teóricas sobre los áridos para la construcción.

1.1 Desarrollo histórico del uso de áridos en la construcción.

Los áridos como material de la construcción han estado presentes desde épocas tempranas en la historia de la humanidad. Existen registros del empleo de bloques para conformar marcos y habitaciones destinadas a protegerse del medio ambiente en la época prehistórica, sustituyendo parcial o totalmente materiales anteriormente utilizados, como la madera. Luego, en el período precristiano, existieron aplicaciones comprobadas de áridos para construir fortalezas y grandes edificaciones, por ejemplo, las pirámides de Egipto y de América Central.

En el comienzo de la Era Cristiana (400 a.C. 500d.C), el imperio greco-romano hizo un aprovechamiento magistral de los áridos en caminos, puentes, estadios y otras magníficas estructuras a lo largo de Europa, África y Medio Oriente.

En América, los Incas y los Aztecas construyeron caminos, puentes, edificios y templos a base de áridos menores y bloques de roca adecuadamente tallados (Uribe, 2011).

Es así que la antigüedad ha legado grandiosas construcciones capaces de desafiar el paso del tiempo y la influencia de la humanidad. Templos griegos, acueductos, circos romanos, templos funerarios tan magníficos como las pirámides de Egipto o las de México son evidencia del ingenio, la capacidad constructiva y el aprovechamiento de los recursos naturales.

Cabe destacar que en el período que comprende desde la Antigüedad hasta la Revolución Industrial del siglo XIX, la producción de áridos se realizaba artesanalmente recurriendo a medios manuales, rompiendo y triturando rocas con herramientas rudimentarias como

mazas, martillos, etc. Para evitar su transporte, los áridos se producían en las proximidades del lugar donde iban a utilizarse. En esa época una persona podía llegar a producir 125 T al año (Luaces, 2007).

El final del siglo XIX supuso una revolución en el arte de la construcción, gracias a la aparición del cemento industrial y del hormigón ocurre un auge de los áridos, baratos y presentes en la naturaleza en grandes cantidades. En esa misma época, la creación de las redes de ferrocarril, de la infraestructura de carretera y de las obras públicas necesarias para franquear obstáculos, requirió el uso de grandes cantidades de materiales nuevos y económicos.

Comienza entonces el verdadero auge de los áridos como sector productivo, dependiente en gran medida de la actividad constructora.

A lo largo del siglo XX fueron desarrollándose nuevas tecnologías que permitieron incrementar las producciones mediante la incorporación al proceso de maquinaria fija y móvil, cada vez con mayor capacidad. De este modo, ha ido creciendo el tamaño de las explotaciones de áridos a cielo abierto, denominadas canteras y graveras. Hoy en día una explotación moderna puede llegar a producir más de un millón de toneladas al año con, aproximadamente, una docena de trabajadores (Luaces, 2007).

Los usos típicos actuales corresponden a dos grandes líneas: como producto final o como materia prima para nuevos componentes. En un caso u otro, el árido se ha transformado en un insumo imprescindible y básico para muchos procesos constructivos de infraestructura y edificación.

En la primera línea, pueden encontrarse las defensas fluviales, marítimas o lacustres, escolleras, terraplenes, pedraplenes, capas de rodaduras, bases y sub-bases, balasto, mampostería de piedra, rellenos estructurales y capas filtrantes.

En la segunda línea se encuentran entonces los morteros, hormigones, mezclas, además de tratamientos asfálticos y bases granulares tratadas. Dada la conjunción de varios componentes en uno nuevo, las exigencias en cuanto a calidad son más altas y precisas dado que una determinada calidad de los productos componentes tributa directamente a la calidad del producto final el cual está obligado a cumplir a su vez con cierto número de requisitos. Este tema ha sido objeto de discusión de varios autores como son Alexander (1996), Shilstone (1999), Chan (2003), Quiroga (2003), Herrera & Gayoso (2007), Marinkovic et al. (2010), Contreras (2014), Jordán & Viera (2014), Fookes (2015), Calua (2019), Cubas & Cabrera (2019), Iberico (2019) quienes han estudiado la influencia de las características de los áridos empleados como materia prima en la calidad y desempeño de los productos finales.

Dependientes de su uso final y de las regulaciones vigentes en el país o territorio en que se utilicen, estos materiales deberán cumplir con ciertas características que avalen su empleo de manera segura y con la calidad requerida.

Cierto es que actualmente la industria de la construcción implica irrevocablemente una conjunción de competencias que favorezcan la versatilidad, capacidad de orden, análisis, ingenio y creatividad a fin de satisfacer las demandas que acarrea el desarrollo de las sociedades y economías contemporáneas.

1.2 Situación internacional del uso de áridos

El consumo de áridos naturales como un componente ampliamente utilizado para el concreto está aumentando de manera rápida y constante aparejado con el incremento de la producción y utilización del hormigón. Según datos obtenidos de la European Environment Agency, hasta el 2008 tres billones de toneladas de áridos fueron producidos cada año en los países de la Unión Europea (Marinkovic et al., 2010).

La Tabla 1 resume los datos obtenidos en la publicación de carácter periódico Panorama Minero del Instituto Geológico Minero de España en cuanto a la producción de áridos en kilo toneladas de algunos países productores de Europa. Entre ellos los diez principales productores hasta el año 2016 eran Alemania, Francia, Polonia, Reino Unido, Italia, Rumanía, España, Suecia, Noruega, y Finlandia; encabezando la lista Alemania con una cantidad correspondiente al 20,38 % del total y un incremento de un 3,65% en su producción en comparación con años anteriores.

Tabla 1.1: Producción europea de áridos. Fuente:(IGME, 2018)

Producción (kt)	2012	2013	2014	2015	2016
EU(28)	2 162 337	2 082 486	2 053 526	2 096 148	2 141 219
Alemania	446 300	435 000	449 000	449 000	465 000
Francia	334 880	341 181	328 500	302 298	302 500
Polonia	209 839	198 945	165 118	168 665	198 169
Reino Unido	151 400	152 300	171 400	179 000	185 700
Italia	193 550	128 163	80 709	101 403	112 696
Rumanía	26 662	87 718	86 928	109 986	110 000
España	137 891	101 100	98 200	104 400	105 000
Suecia	87 042	79 334	80 268	88 311	87 648
Finlandia	88 000	83 000	79 000	76 000	72 000
Bélgica	67 000	67 000	64 000	64 000	64 000
Países Bajos	49 900	48 974	48 000	62 000	62 000
República Checa	51 320	50 367	53 640	59 806	55 580
Austria	57 635	56 098	57 223	54 214	54 210
Hungría	31 250	34 737	50 972	42 837	43 000
Dinamarca	39 625	39 041	41 240	45 448	40 774
Portugal	39 060	29 334	32 516	31 893	31 304
Bulgaria	27 575	27 396	31 867	37 029	30 555
Irlanda	29 000	29 000	29 000	29 000	29 000
Grecia	29 000	30 000	38 000	21 632	22 000
Eslovaquia	13 952	12 480	14 052	15 474	14 140
Lituania	8 323	10 732	11 249	12 280	12 566
Estonia	10 125	11 664	8 132	10 919	11 977
Letonia	10 432	9 963	14 721	10 628	11 624
Eslovenia	9 265	9 211	10 923	11 052	9 304
Chipre	7 308	4 561	4 039	3 941	5 483
Croacia	4 346	3 780	3 497	3 545	3 444
Malta	1 659	1 408	1 333	1 388	1 545
Noruega	81 932	80 243	78 939	74 000	85 002
Suiza	52 109	51 925	56 342	53 070	55 091
Montenegro	315	356	427	382	355
Islandia	232	291	291	291	291
Total general	2 296 925	2 215 302	2 189 524	2 223 891	2 281 958

Un elemento común y clave es el hecho de que los agregados constituyen un factor determinante en la durabilidad y estabilidad en las obras. Para tener una idea de la trascendencia que tiene el consumo de esta materia prima, basta decir que un kilómetro de autopista necesita 25000 T de áridos, un metro cúbico de hormigón 2 T o un kilómetro de doble vía de ferrocarril unas 10000 T, por citar tres de las aplicaciones más importantes de los áridos (Bustillo, 2009). Puede afirmarse que los áridos son un material de alta demanda en todos los ámbitos de la construcción, vías de comunicación, obras de infraestructura e industria química, por mencionar algunos.

La autora coincide con Herrera & Gayoso (2007), Bustillo (2009), Uribe (2011) al referir que con el tiempo, los usos y las funciones de los áridos han crecido paralelamente al desarrollo tecnológico de los países. Cuanto más desarrollado está un país, mayor cantidad de áridos consume. Todo esto ha convertido al árido en el segundo material más consumido per-cápita después del agua.

1.3 Desarrollo de los materiales de construcción en Cuba

En el libro 500 años de construcciones en Cuba, Cuevas; et al. (2001) realiza un bosquejo a través de la historia de las construcciones en el país desde el mismo siglo XVI hasta el años 2000. El texto consultado recoge entre muchos otros aspectos el desarrollo de la producción y uso de los materiales de construcción en el país.

El siglo XVI, llamado por algunos autores el Siglo del Bohío, puede dividirse en dos etapas fundamentales, desde la constitución de las primeras villas hasta la mitad del siglo fue un período de reconocimiento, dedicado a la extracción del poco oro presente en la Isla sin pretensiones de asentamiento definitivo. Prueba de esto es el hecho de que no trataron de producir materiales de construcción para hacer sus viviendas más duraderas, sino que continuaron usando el mismo bohío de los aborígenes, modificando ligeramente su distribución arquitectónica. A partir de 1550, Felipe II se percató de la importancia

estratégica de La Habana, por ser puerto obligatorio de las flotas, entonces levantan sus primeras fortalezas y establecen canteras, caleras y tejares.

Las primeras Villas se asentaron en lugares donde existían rocas calizas para fabricar la cal y sillería, arcillas de primera calidad y bosques maderables. Por supuesto, las construcciones en cada localidad se adaptarían a los materiales que más fácilmente podían obtener de la naturaleza.

El siglo XVII es testigo del predominio de los techos de guano en las casas, aunque en La Habana las paredes eran mayoritariamente de ladrillos, que era la opción más lujosa en el interior del país para construir las paredes, los cuales colocaban con barro y, en los lugares de más carga con un mortero de cal y arena. Pero la opción más común en el país eran las paredes de embarrado o tablas, mientras que el bohío constituía la solución generalizada en los campos y las clases más pobres de las poblaciones. Puede destacarse en esta época el uso en los pisos de un enrajonado sobre el suelo, compuesto de pedacitos de piedra picada a mandarria y encima un mortero de cal y arena que se alisaba en la superficie con una plana de acero; a este piso se le llamaba de hormigón y era el más común en la población de La Habana. Por supuesto, las mejores casas utilizaban las losas de barro y las más pobres sólo la tierra.

La llegada del siglo XVI marca la continuación de las tendencias establecidas por su predecesor en cuanto al tipo de los materiales si bien con mayor calidad y una evolución de la arquitectura, pudiendo destacarse la generalización del uso de mampostería en las casas de las ciudades, principalmente usando ladrillos de barro para las paredes; la madera, las tejas y las losas de barro en los techos y estas últimas la solución habitual en los pisos. La piedra de cantería queda limitada entonces a las obras militares, iglesias, mansiones y palacios. En esta época además se importan adoquines y granito de Boston para arreglar los muelles y las principales calles habaneras y también entran ladrillos para el Palacio de los Capitanes Generales y mármoles para diversas obras. La cerámica es la

verdadera protagonista de este siglo, alcanzando un gran desarrollo y extensión de su uso a lo largo del país.

La invención del cemento Portland en 1842 proporcionó un nuevo material que revolucionaría las construcciones en adelante. El mes de julio de 1895 vio inaugurada en La Habana la primera fábrica de cemento que operó en Iberoamérica, aunque su uso, principalmente debido a la guerra, fue muy limitado en la Capital y puede decirse que nulo en el resto del país. El mármol italiano continuó siendo usado en los cementerios y en algunas de las residencias más lujosas, aunque menos que el de Carrara, en la segunda mitad del siglo XIX se emplearon los mármoles de la actual Isla de la Juventud en los cementerios para lápidas, floreros y panteones. Esas canteras, de mármol gris y blanco, se comenzaron a explotar en el año 1845 por la Sociedad anónima O'Donnell.

Cuba comienza el siglo XX destruida por treinta años de guerra, aunque el cemento, las barras de acero y el hormigón armado se inventaron en el siglo anterior, es en éste que se desarrollan impetuosamente y revolucionan las técnicas constructivas. El cemento pasa a representar un papel protagónico como materia prima para una gama de materiales cuya producción se desarrolla igualmente en este siglo: mosaicos, tubos para acueductos y alcantarillados, bloques de hormigón, baldosas de terrazo y asbesto cemento, que se utilizan en pisos, paredes, techos, conductoras de agua y en otras construcciones. En este siglo se refuerza el control sobre los talleres de mármol, son un mercado asegurado por la competencia que se estableció ante la alta burguesía. La actividad constructiva se nutría en buena medida de materiales de importación, sobre todo los de terminación. La industria nacional, en general, sólo abastecía los materiales más rudimentarios y pesados, porque tenía un muy bajo nivel de desarrollo. Las industrias de cemento y asbesto cemento, eran las únicas con cierto nivel tecnológico y de mecanización, el resto se realizaba en pequeños centros que, en muchos casos, no rebasaban el marco de “industrias familiares”.

El Primero de Enero de 1959 comenzó una nueva etapa, desde los primeros momentos después del triunfo de la Revolución se vislumbró la actividad de prefabricado como una de las más importantes vías para el desarrollo acelerado de las construcciones. En la década entre el 1960 y 1970 la producción de materiales de construcción se caracteriza por organizar e institucionalizar la producción, unificar los pequeños centros productores en los que mejores producciones tenía, introducir la mecanización en función de aliviar las tareas más penosas, desarrollar el uso del prefabricado de hormigón, incorporar nuevos productos en función del desarrollo o de la sustitución de importaciones, desarrollar la producción de materiales en el interior del país. En 1970 se crea la Industria de Materiales de la Construcción (IMC). Durante los años siguientes a pesar de lograrse pequeños crecimientos en un grupo de productos, la industria presentaba aspectos negativos como eran: menos aprovechamiento de la capacidad instalada, frecuentes paralizaciones por falta de aseguramientos y materias primas básicas, factibles de resolver en aquel entonces; hay que tener en cuenta que la producción de materiales de construcción, principalmente dentro de las Delegaciones Provinciales se veía como insumo de las empresas constructoras. Se asignaba recursos sólo para garantizar producciones que interesaban a la empresa donde estaba adscrita. En sentido general existió la falta de jerarquización y prioridad de forma integral para la actividad industrial.

El sector de la construcción no escapó de la recesión económica en la cual el país estuvo inmerso por varios años de la década de los 90, el llamado Período Especial, provocado por la desaparición del campo socialista europeo. La producción del sector tocó fondo en el año 1994 y sumado a esto estuvieron las dificultades en la economía a nivel mundial durante los primeros años del siglo XXI.

El quehacer constructivo del país se despereza de un período difícil, que deterioró muchas instalaciones de todo tipo y frenó el crecimiento de la mayoría de los planes. En el nuevo siglo se emprende un camino mucho más amplio para beneficiar el patrimonio (Wong, 2011)

1.4 Situación nacional del uso de áridos

Las producciones de áridos en Cuba han experimentado, como otros materiales, importantes cambios y transformaciones, lo que ha permitido un aumento considerable en los últimos años en sus índices. Las regiones occidental y central cuentan con una geología particular donde abundan las rocas de origen calizo y las areniscas calcáreas blandas, con las que se producen las arenas trituradas.

El destino principal de estos áridos es la industria de la construcción, siendo utilizados como material granular fino y gruesos en las mezclas de morteros y hormigones (Jiménez & Crespo, 2013) además de la confección de baldosas, losetas, carpintería de hormigón, entre muchos otros.

Sin embargo, esos no son los únicos usos a que se destinan los áridos en el país. Las piedras calizas suelen utilizarse en muros, ya sean de piedras naturales que se suelen ver en edificios de la Habana Vieja, como la Jaimanita utilizada para dar diferentes terminaciones, incluso el caso del canto que puede utilizarse para construir el muro en sí.

En los pisos se utilizan principalmente aquellos de mayor resistencia y durabilidad, por ejemplo, el granito, el mármol y las calizas. El granito por ser muy duro, resistente y duradero es un material excelente para la conformación de pisos, aunque tiene un alto costo. Otro material con magníficas propiedades para ser usado en pisos es el mármol, ya que posee gran resistencia al desgaste, una amplia variedad de colores y que adquiere gran brillo y pulimento; es un piso muy duradero y a la vez costoso. En Cuba se extrae mármol en la Isla de la Juventud, Pinar del Río, el Escambray y Granma.

En el caso de los pisos de piedra caliza, por lo general son menos resistentes que los de granito y mármol. Se emplean principalmente en áreas exteriores, dígase jardines, bordes de piscina y similares (Uribe, 2011).

1.5 Desarrollo histórico del uso de áridos en Matanzas.

En entrevista realizada con el Historiador de la ciudad de Matanzas, Ercilio Vento Canosa y con el director de la Oficina del conservador de la Ciudad de Matanzas, Leonel Pérez Orozco, resaltan varios aspectos claves en el desarrollo del uso de áridos en la provincia.

Puede decirse primeramente que Matanzas es una región eminentemente cársica con excepción de dos áreas que tiene una antigüedad cretácica al sur de Cantel y todo el basamento del Valle del Yumurí. Es decir, que el territorio es rico en carso que afecta distintos tipos de caliza desde formaciones muy blandas como las formaciones El Abra, Canímar y Jaruco, que son calizas que tienen horizontes geológicos diferentes y, en consecuencia, poseen distintos grados de dureza. Aparecen así las calizas de mayor edad, pertenecientes al período comprendido desde el Mioceno hacia atrás, el Paleoceno, que son calizas dolomíticas.

Puede hablarse del uso de la piedra y los áridos como tal en la construcción en Cuba y por consiguiente en el territorio, a partir de la colonización de la isla por España. Mientras la población autóctona poseía una capacidad constructiva bastante simple en la que se aprovechaban de las condiciones existentes en los sitios de asentamiento como de madera para construir sus viviendas, los colonizadores ibéricos, provenientes del “mundo civilizado”, insertan nuevos métodos constructivos, así como el aprovechamiento de la piedra. Cabe destacar que la extracción de material para las edificaciones se hacía lo más cercano posible a los sitios de emplazamiento dado que en conjunto con los métodos de extracción artesanales existentes en la época, la transportación a largas distancias se hacía extremadamente difícil al no contar con los medios necesarios para este propósito.

Durante los siglos XVII, XIX y principio del XX, en toda el área que rodea la Ciudad de Matanzas durante muchos años se extrajo toda la piedra que se utilizó en la construcción de la misma, favoreciendo el desarrollo de una arquitectura mucho más elaborada y compleja, destacándose, por supuesto, la incorporación del estilo neoclásico que la hizo merecedora de ser llamada una ciudad neoclásica por excelencia. Por otra parte, los

adoquines, que en la urbe datan del siglo XIX, se colocaron principalmente en los cruces por donde transitaban coches con rueda de hierro y eran importados de Maryland, Rhode Island y Noruega.

Otro uso para la piedra, por ejemplo, es el macadam que se utilizaba para carreteras y triturado como balasto para vías férreas. Por supuesto que el comienzo del empleo de hormigón implicó la necesidad del uso de áridos para hormigones.

En Matanzas se incorpora el bloque a finales de los cuarenta y el inicio de los cincuenta del siglo XX, técnica que moderniza el proceso constructivo brindando mayor versatilidad, resistencia y agilidad de ejecución.

Antes de 1959 y un tiempo después, existían molinos para disminuir la fracción de la roca, por ejemplo, la planta y extracción ubicada en Caoba en la que además se molía la roca obteniéndose incluso el llamado polvo de piedra. Muchos de los materiales se importaban, de otros territorios o del exterior. Eventualmente, debido al poco desarrollo de la extracción de áridos en la provincia, se comenzó a extraer arena de mar en Varadero, provocando serias afectaciones a la playa y a las construcciones ejecutadas con este producto. La arena de mar no se lavaba y al utilizarse directamente provocaba una acelerada corrosión del acero de refuerzo. La extracción de arena de la playa de Varadero se mantuvo por un período de más de veinte años.

Actualmente la provincia se enfrasca en el desarrollo de la actividad productiva en la que incurrir el impetuoso ritmo inversionista que tiene lugar en Varadero, la demanda del resto de los sectores de la economía y el aumento de inversiones en los programas de vivienda, por mencionar algunos de los factores que provocan en una mayor demanda de materias primas que las satisfagan.

1.6 Origen de los áridos:

Los materiales pétreos han constituido y constituyen un importantísimo grupo de materiales en la construcción de cualquier tipo de obra.

Las rocas son la mayor fuente para obtener los materiales de construcción, ya que se utilizan como materia prima y además en la fabricación de otros productos. Dichas rocas se encuentran en la naturaleza formando masas de tamaño considerable, los geólogos definen las rocas como el material sólido natural que constituye la tierra (Herrera & Gayoso, 2007, Álvarez et al., 2018). Generalmente están compuestas por uno o la asociación de varios minerales como el granito que está compuesto fundamentalmente por tres minerales: mica, feldespato y cuarzo (Herrera & Gayoso, 2007).

Sin embargo, las rocas también pueden estar formadas por materias primas que no son minerales como el carbón, la turba o el asfalto.

Las rocas pueden clasificarse en tres grandes grupos: metamórficas, ígneas y sedimentarias según los procesos que les dan origen.

El proceso de cristalización que tiene lugar debido al enfriamiento y correspondiente solidificación del magma, sustancias fundidas a muy altas temperaturas que llegan a la superficie por los volcanes, da origen a las llamadas rocas ígneas, rocas magmáticas o primarias. Este tipo de rocas son generalmente de carácter cristalino y granuloso, mayormente pueden obtenerse de ellas áridos buenos, duros, tenaces y densos siempre que se hallen en estado fresco e inalterado. Las rocas ígneas como clase son la mayoría de los agregados de concreto químicamente activos y muestran una tendencia a reaccionar con los álcalis en cemento (Iberico, 2019).

Las rocas ígneas o metamórficas están sujetas a agentes meteorológicos como el sol, lluvia y viento dichos agentes provocan la descomposición, fragmentación, transportación y deposición de partículas de roca (Iberico, 2019). El proceso de continua

deposición y asiento de fragmentos de rocas origina las llamadas rocas sedimentarias, las cuales poseen como principal característica para su identificación el paralelismo entre las capas que conforman sus estratos entre sí. Las rocas sedimentarias pueden ser de origen detrítico, químico y orgánico. Usualmente la consolidación de los sedimentos se debe a la infiltración de aguas que contienen sustancias disueltas en conjunción con un proceso de compactación y cementación (Tucker, 2003). Las calidades de los agregados derivados de rocas sedimentarias varían en calidad dependiendo del material de cementación y la presión bajo a cual las rocas son originalmente compactadas (Shetty, 2005). Respecto a este último aspecto los autores, Herrera & Gayoso (2007) señalan que las rocas sedimentarias de origen químico y naturaleza caliza producen los mejores áridos, gracias a su gran abundancia son las más empleadas para la obtención de áridos; por otra parte las evaporizas, como es el caso de las anhidritas, yesos y sales no son adecuadas para la obtención de áridos.

Tanto las rocas ígneas como las sedimentarias pueden estar sometidas a alta temperatura y presión que causan metamorfismo (Iberico, 2019), sufren modificaciones debido a procesos internos y obtienen entonces características intermedias entre las de los dos grupos ya que, junto al carácter cristalino y granuloso de sus componentes, análogo a las de las rocas ígneas, esas se encuentran dispuestas en estratos paralelos como ocurre con las rocas sedimentarias (Herrera & Gayoso, 2007, Pino et al., 2018). Entre las más frecuentes están los gneis que son duros y tenaces en general, las cuarcitas cuya aptitud para dar áridos está en función del grado de estabilidad alcanzado por la sílice de que se componen y los mármoles que proporcionan siempre buenos áridos calcáreos, densos, tenaces y resistentes.

Los áridos son fragmentos rocosos que provienen de la disgregación natural de las rocas por la acción de diferentes agentes naturales, por lo tanto, se trata de un material de origen sedimentario que se puede obtener a pie de la roca de la cual se ha disgregado, o en las orillas de los ríos donde queda sedimentado, ejemplos de esto son la arena, grava o

piedra triturada, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico (Viano, 2007, Bustillo, 2009, Márquez, 2012, Orbea & Villarroel, 2019). En su mayoría estos son extraídos de canteras donde pasan por un proceso de selección y separación, el cual lo derivan en sus diversos tamaños y usos (Bustillo, 2009, Quevedo, 2016)

Según Cubas & Cabrera (2019) los agregados según su origen pueden dividirse en agregados y agregados artificiales. Los agregados naturales son formados por procesos geológicos y según la modificación de su tamaño son utilizados para la construcción. La trituración mecánica o tamizado de las rocas también se clasifican dentro de áridos naturales. Entre las principales aparecen el canto rodado de río (originadas por el molino natural de agua), de canteras (molidas por el tiempo y el clima en un lugar específico), y de playas (este contiene sustancias alcalinas y debe ser lavado con agua dulce).

La demanda de áridos naturales para la construcción se corresponde con aproximadamente el 99% del uso total de áridos por lo que, para satisfacer las demandas de la industria, se investigan y emplean rutas alternativas para la sustitución de este producto (Bustillo, 2009). En este sentido, en la actualidad se incluye el uso de áridos reciclados, procedentes del tratamiento de los denominados residuos de construcción y demolición, usualmente obtenidos de hormigones, ladrillos, tejas, pavimentos o mezclas (Bustillo, 2009); se han realizado varias investigaciones en este sentido, más recientemente por autores como Marinkovic et al. (2010), Jordán & Viera (2014), Cruz & Moreno (2016), Cubas & Cabrera (2019), Mendez (2019) entre otros.

Pueden mencionarse también los áridos secundarios o artificiales, procedentes de escorias de otras industrias generadas en procesos térmicos, actualmente su uso es escaso, aunque nuestro país ha mostrado recientemente esfuerzos en la incorporación de su uso a la industria de materiales.

1.7 Obtención de los áridos:

La explotación de árido se realiza usualmente a cielo abierto en canteras. La concepción y el diseño de las explotaciones varían cuando se trata de extraer rocas masivas o materiales sin consolidar, en vía seca o en vía húmeda (Luaces, 2007, Herrera & Gayoso, 2007). Sin embargo, en Cuba la principal fuente de áridos se basa en la trituración de piedras naturales en las canteras.

Se le denomina cantera a la instalación industrial que se destina a la explotación de materiales pétreos naturales. Sus características difieren en función de las condiciones geológicas del yacimiento (condiciones de yacencia, profundidad del nivel freático, etc.), del uso al que se destinará el material extraído. Esto conlleva a que las operaciones necesarias para la explotación de canteras contemplen varias etapas y procesos de cierto grado de complejidad, y su instalación constituye una inversión seria (Pino et al., 2018).

De acuerdo con Lima (2003), existen entonces tres factores que hay que tener en cuenta para la explotación de un yacimiento:

- Calidad: Una vez que se localiza el tipo de roca, lo primero que se debe hacer es comprobar que su calidad responde a las especificaciones que aparecen en las normas. Deben tenerse en cuenta las propiedades, lo que se logra realizando una serie de ensayos en los laboratorios especializados en la construcción.
- Cantidad: Una vez que se comprueba que la calidad de las rocas del yacimiento localizado es idónea, se procede a determinar si la cantidad existente del material seleccionado es suficiente para explotarlo durante un largo período de tiempo.
- Economía: Cuando se comprueba que en la zona las rocas tienen la cantidad que se requiere, hay que valorar si resulta económico su explotación. Si el yacimiento está muy alejado, tiene difícil acceso o hay inconvenientes naturales que harían muy costosa y peligrosa su explotación, entonces no conviene la extracción.

Lo anterior se logra mediante el estudio geológico de la zona, en la que se realizan calas a diferentes profundidades, se extraen muestras que se llevan a los laboratorios para comprobar la extensión y profundidad del yacimiento localizado. En este sentido la investigación minera permite, en primer lugar, determinar la existencia o no de un yacimiento y, en caso afirmativo, si sus características lo hacen viable, ponerlo en explotación (Luaces, 2007, Uribe, 2011).

Cualquier explotación de áridos debe contar con un proyecto solicitado por la empresa inversionista y aprobado por el Instituto de Planificación Física (IPF) y el Ministerio de Ciencias Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) el cual comprenderá todos los aspectos relacionados tanto con la propia extracción de la materia prima (proyecto de la explotación) como con su tratamiento (diseño de la planta de tratamiento), además de las medidas previstas para corregir los efectos de la actividad sobre el medio ambiente y garantizar la seguridad y salud de los trabajadores.

Para lograr la explotación de un yacimiento se debe cumplimentar el orden operacional siguiente:

- Apertura del frente de cantera: Es la operación de eliminar los materiales que cubren las rocas, como malezas y tierra para que quede libre el frente de ataque y la plataforma de trabajo, donde los equipos desprenden las rocas y las trasladan posteriormente a las instalaciones.
- Perforación: Cuando la roca es muy dura hay que utilizar explosivos para romperla y se realizan perforaciones o barrenos para colocarlos. Cuando es un material blando se extrae con palas excavadoras y se carga directamente en los camiones.

- Voladura: Se refiere a hacer detonar los explosivos para fragmentar las rocas en tamaños tales que se pueden moler o triturar en las instalaciones en los casos que sea necesario.
- Carga y transportación: Comprende recoger las rocas fragmentadas (piedras) y trasladarlas hacia las instalaciones para procesarlas. El proceso de separación de los grandes fragmentos o bloques sobre-media (en los casos que estos existan), se realiza generalmente de manera paralela a la carga del material sobre los camiones en que se realiza el traslado hasta el molino primario. Tanto los distintos tipos de cargadores como los camiones empleados son equipos especiales muy robustos y especialmente diseñados para el trabajo de canteras.
- Trituración y clasificación: Consiste en recibir las piedras procedentes del frente de cantera y fragmentarlas a tamaños más pequeños mediante molinos; es frecuente el uso indistinto de los términos, designándose los equipos de manera general como molinos. Por otra parte, como que generalmente en la etapa inicial se utilizan equipos de machaqueo, a dicha etapa se le llama “machaqueo”, dejándose el término molido para la obtención de material más fino (arena). La obtención de polvo muy fino se logra entonces mediante la pulverización o molturación. La clasificación y lavado es el procedimiento de separación de áridos por clases de grosor mediante el tamizado de los mismos en una o varias cribas, o de clasificación de minerales en las superficies de la criba.
- Almacenamiento: Se refiere a colocar los diferentes tipos de piedras procedentes de las instalaciones de forma ordenada y separadas entre sí.

1.8 Propiedades de los áridos

Las propiedades de los áridos influyen en gran medida en la calidad de los morteros y hormigones de los que formarán parte. Algunas como el tamaño y la forma de la

partícula, el contenido de material más fino que el tamiz 200 y la presencia de arcillas pueden influir directamente en la laborabilidad de la pasta y la adherencia entre los granos y la pasta de cemento. Otras propiedades como la resistencia, la densidad o la absorción de agua tienen influencia directa sobre la durabilidad del hormigón en el tiempo. (Chan, 2003, Quiroga, 2003, León & Ramírez, 2010, Jiménez & Crespo, 2013, Contreras, 2014, Fookes, 2015, Pino et al., 2018, Calua, 2019).

- Resistencia mecánica

La resistencia del árido es una exigencia necesaria para el logro de una cierta resistencia en el hormigón, pero no suficiente. Además, debemos diferenciar entre la resistencia de la roca a partir de la cual se produce el árido y la resistencia propia del árido. Cuando se evalúa la resistencia de las rocas, pesa mucho la presencia de fisuras y grietas presentes en la misma, sin embargo, al producirse el árido, este efecto enmascarador desaparece. Es por eso que es más conveniente utilizar el índice de triturabilidad del árido, que responde mejor al comportamiento del mismo en el hormigón (Pino et al., 2018).

- Módulo de elasticidad

Al aumentar la resistencia a compresión del árido, generalmente también se incrementa el módulo de elasticidad, pero esto puede resultar contraproducente e influir negativamente en el comportamiento durable del hormigón; por lo que salvo en casos excepcionales, no resulta conveniente seleccionar áridos con elevado módulo de elasticidad (Pino et al., 2018).

- Resistencia a la abrasión

Es importante tenerlo en cuenta cuando el hormigón que se va a fabricar estará sometido a efectos abrasivos, por ejemplo, cuando se emplea en silos que almacenan material abrasivo, en pisos o pavimentos industriales, etc. (Pino et al., 2018).

- Forma de las partículas

Los áridos obtenidos de graveras tienen normalmente forma redondeada y superficies lisas, mientras que los procedentes de la trituración son angulosos. La forma deseable y los áridos es la de mayor coeficiente de esfericidad. La presencia de partículas planas y alargadas resulta perjudicial, debido al entorpecimiento de la movilidad y compacidad de las mezclas, provocando la aparición de coqueas o de excesiva exudación interna, bajo las partículas planas y alargadas (Contreras, 2014, Anopaju, 2016, Pino et al., 2018).

- Adherencia

La adherencia de los áridos depende en gran medida del estado de su superficie y su influencia en las propiedades del hormigón, especialmente en su resistencia mecánica, es muy elevada. Es por eso, que por lo general las gravas naturales tienen menos adherencia que los áridos triturados (Pino et al., 2018).

- Porosidad

La porosidad de los áridos está estrechamente relacionada con otras propiedades del mismo, entre ellos la absorción, permeabilidad, resistencia mecánica, adherencia, etc. Claro que su influencia no es igual en todos los casos y no debe absolutizarse. Sin embargo, para evitar la duda, es conveniente y deseable que los áridos no posean una porosidad muy elevada, sobre todo si los hormigones donde se emplearán van a estar sometidas a ambientes agresivos (o con posibilidad de congelamiento). La penetración de sustancias agresivas se ve limitada si el material posee menor porosidad, permeabilidad y capilaridad (Pino et al., 2018).

- Cambios de volumen

La presencia de áridos susceptibles de presentar variaciones de volumen por cambios de humedad, etc., son indeseables, dado el posible efecto de los mismos al generarse

tensiones internas en el hormigón que pueden desfigurarlos o descomponerlos (Pino et al., 2018).

- Densidad y peso específico:

La densidad es la relación que se establece entre la masa de un material y el volumen del mismo, como si estuviera absolutamente compacto (sin poros). En el caso del trabajo común con los materiales de construcción y otros, la densidad no se utiliza con mucha frecuencia. Normalmente se emplea el peso específico; uno de los inconvenientes del hormigón hidráulico es su elevado peso, en el cual influye mucho el peso específico del árido utilizado, a la vez una de las cargas a considerar en el diseño estructural es el peso propio de los elementos y algunas veces la resistencia del árido está parcialmente relacionada con su peso específico. Es por eso que se establecen especificaciones para el peso específico, por ejemplo, la NC: 251: 2018 dispone que el peso específico debe ser como mínimo 2,5. Caso particular es cuando se producen hormigones a base de áridos ligeros, donde se establecen otros requerimientos.

1.9 Composición granulométrica:

Se entiende por granulometría a la distribución por tamaños de las partículas componentes del material. Un primer aspecto en donde influye decisivamente la granulometría de la mezcla de áridos es en la compacidad del conjunto, en el caso del hormigón con la consideración adicional de la presencia del aglomerante con el agua. Muchas propiedades del hormigón, tanto fresco como endurecido, se ven modificadas por el grado de acomodo que se tenga en las partículas componentes del material. La resistencia mecánica, absorción, permeabilidad, durabilidad, etc., para una dosis de cemento dada, depende en gran medida el por ciento de vacío logrado entre la arena y los áridos gruesos. No debe confundirse la granulometría con el tamaño de las partículas.

Los áridos se producen en distintas fracciones granulométricas, con especificaciones particulares en cada caso. En la NC 251: 2018 se establecen dichos requisitos tanto para la arena como para las distintas fracciones de árido grueso. También existen recomendaciones con respecto al módulo de finura para las arenas y al tamaño máximo para el árido grueso.

1.10 Sustancias perjudiciales:

Existen varias sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en el árido y que afectan en mayor o menor medida el futuro desempeño del hormigón. La presencia de materia orgánica, por ejemplo afecta el fraguado del cemento Portland, así como en la adherencia (Pino et al., 2018). La presencia de materia orgánica es más común en áridos de origen fluvial que en áridos procedentes de la trituración de las rocas. Debe evitarse cualquier tipo de impureza ya sea de naturaleza orgánica (carbón, madera, asfaltita, etc.) o no (mica, yeso, piritita, etc.), que pueda afectar la adherencia, fraguado del cemento o que reaccionen de alguna manera con los componentes del hormigón o con los agentes exteriores del ambiente donde normalmente se encuentre el hormigón. La mica puede perjudicar la adherencia, la resistencia y la durabilidad del material. El yeso puede alterar el fraguado o provocar corrosión sulfática. La piritita puede provocar reacción expansiva con la aparición de manchas pardo-rojizas.

Otra impureza que presentan los áridos es el denominado material más fino que el tamiz 200; el mismo es capaz de provocar un incremento de la demanda de agua para la mezcla del mortero, la disminución de la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento. En algunos casos, sin embargo, pueden lograrse mejoras en la plasticidad de las mezclas y disminución de la exudación.

Si el material presentara terrones de arcilla su cantidad deberá ser estudiada, los minerales arcillosos se dispersan en el agua perjudicando significativamente la adherencia entre los áridos y el cemento, mientras que en forma de terrones constituyen

partículas blandas que se comportan como partículas débiles en el hormigón, además de favorecer el deterioro por cambios de volumen.

Pueden encontrarse también entre las sustancias perjudiciales, la presencia de cloruros, la cual es nociva pues contribuye al desencadenamiento de la corrosión del acero.

Conclusiones del Capítulo 1:

- Los áridos como material de la construcción han estado presentes desde épocas tempranas en la historia de la humanidad y se han desarrollado a lo largo de esta convirtiéndose en un material imprescindible en la industria de la construcción a nivel mundial.
- Las rocas de las que se originan, así como el proceso de producción son capaces de influir en las propiedades de los áridos tanto como productos finales o materia prima.
- Las propiedades de los áridos tienen un alto grado de influencia en las características del hormigón tanto en su estado húmedo como endurecido por lo que el control de las mismas es un factor crucial en el proceso productivo.

Capítulo 2 MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se describen los materiales y métodos empleados para la caracterización de las propiedades físicas de los áridos de la cantera Seboruco, así como una breve descripción de la cantera.

2.1 La cantera Seboruco



Ilustración 1.1: Vista panorámica de la Cantera Seboruco. Fuente: Elaboración propia

La cantera Seboruco, ubicada en las coordenadas X: 439 968; Y: 368 46, pertenece a la formación Vedado (vd) la cual se desarrolla en forma de franja estrecha y discontinua, en la costa Norte de las provincias de Artemisa, Mayabeque, La Habana, Matanzas y la Península de Guanahacabibes y en la costa Sur de las provincias de Matanzas, Cienfuegos y Sancti Spíritus (2013). La litología de esta formación se caracteriza por la presencia de calizas biohémicas coralino-algáceas y biodetríticas, masivas o con estratificación local poco clara.



Ilustración 1.2: Material en su estado natural Fuente: Elaboración propia



Ilustración 1.3 Frente de extracción en la cantera

En las imágenes se puede observar que el material se encuentra disgregado en una medida considerable lo que simplifica el proceso de extracción.

2.2 Toma de muestras

El proceso de toma de muestra de los áridos queda contenido en la NC 671:2008. De acuerdo con la misma se considera muestra a una pequeña porción del material que al ser caracterizada el valor resultante corresponde a la totalidad del material del cual se extrajo,

dicha muestra debe ser representativa de la naturaleza, características y condiciones de los mismos.

El procedimiento variará en dependencia de la fuente del material. En el caso que ocupa esta investigación la muestra se toma del almacén perteneciente a la EPMC.

En este el material que posee las características visuales correspondientes a una arena de color claro cercano al blanco con presencia de algunas piedras de mayor tamaño.

Se toman tres muestras separadas, dado que se desea obtener un resultado promedio en cuanto a las características se mezclan las tres muestras formando una muestra compuesta.

Se toma un total de dos medios sacos de muestra, los sacos en cuestión son de malla de nylon tupida.

2.3 Laboratorio

Los ensayos se llevan a cabo en los laboratorios de la ENIA, perteneciente al GEDI, que tienen contrato de trabajo con la EPMC.

2.4 Características del árido

El árido es de color claro, cercano al blanco, su aspecto similar al de una arena. Presentando algunas piedras de mayor tamaño, algunos de los cuales se rompen al aplicar suficiente presión. A simple vista no presenta restos de color arcilloso.

2.5 Ensayos

Los requisitos de los áridos que se utilizan en la producción de hormigón hidráulico en Cuba quedan establecidos por la NC 251:2018. Con excepción de los áridos ligeros o

pesados, así como algunas de las fracciones utilizadas en la producción de elementos de hormigón tales como baldosas, losetas hidráulicas y de terrazo y tubos de hormigón.

En esta norma quedan contenidos como ensayos necesarios para áridos gruesos los ensayos de índice de triturabilidad y el ensayo de abrasión, ninguno de los dos es llevado a cabo en el laboratorio. Los ensayos correspondientes al análisis granulométrico, material más fino que el tamiz 200 y la presencia de arcilla sí son llevados a cabo en el laboratorio, tanto para áridos finos como para árido grueso.

Además de la NC 251: 2018, debido a la producción por parte de la EPMC de otros productos, se consulta además la NC 657: 2008 la misma establece los requisitos de los áridos para su utilización en la producción de morteros de albañilería, con excepción de los áridos ligeros o pesados.

En el caso de los áridos empleados en morteros de albañilería, estos pueden ser arenas naturales, arenas de gravas trituradas, o arena de roca triturada; las mismas tendrán que cumplir con los requisitos de granulometría, material más fino que el tamiz 200 (0,074 mm). La norma comprende otros requisitos como el contenido de impurezas y de cloruros los cuales no se estudian en el laboratorio.

2.6 Análisis Granulométrico:

El procedimiento que debe seguirse para la determinación de la granulometría de los áridos gruesos y finos, por medio de tamices de aberturas cuadradas queda recogido en la NC 178:2002.

Primeramente, para la selección de una muestra representativa del material debe usarse como referencia la Tabla 2.1 que se presenta a continuación la cual determina los pesos mínimos de la muestra representativa en concordancia con el tamaño nominal máximo de las partículas que pasan.

Tabla 1.2 Peso mínimo de la muestra representativa para ensayo. Fuente: NC 178:2002

	<i>Tamaño nominal máximo de las partículas expresado en mm (tamiz que pasan)</i>	<i>Peso mínimo de la muestra representativa expresado en kg</i>
Fina	2,00 mm (No.10)	0,1
	4,76 mm (No.4)	0,5
Gruesa	9,52 mm (3/8 pulg)	1
	12,7 mm (1/2 pulg)	2,5
	19,1 mm (3/4 pulg)	5
	25,4 mm (1 pulg)	10
	38,1 mm (1 ½ pulg)	15
	50,8 mm (2 pulg)	20
	65,5 mm (2 ½ pulg)	25
	76,2 mm (3 pulg)	30
88,0 mm (3 ½ pulg)	35	

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.

La muestra se obtiene con la cuarteadora, dicha muestra se seca en la estufa de 105°C a 110°C durante 24 horas. Posteriormente se toma una muestra de 500 g cuyo peso se comprueba en la balanza.

La muestra se separa en una serie de tamaño usando para ello aquellos tamices que sean necesarios de acuerdo con las especificaciones para el uso del material que se ensaya.

En el caso de los áridos gruesos para hormigones hidráulicos los requisitos granulométricos son los siguientes

Tabla 1.3 Granulometría de los áridos gruesos. Fuente: NC 251:2018

<i>Límites de la fracción (mm)</i>	<i>Abertura de malla de</i>	<i>% Pasado</i>
------------------------------------	-----------------------------	-----------------

<i>Nominal</i>	<i>Equivalente</i>	<i>tamices normalizados</i>	
90- 40	90-37,5	90,0	100
		75,0	90-100
		63,0	25-60
		37,5	0-15
		19,0	0-5
65-40	63-37,5	75,0	100
		63,0	90-100
		50,0	35-70
		38,1	0-15
		19,0	0-5
40-20	37,5-19,0	50,0	100
		37,5	90-100
		25,0	20-55
		19,0	0-15
		9,50	0-5
40-10	37,5-9,50	50,0	100
		37,5	95-100
		19,0	35-70
		12,5	10-30
		9,50	0-5
25-10	25,0-9,50	37,5	100
		25,0	90-100
		19,0	20-55
		12,5	0-10
		9,5	0-5
25-5	25,0-4,75	37,5	100
		25,0	95-100
		12,5	25,60
		4,75	0-10
		2,36	0-5
20-10	19,0-9,50	25,0	100
		19,0	90-100
		12,5	20-55
		9,5	0-15
		4,75	0-5
20-5	19,0-4,75	25,0	100
		19,0	90-100
		9,5	40-70

		4,75	0-15
		2,36	0-5
13-5	12,5-4,75	19,0	100
		12,5	90-100
		9,5	40-70
		4,75	0-15
		2,36	0-5
10-5	9,50-4,75	12,5	100
		9,5	85-100
		4,75	15-35
		2,36	0-10
		1,18	0-5

En el caso de la granulometría de los áridos finos se emplea la tabla siguiente:

Tabla 1.4 Granulometría de los áridos finos. Fuente: NC 251:2018

<i>Límites de la fracción (mm)</i>		<i>Abertura de malla de tamices normalizados</i>	<i>% Pasado</i>
<i>Nominal</i>	<i>Equivalente</i>		
5-0,15	4,75-0,150	9,5 mm	100
		4,75 mm	90-100
		2,36 mm	70-100
		1,18 mm	45-80
		600 μ	25-60
		300 μ	10-30
		150 μ	2-10

Por otra parte, la NC 675:2008 establece con respecto a los áridos para morteros, la granulometría siguiente:

Tabla 1.5 Granulometría de los áridos para morteros. Fuente: NC 657: 2008

Tamices		Por ciento pasado	
No	mm	Arena natural	Arena triturada
4	4,76	100	100
8	2,38	95-100	95-100

16	1,19	70-100	70-100
30	0,59	40-75	40-75
50	0,297	10-35	20-40
100	0,149	2-15	10-25
200	0,074	-	0-10

El peso de la muestra a ensayar es de 500g, medido luego de cuarteada y aireada la muestra.

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 0,074mm (No.200) hasta obtener su separación de las partículas gruesas de la muestra.

El proceso de lavado se repite tantas veces como sea necesario hasta que el agua utilizada salga limpia y clara.

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

Posteriormente se pesa nuevamente el material ya lavado y seco. El porcentaje de material más fino que le tamiz de 0,074mm (No. 200) se determina empleando la fórmula (2.1):

$$PmT200 = \frac{a-b}{a} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

PmT200: Porcentaje de material pasado por el tamiz 0,074 mm (No.200)

a: peso de la muestra original seca

b: peso de la muestra seca después de lavada

Los resultados se expresarán con una aproximación de una sola cifra decimal cuando el valor encontrado sea superior al 1% y con dos cifras cuando el valor sea inferior al 1%.

Una vez realizados los pesajes de las cinco muestras se obtienen los resultados siguientes:

Tabla 1.6 Resultados de los ensayos de material más fino que el tamiz 0,074 mm (No. 200) Fuente: Elaboración propia

Muestra	UT200-1	UT200-2	UT200-3	UT200-4	UT200-5	UT200-6
a	500g	500g	500g	500g	500g	500g
b	393g	386g	398,5g	388,5g	394,5g	398g
PmT200	21,4 %	22,8 %	20,4 %	22,3 %	21,1 %	20,4 %

2.7 Determinación del peso volumétrico

El procedimiento a seguir para la determinación del peso volumétrico de los áridos gruesos y finos queda establecido en la NC 181:2002.

En el mismo se emplea una varilla de compactación, es decir, una varilla o barra lisa de acero, recta, de sección circular de 15,8 mm de diámetro y 600 mm de longitud, teniendo un extremo redondeado en forma de hemisferio con un diámetro de 15,8mm. Para el pesado de las muestras se emplea una balanza con una sensibilidad correspondiente a 0,5% el peso de la muestra. Se hace uso además de un recipiente de metal, de forma cilíndrica y de un espesor de 2,7 a 3,5 mm, sin salideros, con el fondo y las paredes circulares inferiores perfectamente lisos, con rigidez suficiente para mantener su forma a pesar de los golpes que reciba. El recipiente ha sido debidamente calibrado en el laboratorio y su factor de calibración es de 367,91. Se toma en consideración además la tara con un valor de 1,87 la cual se retirará del valor pesado para obtener el peso neto.

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

Las muestras se secarán a una temperatura de 105°C a 110°

Para la determinación del peso volumétrico suelto el recipiente se llena hasta desbordarse por medio de una cuchara, descargándose con una altura no mayor de 50 mm sobre la parte superior del recipiente y en el centro de la medida, evitando de esta forma la segregación de las partículas. El árido sobrante debe enrasarse a nivel pudiendo emplearse la varilla de compactación como rasero sin que se haga girar la misma.

Para la determinación del peso volumétrico compactado, el recipiente es llenado en tres capas, dándosele 25 golpes con la varilla de compactación, en cada capa, para su compactación; los golpes serán distribuidos uniformemente sobre la superficie y de manera que la primera serie llegue hasta el fondo sin golpearlo fuertemente. La compactación en las otras capas debe ser sólo el espesor de las mismas. Después de enrasa la superficie del árido con una regla de bordes rectos y fuertes.

Una vez determinado el peso neto del árido contenido en el recipiente, se obtiene el peso volumétrico (suelto o compactado) multiplicando el peso neto por el factor de calibración.

Los resultados obtenidos para las seis muestras ensayadas para la obtención del peso volumétrico suelto se muestran a continuación:

Tabla 1.7 Resultados de los ensayos de peso volumétrico suelto. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	UPVS-1	UPVS-2	UPVS-3	UPVS-4	UPVS-5	UPVS-6
Peso	5260 g	5330 g	5330 g	5370 g	5360 g	5310 g
Peso neto	3,39 kg	3,46 kg	3,46 kg	3,5 kg	3,49 kg	3,44 kg
Peso volumétrico	1247,211	1272,969	1272,969	1287,685	1284,006	1265,6104

suelto	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3
--------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Los resultados obtenidos para las seis muestras ensayadas para la obtención del peso volumétrico compactado se muestran a continuación:

Tabla 1.8 Resultados de los ensayos de peso volumétrico compactado. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	UPVS-1	UPVS-2	UPVS-3	UPVS-4	UPVS-5	UPVS-6
Peso	5710 g	5730 g	5720 g	5760 g	5750 g	5820 g
Peso neto	3,84 kg	3,89 kg	3,85 kg	3,89 kg	3,88 kg	3.95 kg
Peso volumétrico compactado	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3	kg/m^3

2.8 Determinación del peso específico.

El procedimiento para la determinación de los pesos específicos y la absorción de agua para áridos cuyos tamaños no excedan de 5 mm está establecido en la NC 186:2002.

El método se basa en la determinación de los pesos específicos y la absorción de agua por medio del pesaje de la arena en estado seco y saturado en agua. Para desarrollar el método se emplean una balanza con capacidad de 1 kg o más y una sensibilidad de 0,01 g, un frasco volumétrico o matraz graduado de 500 ml de capacidad, un molde metálico con forma de cono truncado de 73 mm de altura y diámetros superior de 38 mm +/- 1mm e inferior de 89 mm +/- 1 mm respectivamente, una varilla metálica cilíndrica de 25 mm +/- 3 mm de diámetro y un peso de 340 g con sus extremos terminados en forma plana para el apisonado, un secador de arena que proporcione una corriente de aire caliente de velocidad moderada, una estufa capaz de mantener una temperatura de 105°C - 110°C; el local para ensayo debe ser cerrado y mantener una temperatura de 20°C +/- 5°C y una humedad relativa de 60% +/- 10%.

Se obtienen por cuarteo 1000g de la muestra clocándolos en una bandeja, se realiza un lavado por decantación de la arena para eliminar la suciedad de la misma. Una vez el material se ha desecado de 105°C a 110 °C hasta peso constante, se cubren con agua y se dejan sumergidos durante 24 horas.

Posteriormente se extiende la muestra sobre una bandeja y se comienza la operación de desecar la superficie de las partículas dirigiendo sobre ella una corriente de aire caliente moderada mientras se agita constantemente con el objeto de que la desecación sea uniforme. Dado que el laboratorio no dispone de un secador para áridos se puede emplear un secador de cabello. La desecación de la superficie se realiza hasta que las partículas fluyan libremente sin adherirse entre sí. Para comprobar esto se llena el molde cónico con la muestra suelta sin comprimir. Se apisona ligeramente la superficie dando 25 golpes con la varilla de compactación e inmediatamente se levanta el molde verticalmente. En caso de persistir humedad superficial el cono de área mantendrá su forma, en tal caso se continúa la operación de secado y se realizan comprobaciones regulares hasta que el cono de arena se derrumbe ligeramente al retirar el molde, indicando que la arena ha alcanzado una condición de superficie seca.

Se introducen inmediatamente en el frasco volumétrico 500 g de la muestra preparada y se añade agua destilada hasta un poco por debajo de la marca del enrase del frasco. Para eliminar las burbujas que hayan podido quedar pueden aplicarse los siguientes métodos de operación:

- El frasco se somete a Baño María y se mantiene en ebullición durante 2 horas aproximadamente hasta que sean expulsadas todas las burbujas.
- Se coloca el frasco volumétrico sobre una superficie plana, se inclina unos 30° y se hace rodar con rapidez sobre la misma, sujetándolo por la boca hasta que sean expulsadas todas las burbujas.

Después se coloca en un baño de agua durante una hora aproximadamente, hasta alcanzar la temperatura ambiente. Al final de ese tiempo se añade agua destilada hasta alcanzar la marca de enrase y se determina el peso total con un error menor de 0,01 g.

A continuación, se extrae la arena del frasco volumétrico y se deseca a peso constante en una estufa cuya temperatura esté comprendida entre 105 °C y 110 °C. Se deja enfriar a la temperatura ambiente y se pesa con un error menor de 0,01 g.

El peso específico corriente de las partículas desecadas incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles, se calcula aplicando la fórmula (2.2):

$$Pe_c = \frac{A}{C + B - C_1} \quad (2.2)$$

Donde:

Pe_c : Peso específico corriente

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

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

C : Peso en gramos del frasco lleno con agua

C_1 : Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase

El resultado se expresa con una aproximación de dos cifras decimales.

El peso específico de las partículas saturadas de agua.

Y con la superficie seca, incluyendo en el volumen los poros accesibles al agua y los no accesibles, se calcula aplicando la fórmula (2.3):

$$Pe_s = \frac{B}{C+B-C_1} \quad (2.3)$$

Donde:

Pe_s : Peso específico saturado

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

C : Peso en gramos del frasco lleno con agua

C_1 : Peso en gramos del frasco con la muestra y agua hasta la marca del enrase

El resultado se expresa con dos cifras decimales.

El porcentaje de agua absorbida por la arena seca, se calculará aplicando la fórmula (2.4):

$$\%abs = \frac{B-A}{A} * 100 \quad (2.4)$$

Donde:

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

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

2.9 Determinación del contenido de partículas de arcilla:

El procedimiento a seguir para la determinación del contenido de arcilla en los áridos que se utilizan en hormigones y morteros queda establecido en la NC 179:2002. El método se basa en la obtención de las partículas de arcilla contenidas en los áridos por medio de una selección y posterior determinación del por ciento que representen del peso del árido.

Las muestras de áridos obtenidas por cuarteo se secarán hasta peso constante a una temperatura entre 105°C a 110°C.

Se extiende la muestra en una capa delgada en el fondo del recipiente y se examina para descubrir las partículas de arcilla. Al realizarse esta inspección en el material se observa que está libre de partículas de arcilla.

Conclusiones parciales del Capítulo 2:

1. En este capítulo se definen los ensayos y métodos para la determinación de las propiedades físicas del material extraído de la cantera Seboruco de acuerdo a los requerimientos de la NC 256: 2018 y la NC 657:2008.

Capítulo 3 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

El capítulo tres tiene como objetivo principal la discusión de los resultados obtenidos en la investigación. Una vez se dispone de los resultados de todos los ensayos programados estos se comparan con los valores determinados en la NC 251: 2018 en caso de encontrarse los valores de los ensayos dentro de los límites adecuados, el árido se puede emplear en la producción de hormigones y dado que varios de los productos ofertados por la EPMC requieren de morteros para su fabricación, los valores se comparan además con la NC 657: 2002.

La formación geológica a la que pertenece la cantera Seboruco es un indicador de la naturaleza del material que posee a simple vista características de ser piedra caliza, el alto grado de disgregación que tiene el material facilita la explotación de la cantera, de la cual pueden extraerse materiales sin necesidad de usar equipos de alta complejidad, no voladuras, pudiendo atacarse los frentes directamente con máquinas excavadoras; la división en fracciones menores puede realizarse de acuerdo a las fracciones requeridas para la producción. Un aspecto positivo que resalta además es su cercanía con la ciudad de Matanzas y por ende con los locales de almacenamiento y producción de materiales de la EPMC.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades físicas de los áridos son un factor fundamental a tener en cuenta para la determinación de sus posibles usos como material de construcción ya que son capaces de afectar el comportamiento del mismo tanto como materia prima componente de otros productos o como producto final.
2. Se emplean como referentes para la definición de los usos de los áridos de la cantera Seboruco las normas NC 251:2018 y la NC 657:2008 las cuales presentan las propiedades con las que debe contar el árido para su uso en hormigones y morteros respectivamente, a su vez presentan la normativa necesaria a consultar para la correcta realización de los ensayos pertinentes.
3. Es necesario para obtener resultados concluyentes la culminación de la investigación incluyendo los ensayos que no pudieron ejecutarse debido a la situación epidemiológica por la que atraviesa el país.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar la presente investigación con la realización de aquellos ensayos que no pudieron efectuarse debido a la situación epidemiológica que atraviesa el país.
2. Se recomienda a las empresas de la construcción radicadas en la provincia

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

2013. Léxico Estratigráfico de Cuba. Tercera Edición ed. Cuba: Instituto de Energía y Minas.
2017. Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución para el período 2016-2021. Julio de 2017 ed. Cuba.
- ALEXANDER, M. 1996. Aggregates and the deformation properties of concrete. *Materials journal*.
- ÁLVAREZ, M., BARRIOS, G., ROSA, E. R. & MARTÍNEZ, L. 2018. APLICACIÓN DE ACV EN BLOQUES DE HORMIGÓN PARA LA MEDICIÓN DE IMPACTOS MEDIANTE EL USO DE ÁRIDOS NATURALES Y RECICLADOS. *Centro Azúcar*. Yaillet Albernas Carbajal ed.
- ANOPOJU, S. 2016. *Clasificación de los áridos según tamaño y forma: áridos gruesos y finos(en línea)* [Online]. India: The Constructor - Civil Engineering Home. Available: <https://theconstructor.org/building/classification-of-aggregates-size-shape/12339/>. [Accessed 27 de octubre 2019].
- BUSTILLO, M. 2009. LOS RECURSOS MINERALES Y LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 248-255.
- CALUA, R. 2019. *INFLUENCIA DEL ÍNDICE DE LAJAS Y AGUJAS DE LOS AGREGADOS GRUESOS USADOS LOCALMENTE PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO DE $F'c=280$ Kg/cm²*. Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Cajamarca.
- CONTRERAS, W. 2014. *Influencia de la forma y textura del agregado grueso de la cantera Olano en la consistencia y resistencia a la compresión en el Distrito de Jaén - Cajamarca*. Bachiller, UNC.
- CRUZ & MORENO 2016. Agregados para el concreto con materiales reutilizados de la demolición de estructuras "pruebas de resistencia a la compresión". Colombia.
- CUBAS, H. A. & CABRERA, J. 2019. *Influencia de la adición de agregado grueso reciclado en la resistencia a compresión de un concreto convencional*. Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN.
- CUEVAS;, D. L., G., S. & A., P. 2001. *500 años de construcciones en Cuba*, La Habana, Chavín Servicios Gráficos y Editoriales, S.L.

- CHAN, J. 2003. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Revista Ingeniería de construcción*.
- EGESI & TSE. 2012. *Engineering-Geological Evaluation of Rock Materials from Bansara, Bamenda Massif Southeastern Nigeria, as Aggregates for Pavement Construction*. University of Port Harcourt, Nigeria.
- EVANS, J. 2010. Sustentabilidad en Arquitectura 1.
- FOOKES, P. G. 2015. An introduction to the influence of natural aggregates on the performance and durability of concrete. *The Geological Society*.
- HERRERA & GAYOSO 2007. Áridos para hormigón. Especificaciones y ensayos. In: CONSTRUCCIÓN., C. T. P. E. D. D. L. M. D. (ed.) *Curso Control de calidad de los Áridos*.
- IBERICO, J. 2019. *Influencia del agregado grueso según su formación geológica en las propiedades mecánicas del concreto de las canteras de la zona Este de Lima en el 2019*. Ingeniero Civil, UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN.
- IGME 2018. Panorama Minero. *Panorama Minero*. Instituto Geológico Minero de España.
- JIMÉNEZ, R. & CRESPO, R. 2013. Caracterización de áridos finos y materiales arcillosos con el empleo de azul de metileno como herramienta para la clasificación.
- JORDÁN & VIERA. 2014. *Estudio de la Resistencia del Concreto, utilizando como agregado el concreto reciclado de Obra*.
- LEÓN, M. & RAMÍREZ, F. 2010. Caracterización morfológica de agregados para concreto mediante el análisis de imágenes. *Revista Ingeniería de la Construcción*, 125-240.
- LIMA, O. 2003. *Materiales y productos para la construcción*.
- LUACES, C. 2007. Los áridos y el cemento. El recorrido de los minerales. Domènech e-learning multimedia, S.A. ed. La Suma de Todos: Comunidad de Madrid.
- MARINKOVIC, RANDONJANIN, MALESEV & IGNJATOVIC 2010. Comparative environmental assesment of natural and recycled aggregate concrete. *Science Direct*. www.elsevier.com/locate/wasman: ELSEVIER.

- MÁRQUEZ. 2012. *Caracterización de un árido granítico para fabricación de hormigón*. Instituto de Ciencias de la Construcción "Eduardo Torroja" CSIC.
- MENDEZ, L. O., G. 2019. *INFLUENCIA DEL REEMPLAZO DE ARENA POR RESIDUOS SOLIDOS URBANOS SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO Y MECANICAS EN MORTEROS ECOLOGICOS*. TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL, UNIVERSIDAD CATOLICA DE TRUJILLO BENEDICTO XVI.
- NC179: 2002. Áridos. Determinación del contenido de partículas de arcilla. Método de ensayo. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.) Abril 2002 ed.
- NC182: 2002. Áridos. Determinación del material más fino que el tamiz de 0.074 mm (No. 200). Método de ensayo. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.) Abril 2002 ed.
- NC186: 2002. Arena. Peso específico y absorción de agua. Método de ensayo. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.) Abril 20020 ed.
- NC251: 2018. Áridos para hormigones hidráulicos. Requisitos. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.).
- NC657: 2008. Áridos para morteros de albañilería. Especificaciones. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.) Octubre 2008 ed.
- NC671:2008; Áridos. Toma de muestras. *In:* (NC), O. N. D. N. (ed.) Noviembre 2008 ed.
- ORBEA, O. G. & VILLARROEL, K. J. 2019. *Bloques de hormigón alivianados de baja densidad y económicos con plástico reciclable acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y polipropileno (PP) para su uso como materiales alternativos y amigables con el medio ambiente en las unidades militares del país*. Ingeniero Civil, Universidad de las Fuerzas Armadas.
- PÉREZ, L. 2020. Entrevista con el Director de la Oficina del Conservador de la Ciudad de Matanzas. *In:* DURÁN (ed.).
- PINO, FIENCO, ALVAREZ, PARRALES, MACÍAS & PONCE 2018. *Materiales de la construcción*.
- QUEVEDO, E. 2016. Agregados. 41.
- QUIROGA, P. 2003. *The Effect of the Aggregates Characteristics on the Performance of Port-land Cement*, Texas, Estados Unidos, University of Texas.

- SHETTY (ed.) 2005. *Concrete Technology, theory and practice.*, India: S. Chand & Company.
- SHILSTONE, J. 1999. The Aggregate: The Most Important Value-Adding Component in Concrete. *Revista Americana de Ingeniería Civil y Arquitectura*.
- TUCKER 2003. *Petrología sedimentaria. Una Introducción al Origen de las Rocas Sedimentarias*, Valencia, Blackwell Science.
- URIBE, P. A. 2011. *EXPLOTACIÓN Y VENTA DE ÁRIDOS EN LA COMUNA DE PUERTO MONTT*. Tesis para optar al título de: Ingeniero Constructor, Universidad Austral de Chile.
- VENTO 2020. Entrevista con el Historiador de la ciudad de Matanzas. *In: DURÁN (ed.)*.
- VIANO, V. 2007. *Materiales de Construcción*.
- WONG. 2011. *Contribución a la satisfacción del cliente en la Empresa Provincial de Mantenimiento y Construcción a través de la Gestión por Procesos*. Maestría en Administración de Empresas, Universidad de Matanzas "Camilo Cinefuegos".

ANEXOS

En este apartado se reflejan algunos de los instrumentos empleados en el laboratorio para la realización de los ensayos.



Ilustración 1.4 Uso de cuarteadora mecánica para cuarteado de la muestra. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.5 Horno empleado para el secado de muestras. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.6 Fracciones gruesa y fina del árido. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.7 Tamizadora mecánica. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.8 Lavado de muestras para la separación de material más fino que el tamiz No. 200. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.9 Empleo de tamices para el lavado de muestras para la determinación de material más fino que el tamiz No. 200. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.10 Pesa empleada para las mediciones en los ensayos de material más fino que el tamiz No. 200 y de granulometría. Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 1.11 Recipiente y varilla de compactación empleados en los ensayos de determinación de peso volumétrico. Fuente: Elaboración propia.