

EVALUACIÓN FÍSICO-MECÁNICA DE AGREGADOS FINOS LATERÍTICOS PARA SU UTILIZACIÓN EN LA PREPARACIÓN DE HORMIGONES

PHYSICAL-MECHANICAL EVALUATION OF FINE LATERITIC AGGREGATES FOR USE IN THE PREPARATION OF CONCRETE

ARIAS VACA, C. M., LÓPEZ MEJÍA, E. E.

RESUMEN

El uso de los recursos naturales ha sido crucial para el desarrollo humano a lo largo de la historia. En el campo de la construcción, los áridos han jugado un papel fundamental en la fabricación de mezclas de hormigón. Sin embargo, la utilización de agregados finos lateríticos en Bolivia para la preparación de mezclas de concreto se ha pasado por alto en gran medida. Este proyecto de investigación tiene como objetivo promover la incorporación de agregados finos lateríticos en diseños de mezclas de concreto en el municipio de San Ignacio de Velasco, Santa Cruz. La falta de uso registrado de agregados finos lateríticos como materias primas para mezclas de concreto en proyectos de ingeniería civil en la región destaca la necesidad de investigación. El objetivo principal de este estudio es determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos lateríticos a través de pruebas de laboratorio siguiendo los estándares ASTM-AASHTO. Estas pruebas evaluarán la conformidad de los agregados con los requisitos técnicos especificados. Los objetivos específicos incluyen la extracción y selección de muestras de agregados finos lateríticos, así como la realización de pruebas de laboratorio para determinar sus propiedades físicas y mecánicas. Además, la investigación determinará el porcentaje de agregado fino laterítico y diseñará la mezcla de concreto en consecuencia. El estudio también analizará la resistencia a la compresión del hormigón incorporando el agregado fino laterítico. Esta investigación tiene como objetivo contribuir al conocimiento y la utilización de materiales locales en proyectos de ingeniería civil. Los resultados obtenidos proporcionarán información valiosa para ingenieros y profesionales de la construcción, promoviendo en última instancia prácticas sostenibles y rentables en la industria de la construcción.

ABSTRACT

The correlation that exists between the Dynamic Cone Penetrometer, D.C.P and California Support Ratio test in situ, C.B.R., obtained by collecting D.C.P indices in the field and the results obtained by C.B.R. in situ, carried out for civil works projects in the city of Santa Cruz de la Sierra for silty soils. The granulometric tests are necessary for the classification of soil, since the work and the correlation obtained are carried out for the type of silty soil. The characterization tests are essential to recognize the type of soil with which the section will be worked and thus be able to apply the methodology of the equation obtained through this statistical analysis. The D.C.P. and C.B.R. in situ will allow us to obtain the shear stress of the soil through different methodologies and parameters considered in the field, the established correlation will allow us to establish a comparison and broaden the criteria for pavement design. With the analysis of the results, it would be possible to determine the characteristics of the soil with an equation that takes into account parameters and characteristics of the type of silty soil in the city of Santa Cruz de Sierra. The results obtained from the correlation are reliable data with a value that indicates a high correlation, demonstrating the correlation between both tests, complying with the parameters indicated by the ASTM standards in reference to obtaining the shear stress of the soil. For purposes of this work, it is considered feasible to apply the equation obtained through statistical analysis for silty soils, since the results obtained show us the value of a correlation between both methodologies.

PALABRAS CLAVE

Agregados Finos
Lateríticos
Hormigones

KEYWORDS

Fine Aggregates
Lateritic
Concretes

INTRODUCCIÓN

Durante el transcurso de la historia de la humanidad, el hombre ha necesitado aprender a utilizar los recursos propios de la naturaleza, como ser los agregados, en la construcción. De esta manera los áridos llegaron a convertirse en materia prima fundamental para la fabricación de mezclas de hormigón.

El uso de los suelos lateríticos en el territorio boliviano es un tema muy poco implementado en la preparación de mezclas de hormigón. Por tal motivo se promueve la incorporación de agregados finos lateríticos en dosificación de mezclas de hormigones.

En Bolivia, así como en el resto del mundo, las regiones tropicales tienen la prioridad en el desarrollo. En las zonas tropicales del país, los costos de construcción en obras civiles son elevadas por la gran cantidad de insumos que entran en el proceso constructivo, mismos que podrían ser minimizados con el conocimiento científico de los nuevos materiales que puedan participar en la cadena productiva, ya que no existe en estas zonas suficiente material granular o canteras explotables.

Los suelos lateríticos o tropicales son aquellos suelos originados bajo climas cálidos y húmedos, en donde estos mismos se encuentran situados. Adicionalmente a lo descrito con anterioridad, para que un suelo tropical se considere laterítico, no es suficiente que se hubiera originado en este tipo de ambientes, sino que también tienen que estar presentes parámetros geotécnicos para su correcta denotación como un suelo tropical laterítico. (Nogami & Villibor, 1996)

El nombre de laterita fue sugerido en 1807 por Buchanan, para denominar “una masa suave y arenosa, llena de cavidades; contiene una gran cantidad de hierro en forma de ocre rojo o amarillo, que se endurece en contacto con el aire, y puede utilizarse en construcción” El término latosuelo fue propuesto por Kellog (1949) para incluir a aquellos suelos excluidos, tales como “suelo laterítico café amarillento”, “suelo laterítico café rojizo”, y “suelo laterítico rojo”. Los suelos excluidos fueron entonces denominados “latosuelo café amarillento”, “latosuelo café rojizo”, “y latosuelo rojo” respectivamente. (Kellog, 1949).

De los diversos tipos de agregados que se forman en los trópicos y subtropicos, la laterita es de especial interés para la construcción. Estos son materiales altamente expuestos a la intemperie, que contienen grandes proporciones, aunque extremadamente variables, de óxidos de hierro y aluminio, así como cuarzo y otros minerales. Estos se encuentran abundantemente en zonas tropicales y subtropicales, aparecen bajo grandes praderas o en claros de bosque en regiones lluviosas. Los colores pueden variar desde ocre hasta rojo, marrón, violeta a negro, dependiendo grandemente de la concentración de óxido de hierro.

Las características especiales de lateritas, que las diferencian de otras tierras son: Las tierras blandas tienden a endurecerse expuestas al aire, por lo cual los bloques son cortados tradicionalmente in situ (por ejemplo, en la India), son dejados para endurecer y luego utilizados en construcción de muros de mampostería, mientras más oscura sea la laterita, será más dura, pesada y resistente a la humedad.

Se ha encontrado que algunas lateritas tienen una reacción puzolánica cuando son mezcladas con cal (lo cual se explica por el alto contenido de arcilla), produciendo materiales de construcción duros y durables (por ejemplo, bloques estabilizados).

Se propone el uso del agregado de laterita como material pétreo para dosificación de hormigones, así también, buscando la mejor calidad de hormigón y su comportamiento frente a agentes agresivos.

Actualmente en el territorio nacional boliviano, más específicamente en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, no se tiene registro o conocimiento del empleo de agregados lateríticos para obras civiles, pero si presentan registro e investigaciones realizadas con material laterítico en la zona chiquitana, región de estudio de esta investigación.

DESARROLLO

El yacimiento de agregado fino está ubicado en el departamento de Santa Cruz, en el municipio de San Ignacio de Velasco, aproximadamente a 476 kilómetros de Santa Cruz de la Sierra. en la comunidad Mercedes de las Minas. El yacimiento de agregado grueso es extraído del Rio Pirafí.

A lo largo del tramo propuesto se realizó la inspección de las coloraciones de doce yacimientos de préstamo, al igual que sus concreciones, profundidad y reacción frente al agua. Una vez confirmadas las características se procedió con la extracción del material y, para el resguardo de este, se trasladó a Santa Cruz de la Sierra.

Se evaluaron los doce probables yacimientos de préstamo mediante las metodologías: MCT, de las pastillas, el cono de Bernucci y del Azul de Metileno, determinándose que solo un yacimiento es de naturaleza laterítica.

Al material obtenido en este yacimiento de naturaleza laterítica se realizaron los siguientes ensayos:

Ensayo de granulometría para agregados finos y grueso con forme a la norma ASTM C136 Y AASHTO T27. Una vez tamizados los áridos, se graficó el porcentaje que se pasa por cada tamiz, el tamaño de los tamices en mm. También se muestran en las figuras 1 a 5, los límites establecidos en la norma ASTM C33, de acuerdo con el tamaño de los respectivos agregados.

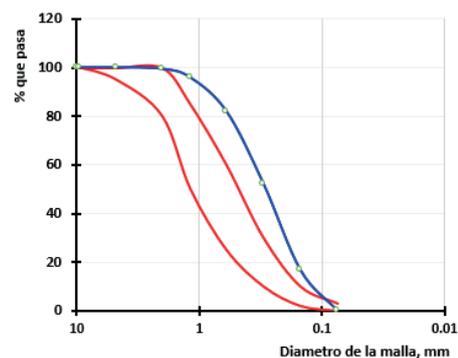


Figura 1. Curva granulométrica de la arena 100%.

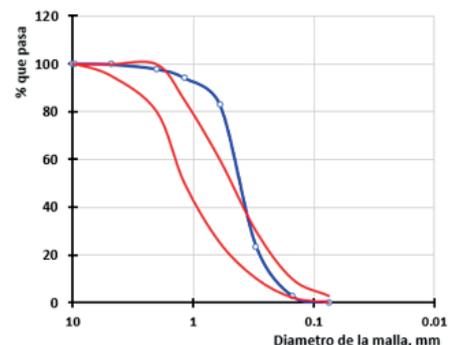


Figura 2. Curva granulométrica de la arena 75% y 25% arena laterítica.

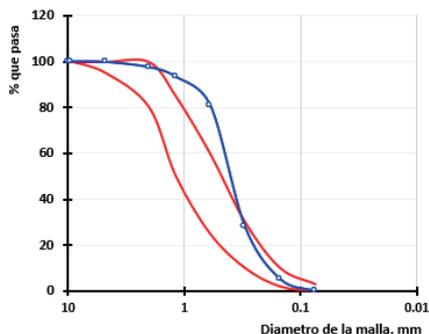


Figura 3. Curva granulométrica de la arena 50% y 50% arena laterítica.

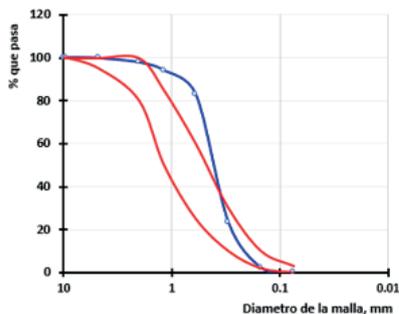


Figura 4. Curva granulométrica de la arena 25% y 75% arena laterítica

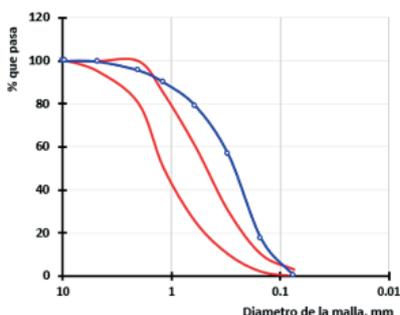


Figura 5. Curva granulométrica de la arena 100 % arena laterítica

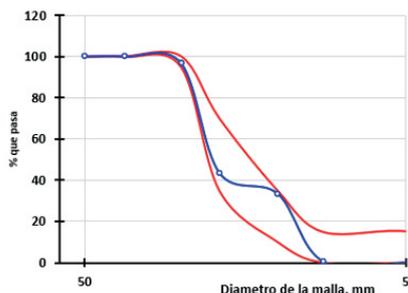


Figura 6. Curva granulométrica del agregado grueso

Las muestras presentaron un módulo de finura para agregado fino. Este dato se obtuvo de los laboratorios realizados y se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de los Módulos de Fineza de los agregados

Grava	3,56
Arena	2,54
Arena Laterítica	2,62
Arena 75% Arena Laterítica 25%	2,74
Arena 50% Arena Laterítica 50%	2,95
Arena 25% Arena Laterítica 75%	3,00

La determinación la densidad aparente se efectuó mediante la norma ASTM E30 y ASTM C29
Los resultados se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de los ensayos de la densidad aparente en agregados gruesos y finos

Agregado	Peso Unitario Compactado (gr/cm ³)	Peso Unitario Suelto (gr/cm ³)
Agregado grueso	1,57	1,43
Arena 100%	1,84	1,56
Arena 75% y Arena laterítica 25%	1,77	1,54
Arena 50% y Arena laterítica 50%	1,60	1,40
Arena 25% y Arena laterítica 75%	1,53	1,33
Arena laterítica 100%	1,50	1,29

Para la determinación de la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos y gruesos se siguieron las normas ASTM C127 y AASHTO T85. Los resultados de estas pruebas se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados de los ensayos de la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos

	Densidad Neta, kg/m ³	Densidad Real Seca, kg/m ³	Absorción de Agua, %
Gruesos	2553,80	2672,63	1,74
Arena 100%	2458,15	2344,73	2,15
Arena 75% y Arena laterítica 25%	2553,73	2363,47	3,14
Arena 50% y Arena laterítica 50%	2514,17	2038,55	3,54
Arena 25% y Arena laterítica 75%	2335,00	2120,80	4,33
Arena laterítica 100%	2335,00	2103,60	4,71

El desgaste mediante la Máquina de los Ángeles, ASTM C131, AASHTO T96, mostró una pérdida de masa en la muestra de 22,489 %.

El método establece el procedimiento para determinar la desintegración de los áridos mediante soluciones de sulfato según las normas ASTM C88 y AASHTO T104, mostrando una pérdida corregida de 14,67 %.

La determinación del equivalente de arena se basó en la norma ASTM D2419.

Tabla 4. Determinación de equivalente de arena

Composición	Equivalente, %
Arena 100 %	81,76
Arena 75 % y arena laterítica 25 %	30,32
Arena 50 % y arena laterítica 50 %	14,70
Arena 25 % y arena laterítica 75 %	6,58
Arena laterítica 100%	6,00

Siguiendo la metodología de la ACI, se calcularon las cantidades necesarias para una dosificación H-21 con el fin de realizar los ensayos de compresión y asentamiento.

Tabla 5. Dosificación del hormigón H-21

	Cemento, kg	Agua, l	Finos, kg	Grava, kg
Patrón H-21	292,40	200,00	848,38	1014,22
25% arena	292,40	200,00	879,78	982,82
50 % arena	292,40	200,00	914,32	948,28
75 % arena	292,40	200,00	920,60	942,00
100 % arena	292,40	200,00	860,00	1001,66

Tabla 6. Permeabilidad en las distintas dosificaciones por m²

Dosificación	Permeabilidad, l/min
Hormigón H-21 con 25% de arena laterítica	0,014
Hormigón H-21 con 50% de arena laterítica	0,014
Hormigón H-21 con 75% de arena laterítica	0,016
Hormigón H-21 con 100% de arena laterítica	0,017

Tabla 6. Asentamientos en las distintas dosificaciones

Dosificación	Asentamiento, cm
Hormigón H-21 patrón	7,0
Hormigón H-21 con 25% de arena laterítica	6,0
Hormigón H-21 con 50% de arena laterítica	5,5
Hormigón H-21 con 75% de arena laterítica	5,0
Hormigón H-21 con 100% de arena laterítica	5,0

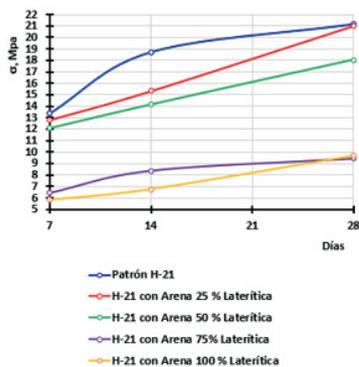


Figura 7. Curvas de resistencia de probetas cilíndricas a compresión contra el tiempo

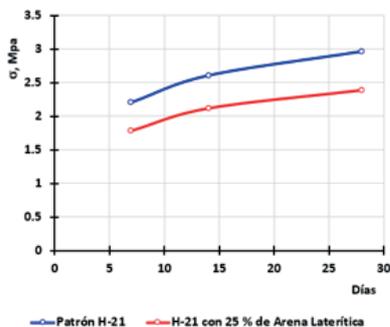


Figura 8. Curvas de resistencia de vigas a flexión contra el tiempo

Para la realización del ensayo de índice de permeabilidad, se utilizó un método basado en una propuesta originalmente presentada en el trabajo de Neithalath et al. (2003), que se basa en un concepto equivalente al de un permeámetro de carga variable (*falling head*).

REFERENCIAS

NORMAS ASTM-AASHTO.
 NORMA BOLIVIANA HORMIGÓN ESTRUCTURAL NB 1225001-1 DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL.
 ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (ABC). (2011). MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES (VOL. VII). BOLIVIA.
 KELLOGG, C.E. 1949. CLIMATE AND SOIL. PP. 265-291. IN: CLIMATE AND MAN. THE YEARBOOK OF AGRICULTURE USDA, U.S. GOVERNMENT. PRINTING OFFICE, WASHINGTON, D.C., USA.

CONCLUSIONES

Se realizó la extracción en el lugar determinado, donde se hizo una verificación visual a lo largo del tramo, donde se establecieron e identificaron las características de este material: el color amarillento de la arena laterítica. Una vez se seleccionó el lugar dónde extraer el material, se realizó la excavación a cielo abierto, a nomas de 1.2 m de profundidad. Posteriormente se cargó el material en bolsas de yute para su respectivo desplazamiento al laboratorio y así poder efectuar los ensayos de caracterización.

Se determinaron las características de los agregados mediante las normas establecidas, cumpliendo todos los parámetros enunciados en la misma. Los ensayos de laboratorio que se llevaron a cabo para determinar las propiedades físico-mecánicas de los agregados fueron fundamentalmente para conocer el comportamiento de estos materiales bajo diferentes aspectos y condiciones.

La determinación del porcentaje de agregado fino laterítico y el diseño de la mezcla del hormigón son pasos claves para la elaboración del hormigón con la adicción de este tipo de agregado. Es importante conocer el porcentaje adecuado de agregado fino laterítico para lograr una mezcla de hormigón con las propiedades deseadas.

Se realizó el diseño de la dosificación mediante la norma ACI para un hormigón H-21 con una resistencia de 210 kg/cm², un asentamiento entre 5-7cm. Se añadió el agregado fino laterítico en porcentajes del 25%, 50%, 75% y 100%.

Se observó que la incorporación del agregado fino laterítico al 100% y 75% no obtuvo una buena respuesta a compresión como para realizar hormigones que puedan ser utilizados en elementos de estructuras que requieran alta resistencia. No obstante, la incorporación del agregado fino laterítico al 50% dio resultados importantes, donde se llega a resistencias de 180 kg/cm² que ya son considerables y pueden llegar a tener varios tipos de uso.

Finalmente, la incorporación del agregado fino laterítico al 25%, llegó a la resistencia esperada de 210 kg/cm², Por este motivo se realizaron distintas dosificaciones de hormigón para que podrían ser utilizadas en pavimentos rígidos, elementos estructurales, etc. Se ejecutaron cinco diferentes dosificaciones, de las cuales una es el hormigón patrón y cuatro cuentan con la incorporación del agregado fino laterítico.

Se realizó el ensayo de permeabilidad que determinó que el hormigón con adición de agregado laterítico no es un hormigón permeable por la presencia de agregados finos, cuyos coeficientes de permeabilidad son muy bajos, casi nulos.

CITA

