

Diseño e implementación de nueve procedimientos técnicos como parte del Sistema de Gestión de Calidad del *LabCIVCO*.



Abstract

This document was developed as part of the Quality Management System of *LabCIVCO*, with the objective of designing and implementing technical procedures for nine tests in the area of aggregates, for each one were prepared an instructional and technical records (physical and digital) based on the international specifications of AASHTO and ASTM respective compliance with the requirements set forth by the Costa Rican Accreditation Entity, due to *LabCIVCO* want to accredit these tests in the near future.

A diagnosis of existing equipment required in each test was made and was evaluated the performance of laboratory staff in the execution of three of them: Loose and Compacted Unit Weight of Coarse Aggregate (AASHTO T-19, ASTM C-29), Specific Gravity and Absorption Coarse and Fine Aggregate (AASHTO T-84, ASTM C-127 and AASHTO T-85, ASTM C-128), and Resistance to Degradation by Abrasion (AASHTO T-96, ASTM C-131). The evaluation was made based on the obtained results of performance tests and the used procedures.

The results indicate the need for standardized procedures through regular training and performance tests in order to ensure the reliability of the results to the general public.

Keywords: Aggregates, testing, performance testing.

Resumen

El presente documento se desarrolló como parte del Sistema de Gestión de Calidad del *LabCIVCO*, con el objetivo de diseñar e implantar procedimientos técnicos para nueve ensayos realizados en el área de agregados, por lo que se elaboró para cada uno de ellos instructivos y registros técnicos (físicos y digitales) basados en las especificaciones de las normas internacionales AASHTO y ASTM correspondientes, respetando los requisitos estipulados por el Ente Costarricense de Acreditación, ya que el *LabCIVCO* desea acreditar dichos ensayos en un futuro cercano.

Se realizó un diagnóstico del equipo existente requerido en cada uno y se evaluó el desempeño del personal del laboratorio en la ejecución de tres de ellos : Peso unitario suelto y compactado de agregado grueso (AASHTO T-19, ASTM C-29), Gravedad específica y absorción de agregado grueso y fino (AASHTO T-84, ASTM C-127 y AASHTO T-85, ASTM C-128), y Resistencia al desgaste por abrasión (AASHTO T-96, ASTM C-131). La evaluación se efectuó con base en los resultados obtenidos de las pruebas de desempeño y los procedimientos utilizados.

Los resultados indican la necesidad de estandarizar los procedimientos por medio de capacitaciones y periódicas pruebas de desempeño, con el fin de asegurar la confiabilidad y continuidad de los resultados de los ensayos o pruebas al público en general.

Palabras clave: Agregados, ensayos, pruebas de desempeño

Diseño e implementación de nueve procedimientos técnicos como parte del Sistema de Gestión de Calidad del *LabCIVCO*

MARÍA SEGURA FERNÁNDEZ

Proyecto de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

SETIEMBRE 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCION

CONTENIDO

Prefacio	1
Resumen Ejecutivo	2
Introducción.....	4
Marco teórico	6
Metodología	12
Resultados	20
Análisis de Resultados.....	78
Conclusiones.....	84
Recomendaciones.	86
Apéndices	86
Referencias.	88

Prefacio

Al iniciarse la promoción del Laboratorio de materiales del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (*LabCIVCO*) como un organismo capaz de prestar sus servicios, no solamente en el ejercicio académico sino de manera remunerada al público en general, se vuelve fundamental para competir a nivel nacional e internacional cumplir con los requerimientos establecidos por parte del Ente Costarricense de Acreditación (ECA), institución fundada a partir de la promulgación de la Ley del Sistema Nacional para la Calidad (SNC) (Ley N° 8279). Esta Ley se creó con el fin de mejorar la competitividad de las empresas nacionales para que sean capaces de brindar servicios de calidad, por lo que el ECA es el organismo encargado de velar por la calidad de los laboratorios de ensayo y calibración inspeccionando el cumplimiento de los estándares requeridos para asegurar un servicio confiable.

Por ello el *LabCIVCO* requiere cumplir los procedimientos indicados en las normas internacionales correspondientes al desarrollo de los ensayos por acreditar, con el objetivo de ampliar el mercado a entes estatales que necesiten los servicios de un laboratorio reconocido y acreditado por el ECA con base en la Norma Internacional INTE-ISO/IEC 17025:2005.

Por lo anterior y por el deseo del *CIVCO* y de la Escuela de Ingeniería en Construcción de ampliar su reconocimiento a nivel nacional como internacional no sólo por la calidad de la enseñanza sino también por los servicios brindados por laboratorio de materiales, se impulsa acreditar los ensayos realizados en diversas áreas referentes a la construcción y así ofrecer un servicio de calidad que brinde resultados confiables y con ello aumentar la venta de servicios tanto a entes estatales como al

público en general. Por ello se necesita asegurar que cada ensayo por realizar se lleve a cabo según la normativa vigente respetando los procedimientos y equipos requeridos, además asegurar que el personal técnico se encuentre capacitado para el desarrollo de dichas pruebas y realice los procedimientos de cada ensayo de forma estandarizada.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar e implantar nueve procedimientos técnicos como parte del Sistema de Gestión de la Calidad (SGC) del *LabCIVCO*, esto busca la mejora y acreditación del laboratorio de materiales. Los ensayos analizados son los siguientes : Gravedad específica del agregado grueso y fino (AASHTO T-84, AASHTO T-85), Resistencia a la abrasión del agregado grueso (AASHTO T-96), Equivalente de arena (AASHTO T-176), Partículas friables (AASHTO T-112), Caras fracturadas (ASTM D-5821), Índice de durabilidad (AASHTO T-210), Sanidad del agregado grueso y fino (AASHTO T-104), Índice de partículas alargadas y chatas (ASTM D-4791) y Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso y fino (AASHTO T-19).

Durante el desarrollo del presente proyecto se contó con la colaboración de los ingenieros Rommel Cuevas, Sergio Fernández y Mauricio Araya, encargados de la gerencia técnica y de calidad, el personal técnico del laboratorio y la supervisión del profesor guía, Ing. Rolando Fournier, Coordinador del Centro de Investigación en Vivienda y Construcción (*CIVCO*). Especialmente agradezco a mi familia, la cual siempre me ha brindado su apoyo y ejemplo de superación

Resumen Ejecutivo

El LabCIVCO, en su proceso de ampliación en la venta de servicios, requiere contar con la acreditación del Ente Costarricense de Acreditación (ECA) para poder participar a nivel nacional e internacional como laboratorio de materiales capaz de ofrecer servicios garantizando la calidad en sus procedimientos y confiabilidad de los resultados, según se estipula en la Ley del Sistema Nacional para la Calidad (SNC) (Ley N° 8279). Por ello necesita diseñar e implantar los procedimientos técnicos como parte de Sistema de Gestión de Calidad.

Como paso del presente trabajo se realizó la documentación técnica y verificación de los equipos existentes de cinco ensayos para agregados ya que los cuatro restantes no contaban con el equipo o requieren de un equipo menor (bandejas, balanzas, espátulas).

La documentación técnica se realizó homologando las normas internacionales AASHTO y ASTM de cada ensayo para crear instructivos y registros técnicos, físicos y digitales. Dichos documentos y hojas de cálculo fueron revisados y mejorados en las capacitaciones brindadas al personal del laboratorio. Las pruebas desarrolladas son las siguientes:

CUADRO 1. ENSAYOS EVALUADOS DENTRO DEL ALCANCE DEL PRESENTE PROYECTO.			
ID	Descripción	Norma o correspondencia técnica	
		AASHTO	ASTM
1	Peso unitario suelto y compactado del agregado	T-19	C-29
2	Resistencia a la abrasión del agregado grueso	T-96	C-131
3	Gravedad específica y absorción		
		• Agregado grueso	T-85
	• Agregado fino	T-84	C-128
4	Sanidad del agregado grueso y fino	T-104	C-88
5	Equivalente de arena	T-176	D-2419
6	Índice de durabilidad	T-210	D-3744
7	Índice de partículas alargadas y chatas	-	D-4791
8	Caras fracturadas	-	D-5821
9	Partículas friables	T-112	C-142

En las capacitaciones se realizaron ajustes y mejoras a los instructivos, tanto en aspectos de forma como de fondo, además se estandarizó la nomenclatura por utilizar en cada ensayo descrito en el cuadro 1.

Las pruebas de desempeño se iniciaron luego del ciclo de capacitaciones para evaluar en tres de los ensayos los procedimientos utilizados, tiempos de ejecución y resultados en cada uno de ellos. Dichos ensayos fueron los siguientes: Peso unitario (suelto y compactado) (ASTM C-29 y AASHTO T-19), Gravedad específica y absorción de agregado grueso y fino (ASTM C-127 y AASHTO T-85/ ASTM C-128 y AASHTO T-84) y Resistencia a la abrasión del agregado (ASTM C-131 y AASHTO T-96).

El laboratorio a la fecha cuenta con tres técnicos, cada uno de ellos realizó el ensayo tres veces con el fin de evaluar los resultados obtenidos por cada uno (repetibilidad) y comparar los resultados respecto al promedio general de todos los valores obtenidos por los tres técnicos (reproductibilidad).

Cada ensayo se ejecutó en un mismo material, con el mismo equipo y en condiciones controladas.

Los resultados obtenidos para cada uno de los ensayos se evaluaron según la metodología basada en la AASHTO Materials Reference Laboratory Sample Program (AMRL) y la norma ASTM C-670. Las calificaciones obtenidas por este método para cada técnico de forma individual fueron altas, a diferencia de las obtenidas en forma general entre técnicos; esto indicó que los procedimientos ejecutados por cada uno de ellos difirieron en algunos aspectos según lo indicado en los instructivos técnicos de cada prueba.

Este tipo de pruebas permitió comparar los métodos y procedimientos utilizados por cada técnico, identificando las causas que inducen a error en la ejecución de los ensayos y los procesos de medición mediante un análisis de causa raíz, además familiariza a los técnicos con las pruebas de aptitud interlaboratoriales por realizar en el futuro con el objetivo de cumplir con lo establecido por el organismo acreditador, estandarizando los procedimientos para asegurar la calidad en el desarrollo de las pruebas y así implantar en el área de agregados del laboratorio el procedimiento de evaluación establecido por el *LabCIVCO* como parte de Sistema de Gestión de

Calidad, con el fin de lograr un control interno de la calidad por parte del laboratorio

Introducción

El interés del *LabCIVCO* por acreditar diversas pruebas de laboratorio se debe al creciente mercado generado a partir de la implantación del Sistema Nacional para la Calidad, Ley 8279, la cual establece en el Artículo 34 que tanto instituciones estatales como privadas deben asegurar la calidad de los materiales utilizados; para ello se requiere conocer, por medio de pruebas de laboratorio, las propiedades y características, para determinar la resistencia y funcionamiento de éstos en las obras constructivas. Por lo tanto, las pruebas se deben realizar en laboratorios de ensayo acreditados por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA), para asegurar resultados confiables.

Para contar con la acreditación y poder competir en el mercado nacional, se requiere implantar los procedimientos técnicos necesarios basados en las normas internacionales para desarrollar los ensayos de manera estandarizada y así asegurar la confiabilidad de los

procedimientos y de los resultados emitidos por laboratorio en general.

Por lo anterior, se ha realizado el diseño de los procedimientos técnicos de nueve ensayos de agregados finos y gruesos, para lograr la implantación y así contribuir en la obtención de la acreditación. De forma similar se han realizado los procedimientos técnicos para ensayos en el área de suelos y morteros de pega para cerámicas en otros proyectos desarrollados por Rommel Cuevas K. y Daniela Zeledón respectivamente.

Objetivo general

Realizar la documentación técnica para cada uno de los nueve ensayos de agregados indicados en el cuadro 1, incluyendo la verificación de equipos y la documentación de desempeño de tres de ellos. Los ensayos evaluados son los siguientes:

CUADRO 1. ENSAYOS EVALUADOS DENTRO DEL ALCANCE DEL PRESENTE PROYECTO.			
ID	Descripción	Norma o correspondencia técnica	
		AASHTO	ASTM
1	Peso unitario suelto y compactado del agregado	T-19	C-29
2	Resistencia a la abrasión del agregado grueso	T-96	C-131
3	Gravedad específica		
	Agregado grueso	T-85	C-127
	Agregado fino	T-84	C-128
4	Sanidad del agregado grueso y fino	T-104	C-88
5	Equivalente de arena	T-176	D-2419
6	Índice de durabilidad	T-210	D-3744
7	Índice de partículas alargadas y chatas	-	D-4791
8	Caras fracturadas	-	D-5821
9	Partículas friables	T-112	C-142

Objetivos específicos

1. Realizar la documentación necesaria para crear un instructivo técnico, el cual se deberá usar como parámetro para la realización de cada uno de los ensayos mencionados en el cuadro 1, basados en las normas internacionales AASHTO y ASTM respectivas.
2. Realizar un diagnóstico del equipo actual y evaluar el desempeño de éste en cada una de las pruebas, los puntos de evaluación serán: ubicación, estado, verificación, calibración (será hecha por personal capacitado).
3. Elaborar una registro técnico en el cual se anoten los datos tomados en el laboratorio y un registro técnico digital (hoja de cálculo) capaz de realizar los cálculos necesarios para la obtención de los resultados en cada prueba.
4. Capacitar al personal tanto en los instructivos técnicos como en la utilización de los registros técnicos y hojas de cálculo desarrolladas para cada ensayo.
5. Realizar la evaluación del desempeño de los técnicos del laboratorio en la realización de cada una de las siguientes pruebas:
 - Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (ASTM C-29 y AASHTO T-19).
 - Resistencia a la abrasión del agregado grueso (ASTM C-131 y AASHTO T-96).
 - Gravedad específica del agregado grueso y fino (ASTM C-127 y AASHTO T-85/ ASTM C-128 y AASHTO T-84).

Marco teórico

Instructivos y registros técnicos

Los instructivos técnicos se desarrollaron de acuerdo con el formato establecido por el documento "Método de ensayo y Validación de Métodos, CIVCO-PT-03", donde se incluyen las secciones estipuladas, las cuales se indican a continuación:

- *Alcance: se presentan los objetivos generales de la prueba.*
- *Documentos de referencia: indica los documentos internos y externos necesarios para elaborar los instructivos y desarrollar cada prueba.*
- *Resumen del método: breve descripción del procedimiento por utilizar en la ejecución del ensayo.*
- *Significado y uso: indica la aplicación práctica del ensayo y de los resultados obtenidos.*
- *Seguridad: establece las medidas de seguridad que se deben considerar durante el desarrollo de cada prueba.*
- *Equipo: indica el equipo requerido en cada prueba con sus respectivas especificaciones y tolerancias.*
- *Procedimiento: es la sección de mayor importancia, establece los pasos por seguir en la preparación de la muestra y durante la ejecución de cada prueba.*
- *Cálculos: se indican las ecuaciones, correlaciones o gráficos requeridos para obtener los resultados.*
- *Reporte: indica los datos y resultados que se deben determinar al finalizar la prueba.*
- *Precisión: presenta los criterios de aceptación del ensayo de acuerdo con parámetros estadísticos.*

Algunos instructivos técnicos incluyen secciones adicionales, como preparación de muestras, reactivos y condiciones ambientales.

Los registros técnicos deben incluir los siguientes apartados según CIVCO-PT-03:

- *Fecha de la ejecución del ensayo.*
- *Nombre del cliente.*
- *Código de muestra.*
- *Tipo y descripción del material.*
- *Código de los equipos de laboratorio y medición por utilizar.*
- *Información adicional: resultados de pruebas complementarias, condiciones ambientales, entre otros.*
- *Cuadros para la anotación de mediciones directas del laboratorio.*
- *Observaciones y técnico responsable de la ejecución de la prueba.*

A continuación se presenta una reseña de los ensayos indicados en el cuadro 1:

Peso unitario suelto y compactado del agregado

(ASTM C-29 y AASHTO T-19).

El valor del peso unitario (correctamente masa por unidad de volumen o densidad) es utilizado frecuentemente en diversos métodos de selección de mezclas de concreto. El peso unitario se puede obtener por medio de tres métodos estipulados según el tamaño del agregado. Para realizar la prueba se necesita una muestra con un volumen 125% o 200% mayor al volumen del recipiente por utilizar, el cual se determina según el tamaño máximo nominal del agregado. Luego de verificar la calibración del recipiente se elige el método de prueba por emplear ya sea compactado (envarillado), por percusión o suelto.

La relación entre el grado de compactación del material en una pila de almacenamiento y el obtenido en esta prueba es desconocida, pues el material apilado presenta humedad interna y superficial diferente a lo

requerido en este ensayo, donde el material debe estar seco.

El peso unitario determinado en esta prueba puede ser seco o saturado superficie seca. Para este último se requiere el valor de gravedad específica y la absorción del agregado.

Por medio de esta prueba se obtiene el porcentaje existente de vacíos en el material según el método de prueba seleccionado.

El instructivo técnico para desarrollar esta prueba se encuentra en el apéndice A.

Resistencia a la abrasión del agregado grueso

(ASTM C -131 y AASHTO T-96).

Esta prueba se utiliza como un indicador de la calidad relativa de los agregados que poseen una composición mineral similar y un tamaño menor a 37,5 mm. Para realizar este ensayo se debe calcular la pérdida de material de la muestra inicial de agregado, obtenida según la graduación de la muestra original, producida por las acciones de abrasión, impacto y molienda provocadas por las esferas de acero y la rotación de la máquina Los Ángeles durante las 500 revoluciones establecidas. El número específico de esferas de acero es determinado según la graduación de la muestra.

Al completarse el número de revoluciones descritas en el procedimiento, se realiza la criba en el tamiz de 1,70 mm (No.12), se lava el material retenido en éste y se seca al horno con el propósito de determinar la diferencia entre la masa de la muestra inicial y la muestra final obtenida después del secado como un porcentaje de pérdida o desgaste sufrido por el agregado durante la prueba.

Un método adicional es determinar la pérdida del material a las 100 revoluciones tamizando en el tamiz de 1,70 mm (No.12) sin realizar el lavado y devolviendo la muestra total (retenido y pasando el tamiz) a la máquina de abrasión para completar las 500 revoluciones. El valor obtenido de pérdida se multiplica por 5 y se compara con la pérdida final después de las 500 revoluciones.

El instructivo técnico para desarrollar esta prueba se encuentra en el apéndice B.

Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino

(ASTM C-127 - AASHTO T-85, ASTM C-128 - AASHTO T-84).

Los valores de la gravedad específica y densidad del agregado, ya sean en condición seca (s), saturada superficie seca (sss) o aparente son utilizados para cálculo del volumen ocupado por el agregado en variadas mezclas como por ejemplo el concreto de cemento Portland, concreto bituminosa y otras mezclas proporcionadas y analizadas en bases absolutas de volumen. Estos resultados son obtenidos a partir de la inmersión de la muestra de agregado en agua durante (24 ± 4) horas; luego se realiza el procedimiento respectivo para obtener las masas de la muestra en condición saturada superficie seca, sumergida y seca.

Por medio de esta prueba se obtiene el porcentaje de absorción, utilizado para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios de los poros dentro de las partículas, comparado con la condición seca del agregado grueso.

Los instructivos técnicos para ejecutar estas pruebas se encuentran en los apéndices C y D.

Equivalente de arena

(ASTM D-2419 y AASHTO T-176).

El propósito de este método de prueba es indicar, en condiciones estándares, las proporciones relativas de partículas arcillosas, finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregados finos que pasen el tamiz de 4,75 mm (No.4). El término "equivalente de arena" expresa el concepto de que la mayoría de los suelos granulares y los agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena y, generalmente partículas indeseables de arcilla o finos plásticos y polvo.

Un volumen determinado de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante se vierten dentro de un cilindro plástico graduado y son agitados para desprender las coberturas arcillosas de las partículas de arena en el espécimen de prueba. Luego el espécimen es "irrigado" utilizando solución floculante adicional forzando al material arcilloso a suspenderse por encima de la arena.

Después de un periodo de sedimentación prescrito, se determina la altura de la arcilla floculada y la altura de arena en el cilindro. El equivalente de arena es la relación entre la altura de arena y la altura de la arcilla multiplicado por cien.

Este método de prueba provee un método de campo rápido para determinar cambios en la calidad de los agregados y mezclas de agregados durante la producción o colocación, por ello se debe especificar un valor para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en el agregado.

El instructivo técnico para desarrollar esta prueba se encuentra en el apéndice F.

Partículas friables en agregados (ASTM C-142 y AASHTO T-112).

Este método de prueba cubre la determinación aproximada de partículas friables en los agregados naturales. El resultado obtenido debe considerarse en la aceptación respecto a especificaciones para mezclas de agregados.

Para realizar esta prueba se debe separar el material en muestras según el tamaño del agregado, luego el material se deja en remojo por un periodo de (24 ± 4) horas. Una vez completado el tiempo de inmersión se trata de romper las partículas en piezas más pequeñas de forma cuidadosa y se realiza un tamizado húmedo en el tamiz respectivo según el tamaño de las partículas que componen la muestra. Se seca el material en el horno y se determina la diferencia entre la masa de la muestra inicial y la masa seca de la muestra retenida en el tamiz designado como un porcentaje de partículas friables.

El instructivo técnico para realizar esta prueba se encuentra en apéndice I.

Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso (ASTM D-5821).

Este método de ensayo cubre la determinación del porcentaje, por masa o por conteo, de partículas fracturadas en una muestra de agregado grueso, la cual cumple con los requisitos especificados. Este porcentaje se

incluye en los requisitos para maximizar la resistencia al corte por aumento de la fricción entre las partículas, dependiente o independientemente de cualquier mezcla de agregados, proporcionar estabilidad para el tratamiento de superficies de agregados, y para brindar una mayor fricción y textura de estos cuando son utilizados en las superficies del pavimento.

Luego de tamizar la muestra, se obtienen las fracciones de material seco para determinar la cantidad de partículas fracturadas según las especificaciones respecto del número de caras fracturadas en la partícula y de la forma para determinar el porcentaje por masa o conteo. La diferencia entre la muestra total y la cantidad de partículas que no cumplen las especificaciones de fractura, brindan el porcentaje de partículas fracturadas en la muestra de agregado grueso.

El instructivo técnico para desarrollar esta prueba se encuentra en el apéndice J.

Índice de durabilidad de los agregados (ASTM D-3744 y AASHTO T-210).

El índice de durabilidad indica la resistencia relativa de los agregados de producir finos dañinos cuando se someten a métodos mecánicos de degradación. Por lo tanto, se debe especificar un valor mínimo de índice de durabilidad para prohibir el uso de agregados en diferentes campos de la construcción, donde sean susceptibles a la degradación.

Según la granulometría original del material, se utiliza alguno de los métodos presentes en Apéndice G para determinar el índice de durabilidad del agregado grueso (Dc) o del agregado fino (Df).

El índice de durabilidad del agregado grueso se calcula a partir de la masa de la muestra ajustada, por ello se requiere determinar la gravedad específica y la absorción del agregado para realizar los ajustes respectivos y continuar con el procedimiento hasta obtener la altura de sedimentación necesaria para el valor de Dc.

El índice de durabilidad del agregado fino se calcula con una muestra de aproximadamente 500 g. Se realiza el procedimiento respectivo para obtener la lectura de arena y de arcilla similar a la prueba de

equivalente de arena, y se determina el valor de D_f.

En el tercer caso, donde el agregado es muy fino para ser probado como agregado grueso o muy grueso para ser probado como fino, se utiliza un procedimiento similar al de agregado fino, pero el cálculo se realiza como agregado grueso a partir de la altura de sedimentación.

El instructivo técnico para efectuar esta prueba se encuentra en el apéndice G.

Sanidad del agregado grueso y fino

(ASTM C-88 y AASHTO T-104).

Este método de prueba cubre los procedimientos de estimación de la sanidad (resistencia a la degradación) de los agregados cuando se encuentran expuestos a la acción del clima en el concreto u otras aplicaciones. Esto se logra mediante la inmersión repetida de la muestra en soluciones saturadas de sulfato de magnesio o sulfato de sodio, seguido por el secado al horno para deshidratar completa o parcialmente las sales precipitadas en los espacios de los poros permeables. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal debido a la reinmersión, simula la expansión del agua al congelarse.

Dado que la precisión de este método de prueba es pobre, puede no ser suficiente para rechazar agregados sin la confirmación de otros ensayos mucho más relacionados con el servicio específico deseado.

Los valores permitidos para el porcentaje de pérdida por este método de prueba son usualmente diferentes para agregados finos y gruesos y se debe considerar el hecho de que los resultados del ensayo mediante el uso de las dos sales difiere considerablemente, y ha de tenerse el cuidado necesario al establecer los límites adecuados en cualquier especificación que incluya requerimientos de esta prueba

Para partículas de tamaño mayor a 19,00 mm se debe realizar una evaluación cualitativa con el fin de determinar el porcentaje de partículas afectadas por diversas acciones causadas por la reinmersión en las soluciones.

Los procedimientos y reactivos de las soluciones se encuentran en el instructivo técnico del apéndice E.

Porcentajes de partículas chatas y alargadas

(ASTM C-88 y AASHTO T-104)

Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de partículas chatas, alargadas o partículas chatas y alargadas del agregado grueso.

Para ubicar cada partícula en uno de los grupos se debe ensayar cada una de ellas, ya sean chatas según relación ancho/espesor, alargadas según relación longitud/ancho y chata y alargada según su relación longitud/espesor.

Para realizar esta prueba se requiere de un dispositivo de calibración proporcional, en el cual se pueden realizar las mediciones con las relaciones deseadas, según cada tipo de partícula.

Una vez que se han clasificado las partículas, se determina el porcentaje de cada una respecto de la muestra de prueba.

Las especificaciones del equipo y del procedimiento requerido se encuentran descritas en el instructivo técnico en el apéndice H.

Ensayo de aptitud

Los ensayos de aptitud se evalúan según lo propuesto en la metodología basada en la AASHTO Materials Reference Laboratory Sample Program (AMRL) y la norma ASTM C -670. Estas permiten realizar evaluaciones internas y externas de laboratorios. Se siguió esta metodología para realizar una evaluación del laboratorio de materiales del CIVCO en tres de los ensayos indicados en el cuadro 1, con el fin de evaluar los resultados obtenidos para un mismo material en condiciones controladas y con el mismo equipo.

El objetivo primordial de esta evaluación de desempeño realizada a cada uno de los técnicos que laboran en el laboratorio es determinar las posibles causas que provoquen diferencias en los resultados obtenidos y así lograr corregir dichas fallas, ya sea en la forma de ejecución, procedimiento, cálculos, equipo o condiciones del laboratorio y así asegurar una estandarización de los procedimientos y garantizar confiabilidad en los resultados.

Para realizar esta evaluación se requiere que cada técnico realice cada ensayo tres veces en condiciones controladas con el fin de comparar los resultados obtenidos (repetibilidad del técnico), de igual forma se comparan los resultados obtenidos por cada uno en un mismo ensayo en condiciones similares (reproducibilidad entre técnicos).

Para efectuar la evaluación mencionada se necesita una serie de valores logrados a partir de los resultados finales de cada ensayo. Dichos valores son los siguientes:

- Promedio aritmético de los resultados de cada serie de ensayos y el general de las tres series, para determinar el valor central de los resultados obtenidos en cada caso.
- Desviación estándar (1s): indica la variabilidad de cada resultado respecto del valor promedio de un conjunto de resultados, con el fin de indicar la precisión del experimentador.
- Coeficiente de Variación (1s%): es el resultado de la división de la desviación estándar (1s) entre el promedio de los resultados obtenidos, expresado como porcentaje.
- Diferencia entre los dos límites sigma (d2s), indica la diferencia máxima aceptable entre dos resultados.
- Diferencia entre los dos límites sigma por ciento (d2s%), es el resultado de la multiplicación del Coeficiente de Variación (1s%) por el factor $2\sqrt{2}$, para dos resultados obtenidos.

Una vez alcanzados los valores anteriores, se realiza una calificación de los técnicos según los resultados obtenidos en cada conjunto de ensayos (repetibilidad) y los resultados obtenidos entre ellos (reproducibilidad). Para realizar la evaluación se requiere calcular un valor Z. En función de este valor se designará una calificación del resultado obtenido por técnico (reproducibilidad) o por ensayo (repetibilidad) en una escala de 1 a 5. La determinación del valor Z se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$Z = (x_i - X_{total}) / (S_{total}) \quad (1)$$

Donde:

Z = Indicador del número de desviaciones estándar desde el valor de la media aritmética en términos absolutos.

x_i = Media aritmética del ensayo en estudio* (en este caso resultado obtenido por ensayo).

X_{total} = Valor de la media aritmética del total de los datos de la prueba.

S_{total} = Desviación estándar total del ejercicio.

El valor Z puede ser positivo o negativo, esto depende de si la desviación estándar se encuentra encima o debajo del valor promedio respectivamente por eso se considera el valor absoluto, por lo tanto cuán mayor sea el valor de Z menor será la calificación obtenida como se presenta en el siguiente cuadro:

CUADRO 2. CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DE PRUEBAS DE APTITUD	
Calificación	Valor de Z
5	Menor o igual que 1
4	1,5
3	2,0
2	2,5
1	3,0
0	3,5

Si las calificaciones obtenidas son bajas se debe analizar las posibles causas mediante un análisis de causa-raíz, corregir y evaluar los procedimientos, además de capacitar al personal en los ensayos que lo requieran con el fin de lograr estandarizar los procedimientos y asegurar la confiabilidad de los resultados. Por lo tanto este tipo de evaluaciones se deben hacer de forma periódica para controlar la calidad de las metodologías empleadas y de los resultados obtenidos.

Sistema Nacional para la Calidad, Ley 8279.

La Ley 8279 fue publicada en La Gaceta el 21 de mayo del 2002. En ella se establece el Sistema Nacional para la Calidad (SNC) con el fin de ofrecer, según el Artículo 3: "...un marco estable e integral de confianza que, por medio del

fomento de la calidad en la producción y comercialización de bienes y la prestación de servicios, propicie el mejoramiento de la competitividad de las actividades productivas, contribuya a elevar el grado de bienestar general y facilite el cumplimiento efectivo de los compromisos comerciales internacionales suscritos por Costa Rica.”

Con esta ley se crean el Consejo Nacional para la Calidad (CON4AC), el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET), el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) y el Órgano de Reglamentación Técnica (ORT).

Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

La misión del ECA es respaldar la competencia técnica y credibilidad de los entes acreditados, para garantizar la confianza del Sistema Nacional de la Calidad; además asegurar que los servicios ofrecidos por los entes acreditados mantengan la calidad con la cual fue reconocida la competencia técnica, así como promover y estimular la cooperación entre ellos (Ley 8279). El ECA es el único ente encargado de realizar la acreditación de laboratorios de ensayo y calibración, entes de inspección y control, entes de certificación y otros afines, en Costa Rica

Norma INTE: ISO/IEC 17025:2005

Esta norma internacional establece los requisitos generales para la competencia en la realización de ensayos o de calibraciones; es aplicable a todos los laboratorios independientemente de la cantidad de empleados o de la extensión del alcance de las actividades de ensayo. Se debe utilizar cuando los laboratorios desarrollan los sistemas de gestión para sus actividades de la calidad, administrativas y técnicas (INTE: ISO/IEC 17025:2005).

En esta norma se determinan los requerimientos para la calibración de equipos, aseguramiento de la calidad de los resultados de ensayo, y demás temas que debe cumplir el laboratorio para lograr la acreditación.

Metodología

Esta práctica profesional se desarrolló en el Laboratorio de materiales del CIVCO, así como la evaluación de los equipos, preparación de muestras y pruebas de desempeño. La metodología utilizada para desarrollar cada objetivo del presente proyecto se analiza en los siguientes párrafos.

Instructivos técnicos

Para elaborar los instructivos técnicos de cada ensayo indicado en el cuadro 1, se requirió recopilar y traducir las normas internacionales AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y ASTM (American Society for Testing and Materials) estipuladas para cada una de las pruebas, además se analizaron los requerimientos de la Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005. Una vez realizado lo anterior, se inició la comparación del material obtenido y los procedimientos facilitados por el Ing. Sergio Fernández para algunas pruebas, los cuales carecían del formato y secciones establecidas por el *LabCIVCO* en el documento “Método de ensayo y Validación de Métodos, CIVCO-PT-03” para instructivos técnicos. Además, se omitían aspectos que las normas internacionales contemplan, por ello se procedió a elaborar los nuevos instructivos técnicos basándose en la documentación suministrada y las Normas AASHTO y ASTM respectivas.

Los instructivos técnicos realizados determinan los procedimientos, equipos y cálculos necesarios para la correcta ejecución de los ensayos mediante la homogenización de las normas, con el propósito de estandarizar los procedimientos en cada prueba para lograr la acreditación del laboratorio en los ensayos mencionados en el cuadro 1, como lo establece el Ente Costarricense de Acreditación (ECA).

Esta etapa demandó la mayor cantidad de tiempo, ya que previo al inicio de las capacitaciones del personal técnico del laboratorio se realizó una revisión de los instructivos por parte del Ing. Rommel Cuevas. En dichas revisiones se corrigieron aspectos de forma y ciertas divergencias existentes entre las normas respecto de un mismo ensayo.

Registros técnicos

Los registros técnicos físicos se realizaron para ser utilizados durante la ejecución del ensayo en el laboratorio para la toma de datos, basados en los instructivos técnicos y las secciones establecidas en el documento “Método de ensayo y Validación de Métodos, CIVCO-PT-03”.

Los registros deben incluir espacios para introducir los valores necesarios indicados en los instructivos técnicos en el orden respectivo según lo establecen los procedimientos, para facilitar la toma de datos en cada ensayo. El formato utilizado debe ser similar o igual al de los registros digitales y contar con un espacio para anotar observaciones.

Cada ensayo indicado en el cuadro 1 cuenta con un registro técnico.

Registros técnicos en formato electrónico

Los registros técnicos en formato electrónico se realizaron en hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel.

Cada registro se basa en el instructivo técnico respectivo, con el propósito de realizar los cálculos necesarios para obtener los resultados y los valores requeridos en el reporte final de cada prueba.

En estos registros se debe incluir la información obtenida en el laboratorio al realizar las pruebas, con ello agilizar el proceso de obtención de resultados y evitar errores de cálculo. Dichos registros poseen lo especificado en el documento "Método de ensayo y Validación de Métodos, CIVCO-PT-03":

Todos los ensayos indicados en el cuadro 1 cuentan con registro técnico en formato digital, ya que en todos ellos se requiere realizar cálculos para obtener el resultado final.

Los instructivos técnicos y sus respectivos registros no cuentan con la codificación utilizada en el *LabCIVCO*, ésta la debe realizar el Gerente Técnico, por eso solo se indica el formato correspondiente de CIVCO IT-00 o CIVCO RT-00.

Diagnóstico de equipos

La evaluación de los equipos se realizó por medio de inspección visual y cuantitativa según las especificaciones establecidas en los instructivos. El equipo requerido en cada ensayo es diferente, y cada instructivo indica las dimensiones y cualidades de éstos, además de otros materiales o soluciones químicas necesarias para realizar las pruebas.

El equipo de uso común en las pruebas como lo son hornos, tamices (ver figura 1) y balanzas fue separado como equipo de acreditación por el laboratorio previo al desarrollo de esta evaluación. Por lo tanto se cuenta con la calibración de algunas balanzas y la verificación de los tamices, ya que el *LabCIVCO* realizó esta verificación y solicitó a la Escuela de Física del ITCR la calibración del equipo de medición en un futuro cercano como colaboración, a pesar de no ser un organismo verificador acreditado.



Figura 1. Tamices para análisis granulométrico. Equipo de acreditación.

A continuación se describe la metodología de valoración del equipo existente para cada uno de los ensayos por evaluar indicados en el cuadro 1:

Peso unitario suelto y compactado del agregado

Para esta prueba se verificó, según el instructivo técnico, los recipientes existentes en el laboratorio para establecer su volumen (ver figura 2). Esta verificación se hizo determinando la masa del recipiente vacío y el recipiente lleno de agua con una pieza de vidrio en la parte superior, además se especificó la temperatura del agua en el momento de determinar la masa



Figura 2. Recipientes para prueba de peso unitario.

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Para la prueba de gravedad específica y absorción de agregado grueso se realizó un diagnóstico de las canastas para la inmersión de las muestra. Actualmente se cuenta una mesa donde se puede realizar la inmersión y determinación de masas con una mayor certeza (ver figura 3), este equipo resulta útil ya que facilita la toma de datos y se utiliza para la venta de servicios y el proceso de acreditación.



Figura 3. Mesa para prueba de gravedad específica de agregado grueso.

Gravedad específica y absorción del agregado fino

En este caso el equipo se verificó de dos maneras:

Para los moldes (cono truncado) se realizó la verificación por el método tomando medidas de los diámetros superior e inferior, altura y espesor para cada uno de ellos, de igual manera se tomaron las medidas de dimensión y masa de los apisonadores para verificar el cumplimiento con los requerimientos estipulados en el instructivo técnico (Apéndice D).(Ver figura 4).



Figura 4. Moldes y apisonadores para prueba de gravedad específica en agregado fino.

Para los picnómetros se determinó la masa de cada uno de ellos tanto vacíos y como llenos de agua hasta la marca de calibración (ver figura 5), con estos valores y la temperatura del agua dentro del picnómetro en el momento de determinar la masa, se calculó el volumen para verificar su capacidad.



Figura 5. Verificación de picnómetros.

Resistencia a la abrasión del agregado grueso

Se realizó la verificación de la máquina Los Ángeles por medio de la toma de mediciones con cinta métrica del diámetro y longitud internos, espesor de metal, longitud y grosor de la lámina interna; las dimensiones obtenidas fueron comparadas con las especificadas en el instructivo técnico respectivo y para cada una de las esferas de acero (carga) se tomaron medidas

de diámetro y masa para determinar si se encuentran dentro de los rangos estipulados por las normas. (Ver figura 6)

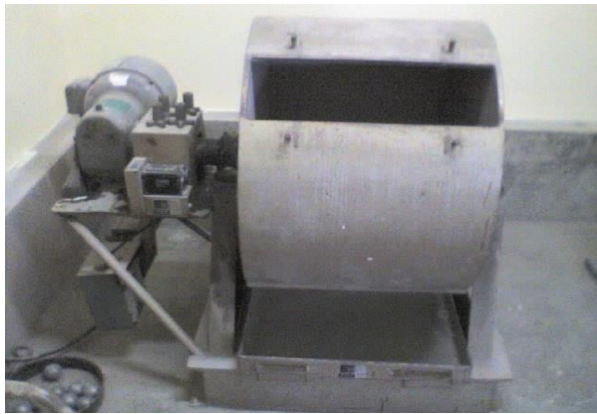


Figura 6. Máquina de abrasión.

Como complemento para facilitar los cálculos de verificación de equipos, se diseñaron hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel basadas en el formato de los archivos existentes en el LabCIVCO (ver figura 7). Las pruebas que poseen hojas de verificación son: Peso unitario, Gravedad específica de agregado fino y Resistencia a la abrasión, en las cuales se hace la evaluación de equipos mediante la introducción de las dimensiones indicadas en cada apartado, los resultados obtenidos son comparados con los valores especificados en cada ensayo, incluyendo lo respectivo a incertidumbres causadas por los aparatos de medición utilizados, estos archivos se encuentran apéndice M.

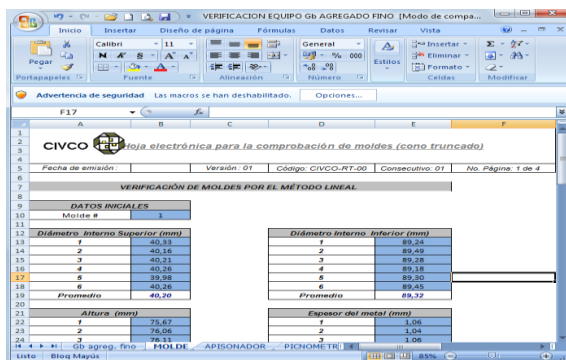


Figura 7. Hoja de cálculo para verificación de equipo.

Sanidad en el agregado grueso y fino

Para este ensayo se cuenta con hidrómetros nuevos y el equipo básico para la prueba. Por seguridad y costo se utiliza sulfato de magnesio como solución para la inmersión de las muestras.

Equivalente de arena

Para la prueba se realizó una inspección visual de los dos juegos de equipo existentes en el laboratorio (ver figura 8), en uno de ellos los tapones y mangueras se encuentran en mal estado (ver figura 9). En el caso de las pesas su masa fue determinada y en ambos casos cumplen lo especificado en el instructivo técnico (Apéndice F).



Figura 8. Equipo de prueba Equivalente de arena



Figura 9. Equipo menor de prueba Equivalente de arena.

Este equipo se encuentra en la sección de suelos, y no hay un área específica para desarrollar la prueba.

Índice de durabilidad

En el caso del equipo necesario para el ensayo del índice de durabilidad del agregado grueso no se encuentra disponible, pues el laboratorio no ha realizado esta prueba hasta la fecha, por ello no cuentan con el recipiente de lavado mecánico y el agitador de tamices Tyler no se encuentra en buenas condiciones.

Índice de partículas chatas, alargadas y partículas chatas y alargadas

El equipo requerido para realizar este ensayo aún no se tiene en el laboratorio pero se encuentra en proceso de compra, así en un futuro cercano se contará con el dispositivo de calibración proporcional para realizar la prueba, actualmente se ha hecho midiendo con un pie de rey.

Porcentaje partículas friables y Porcentaje de caras fracturadas

En el caso de estos ensayos se requiere equipo menor como bandejas, espátulas y contenedores, este equipo por ser de uso cotidiano en los cursos impartidos para los estudiantes y para la venta de servicios se encuentra a simple vista desgastado y con presencia de oxidación. (Ver figura 10).

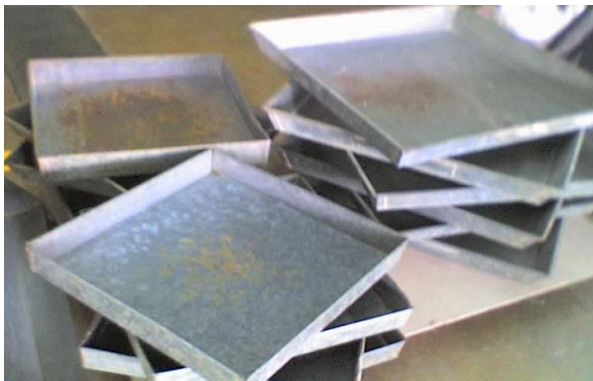


Figura 10. Bandejas de metal.

Capacitación de personal.

Al concluir de manera preliminar los instructivos técnicos y sus respectivos registros técnicos físicos y digitales y contar con la aprobación previa del Ing. Rommel Cuevas, se inició el proceso de capacitaciones del personal técnico y asistentes del *LabCIVCO* por medio de exposiciones magistrales, en las cuales se entregó el documento impreso a cada uno de los asistentes con el fin de que realizaran cualquier apunte o comentario que permitiera la mejora de cada instructivo. Luego de la lectura de cada documento se mostraron los registros técnicos respectivos, además se aplicó la revisión de éstos por parte de los ingenieros Sergio Fernández y Rommel Cuevas durante la presentación.

El ciclo de capacitaciones se realizó en dos sesiones de aproximadamente cuatro horas, en las cuales se logró unificar la nomenclatura por utilizar, actualizar al personal sobre la estandarización de los procedimientos y capacitarlos en el uso de los registros físicos y digitales.

Pruebas de desempeño.

Finalizada la etapa de capacitación del personal del laboratorio, se procedió a realizar las pruebas de desempeño en tres de los ensayos escogidos por la gerencia del *LabCIVCO* considerando estas pruebas de agregados como las de mayor urgencia por acreditar en esta área. Estos ensayos son:

- Peso unitario del agregado grueso
- Gravedad específica y absorción del agregado grueso y fino.
- Resistencia a la abrasión.

En esta etapa se practicaron para cada prueba, tres ensayos por técnico con un mismo material y condiciones similares. Los resultados de cada ensayo fueron evaluados para cada técnico (repetibilidad) y entre ellos (reproductibilidad), con el fin de realizar una evaluación respecto de los procedimientos utilizados, si éstos fueron los establecidos en los instructivos técnicos, utilización de los registros técnicos y tiempos de ejecución para cada

prueba (no incluyen la preparación de la muestra).

Los resultados alcanzados en cada ensayo se evaluaron por el método AMRL (AASHTO Materials Reference Laboratory Sample Program) expuesto en la sección de marco teórico, donde se calcula un valor Z según el promedio y desviación estándar de los resultados obtenidos. Según este valor, se asigna una calificación, ya sea por ensayo o por técnico.

Los instructivos técnicos desarrollados presentan en la sección de precisión valores máximos de desviación estándar y rangos máximos de aceptación para los valores obtenidos por un solo técnico y varios técnicos. Dichos valores se compararon con desviación estándar calculada para los resultados obtenidos por un solo técnico y la determinada de forma general para los resultados de los tres técnicos. Además, los rangos de aceptación establecidos (diferencias máximas permitidas entre dos resultados) fueron comparados con las diferencias obtenidos entre resultados, es decir, ensayo 1 respecto del ensayo 2; ensayo 1 respecto del ensayo 3;.... Dicha comparación se realizó por ensayo y por técnico, en este último en el caso de cada técnico se evalúa como un laboratorio de la siguiente manera: ensayo 1–técnico 1 respecto del ensayo 1–técnico 2,...., etc.

Las calificaciones y comparaciones mencionadas se realizaron en hojas de cálculo en el programa Microsoft Excel.

Ejecución de pruebas

Peso unitario

Para la prueba se preparó una muestra de aproximadamente 40 kg de material para cada ensayo, los técnicos aplicaron el procedimiento de compactación con varilla y el método suelto. (Ver figura 11).

El equipo utilizado fue el siguiente: recipiente de 0,014 m³ y balanza granataria con capacidad de 50 kg y una resolución de ± 250 g. (Ver figura 12)



Figura 11. Ejecución de método compactado con varilla.



Figura 12. Determinación de la masa del recipiente mas el material.

Resistencia a la abrasión

Para la prueba se realizó la preparación de la muestra, los técnicos desarrollaron la prueba a partir de la determinación exacta de las masas de muestras para colocarlas junto con las esferas de acero en la máquina Los Ángeles, para luego tamizar y lavar el material. (Ver figuras 13 y 14)

El equipo utilizado es el siguiente: balanza digital ($\pm 0,01$ g), esferas de acero (diámetros de 46 mm a 47,6 mm), máquina Los Ángeles, tamiz de 1,70 mm (No 12) y horno a temperatura de (110 ± 5) °C.



Figura 13. Esferas de acero.



Figura 15. Eliminación del exceso de agua para lograr la condición saturada superficie seca.



Figura 14. Lavado del material extraído de la máquina Los Ángeles.



Figura 16. Determinación de la masa sumergida del material.

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Para la prueba cada muestra ensayada fue lavada y sumergida en agua el tiempo requerido, por ello la prueba de desempeño inicio en el momento que se decantó el agua de inmersión de la muestra para el secado de las partículas y el pesaje de la muestra sumergida en agua. (Ver figuras 15 y 16).

La balanza de la mesa de gravedad específica mencionada anteriormente se encontraba en reparación por lo que la prueba se realizó con el siguiente equipo: balanza granataria (± 1 g), recipiente con agua, canastas de inmersión y horno a temperatura de (110 ± 5) °C.

Gravedad específica y absorción del agregado fino

Para la ejecución de la prueba de desempeño se brindaron a los técnicos los registros técnicos y las muestras preparadas inmersas en agua por el periodo requerido, por lo tanto, se evaluó a partir del secado de las partículas de arena. (Ver figuras 17,18 y 19).

Para desarrollar la prueba se utilizó el siguiente equipo: una plantilla eléctrica, molde (cono truncado), apisonador, picnómetro, bomba de vacío, balanza digital ($\pm 0,01$ g), termómetro ($\pm 0,1$ °C), bandejas, pieza de vidrio, cucharas y horno a temperatura de (110 ± 5) °C.



Figura 17. Secado de partículas de arena para alcanzar la condición saturada superficie seca.



Figura 18. Prueba de humedad en la superficie (prueba del cono).



Figura 19. Determinación de masa del picnómetro con la muestra y agua hasta la marca de calibración.

Resultados

Instructivos técnicos.

Los instructivos técnicos desarrollados se encuentran en los apéndices de la A hasta la J, los cuales incluyen todas las secciones indicadas en el marco teórico, respetando los procedimientos y requerimientos de las normas internacionales ASTM, AASHTO e INTE: ISO/IEC 17025:2005.

Registros técnicos.

Cada ensayo mencionado en el cuadro 1 posee, además de su respectivo instructivo técnico un registro físico y un registro digital, ambos basados en lo indicado en dichos instructivos, con el fin de facilitar las labores de toma de datos y obtención de resultados para los encargados del laboratorio.

Estos registros se encuentran en el apéndice K.

Capacitación del personal

El periodo de capacitaciones permitió establecer la nomenclatura por utilizar de forma homogénea en cada ensayo, además de realizarse diversas mejoras a los instructivos técnicos presentados, por eso se efectúan los cambios indicados para obtener documentos finales basados en las normas internacionales que incluyen aportes tanto de los técnicos como de los ingenieros encargados en el laboratorio. Así se obtuvo la revisión y aprobación de los instructivos.

Evaluación de equipos.

Para cada ensayo por analizar se realizó una evaluación del equipo. Por lo tanto, se determinó

que ensayos cuentan con el equipo necesario para realizar el procedimiento correcto y asegurar la calidad de los resultados. En algunos casos no se tiene el equipo necesario, como lo es la prueba del Índice de durabilidad de agregado, o este se encuentra en mal estado ya que ciertos ensayos desarrollados en este proyecto no se practican habitualmente en el laboratorio, por ello no se ha dado el mantenimiento adecuado al equipo existente.

En el apéndice M se encuentran hojas de cálculo para la verificación de equipo de tres pruebas: Peso unitario, Resistencia a la abrasión y Gravedad específica de agregado fino. Además se muestran las especificaciones dimensionales y de precisión para los equipos especificados en cada uno de los ensayos, con el objetivo de determinar que pruebas presentan la capacidad de realizarse de una manera confiable y segura.

En cuanto a precisión, el laboratorio aún no ha implantado los procedimientos existentes para el equipo utilizado en las pruebas de desempeño. Además por la antigüedad de éstos no se cuenta con registros de verificación y calibración; por lo tanto algunas celdas referentes a la incertidumbre propia del equipo de medición deben dejarse en blanco.

Pruebas de desempeño.

Cada prueba de desempeño realizada fue evaluada como se indica a continuación; considerando tiempos de ejecución, valores determinados durante la ejecución de la prueba y los resultados finales obtenidos en cada ensayo.

Cada técnico realizó tres pruebas con muestras del mismo material para evaluar tanto la ejecución como los resultados. Los tres técnicos que desarrollaron las pruebas se denominaron:

- Técnico 1: Juan Carlos Coto
- Técnico 2: Eduardo Arce
- Técnico 3: Heiner Navarro

Se inició esta etapa del proyecto con la prueba de peso unitario determinado por dos métodos: compactado con varilla y suelto.

La segunda prueba evaluada es la resistencia a la abrasión, en este caso se realizó el análisis del tamizado y lavado después de las 500 revoluciones en la Máquina Los Ángeles, además del porcentaje obtenido de desgaste del agregado. El tiempo de ejecución determinado incluyó los 17 minutos aproximados en que la máquina realiza las 500 revoluciones.

La prueba de gravedad específica y absorción se subdividió en dos partes, primero se ensayó el agregado grueso y luego el agregado fino, ya que para cada uno de ellos se realizan diferentes procedimientos

Los tiempos de ejecución para el ensayo de peso unitario por el método compactado con varilla y suelto, se muestran en los siguientes cuadros (2 al 10) basados en el formato desarrollado en el proyecto de graduación del Ing. Rommel Cuevas K. :

TIEMPOS DE EJECUCION

Prueba de Peso unitario

Peso unitario
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 2.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 1	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1	1	25	00:47	00:56	02:49	10:00
	2	25	00:49			
	3	25	01:13			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 1	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss					TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1	07:37					08:00
DURACIÓN TOTAL						18:00

Peso unitario
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 3. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 1	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1	1	25	00:46	00:59	02:57	06:00
	2	25	00:52			
	3	25	01:19			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 1			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1			06:42			10:00
					DURACIÓN TOTAL	16:00

Peso unitario
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 4. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 1	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1	1	25	00:52	00:59	02:58	07:00
	2	25	00:45			
	3	25	01:21			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 1			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 1			07:26			08:00
					DURACIÓN TOTAL	15:00

Peso unitario
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 5. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 2	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4	1	25	01:10	01:00	03:00	08:00
	2	25	00:40			
	3	25	01:10			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 2			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4			04:44			06:00
					DURACIÓN TOTAL	14:00

Peso unitario
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 6. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 2	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4	1	25	00:34	00:53	02:40	06:00
	2	25	00:54			
	3	25	01:12			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 2			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4			03:10			05:00
					DURACIÓN TOTAL	11:00

Peso unitario
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 7. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 2	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4	1	25	00:32	00:41	02:05	05:00
	2	25	00:31			
	3	25	01:02			
MÉTODO SUELTO						
TÉCNICO 2			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 4			05:37			06:00
					DURACIÓN TOTAL	11:00

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 8. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 3	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 5	1	25	00:25	00:44	02:13	06:00
	2	25	00:43			
	3	25	01:05			
METODO SUELTO						
TÉCNICO 3			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 5			04:20			11:00
					DURACIÓN TOTAL	17:00

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 9. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 3	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 5	1	25	00:35	00:48	02:24	08:00
	2	25	00:44			
	3	25	01:05			
METODO SUELTO						
TÉCNICO 3			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 5			05:15			08:00
					DURACIÓN TOTAL	16:00

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 10. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3						
MÉTODO COMPACTADO (ENVARILLADO)						
TÉCNICO 3	# CAPAS	# GOLPES	TIEMPO/CAPA mm:ss	PROM/CAPA mm:ss	TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss	TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE 5	1	25	00:46	00:51	02:33	07:00
	2	25	00:37			
	3	25	01:10			
METODO SUELTO						
TÉCNICO 3			TIEMPO TOTAL/RECIPIENTE mm:ss			TIEMPO TOTAL
RECIPIENTE			03:04			09:00
					DURACIÓN TOTAL	16:00

Resumen de tiempos totales de ejecución para cada prueba de peso unitario realizando los dos métodos:

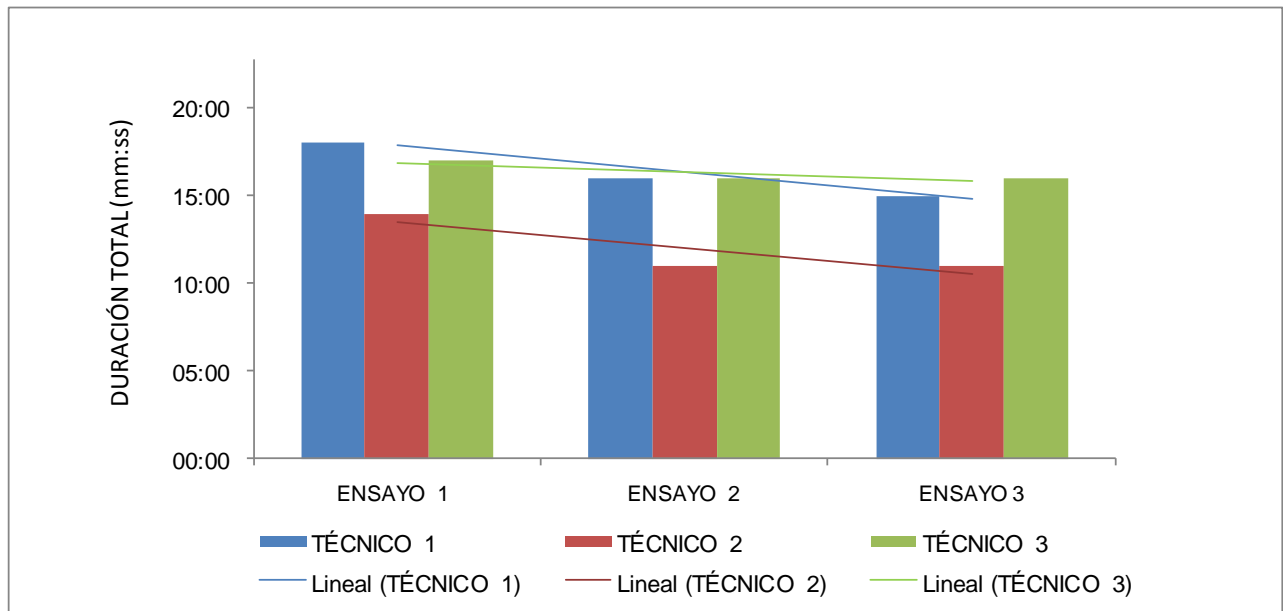


Figura 20. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de peso unitario.

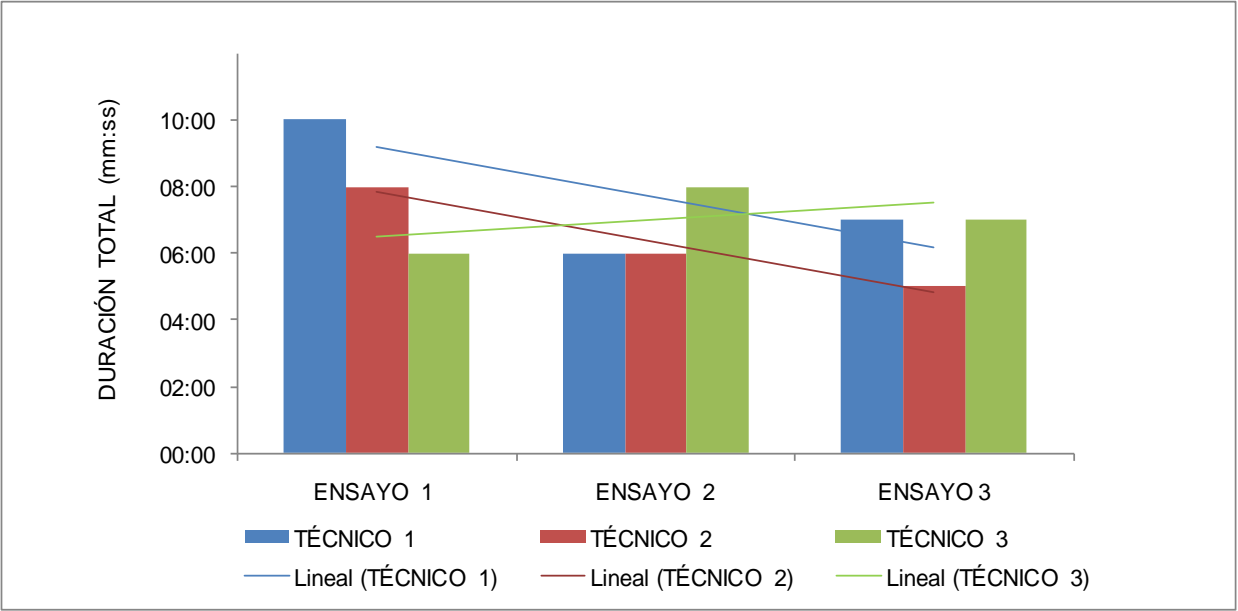


Figura 21. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de peso unitario utilizando el método compactado con varilla.

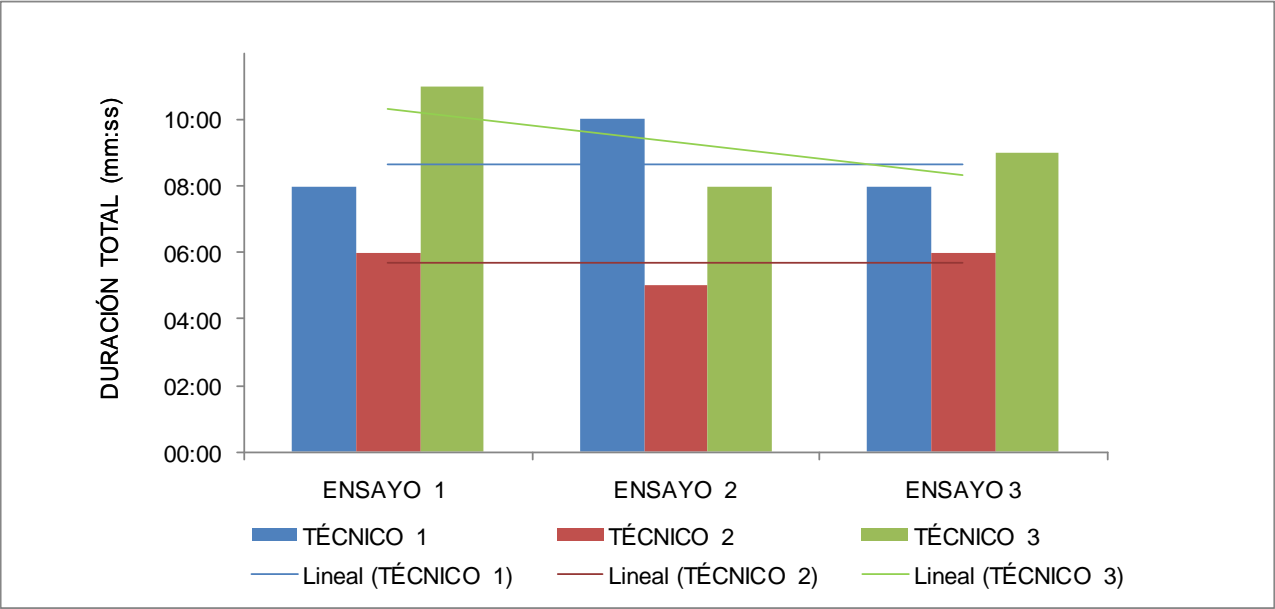


Figura 22. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de peso unitario utilizando el método suelto.

En el siguiente cuadro se muestra la duración promedio de cada técnico en la ejecución de las tres pruebas.

CUADRO 11. DURACIÓN PROMEDIO	
TÉCNICO	DURACIÓN PROMEDIO mm:ss
1	16:20
2	12:00
3	16:20
GENERAL	14:53

Prueba Resistencia a la abrasión

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 12. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
TÉCNICO 1	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	10:05	12:05	48:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 13. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
TÉCNICO 1	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	08:20	09:30	45:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 14. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
TÉCNICO 1	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	08:45	08:05	50:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 15.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
TÉCNICO 2	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	07:02	05:35	40:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 16.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
TÉCNICO 2	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	11:15	05:50	55:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 17.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
TÉCNICO 2	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	09:15	04:07	45:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 18.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
TÉCNICO 3	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	20:37	06:38	55:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 19.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
TÉCNICO 3	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	18:04	09:42	57:00

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 20. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
TÉCNICO 3	TIEMPO TAMIZADO mm:ss	TIEMPO DE LAVADO mm:ss	TIEMPO TOTAL
	18:23	10:02	59:00

Resumen de tiempo total para la ejecución de la prueba de Resistencia a la abrasión:

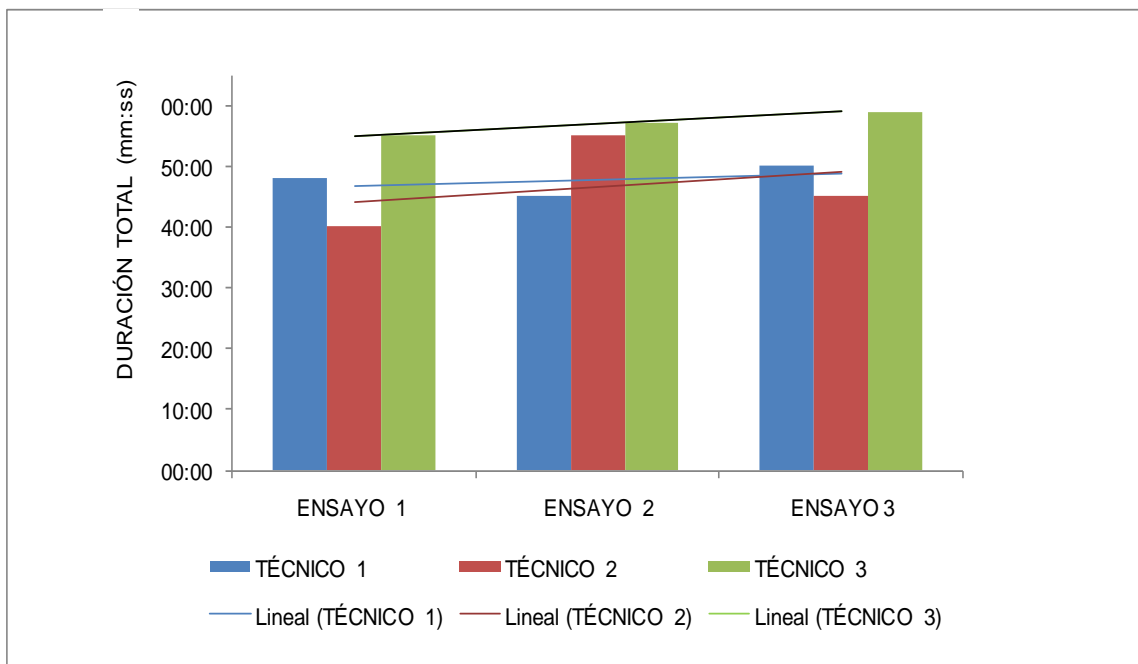


Figura 23. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de Resistencia a la abrasión.

En el siguiente cuadro se muestra la duración promedio de cada técnico en la ejecución de las tres pruebas.

CUADRO 21. DURACIÓN PROMEDIO	
TÉCNICO	DURACIÓN PROMEDIO mm:ss
1	47:40
2	46:40
3	57:00
GENERAL	50:27

Gravedad específica y absorción del agregado grueso

Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 22.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:09	15:10	30:00

Gb agregado grueso.
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 23.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:15	13:48	27:00

Gb agregado grueso.
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 24.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:05	16:10	30:00

Gb agregado grueso.
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 25.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
01:30	07:45	32:00

Gb agregado grueso.
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 26.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
01:50	06:40	23:00

Gb agregado grueso.
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 27.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
01:55	06:30	24:00

Gb agregado grueso.
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 28.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:20	12:50	34:00

Gb agregado grueso.
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 29.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:45	12:50	26:00

Gb agregado grueso.
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 30.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3		
PESAJE	SECADO DE PARTÍCULAS mm:ss	TIEMPO TOTAL
02:10	16:05	30:00

Resumen de los tiempos totales para la ejecución de la prueba de gravedad específica y absorción del agregado grueso.

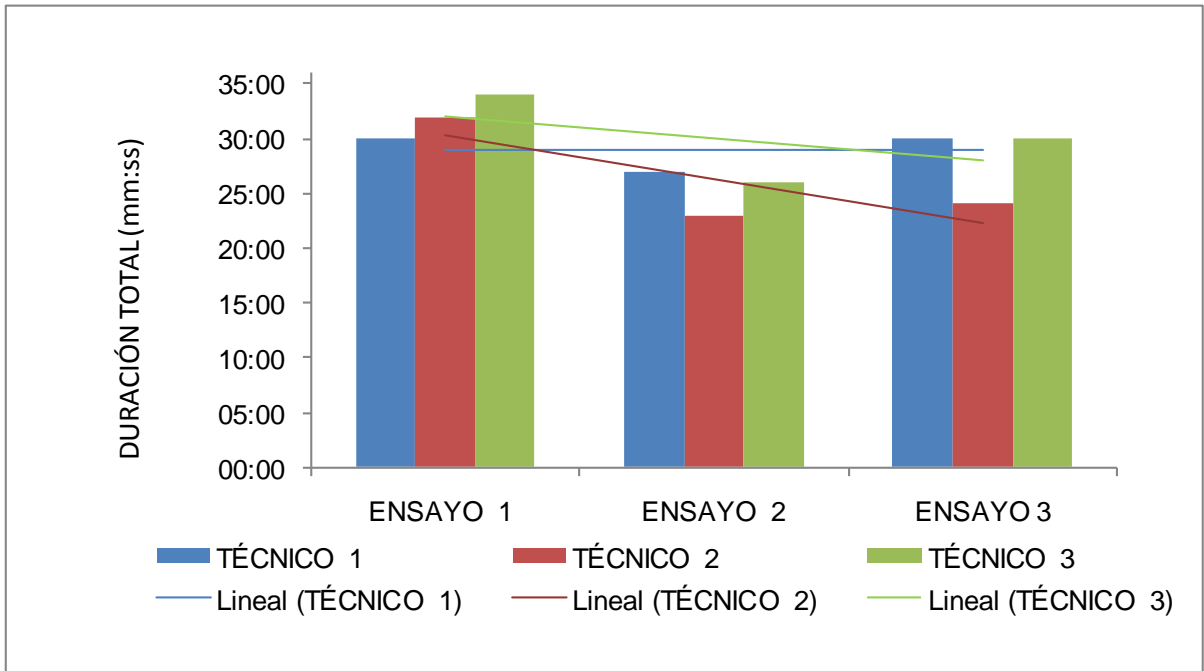


Figura 24. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de Gravedad específica y absorción del agregado grueso.

En el siguiente cuadro se muestra la duración promedio de cada técnico en la ejecución de las tres pruebas.

CUADRO 31. DURACIÓN PROMEDIO	
TÉCNICO	DURACIÓN PROMEDIO mm:ss
1	29:00
2	26:20
3	30:00
GENERAL	28:27

Gravedad específica y absorción del agregado fino.

Gb agregado fino
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 32.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	02:10	06:30	01:25:00
2			
3			
4			

Gb agregado fino.
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 33.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	01:30	06:45	01:40:00
2	01:35		
3	01:55		
4	01:48		

Gb agregado fino.
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 34.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	01:45	06:10	01:40:00
2	02:02		
3	01:58		
4	02:10		

Gb agregado fino.
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 35.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	01:48	10:20	01:20:00
2	01:59		
3			
4			

Gb agregado fino.
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 36.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	02:02	10:30	01:30:00
2	01:55		
3	01:58		
4			

Gb agregado fino.
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 37.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	01:30	10:50	01:45:00
2	01:35		
3	01:15		
4	01:18		

Gb agregado fino.
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 38.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 1			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	02:31	14:55	02:00:00
2	02:15		
3	02:05		
4			

Gb agregado fino.
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 39.TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 2			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	02:16	16:30	01:40:00
2	02:10		
3			
4			

Gb agregado fino.
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 40. TIEMPOS DE EJECUCIÓN, ENSAYO 3			
PRUEBA DEL CONO mm:ss		TIEMPO DE AGITACIÓN mm:ss	TIEMPO TOTAL
1	01:50	20:30	01:50:00
2	01:55		
3			
4			

Resumen de el tiempo de ejecución de la prueba de gravadas específica y absorción del agregado fino.

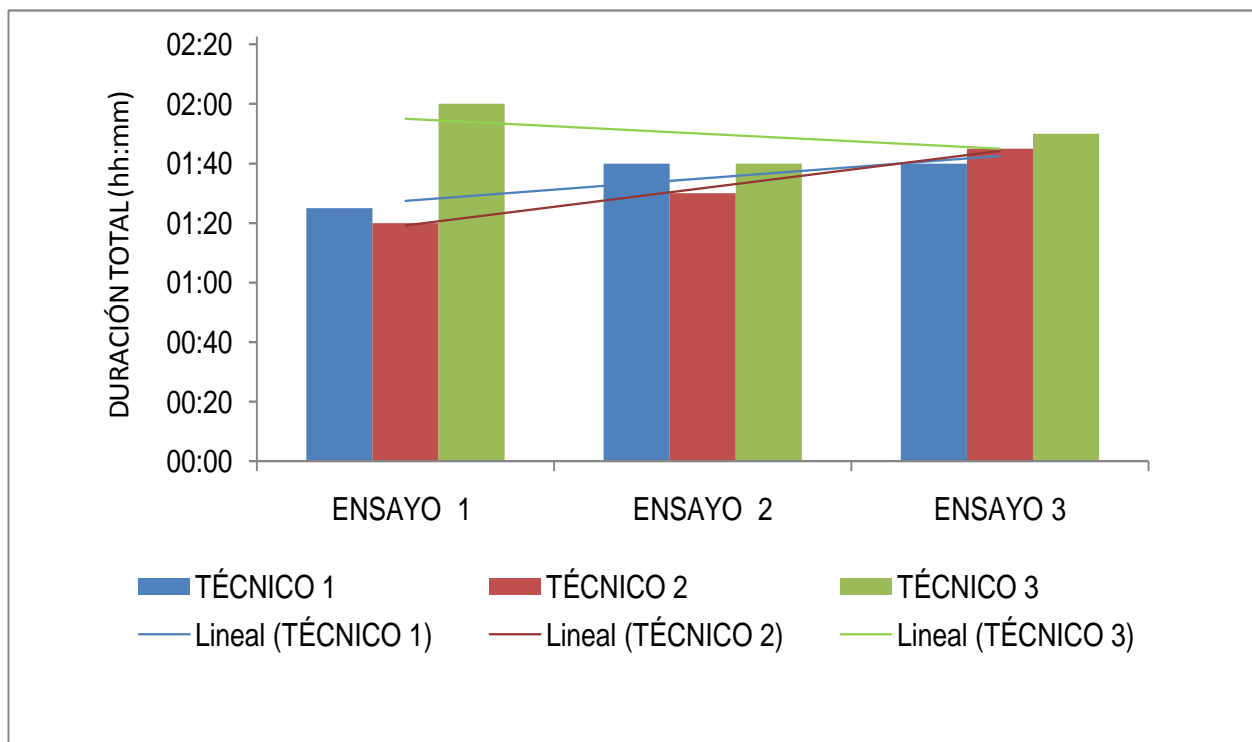


Figura 25. Resumen de duración en la ejecución de la prueba de gravedad específica y absorción del agregado fino.

En el siguiente cuadro se muestra la duración promedio de cada técnico en la ejecución de las tres pruebas:

CUADRO 41. DURACIÓN PROMEDIO	
TÉCNICO	DURACIÓN PROMEDIO mm:ss
1	01:35
2	01:31
3	01:50
GENERAL	01:38

PRUEBA DE DESEMPEÑO

Peso Unitario

Nomenclatura utilizada en la prueba:

CUADRO 42. NOMENCLATURA	
G _s	Gravedad específica seca
W _s (g)	Masa seca al horno
W _{rec} (g)	Masa del recipiente
W _s + W _{rec} (g)	Masa seca al horno+ masa recipiente
W _b (g)	Masa bandeja
W _b +W _s (g)	Masa bandeja + masa seca al horno
γ_s	Peso unitario seco (kg/m ³)
γ_{sss}	Peso unitario sat. Superficie seca (kg/m ³)
%	Porcentaje
γ_w	Densidad del agua (kg/m ³)

Los datos obtenidos por cada técnico en el laboratorio durante la ejecución del ensayo se muestran a continuación:

Peso unitario
Técnico1, Ensayo 1

CUADRO 43. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	1	9100	32750	23650	1654
Suelto	1	9250	30100	20850	1458

Peso unitario
Técnico1, Ensayo 2

CUADRO 44. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	1	9100	32250	23150	1619
Suelto	1	9100	30125	21025	1470

Peso unitario
Técnico1, Ensayo 3

CUADRO 45. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	1	9100	32625	23525	1645
Suelto	1	9100	30625	21525	1505

Peso unitario
Técnico2, Ensayo 1

CUADRO 46. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	4	9250	31300	22050	1542
Suelto	4	9250	29750	20500	1434

Peso unitario
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 47. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	4	9250	31750	22500	1573
Suelto	4	9250	30000	20750	1451

Peso unitario
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 48. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	4	9250	32000	22750	1591
Suelto	4	9250	30250	21000	1469

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 49. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	5	9200	32500	22663	1585
Suelto	5	9200	30950	21143	1479

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 50. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Método utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	$\gamma_s(\text{kg/m}^3)$
Compactado	5	9200	32200	22369	1564
Suelto	5	9200	30250	20457	1431

Peso unitario
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 51. DATOS PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO(S)					
Metodo utilizado	Código recipiente	Wrec (g)	Wrec+Ws(g)	Ws(g)	γ_s (kg/m ³)
Compactado	5	9200	32250	22418	1568
Suelto	5	9200	30500	20702	1448

Prueba de resistencia a la abrasión

La nomenclatura utilizada en la prueba para determinar el desgaste por abrasión en agregado grueso es la siguiente:

CUADRO 52. NOMENCLATURA	
Ws (g)	Masa seca al horno
Wb (g)	Masa bandeja
Wb+Ws(g)	Masa bandeja + masa seca al horno
%	Porcentaje
rev	Revoluciones

Los datos obtenidos por cada técnico en el laboratorio durante la ejecución del ensayo de abrasión se muestran a continuación:

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 53. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	22
Wb(g)	1261
Wb+ Ws (g)	6263
Ws (g)	5002
Después de 500 rev	
Wb(g)	1261
Wb+ Ws (g)	5038
Ws (g)	3777
Pérdida total (500rev)(%)	24,49

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 54. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	22
Wb(g)	1261
Wb+ Ws (g)	6262
Ws (g)	5001
Después de 500 rev	
Wb(g)	154
Wb+ Ws (g)	3920
Ws (g)	3766
Pérdida total (500rev)(%)	24,70

Resistencia a la abrasión
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 55. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	7
Wb(g)	1314
Wb+ Ws (g)	6315
Ws (g)	5001
Después de 500 rev	
Wb(g)	1314
Wb+ Ws (g)	5078
Ws (g)	3764
Pérdida total (500rev)(%)	24,74

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 56. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	
Wb(g)	1283
Wb+ Ws (g)	6331
Ws (g)	5048
Después de 500 rev	
Wb(g)	1283
Wb+ Ws (g)	5069
Ws (g)	3786
Pérdida total (500rev)(%)	25,00

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 57. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	3
Wb(g)	1290
Wb+ Ws (g)	6291
Ws (g)	5001
Después de 500 rev	
Wb(g)	1290
Wb+ Ws (g)	5076
Ws (g)	3786
Pérdida total (500rev)(%)	24,30

Resistencia a la abrasión
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 58. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	7
Wb(g)	1319
Wb+ Ws (g)	6322
Ws (g)	5003
Después de 500 rev	
Wb(g)	1319
Wb+ Ws (g)	5071
Ws (g)	3752
Pérdida total (500rev)(%)	25,00

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 59. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	10
Wb(g)	1299
Wb+ Ws (g)	6302
Ws (g)	5003
Después de 500 rev	
Wb(g)	1299
Wb+ Ws (g)	5078
Ws (g)	3779
Pérdida total (500rev)(%)	24,47

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 60. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	1
Wb(g)	1305
Wb+ Ws (g)	6305
Ws (g)	5000
Después de 500 rev	
Wb(g)	1305
Wb+ Ws (g)	5066
Ws (g)	3761
Pérdida total (500rev)(%)	24,78

Resistencia a la abrasión
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 61. DATOS PARA DETERMINAR % DE PÉRDIDA	
Muestra	Graduación B
Código bandeja	
Wb(g)	1301
Wb+ Ws (g)	6302
Ws (g)	5001
Después de 500 rev	
Wb(g)	1301
Wb+ Ws (g)	5069
Ws (g)	3768
Pérdida total (500rev)(%)	24,66

Prueba de gravedad específica y absorción del agregado grueso.

La nomenclatura utilizada en la prueba de gravedad específica y absorción en agregado grueso es la siguiente:

CUADRO 62. NOMENCLATURA	
$W_{sss}(g)$	Masa de material saturado superficie seca
$W_s (g)$	Masa seca al horno
$W_w (g)$	Masa del Agua
$W_{cont} (g)$	Masa de contenedor
$W_{sum}(g)$	Masa de material sumergido
$W_t+W_{cont} (g)$	Masa de material húmedo + masa del contenedor
$W_{con}+W_w (g)$	Masa del contenedor +masa del agua
$W_{sss}+W_w+W_{con} (g)$	Masa de material seco +masa del agua+ masa del contenedor
$W_b (g)$	Masa de bandeja o cápsula
$W_{sss}+W_b (g)$	Masa de material saturado superficie seca+ masa de bandeja
$W_s+W_b (g)$	Masa de material seco + masa de bandeja
G_{bs}	Gravedad específica seca
G_{bsss}	Gravedad específica saturado superficie seca
G_{ba}	Gravedad específica aparente
ρ_{sss}	Densidad saturada superficie seca (kg/m^3)
ρ_s	Densidad Seca(kg/m^3)
ρ_a	Densidad Aparente(kg/m^3)

Los datos obtenidos por cada técnico en el laboratorio durante la ejecución del ensayo G_b se muestran a continuación:

Gb agregado grueso
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 63. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	5
Wb (g)	1261
Wsss+Wb (g)	7595
Wsss(g)	6334
Wcont+Ww (g)	1892
Wsss+Ww+Wcont (g)	5835
Wsum(g)	3943
Ws+Wb (g)	7467
Ws (g)	6206
Gravedad específica(Gbs)	2,60
Gravedad específica(Gbsss)	2,65
Gravedad aparente(Gba)	2,74
Absorción%	2,06

Gb agregado grueso
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 64. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	7
Wb (g)	1314
Wsss+Wb (g)	7804
Wsss(g)	6490
Wcont+Ww (g)	1892
Wss+Ww+Wcont (g)	5873
Wsum(g)	3981
Ws+Wb (g)	7651
Ws (g)	6337
Gravedad específica(Gbs)	2,53
Gravedad específica(Gbsss)	2,59
Gravedad aparente(Gba)	2,69
Absorción%	2,41

Gb agregado grueso
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 65. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	1
Wb (g)	1307
Wsss+Wb (g)	7727
Wsss(g)	6420
Wcont+Ww (g)	1892
Wss+Ww+Wcont (g)	5864
Wsum(g)	3972
Ws+Wb (g)	7593
Ws (g)	6286
Gravedad específica(Gbs)	2,57
Gravedad específica(Gbsss)	2,62
Gravedad aparente(Gba)	2,72
Absorción%	2,13

Gb agregado grueso
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 66. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	3
Wb (g)	1293
Wsss+Wb (g)	7497
Wsss(g)	6204
Wcont+Ww (g)	1852
Wss+Ww+Wcont (g)	5737
Wsum(g)	3885
Ws+Wb (g)	7378
Ws (g)	6085
Gravedad específica(Gbs)	2,62
Gravedad específica(Gbsss)	2,68
Gravedad aparente(Gba)	2,77
Absorción%	1,96

Gb agregado grueso
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 67. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	7
Wb (g)	1300
Wsss+Wb (g)	7897
Wsss(g)	6597
Wcont+Ww (g)	1842
Wss+Ww+Wcont (g)	5974
Wsum(g)	4132
Ws+Wb (g)	7765
Ws (g)	6465
Gravedad específica(Gbs)	2,62
Gravedad específica(Gbsss)	2,68
Gravedad aparente(Gba)	2,77
Absorción%	2,04

Gb agregado grueso
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 68. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	5
Wb (g)	1262
Wsss+Wb (g)	7808
Wsss(g)	6546
Wcont+Ww (g)	1841
Wss+Ww+Wcont (g)	5946
Wsum(g)	4105
Ws+Wb (g)	7675
Ws (g)	6413
Gravedad específica(Gbs)	2,63
Gravedad específica(Gbsss)	2,68
Gravedad aparente(Gba)	2,78
Absorción%	2,07

Gb agregado grueso
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 69. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	6
Wb (g)	1300
Wsss+Wb (g)	7825
Wsss(g)	6525
Wcont+Ww (g)	1837
Wss+Ww+Wcont (g)	5909
Wsum(g)	4072
Ws+Wb (g)	7693
Ws (g)	6393
Gravedad específica(Gbs)	2,61
Gravedad específica(Gbsss)	2,66
Gravedad aparente(Gba)	2,75
Absorción%	2,06

Gb agregado grueso
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 70. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	4
Wb (g)	1282
Wsss+Wb (g)	7502
Wsss(g)	6220
Wcont+Ww (g)	1837
Wss+Ww+Wcont (g)	5713
Wsum(g)	3876
Ws+Wb (g)	7375
Ws (g)	6093
Gravedad específica(Gbs)	2,60
Gravedad específica(Gbsss)	2,65
Gravedad aparente(Gba)	2,75
Absorción%	2,08

Gb agregado grueso
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 71. DATOS OBTENIDOS PARA PRUEBA DE Gb	
MUESTRA	1
Código bandeja	10
Wb (g)	1300
Wsss+Wb (g)	7799
Wsss(g)	6499
Wcont+Ww (g)	1837
Wss+Ww+Wcont (g)	5890
Wsum(g)	4053
Ws+Wb (g)	7655
Ws (g)	6355
Gravedad específica(Gbs)	2,60
Gravedad específica(Gbsss)	2,66
Gravedad aparente(Gba)	2,76
Absorción%	2,27

Prueba de gravedad específica y absorción del agregado fino.

La nomenclatura utilizada en la prueba de gravedad específica y absorción en agregado fino es la siguiente:

CUADRO 72. NOMENCLATURA	
W _{sss} (g)	Masa de material saturado superficie seca.
W _s (g)	Masa seca al horno
W _w (g)	Masa del agua
W _{pic} (g)	Masa de picnómetro
W(pic+agua+especimen) (g)	Masa de material sss + masa del agua +masa del espécimen
W(pic+agua) (g)	Masa de material sss + masa del agua
W _{sss1} (g)	Masa de material saturado superficie seca usada en le matraz(vol)
R1	Lectura inicial del nivel del agua en el matraz Le Chatelier(mm)
R2	Lectura final del nivel del agua en el matraz Le Chatelier (mm)
G _{bs}	Gravedad específica seca
G _{bsss}	Gravedad específica saturado superficie seca
G _{ba}	Gravedad específica aparente
ρ_{sss}	Densidad saturada superficie seca (kg/m ³)
ρ_s	Densidad Seca (kg/m ³)
ρ_a	Densidad Aparente (kg/m ³)

Los datos obtenidos por cada técnico en el laboratorio durante la ejecución del ensayo Gb de agregado fino se muestran a continuación:

Gb agregado fino
Técnico 1, Ensayo 1

CUADRO 73. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	176,98
W _{pic} + W _{sss} (g)	678,74
W _{sss} (g)	501,76
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	971,23
W _s (g)	470,77
W pic(g)	176,98
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ W _w (g)	675,27
Gravedad específica(G _{bs})	2,29
Gravedad específica(G _{bsss})	2,44
Gravedad aparente(G _{ba})	2,69
Absorción%	6,58

Gb agregado fino
Técnico 1, Ensayo 2

CUADRO 74. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	177,97
Wpic + Wsss (g)	677,89
Wsss(g)	499,92
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	977,37
Ws(g)	471,32
W pic(g)	177,97
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	676,5
Gravedad específica(Gbs)	2,37
Gravedad específica(Gbsss)	2,51
Gravedad aparente(Gba)	2,77
Absorción%	6,07

Gb agregado fino
Técnico 1, Ensayo 3

CUADRO 75. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	171,23
Wpic + Wsss (g)	671,82
Wsss(g)	500,59
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	970,05
Ws(g)	473,57
W pic(g)	171,23
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	669,69
Gravedad específica(Gbs)	2,37
Gravedad específica(Gbsss)	2,50
Gravedad aparente(Gba)	2,73
Absorción%	5,71

Gb agregado fino
Técnico 2, Ensayo 1

CUADRO 76. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	172,39
Wpic + Wsss (g)	677,85
Wsss(g)	505,46
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	975,35
Ws(g)	474,91
W pic(g)	176,98
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	669,93
Gravedad específica(Gbs)	2,37
Gravedad específica(Gbsss)	2,53
Gravedad aparente(Gba)	2,80
Absorción%	6,43

Gb agregado fino
Técnico 2, Ensayo 2

CUADRO 77.DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	177,88
Wpic + Wsss (g)	658,58
Wsss(g)	480,7
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	956,08
Ws(g)	462,98
W pic(g)	177,88
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	675,35
Gravedad específica(Gbs)	2,32
Gravedad específica(Gbsss)	2,40
Gravedad aparente(Gba)	2,54
Absorción%	3,83

Gb agregado fino
Técnico 2, Ensayo 3

CUADRO 78. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	173,37
Wpic + Wsss (g)	669,8
Wsss(g)	496,43
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	964,55
Ws(g)	465,29
W pic(g)	173,37
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	670,69
Gravedad específica(Gbs)	2,30
Gravedad específica(Gbsss)	2,45
Gravedad aparente(Gba)	2,71
Absorción%	6,69

Gb agregado fino
Técnico 3, Ensayo 1

CUADRO 79. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	172,38
Wpic + Wsss (g)	672,69
Wsss(g)	500,31
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	968,73
Ws(g)	467,56
W pic(g)	172,38
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	669,93
Gravedad específica(Gbs)	2,32
Gravedad específica(Gbsss)	2,48
Gravedad aparente(Gba)	2,77
Absorción%	7,00

Gb agregado fino
Técnico 3, Ensayo 2

CUADRO 80. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	171,15
Wpic + Wsss (g)	671,38
Wsss(g)	500,23
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	967,19
Ws(g)	466,55
W pic(g)	171,15
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	669,69
Gravedad específica(Gbs)	2,30
Gravedad específica(Gbsss)	2,47
Gravedad aparente(Gba)	2,76
Absorción%	7,22

Gb agregado fino
Técnico 3, Ensayo 3

CUADRO 81. DATOS OBTENIDOS PARA LA PRUEBA DE Gb	
Muestra	1
W pic(g)	176,66
Wpic + Wsss (g)	676,92
Wsss(g)	500,26
Vol de agua agregada(ml)	
W (pic+agua+especimen)(g)	972,79
Ws(g)	466,35
W pic(g)	176,66
Vol de agua agregada(ml)	
W pic+ Ww(g)	671,76
Gravedad específica(Gbs)	2,34
Gravedad específica(Gbsss)	2,51
Gravedad aparente(Gba)	2,82
Absorción%	7,27

Ensayos de Aptitud

En los cuadros siguientes se muestran los resultados obtenidos en las pruebas de aptitud, para los ensayos de Peso unitario, Resistencia a la abrasión y Gravedad específica y absorción de agregado grueso y fino.

Peso unitario

CUADRO 82. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE PESO UNITARIO										
ENSAYO	COMPACTADO(kg/m ³)			SUELTO (kg/m ³)			COMPACTADO(kg/m ³)		SUELTO (kg/m ³)	
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.	PROMEDIO	DESV. EST.
1	1654,00	1542,00	1585,00	1469,00	1430,00	1479,00	1593,67	56,50	1459,33	25,89
2	1619,00	1573,00	1564,00	1470,00	1451,00	1431,00	1585,33	29,50	1450,67	19,50
3	1645,00	1591,00	1568,00	1505,00	1470,00	1448,00	1601,33	39,53	1474,33	28,75
PROMEDIO	1639,33	1568,67	1572,33	1481,33	1450,33	1452,67	1593,44	39,78	1461,44	17,26
DESV. EST	18,18	24,79	11,15	20,50	20,01	24,34	18,04	6,82	21,62	2,37
	1,11%	1,58%	0,71%	1,38%	1,38%	1,68%				
	DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)									
	1675,68	1618,24	1594,63	1522,34	1490,35	1501,34				
	DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)									
	3,14%	4,47%	2,01%	3,91%	3,90%	4,74%				

Fuente : Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.*

CUADRO 83. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO						
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			PESO UNITARIO SUELTO (kg/m ³)		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	1,07	0,91	0,15	0,37	1,13	0,76
2	1,14	0,42	0,72	0,99	0,02	1,01
3	1,10	0,26	0,84	1,07	0,15	0,92
CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			PESO UNITARIO SUELTO (kg/m ³)		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	4	5	5	5	4	5
2	4	5	5	5	5	4
3	4	5	5	4	5	5

CUADRO 84. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO						
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			PESO UNITARIO SUELTO (kg/m ³)		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	8,88	7,54	1,24	3,19	13,27	7,41
2	3,75	3,00	4,32	3,61	4,41	12,85
3	7,56	0,36	3,73	18,38	3,61	5,67
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			PESO UNITARIO SUELTO (kg/m ³)		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0	0	4	0	0	0
2	0	1	0	0	0	0
3	0	5	0	0	0	0

CUADRO 85. PRECISION INDIVIDUAL (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	14,00	
	18,18	14,00	11,15	
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados (kg/m ³)
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
1				
2	35,00	31,00	21,00	
3	9,00	49,00	17,00	
1	35,00	31,00	21,00	
2				
3	26,00	18,00	4,00	
1	9,00	49,00	17,00	
2	26,00	18,00	4,00	
3				
				40,00

Nota: Rango de aceptación es la diferencia máxima aceptada entre dos resultados

CUADRO 86. PRECISION ENTRE TECNICOS (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
38,13				30,00
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados (kg/m ³)
ENSAYO	PESO UNITARIO COMPACTADO(kg/m ³)			
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
1		112,00	69,00	
		46,00	55,00	
		54,00	77,00	
2	112,00		43,00	
	46,00		9,00	
	54,00		23,00	
3	69,00	43,00		
	55,00	9,00		
	77,00	23,00		
				85,00

Prueba de resistencia a la abrasión.

CUADRO 87. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE ABRASION					
ENSAYO	DESGASTE POR ABRASIÓN %				
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.
1	24,49%	25,00%	24,47%	24,65%	0,003
2	24,70%	24,30%	24,78%	24,59%	0,003
3	24,74%	25,00%	24,66%	24,80%	0,002
PROMEDIO	24,64%	24,77%	24,64%	24,68%	0,001
DESV.EST.(1s)	0,001	0,004	0,002	0,002	0,001
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1S%)					
	0,54%	1,63%	0,63%		
DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)					
	0,25	0,26	0,25		
DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)					
	1,54%	4,62%	1,79%		

Fuente : Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.*

CUADRO 88. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO			
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO			
ENSAYO	DESGASTE POR ABRASIÓN %		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0,54	1,15	0,61
2	0,41	1,14	0,73
3	0,34	1,13	0,79
CALIFICACIÓN POR ENSAYO			
ENSAYO	DESGASTE POR ABRASIÓN %		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	5	4	5
2	5	4	5
3	5	4	5

CUADRO 89. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR TÉCNICO			
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO			
ENSAYO	DESGASTE POR ABRASION %		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	1,28	2,12	1,42
2	0,12	2,55	0,65
3	0,39	2,12	0,15
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO			
ENSAYO	DESGASTE POR ABRASIÓN %		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	4	2	4
2	5	1	5
3	5	2	5

CUADRO 90.PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s% y d2s%)							
Coeficiente de variación (1s%)						Valor máximo permitido	
TÉCNICO 1		TÉCNICO 2		TÉCNICO 3		2,000%	
0,545%		1,632%		0,634%			
ENSAYO	Coeficiente de variación entre dos resultados (1s%)			Variación entre dos resultados (d2s%)			Rango de aceptación de dos resultados
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
1							5,700%
2	0,604%	2,008%	0,890%	1,708%	5,680%	2,518%	
3	0,718%	0,000%	0,547%	2,031%	0,000%	1,547%	
1	0,604%	2,008%	0,890%	1,708%	5,680%	2,518%	
2							
3	0,114%	2,008%	0,343%	0,324%	5,680%	0,971%	
1	0,718%	0,000%	0,547%	2,031%	0,000%	1,547%	
2	0,604%	2,008%	0,890%	1,708%	5,680%	2,518%	
3							

Nota: Rango de aceptación es la diferencia máxima aceptada entre dos resultados.

CUADRO 91. PRECISION ENTRE TECNICOS (1s% y d2s%)							
Coeficiente de variación (1s%)						Valor máximo permitido	
0,954%						4,500%	
ENSAYO	Coeficiente de variación entre dos resultados (1s%)			Variación entre dos resultados (d2s%)			Rango de aceptación de dos resultados
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
A		1,457%	0,058%		4,12%	0,16%	12,500%
B		1,154%	0,229%		3,27%	0,65%	
C		0,739%	0,229%		2,09%	0,65%	
A	1,457%		1,515%	4,12%		4,29%	
B	1,154%		1,383%	3,27%		3,91%	
C	0,739%		0,968%	2,09%		2,74%	
A	1,457%	1,515%		4,12%	4,29%		
B	1,154%	1,383%		3,27%	3,91%		
C	0,739%	0,968%		2,09%	2,74%		

Prueba de gravedad específica y absorción del agregado grueso

CUADRO 92. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO										
ENSAYO	Gbs			Gbsss			Gbs		Gbsss	
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.	PROMEDIO	DESV. EST.
1	2,54	2,62	2,61	2,59	2,67	2,66	2,59	0,04	2,64	0,04
2	2,53	2,62	2,60	2,59	2,68	2,65	2,58	0,05	2,64	0,05
3	2,57	2,63	2,60	2,62	2,68	2,66	2,60	0,03	2,65	0,03
PROMEDIO	2,55	2,62	2,60	2,60	2,68	2,66	2,59	0,04	2,64	0,04
DESV. EST.	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,006	0,01	0,01	0,01	0,01
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1S%)										
	0,82%	0,22%	0,22%	0,67%	0,22%	0,22%				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)										
	2,59	2,63	2,61	2,63	2,69	2,67				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)										
	2,31%	0,62%	0,63%	1,88%	0,61%	0,61%				

Fuente : Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.*

CUADRO 93. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO										
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN			Gba		% ABSORCIÓN	
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.	PROMEDIO	DESV. EST.
1	2,68	2,77	2,75	2,06%	1,96%	2,06%	2,73	0,05	2,03%	0,001
2	2,69	2,77	2,75	2,41%	2,04%	2,08%	2,74	0,04	2,18%	0,002
3	2,72	2,78	2,76	2,13%	2,10%	2,27%	2,75	0,03	2,17%	0,001
PROMEDIO	2,70	2,77	2,75	2,20%	2,03%	2,14%	2,74	0,04	2,12%	0,001
DESV. EST.	0,02	0,01	0,01	0,002	0,001	0,001	0,01	0,01	0,001	0,001
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1S%)										
	0,77%	0,21%	0,21%	8,42%	3,45%	5,42%				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)										
	2,74	2,78	2,76	0,03	0,02	0,02				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)										
	2,18%	0,59%	0,59%	23,81%	9,77%	15,34%				

Fuente : Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.*

CUADRO 94. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	1,15	0,69	0,46	1,15	0,69	0,46
2	1,13	0,78	0,35	1,09	0,87	0,22
3	1,00	1,00	0,00	1,09	0,87	0,22
CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	4	5	5	4	5	5
2	4	5	5	4	5	5
3	5	4	5	4	5	5

CUADRO 95. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	1,13	0,78	0,35	0,58	1,15	0,58
2	1,12	0,80	0,32	1,15	0,67	0,48
3	1,09	0,87	0,22	0,40	0,73	1,14
CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	4	5	5	5	4	5
2	4	5	5	4	5	5
3	4	5	5	5	5	4

CUADRO 96. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	5,88	3,33	2,17	8,17	3,83	2,33
2	7,04	3,33	1,02	8,17	5,33	0,83
3	2,43	4,48	1,02	3,67	5,33	2,33
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0	0	2	0	0	2
2	0	0	4	0	0	5
3	2	0	4	0	0	2

CUADRO 97. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	7,04	3,33	1,02	1,09	2,82	1,09
2	5,88	3,33	1,02	4,95	1,44	0,75
3	2,43	4,48	2,17	0,12	0,40	2,53
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0	0	4	4	1	4
2	0	0	4	0	4	5
3	2	0	2	5	5	1

Gravedad específica seca (Gbs)

CUADRO 98. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,009	
0,021	0,006	0,006		
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
Gbs				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,025
1				
2	0,010	0,000	0,010	
3	0,030	0,010	0,010	
1	0,010	0,000	0,010	
2				
3	0,040	0,010	0,000	
1	0,030	0,010	0,010	
2	0,040	0,010	0,000	
3				

CUADRO 99. PRECISIÓN ENTRE TÉCNICOS (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
0,036				0,013
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
Gbs				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,038
1		0,080	0,070	
2		0,090	0,070	
3		0,060	0,030	
1	0,080		0,010	
2	0,090		0,020	
3	0,060		0,030	
1	0,070	0,010		
2	0,070	0,020		
3	0,030	0,030		

Gravedad específica saturada superficie seca (Gbsss)

CUADRO 100. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
TÉCNICO 1		TÉCNICO 2		TÉCNICO 3
0,017		0,006		0,006
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
Gbsss				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
1				0,020
2	0,000	0,010	0,010	
3	0,030	0,010	0,000	
1	0,000	0,010	0,010	
2				
3	0,030	0,000	0,010	
1	0,030	0,010	0,000	
2	0,030	0,000	0,010	
3				

CUADRO 101. PRECISIÓN ENTRE TECNICOS (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
0,036				0,011
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
Gbsss				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	
1		0,080	0,070	0,032
2		0,090	0,060	
3		0,060	0,040	
1	0,080		0,010	
2	0,090		0,030	
3	0,060		0,020	
1	0,070	0,010		
2	0,060	0,030		
3	0,040	0,020		

Gravedad específica aparente (Gba)

CUADRO 102. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,007
0,021	0,006	0,006	
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gba			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1			
2	0,010	0,000	0,000
3	0,040	0,010	0,010
1	0,010	0,000	0,000
2			
3	0,030	0,010	0,010
1	0,040	0,010	0,010
2	0,030	0,010	0,010
3			

CUADRO 103. PRECISIÓN ENTRE TÉCNICOS (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
0,036			0,011
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gba			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1		0,090	0,070
2		0,080	0,060
3		0,060	0,040
1	0,090		0,020
2	0,080		0,020
3	0,060		0,020
1	0,070	0,020	
2	0,060	0,020	
3	0,040	0,020	

Absorción

CUADRO 104. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
TÉCNICO 1		TÉCNICO 2		TÉCNICO 3
0,002		0,001		0,001
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
% ABSORCIÓN				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,250
1				
2	0,004	0,001	0,000	
3	0,001	0,001	0,002	
1	0,004	0,001	0,000	
2				
3	0,003	0,001	0,002	
1	0,001	0,001	0,002	
2	0,003	0,001	0,002	
3				

CUADRO 105. PRECISIÓN ENTRE TECNICOS (1s y d2s)				
Desviación estándar total (1s)				Valor máximo permitido
0,136%				0,145
Diferencia entre dos resultados (d2s)				Rango de aceptación de dos resultados
% ABSORCIÓN				
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,410
1		0,100%	0,000%	
2		0,370%	0,330%	
3		0,030%	0,140%	
1	0,100%		0,100%	
2	0,370%		0,040%	
3	0,030%		0,170%	
1	0,000%	0,100%		
2	0,330%	0,040%		
3	0,140%	0,170%		

Prueba de gravedad especifica del agregado fino.

CUADRO 106. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO *										
ENSAYO	Gbs			Gbsss			Gbs		Gbsss	
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.	PROMEDIO	DESV. EST.
1	2,28	2,35	2,32	2,43	2,50	2,48	2,32	0,04	2,47	0,04
2	2,36	2,31	2,30	2,51	2,40	2,47	2,32	0,03	2,46	0,06
3	2,36	2,30	2,35	2,50	2,45	2,51	2,34	0,03	2,49	0,03
PROMEDIO	2,33	2,32	2,32	2,48	2,45	2,49	2,33	0,01	2,47	0,02
DESV.EST.	0,05	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1S%)										
	1,98%	1,14%	1,08%	1,76%	2,04%	0,84%				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)										
	2,43	2,37	2,37	2,57	2,55	2,53				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)										
	5,60%	3,23%	3,06%	4,97%	5,77%	2,37%				

CUADRO 107. RESULTADOS PARA LA PRUEBA DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO*										
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN			Gba		% ABSORCIÓN	
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	PROMEDIO	DESV. EST.	PROMEDIO	DESV. EST.
1	2,69	2,73	2,77	6,55%	6,43%	7,00%	2,73	0,04	6,66%	0,00
2	2,76	2,54	2,76	6,07%	3,83%	7,20%	2,69	0,13	5,70%	0,02
3	2,73	2,71	2,82	5,70%	6,69%	7,27%	2,75	0,06	6,55%	0,01
PROMEDIO	2,73	2,66	2,78	6,11%	5,65%	7,16%	2,72	0,06	6,30%	0,01
DESV. EST	0,04	0,10	0,03	0,004	0,016	0,001	0,06	0,04	0,01	0,01
COEFICIENTE DE VARIACIÓN (1S%)										
	1,29%	3,92%	1,15%	6,98%	27,99%	1,96%				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN ENTRE LÍMITES (d2S)										
	2,80	2,87	2,85	0,07	0,09	0,07				
DIFERENCIA DE VARIACIÓN PORCENTUAL ENTRE LÍMITES (d2S%)										
	3,64%	11,10%	3,27%	19,74%	79,17%	5,54%				

*Fuente : Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005.*

CUADRO 108. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	1,04	0,95	0,09	1,11	0,83	0,28
2	1,14	0,41	0,73	0,90	1,08	0,18
3	0,73	1,14	0,41	0,41	1,14	0,73
CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	4	5	5	4	5	5
2	4	5	5	5	4	5
3	5	4	5	5	4	5

CUADRO 109. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
PUNTUACIÓN (Z) POR ENSAYO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0,82	0,00	1,00	0,37	0,77	1,13
2	0,58	1,15	0,58	0,22	1,09	0,87
3	0,40	0,74	1,14	1,07	0,17	0,90
CALIFICACIÓN POR ENSAYO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	5	5	5	5	5	4
2	5	4	5	5	4	5
3	5	5	4	4	5	5

CUADRO 110. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	3,87	2,07	0,47	2,75	1,81	0,51
2	2,92	1,32	2,17	2,46	4,71	0,14
3	2,92	2,17	2,07	1,81	1,45	2,46
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gbs			Gbsss		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0	2	5	1	3	5
2	1	4	2	2	0	5
3	1	2	2	3	4	2

CUADRO 111. PUNTUACIÓN Y CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
PUNTUACIÓN (Z) POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	0,82	0,16	1,14	0,32	0,16	0,91
2	0,90	4,48	0,90	0,31	3,24	1,17
3	0,16	0,33	2,36	0,79	0,51	1,27
CALIFICACIÓN POR TÉCNICO						
ENSAYO	Gba			% ABSORCIÓN		
	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1	5	5	4	5	5	5
2	5	0	5	5	0	4
3	5	5	2	5	5	4

Gravedad específica seca (Gbs)

CUADRO 112. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,011
0,046	0,026	0,025	
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gbs			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1			
2	0,080	0,040	0,020
3	0,080	0,050	0,030
1	0,080	0,040	0,010
2			
3	0,000	0,010	0,050
1	0,080	0,050	0,030
2	0,000	0,010	0,050
3			
			0,032

CUADRO 113. PRECISIÓN ENTRE TECNICOS (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
0,030			0,023
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gbs			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1		0,070	0,040
2		0,050	0,060
3		0,060	0,010
1	0,070		0,030
2	0,050		0,010
3	0,060		0,050
1	0,040	0,030	
2	0,060	0,010	
3	0,010	0,050	
			0,066

Gravedad específica saturada superficie seca (Gbsss)

CUADRO 114. PRECISIÓN INDIVIDUAL (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,0095
0,0436	0,0500	0,0208	
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gbsss			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1			
2	0,080	0,100	0,010
3	0,070	0,050	0,030
1	0,080	0,100	0,010
2			
3	0,010	0,050	0,040
1	0,070	0,050	0,030
2	0,010	0,050	0,040
3			
0,027			

CUADRO 115. PRECISIÓN ENTRE TECNICOS (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
0,039			0,020
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gbsss			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1		0,070	0,050
2		0,110	0,040
3		0,050	0,010
1	0,070		0,020
2	0,110		0,070
3	0,050		0,060
1	0,050	0,020	
2	0,040	0,070	
3	0,010	0,060	
0,056			

Gravedad específica aparente (Gba)

CUADRO 116. PRECISION INDIVIDUAL (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3	0,0095
0,035	0,026	0,032	
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gba			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1			
2	0,070	0,190	0,010
3	0,040	0,020	0,050
1	0,070	0,190	0,010
2			
3	0,030	0,170	0,060
1	0,040	0,020	0,050
2	0,030	0,170	0,060
3			
			0,027

CUADRO 117. PRECISION ENTRE TECNICOS (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
0,078			0,020
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
Gba			
ENSAYO	TÉCNICO 1	TÉCNICO 2	TÉCNICO 3
1		0,040	0,080
2		0,220	0,000
3		0,020	0,090
1	0,040		0,040
2	0,220		0,220
3	0,020		0,110
1	0,080	0,040	
2	0,000	0,220	
3	0,090	0,110	
			0,056

Absorción

CUADRO 118. PRECISION INDIVIDUAL (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
TECNICO 1	TECNICO 2	TECNICO 3	0,110
0,426%	1,582%	0,140%	
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
% ABSORCION			
ENSAYO	TECNICO 1	TECNICO 2	TECNICO 3
1			
2	0,480%	2,600%	0,200%
3	0,850%	0,260%	0,270%
1	0,480%	2,600%	0,200%
2			
3	0,370%	2,860%	0,070%
A	0,850%	0,260%	0,270%
B	0,370%	2,860%	0,070%
C			

CUADRO 119. PRECISION ENTRE TECNICOS (1s y d2s)			
Desviación estándar total (1s)			Valor máximo permitido
1,060%			0,230
Diferencia entre dos resultados (d2s)			Rango de aceptación de dos resultados
% ABSORCION			
ENSAYO	TECNICO 1	TECNICO 2	TECNICO 3
1		0,120%	0,450%
2		2,240%	1,130%
3		0,990%	1,570%
1	0,120%		0,570%
2	2,240%		3,370%
3	0,990%		0,580%
1	0,450%	0,570%	
2	1,130%	3,370%	
3	1,570%	0,580%	

Análisis de Resultados

La necesidad de realizar instructivos técnicos para cada ensayo se generó a partir de la implantación del Sistema de Gestión de Calidad del *LabCIVCO*, con esto se pretende estandarizar procedimientos y lograr la acreditación de ensayos en diferentes áreas para ampliar servicio a diversas instituciones en el país, por ello estos instructivos técnicos se realizaron con la 29^o edición de las Normas AASHTO y las ASTM 2003. Estos instructivos deben actualizarse con la frecuencia requerida para realizar las modificaciones en los procedimientos utilizados.

La ejecución ideal de los procesos de ensayo se debe acompañar del equipo y condiciones adecuadas que aseguren resultados confiables, por eso la distribución actual del laboratorio y la separación entre el equipo de acreditación y el de uso académico, es de suma importancia en el proceso para acreditar diversas pruebas desarrolladas por el laboratorio, esto sumado a la implantación del plan de seguridad brindan confianza tanto al personal del laboratorio como a personas externas

Instructivos y registros técnicos.

Los instructivos técnicos presentados en los apéndices cuentan con la revisión de los técnicos del laboratorio y gerentes técnicos, los cuales realizaron anotaciones en los instructivos impresos. Luego de realizar las correcciones indicadas en el ciclo de capacitaciones, estos documentos serán utilizados para asegurar que cada técnico desarrolle las pruebas de la manera correcta contando con una herramienta traducida al español que incluye los procedimientos de las Normas AASHTO y ASTM respectivas.

En el caso de los registros técnicos y digitales, durante el ciclo de capacitaciones se logró establecer una nomenclatura tanto para los instructivos como para estos con el fin de evitar

confusiones en el momento de expresar los resultados de cada ensayo. Aparte de lo anterior no se les realizó ninguna modificación, pues no se dieron recomendaciones al respecto, por ello se realizaron según lo solicitan los instructivos técnicos, además este tipo de registro se evalúa mejor cuando se utiliza, esto se observó en las pruebas de desempeño donde los técnicos realizaron indicaciones de mejora para los registros técnicos y facilitar la toma de datos.

Capacitación de Personal.

Durante el periodo de capacitaciones, el cual se desarrolló de forma magistral, se obtuvieron recomendaciones de formato y se estableció la nomenclatura por utilizar. Además se analizó la falta de cierto equipo básico en el laboratorio y la disponibilidad y estado de los existentes.

Esta etapa del proyecto permitió exponer los procedimientos adecuados para realizar cada ensayo, los cuidados básicos de algunos equipos y condiciones ambientales y físicas necesarias para desarrollar las pruebas de la forma correcta como lo es el control de temperatura e iluminación.

Pruebas de desempeño y aptitud.

Durante el desarrollo de las pruebas se evaluó el conocimiento de los técnicos sobre los ensayos realizados. A pesar de ser simples y rápidos se notaron algunas diferencias en la realización de cada prueba, lo cual indica que aun no se ha realizado la estandarización de los procedimientos, esto amerita nuevas capacitaciones con los instructivos finales para los técnicos por parte de los encargados del laboratorio.

Rendimientos

Prueba peso unitario

En los cuadros 2 al 10 se tiene la duración por ensayo de cada técnico y la subdivisión del tiempo requerido para realizar la prueba por cada método. Se puede observar que los técnicos 1 y 3 requieren de mayor tiempo para ello con un promedio de 17 minutos, y que el técnico 2 presentó la duración menor con 12 minutos en promedio.

A pesar de ser pocos minutos de diferencia, esto se debe a que el técnico 2 realiza este tipo de ensayo con mayor frecuencia, por lo cual practicó la prueba en un tiempo menor que los demás técnicos.

Cada uno de los técnicos mantuvo los tiempos de ejecución similares durante las tres pruebas realizadas. Por lo tanto, el rendimiento es de igual forma similar.

La duración en cada método varía. En el caso del técnico 2 mantuvo un tiempo promedio similar en cada método de seis minutos. Los técnicos 1 y 2 aumentaron su duración en el método suelto aproximadamente en más de dos minutos.

Lo anterior indica que esta prueba es de corta duración y el procedimiento es sencillo lo que no implica cansancio o desgaste físico.

Prueba de resistencia a la abrasión

Para esta prueba se obtuvo un tiempo promedio de ejecución de 50 minutos, la duración promedio de cada técnico fue de 48 minutos (técnico 1), 47 minutos (técnico 2) y 57 minutos (técnico 3).

El técnico 3 requirió mayor tiempo para realizar la prueba, el tamizado final de la muestra de ensayo le tomó aproximadamente 20 minutos, y el lavado 9 minutos. En caso contrario el técnico 2 ejecutó la prueba en el tiempo menor tamizando el material en aproximadamente 10 minutos y el lavado en 5 minutos. El técnico uno hizo cada uno de los procesos en aproximadamente 9 y 10 minutos respectivamente.

En la figura 23 se observa la duración en cada ensayo. Los técnicos 1 y 3 aumentan su duración en la última prueba, no así el técnico 2

que disminuye el tiempo respecto del segundo ensayo.

Prueba de gravedad específica y absorción de agregado grueso

Esta prueba presenta un tiempo promedio de 29 minutos, la duración promedio por técnico fue de 29 minutos (tecnico1), 26 minutos (técnico 2) y 30 minutos (tecnico3), como se puede observar el técnico 2 ejecutó el ensayo en un tiempo menor, ya que realizó el secado superficial de las partículas de forma más rápida. El técnico 1 requirió un tiempo mayor tanto en la fase de secado como en el ensayo general, pues utilizó un paño absorbente de menor tamaño para secar las partículas lo cual provocó una duración mayor en esa etapa, a diferencia de los técnicos 1 y 3 que contaron con el mismo material para secar las partículas pero el técnico 3 requirió un tiempo mayor.

Como se puede observar en la figura 24 el ensayo de mayor duración para los tres técnicos fue el inicial; el segundo ensayo se realizó en el tiempo menor para los tres técnicos y el ensayo final tuvo una duración intermedia en los tres casos.

Prueba de gravedad específica y absorción de agregado fino

Esta prueba es la de mayor duración entre los ensayos realizados, ya pues en promedio se requirió 1 hora y 40 minutos para realizarla. Esto porque llevar la arena saturada a la condición saturada superficie seca requiere más del 60% de la duración total de la prueba. Como se puede observar en el cuadro 41, la duración promedio de cada técnico para ejecutar el ensayo fue de 1 hora y 35 minutos (técnico 1), 1 hora y 32 minutos (técnico 2) y 1 hora y 50 minutos (técnico 3). Por lo tanto el técnico 2 realizó cada prueba en un tiempo menor que los demás técnicos.

La figura 25 muestra que los técnicos 1 y 2 aumentaron el tiempo de ejecución en el segundo y tercer ensayo siendo este último el de mayor duración. Por otro lado para el técnico 3 el ensayo de mayor duración fue el primero, disminuyendo en el segundo y aumentando de nuevo en el tercero.

Se obtuvo un tiempo promedio para los tres técnicos de 2 minutos para realizar la prueba del cono y un aproximado de 45 minutos para alcanzar la condición saturada superficie seca del agregado fino y realizar la primera prueba de humedad en superficie (prueba del cono).

Como se observa en los cuadros 73 a 81, el técnico 1 en dos de sus ensayos sobrepasó la condición saturada superficie seca, por ello se repitió la prueba 4 veces para obtener la condición requerida del material en cada ensayo. De igual forma el técnico 2, en dos de sus ensayos sobrepasó la condición por lo que hubo que repetir la prueba 3 y 4 veces respectivamente. De manera contraria el técnico 3 repitió la prueba en cada ensayo debido a exceso de humedad en las partículas por lo cual hizo la prueba 3,2 y 2 veces respectivamente en cada ensayo.

De manera general el técnico tres ejecutó cada ensayo en un tiempo promedio mayor que los demás técnicos, y el técnico dos en un tiempo promedio menor respecto a los técnicos 1 y 3.

Calificaciones por ensayo y por técnico

Prueba peso unitario

En el cuadro 85 se muestran las calificaciones para este ensayo. Se observa que los técnicos obtuvieron calificaciones mayores a 4, esto indica que los resultados obtenidos en cada ensayo se acercan a los valores promedio en ambos métodos: compactado y suelto; por el contrario la evaluación individual muestra calificaciones bajas, incluso de cero, pues se determinan con el promedio total de los ensayos realizados. Estas bajas calificaciones tienen como causa raíz el exceso de compactación del material tanto en el método compactado con varilla como en el suelto (técnico1), además de una errónea determinación del peso del recipiente (técnico 1 y 3). Estas diferencias se pueden observar en los cuadros 43 a 51. En caso de corregir los pesos de los recipientes los resultados tendrían la misma tendencia, siendo los resultados de menor valor los obtenidos por el técnico 2.

A pesar de lo anterior, la diferencia mayor entre resultados obtenidos por un solo operador es para el técnico 2 con un valor mayor al rango de aceptación establecido en el instructivo

técnico, indica variaciones en la forma de ejecución.

Las Normas AASHTO y ASTM además establecen rangos de aceptación entre dos resultados de pruebas realizadas por diferentes experimentadores en un material similar. Estos valores se compararon con los resultados obtenidos en esta prueba; dicho valor indicado en las normas es de 85 kg/m^3 para agregado grueso compactado con varilla. En el cuadro 86 se tienen las diferencias entre resultados y el primer valor del técnico 1 y 2 difiere 112 kg/m^3 (para el método compactado), ya que, como se indicó, se aplicó mal el procedimiento en el ensayo. Pero el resto de valores obtenidos son menores que el máximo establecido en la norma, el resultado mencionado provoca que la desviación estándar de todos los resultados obtenidos incumpla con lo determinado en las normas.

En esta prueba la duración en la ejecución por el método compactado con varilla es mayor para el técnico 1, como se mencionó anteriormente, y su calificación por técnico fue la menor. Esto se debe a la poca experiencia de en la realización de este ensayo.

Para los demás técnicos (1 y 2) no se presentó relación alguna en cuanto a su duración en la ejecución respecto de los resultados obtenidos, puesto que es una prueba corta y los tiempos de ejecución como se muestra en el cuadro 11 varían pocos minutos, y ambos técnicos obtuvieron calificaciones similares.

Prueba de resistencia a la abrasión

Para la prueba en la máquina Los Ángeles se obtuvieron los porcentajes de pérdida del material mostrados en el cuadro 87; en él se observa que el técnico 2 presenta los resultados mayor y menor de conjunto total de resultado lo que provoca una baja calificación en la evaluación por técnico (1 y 2) pues se alejan del promedio total de resultados. En el caso de los técnicos 1 y 3 obtienen calificaciones altas (4 y 5) debido a la cercanía de los resultados obtenidos respecto del promedio total.

La calificación por ensayo es alta para los tres técnicos, pero el técnico 2 obtiene calificaciones de 4, ya que los resultados obtenidos en los ensayos poseen una desviación estándar mayor que los calculada para lo demás técnicos.

El porcentaje de pérdida de material menor se obtuvo en el ensayo de mayor duración ejecutado por el técnico 2, las demás pruebas realizadas se desarrollaron con duraciones similares. Lo anterior se podría deber al hecho de que se evitó la pérdida del material, ya que la prueba se realizó en un tiempo mayor.

Prueba de gravedad específica y absorción del agregado grueso

En esta prueba se evaluaron los resultados de gravedad específica seca, saturada superficie seca y aparente además del porcentaje de absorción. Se obtuvieron calificaciones por ensayo altas, mayores o iguales a 4. Esto indica que los resultados obtenidos se acercaron al valor promedio de la prueba. En el caso de la evaluación por técnico, las calificaciones son bajas para gravedad específica seca, saturada superficie seca y aparente, pues el resultado de cada ensayo es mayor o inferior al promedio total de las pruebas. El técnico 1 obtiene resultados menores, ya que durante la ejecución de la prueba no sumerge totalmente el recipiente con el agregado en el agua, esto provoca que la masa del agregado sumergido sea menor afectando los cálculos.

Los técnicos 2 y 3, a pesar de obtener resultados similares, presentan calificaciones de 0, pues los valores bajos presentados por el técnico 1 provocan que el promedio sea un valor menor y los resultados de los otros técnicos tengan desviaciones mayores a las permisibles. A pesar de lo anterior, solo el técnico 1 realizó el procedimiento de acuerdo con la norma, en donde primero se obtiene la masa del agregado en condición saturada superficie seca y luego la masa sumergida. Los técnicos 2 y 3 realizaron el procedimiento de forma contraria con el fin de evitar la pérdida de material durante la inmersión de la muestra, lo cual induciría a diferencias en las masas obtenidas.

En el caso de la absorción las calificaciones por ensayo son altas, y por técnico varían de 0 a 4, pues algunos valores se alejan del promedio general de los resultados de absorción obtenidos, esto ocasionado por la forma de alcanzar la condición saturada superficie seca y la diferencia entre esta masa y la masa seca del material. Comparando los resultados obtenidos por cada técnico, como se

muestra en los cuadros 99, 101, 103 y 105, donde se evalúa la desviación estándar de todos los resultados obtenidos por los técnicos, esto es mayor a la indicada en las normas. Así se refleja al comparar la diferencia entre dos resultados entre técnicos para los ensayos 1, 2, y 3 con el rango de aceptación de dos resultados, donde se aprecia que cumplen con lo establecido en el instructivo técnico para la Gb (s) los técnicos 2 y 3 en todos los resultados, y los técnicos 1 y 3 en solo uno de los ensayos. Para la Gb (sss) sólo los técnicos 1 y 2 no sobrepasaron el rango establecido entre resultados. De igual manera para la Gba, en el caso de la absorción, ninguna comparación es mayor a lo indicado, por ello cumplen con el rango de aceptación.

Lo anterior se debe a la diferencia ya mencionada en los resultados obtenidos por cada técnico. Esto indica que se deben mejorar los procedimientos utilizados, pues como se observa en los resultados en su mayoría no cumplen con las especificaciones establecidas.

En cuanto al tiempo de ejecución, el técnico 3 tuvo la mayor duración y, a su vez, la mejor calificación tanto por ensayo como por técnico, ya que los resultados obtenidos son valores cercanos al promedio general.

Para los técnicos 1 y 2 no se presentó relación alguna entre los tiempos de ejecución y los resultados obtenidos.

Prueba de gravedad específica y absorción del agregado fino

Se evaluaron los resultados de la gravedad específica seca, saturada superficie seca y aparente, además del porcentaje de absorción calculados con el método gravimétrico. En los cuadros 106 y 107 se muestran los resultados de cada ensayo realizado. Las calificaciones obtenidas por ensayo se dan en los cuadros 108 y 109, donde se observan buenas calificaciones para los técnicos, pues los valores evaluados se están cercanos al promedio de datos respectivos. En el caso de la evaluación por técnico se observan calificaciones variadas de 0 hasta 5, esto indica que algunos de los resultados se alejan del valor promedio total, pues las notas de 0 obtenidas por los técnicos 1 y 2 son causadas por presentar resultados en los límites inferior y superior del rango de datos analizado.

En el caso particular del técnico 2 el valor obtenido de absorción fue de 3,83%, aproximadamente 50% menor que el promedio general. Esto se debe a que el material introducido en el picnómetro no se encontraba en la condición saturada superficie seca debido al tiempo transcurrido de cuando se realizó la prueba de humedad en la superficie y se determinó la masa de la muestra en el picnómetro. En este tiempo las partículas perdieron humedad ello afectó los resultados no sólo de absorción sino también de Gbss y Gba, pues son resultados dependientes de la condición saturada superficie seca de las partículas y de la masa total de picnómetro, agua y muestra en condición sss respectivamente. Éstos fueron los valores menores dentro del rango de resultados evaluados.

El técnico 1 presenta una calificación de cero en la evaluación de técnicos en el primer ensayo. Esto se debió a que en el proceso de llenado del picnómetro con agua y material no se llegó a la marca de calibración, esto afecta los cálculos respectivos de Gbs que involucran la masa total de picnómetro, agua y muestra.

La calificación general obtenida se muestra en los cuadros 110 y 111. En la ejecución de la prueba de humedad en la superficie sólo el técnico 2 dejó caer libremente el apisonador sobre la arena, y todos los técnicos respetaron la altura máxima de caída para la condición saturada. La agitación para eliminar las burbujas de aire del picnómetro se realizó por los técnicos 1 y 3 con la bomba de vacío y el técnico 2 realizó la agitación manualmente. Además este último efectuó la inmersión en baño maría del picnómetro con la muestra y el agua después del periodo de agitación para alcanzar la temperatura de 23 °C indicada en las normas y en el instructivo técnico antes de determinar la masa total. Los técnicos 1 y 3 no determinaron la temperatura del agua luego del periodo de agitación, sino solamente antes de éste. Para este caso en particular la temperatura previa fue de 22 °C (técnico 1) y 21,5 °C (técnico 3).

Comparando los resultados obtenidos en cada ensayo y la diferencia de éstos entre cada técnico según los cuadros 113, 115, 117 y 119 y los valores establecidos en las normas y en el instructivo se observa que para Gbs sólo un par de resultados sobrepasa el rango establecido, en el caso de Gbss cuatro pares de resultados, para Gba cinco pares y para la absorción siete

pares de las nueve relaciones posibles. Esto indica como en el caso de la prueba de gravedad específica del agregado grueso, que se deben estandarizar procedimientos y realizar más pruebas de desempeño para lograr que los resultados obtenidos cumplan con los requerimientos establecidos.

De manera similar al ensayo de gravedad específica y absorción del agregado grueso, en esta prueba el técnico 3 obtuvo un promedio de las calificaciones mayores por ensayo y por técnico con una duración promedio mayor que los demás técnicos. Los técnicos 1 y 2 tienen promedios de duración (cuadro 41) y calificaciones similares.

De manera general el técnico 3 desarrollo las cuatro pruebas en un tiempo promedio mayor como se menciono anteriormente, a su vez obtuvo calificaciones mejores o iguales que los demás técnicos según el ensayo ejecutado, pero para los técnicos 1 y 2 no se presenta relación entre la duración y las calificaciones obtenidas pues las diferencias en el tiempo de ejecución son mínimas.

Con todo lo presentado en este análisis se muestra que cada técnico tiene una metodología para realizar los ensayos. Éstas no se alejan de los procedimientos establecidos en los instructivos técnicos, pero cada variación por pequeña que sea, afecta los resultados. Por lo tanto los ensayos de aptitud realizados permitieron, detectar los errores de procedimientos y medición, esto con el fin de realizar una mejora en la ejecución de cada ensayo por medio de la estandarización de procedimientos para mejorar el desempeño de los técnicos y del laboratorio en general.

Pero se debe considerar el hecho que las calificaciones obtenidas por el método AMRL, se determinan según el valor de referencia. En el actual caso es el valor del promedio de los resultados obtenidos, lo que provoca que el dato utilizado como referencia no sea preciso, pues un valor alto o bajo respecto del resto de los resultados afecta el promedio de forma significativa. Por ello se debe tomar estas calificaciones como referencia en el hecho de la variación de los resultados, pues si son bajas las diferencias entre resultados son grandes alejándose del promedio, pues si todos los técnicos utilizaran el mismo procedimiento las desviaciones respecto del valor promedio serían

mínimas y estarían dentro de los parámetros establecidos en las normas.

De esta forma los resultados obtenidos en este proyecto indican la necesidad de estandarizar los procedimientos, pero las calificaciones se deben comparar con el análisis de ejecución de cada prueba para establecer la causa raíz de las diferencias entre calificaciones.

Este tipo de pruebas a nivel intra laboratorio permiten contar con una herramienta más para velar por la calidad y preparar al personal para futuros ensayos de aptitud realizados a nivel interlaboratorios, para garantizar la competencia en el mercado nacional, además de satisfacer los requerimientos del ente de acreditación y generar, como consecuencia confianza en los clientes que contraten sus servicios

Por lo tanto, este tipo de prueba se debe realizar de forma frecuente para capacitar al personal, disminuir las diferencias entre los resultados obtenidos y garantizar la calidad en el desempeño y la ejecución de cada ensayo.

Conclusiones.

- El proyecto realizado y la futura implantación de los procedimientos técnicos de los ensayos mencionados facilitarán la estandarización de procedimientos entre los técnicos, al disminuir los variables que inducen a resultados erróneos.
- Con la etapa de capacitaciones se logró homogenizar la nomenclatura por utilizar en cada ensayo, con el fin de agilizar la comprensión de resultados tanto del personal del laboratorio como de personas externas.
- Los equipos utilizados en los ensayos evaluados en las pruebas de desempeño se encuentran en buen estado, pero requieren de mantenimiento y verificación de dimensiones al menos una vez al año.
- El ensayo de sanidad de los agregados gruesos y finos se realizará primordialmente con sulfato de magnesio y como alternativa opcional con sulfato de sodio.
- El ensayo para determinar el índice de durabilidad de los agregados no se realiza actualmente en el laboratorio, ni se cuenta con parte del equipo necesario.
- Para la prueba de equivalente de arena en suelos y agregados el equipo existente se debe mejorar y acondicionar un área específica en donde se realice dicho ensayo.
- La calibración de equipos de medición se encuentra fuera del alcance del presente proyecto, la determinación de las incertidumbres en las hojas de verificación de equipos se realizará por parte los gerentes técnicos del *LabCIVCO* cuando se cuente con los registros de verificación y calibración de equipos respectivos.
- Las pruebas de desempeño mostraron que aún no han logrado la estandarización de procedimientos por parte del personal técnico evaluado.
- Los tiempos de ejecución de pruebas son similares para los tres técnicos de igual forma su rendimiento.
- La evaluación del desempeño según la metodología AMLR, facilita el análisis en la variación de resultados obtenidos por los técnicos pues permite realizar un análisis causa-raíz para mejorar los procedimientos.
- La evaluación del desempeño del personal técnico permite detectar trabajos no conformes o no conformidades durante la ejecución de cada procedimiento.
- Se debe controlar la temperatura del laboratorio, pues algunos ensayos estipulan temperaturas específicas para ser ejecutados en ambientes controlados.
- La prueba de desempeño de peso unitario muestra la necesidad de capacitar al personal técnico para evitar las diferencias entre resultados obtenidos debido principalmente a la compactación del material.
- La prueba de desempeño de resistencia a la abrasión es de fácil ejecución, y el desarrollo por parte de los técnicos fue similar.
- La prueba de gravedad específica y de absorción del agregado grueso las calificaciones fueron bajas, lo que indica diferencias en la forma de ejecución por parte de los técnicos.
- En la prueba de gravedad específica y absorción de agregado fino se obtuvieron calificaciones promedio mayores que en las otras pruebas evaluadas, a pesar de ciertas variaciones en el procedimiento en el momento de ejecución.
- El técnico 1 ejecutó las pruebas con una duración intermedia respecto de los demás técnicos. De forma general siguió los pasos

pero omitió detalles y especificaciones de los instructivos técnicos de las pruebas evaluadas.

- El técnico 2 en las 4 pruebas evaluadas requirió un tiempo promedio de ejecución menor, y el desarrollo de los ensayos los realizó según los procedimientos establecidos incluyendo aspectos omitidos por los demás técnicos, a pesar de esto sus calificaciones promedio fueron las menores en tres de las pruebas.
- El técnico 3 desarrolló las pruebas en un tiempo promedio mayor que los demás técnicos en 3 de las pruebas en las cuales obtuvo calificaciones promedio mayores a las de los demás técnicos evaluados y ejecuto las pruebas según los procedimientos establecidos pero de igual manera omitió detalles que indicados en los instructivos.

Recomendaciones.

- Se deben actualizar los instructivos técnicos conforme se actualicen las normas AASHTO y ASTM para asegurar su vigencia.
- Capacitar al personal en el uso de los registros técnicos físicos y digitales finales y así facilitar la obtención de resultados y emplear dichos registros con el fin de realizar correcciones si fuese necesario para asegurar su eficiencia y buen funcionamiento.
- El equipo indicado en el ensayo de gravedad específica del agregado fino, se encuentra en buenas condiciones, pero se podría mejorar el rendimiento de la prueba utilizando una secadora industrial en vez de una plantilla, esto como opción ya que no es requisito establecido en el instructivo para ejecutar la prueba, además se debe realizar una separación de moldes y apisonadores para etiquetarlos como equipo de acreditación o uso de estudiantes.
- Renovar el equipo de uso cotidiano en el laboratorio como bandejas de acero inoxidable, recipientes metálicos, filtro paños y equipo básico de seguridad como mascarillas y tapones para los oídos.
- Realizar pruebas de desempeño al menos una vez al año para evaluar la ejecución de los procedimientos y resultados obtenidos, con el fin de establecer las medidas correctivas.
 - A la gerencia técnica implantar los registros de verificación y calibración de equipos para evaluar la condición de los equipos existentes.
 - Mejorar el equipo para la prueba de equivalente de arena y establecer las condiciones del espacio físico para desarrollar la prueba.
- Realizar la separación del equipo necesario en cada prueba como equipo de acreditación o equipo para docencia.
- Cambiar los vidrios rotos y celosías del laboratorio, y colocar aires acondicionados para mantener ambientes controlados.
- Para la prueba de peso unitario, dar mantenimiento a los recipientes y verificar su volumen al menos una vez al año. Además adquirir los tamaños de recipientes faltantes, para facilitar la ejecución de la prueba.
- La compra de balanzas digitales con capacidad para 50 kg o más ya que las balanzas existentes en el laboratorio con esa capacidad son poco precisas y no cumplen con la precisión establecida en el instructivo técnico de peso unitario (0,050 kg).
- Realizar la prueba de gravedad específica del agregado grueso en la mesa adquirida para ello, pues facilita la ejecución del ensayo y es más precisa.
- Para la prueba de gravedad específica del agregado fino se recomienda realizar el procedimiento según el instructivo técnico evitando sobrepasar la condición saturada superficie seca de la muestra.
- A los tres técnicos estudiar los procedimientos para ejecutar cada prueba según lo establecido en ellos, y así obtener resultados dentro de los valores indicados en cada instructivo y evitar no conformidades.

Apéndices

Apéndice A: Instructivo Técnico para determinar el peso unitario y vacíos en el agregado.

Apéndice B: Instructivo Técnico para determinar la resistencia a la degradación de partículas pequeñas de agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina Los Ángeles.

Apéndice C: Instructivo Técnico para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso.

Apéndice D: Instructivo Técnico para determinar la gravedad específica y absorción del agregado fino.

Apéndice E: Instructivo Técnico para determinar la sanidad del agregado utilizando sulfato de magnesio o sulfato de sodio.

Apéndice F: Instructivo Técnico para determinar la cantidad de finos plásticos en el suelo o agregado fino por medio de la prueba Equivalente de arena.

Apéndice G: Instructivo Técnico para determinar el índice de durabilidad de los agregados.

Apéndice H: Instructivo Técnico para determinar el índice de partículas chatas, partículas alargadas y partículas chatas y alargadas.

Apéndice I: Instructivo Técnico para determinar el porcentaje de partículas friables en el agregado.

Apéndice J: Instructivo Técnico para determinar el porcentaje de caras fracturadas en las partículas.

Apéndice K: Aspectos no conformes y no conformidades en las pruebas de desempeño.

Apéndice L: Registros técnicos de cada instructivo (disco).

Apéndice M: Registros digitales de cada prueba (disco).

Apéndice N: Hojas de verificación de equipo (disco).

Referencias.

Ley N° 8279. Sistema Nacional Para La Calidad, 2002.

INTECO. 2005. Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005: Requisitos Generales para la Competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración. **NORMA INTE-ISO/IEC 17025:2005.** 1:38 p.

ASTM. 2003. *ASTM C-29 Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM C-131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM C-127 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM C-128 Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM C-88. Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM C-142 Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM D-2419. Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM D-4791. Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

ASTM. 2003. *ASTM D-3744. Standard Test Method for Aggregate Durability Index¹.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03

ASTM. 2003. *ASTM D-5821. Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate.* **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 2003 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03

ASTM. 2003. ASTM C-670 Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 1996 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

AASHTO. 2009. AASHTO T-19. Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009.**

AASHTO. 2009. AASHTO T-96. *Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009.**

AASHTO. 2009. AASHTO T-85. *Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009.**

AASHTO. 2009. AASHTO T-84. *Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009.**

AASHTO. 2009. AASHTO T-104. *Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009.**

AASHTO. 2009. AASHTO T-112. *Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009**

AASHTO. 2009. AASHTO T-176. *Plastic Fines in Graded Aggregate and Soils by use the Sand*

Equivalent Test. **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009**

AASHTO. 2009. AASHTO T-210. *Aggregate Durability Index.* **AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO). 2009**

ASTM. 2003. ASTM C-670 Standard Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials **AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 1996 ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARS.** Volumen 04.03.

www.Amrl.net

Tesis

Rommel Cuevas K, 2009, diciembre, *Gestiones Técnicas y Logísticas Necesarias Para la Acreditación de 8 Pruebas el Laboratorio de Materiales del Ceco (LabCIVCO) Según La Norma INTE-ISO/IEC 17025:2005*, Proyecto de Graduación de Licenciatura, Escuela de Ingeniería de Construcción, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 143p.

Aspectos no conformes para las pruebas de desempeño realizadas y acciones que implican no conformidades durante el desarrollo de cada ensayo evaluado.

ENSAYO	NO CONFORMES	NO CONFORMIDADES
Peso unitario del agregado grueso por el método suelto y compactado.	Balanza con una precisión de +/- 250 g mayor a la requerida (+/- 50g)	<ul style="list-style-type: none"> • Toma errónea de masa de los recipientes (T1 y T3). • Sobre compactación del material (T1).
Resistencia a la abrasión del agregado grueso (37,5 mm)	-----	-----
Gravedad específica y absorción del agregado grueso.	Equipo menor (pañós absorbentes).	<ul style="list-style-type: none"> • Inmersión parcial de la canasta con el material en el tanque de agua (T1). • Variación de procedimiento ya que primero se determina masa de la muestra en condición sss y luego se determina la masa sumergida contrario a lo indicado en el instructivo (T2 y T3).
Gravedad específica y absorción del agregado fino.	Precisión de los picnómetros	<ul style="list-style-type: none"> • Si al realizar la prueba de humedad en la superficie se sobrepasa la condición sss, se debe dejar reposar la muestra con unos mililitros de agua por 30 minutos y ejecutar la prueba dicha prueba de nuevo (T1 y T2), no realizar la prueba de forma inmediata. • No determinar la masa de la muestra en el picnómetro con agua hasta la marca de calibración de forma inmediata luego de alcanzar la condición sss del material.(T2) • No determinar la temperatura del agua en el picnómetro luego de la agitación para eliminar las burbujas de aire de la muestra, antes de determinar la masa del material en el picnómetro con agua hasta la marca de calibración. (T1 y T3).

