

UNIVERSIDAD “SAN PEDRO”

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



Resistencia a la compresión de un concreto permeable vs uno convencional, utilizando agregados de la cantera shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero
Civil

Autor:

Morales Espinoza Alexei Moris

Asesor:

Ing. Miguel Solar Jara

Huaraz – Perú

2018

PALABRAS CLAVE

KEYWORDS

TEMA	Resistencia del concreto permeable
ESPECIALIDAD	Tecnología del concreto
MATTER	Previous Concrete
SPECIALITY	Technology Concrete

LINEAS DE INVESTIGACIÓN

2. Ingeniería y Tecnología

2.1 Ingeniería Civil

- Ingeniería Civil

TITULO:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN CONCRETO PERMEABLE VS UNO CONVENCIONAL, UTILIZANDO AGREGADOS DE LA CANTERA SHONGUWARQUI DEL DISTRITO DE CHINGAS, PROVINCIA ANTONIO RAYMONDI.

RESUMEN

El propósito de la investigación es conocer cuál es la resistencia del concreto permeable respecto al concreto convencional o normal para su aplicabilidad en pavimentos urbanos utilizando los agregados de la cantera de Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi; y con un cemento portland tipo I; con el fin de encontrar alternativas de concreto para su aplicación en el campo de la ingeniería civil. Dentro de su metodología se empezó por la búsqueda de información relacionada al tema, además de obtener información sobre la ubicación de la cantera shonguwarqui de la cual se extrajo los agregado, luego se tomó muestras para su respectivo análisis de agregados de acuerdo a la NTP 400.012, seguido se procedió al análisis de estas para diseñar la mezcla. Se preparó la mezcla y se controló el slump para ver la trabajabilidad y método de compactación además se elaboró testigos para la rotura tanto de concreto permeable como del convencional, en cuanto al concreto permeable se tuvo en cuenta la relación A/C al momento de diseñar la mezcla de acuerdo a la norma ACI 522 R (2006) además de medir la permeabilidad de esta, luego se comparó los resultados del concreto permeable vs el concreto convencional; las rupturas de las probetas se realizó a los 7, 14 y 28 días.

Los agregados analizados muestran una alta resistencia y granulometría adecuada, teniendo además todas sus propiedades adecuadas para la elaboración de concretos de alta resistencia, sin embargo cabe mencionar el resultado del análisis químico realizado en la cual resulta con un alto carbonato que podría afectar al concreto reforzado, puesto que causa corrosión en el acero. En cuanto a la resistencia se obtuvo una resistencia de 232.82kg/cm² en el concreto convencional y en concreto permeable se obtuvo 132.75kg/cm², 159.77kg/cm² con gravas de ¾” y 3/8” respectivamente. En la permeabilidad el concreto que filtra mejor es la de ¾” de gradación. Cabe mencionar que los ensayos realizados en el concreto permeable en estado fresco y endurecido se han realizado conforme a la normatividad existente referida al concreto permeable, pues estos difieren considerablemente a los de un concreto convencional.

ABSTRACT.

The purpose of research is to know what is the resistance of the previous concrete about to conventional concrete or normal for applicability in flooring urban using aggregates quarry Shonguwarqui District Chingas, Province Antonio Raymondi; and with a pórland cement type I; in order to find new alternatives concrete for your application in the field of civil engineering. Within its methodology it began by searching for information related to the subject, in addition to obtaining information on the location of the quarry Shonguwarqui from which the aggregates were extracted, then samples are taken for their respective analysis of aggregates according to the NTP standard 400.012, followed by the analysis of these to design the mixtures. Be prepared mix and is measured the slump for workability and method compaction addition to be developed witnesses to break both previous concrete as the conventional concrete, as for the particular previous it had in mind the relationship A/C; when designing mixtures according to the standard ACI 522r (2006) as well measured patency of this, then were compared the results of the previous concrete vs conventional concrete, ruptures of specimens was performed to 7, 14, 28 days. The aggregates analyzed show a high resistance and particle size appropriate, talking addition all your suitable properties for the development of concrete high resistance, however include the result of the chemical analysis performed in which it with a high carbonate that could affect reinforced concrete, since cause corrosion in the steel

Following the regulations proceeded to design mixtures for both conventional concrete and previous concrete by the method ACI. As for the residence was obtained resistance 232.82kg/cm² in the conventional concrete and in previous concrete was obtained 132.75 kg/cm², 459.77kg/cm² with gravels ¾’’ and 3/8’’ respectively this to 28 days. In the previous concrete that filter is best to the ¾’’ gradation. It should be mentioned that the tests carried out on previous concrete in a fresh and hardened state have been carried out in accordance with the existing regulations regarding previous concrete, as these differ considerably from those of a conventional concrete.

INDICE.

PALABRAS CLAVE.....	i
TÍTULO.....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	Pág.01
METODOLOGÍA DEL TRABAJO.....	Pág.18
RESULTADOS.....	Pág.52
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	Pág.61
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	Pág.64
AGRADECIMIENTOS.....	Pág.67
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	Pág.68
APÉNDICES Y ANEXOS.....	Pág.71

INDICE DE TABLAS.

Tabla 1 (Control del concreto fresco SLUMP).....	Pág.12
Tabla 2 (Colores estándares de Gardner).....	Pág.25
Tabla 3 (Límites de sustancias deletéreas en agregados finos).....	Pág.39
Tabla 4 (Slump para diversos tipos de estructuras).....	Pág.32
Tabla 5 (Cantidad aproximada de agua para amasado).....	Pág.33
Tabla 6 (Relación agua cemento vs resistencia del concreto).....	Pág.33
Tabla 7 (Volumen de agregado grueso compactado).....	Pág.34
Tabla 8 (Porcentaje de aire atrapado).....	Pág.34
Tabla 9 (Peso específico de los cementos (gr/cm ³)).....	Pág.35
Tabla 10 (Granulometría de agregados (Gravas) de la cantera Shonguwarqui)..	Pág.54
Tabla 11 (Granulometría de agregados (finos) de la cantera Shonguwarqui)....	Pág.54
Tabla 12 (Propiedades químicas del agregado).....	Pág.55
Tabla 13 (Permeabilidad del concreto con gravas de ¾’’).....	Pág.55
Tabla 14 (Permeabilidad del concreto con gravas de 3/8’’).....	Pág.56
Tabla 15 (Resistencia a la compresión de concretos).....	Pág.57
Tabla 16 (Resumen de resistencia a la compresión de concretos).....	Pág.58
Tabla 17 (de resistencia kg/cm ² para la verificación de varianza Anova).....	Pág.58
Tabla 18 (Resistencias a la compresión de las probetas de concreto con una permeabilidad con graba de 3/4 y de 3/8 según días de curado).....	Pág.59
Tabla 19 (Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas).....	Pág.59
Tabla 20 (Calculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias a la compresión de los cubos de mortero es diferente).....	Pág.60

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1 (Resistencia a la compresión de concretos permeables según el contenido de vacíos).....	Pág.40
Grafico 2 (Contenido de pasta en concretos permeables según el contenido de vacíos).....	Pág.40
Grafico 3 (Curva granulométrica de gravas de la cantera Shonguwarqui).....	Pág.53
Grafico 4 (Curva granulométrica de finos de la cantera Shonguwarqui).....	Pág.54
Grafico 5 (Curva de permeabilidad del concreto permeable con gravas de ¾").....	Pág.56
Grafico 6 (Curva de permeabilidad del concreto permeable con gravas de 3/8").....	Pág.57
Grafico 7 (Curvas de resistencia a la compresión de concretos).....	Pág.58

I. INTRODUCCIÓN

El proceso de urbanización tradicional tiene importantes efectos sobre las aguas pluviales en una ciudad, principalmente debido a la disminución de la capacidad de infiltración y de almacenamiento, así como eliminación de los cauces naturales de escurrimiento. También aparecen contaminantes asociados a la actividad urbana como hidrocarburos y metales, que son arrastrados por el agua, contribuyendo significativamente a aumentar la contaminación difusa.

Estos cambios producen un impacto negativo en la hidrología natural y el medio ambiente. Se dañan cauces naturales y ecosistemas, y las inundaciones son más frecuentes, rápidas y severas. Todo esto se intensifica si la ciudad sigue creciendo sin preocuparse del impacto que ella misma genera. Las soluciones necesarias para enfrentar estas consecuencias son caras y no siempre efectivas.

Una alternativa para manejar el agua de una tormenta consiste en infiltrarla directamente a través de un concreto permeable utilizado como pavimento. El concreto permeable en pavimentos es una práctica ideal del mejor manejo para lograr esto, permitiendo que el agua de lluvia pase directamente a través del pavimento y entre a la tierra, de modo que pueda penetrar directamente al suelo o diseñando una red de alcantarillado pluvia en toda la vía y así evacuar las aguas de lluvia rápidamente y no ocasionar daños.

Con la utilización de pavimentos de concreto permeable se consigue recargar el acuífero, preservar los recursos hídricos, reducir el escurrimiento del agua pluvial o eliminarlo y remover algunos contaminantes, mejorando la calidad del agua. Además, esta práctica reduce o elimina en gran medida la necesidad áreas de retención costosas y el costo de alcantarillas para la conducción del agua.

En la investigación se encontró antecedentes nacionales e internacionales las cuales se mencionan como sigue:

Azañedo, Chávez, Muñoz, Cajamarca (2007) en su tesis “Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, cemento pórtland tipo i

con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca” donde su objetivo fue diseñar la mezcla de un Concreto Poroso, utilizando agregado de la cantera La Vitoria con cemento Pórtland tipo I con adición de tiras de plástico, con resistencias mecánicas adecuadas para el uso en pavimentos y que permitan un buen drenaje para su disposición final. Concluye que de los constituyentes del concreto poroso.

- Según los resultados obtenidos con el uso de cemento Sol Tipo I se obtienen resistencias ligeramente mayores que con el Cemento Pacasmayo Tipo I Mejorado.

- El agregado grueso de la cantera La Victoria utilizado se ajusta al Huso Granulométrico N° 8 (3/8” – N° 8), el cual permite el diseño de mezcla de Concreto Poroso para la ciudad de Cajamarca, empleando el Método del Comité 211 3R 97 para concretos de Cero Slump.

Barahona, Martínez, Zelaya, El Salvador (2013) En sus investigaciones Sobre Concreto Permeable Utilizando Agregado Grueso, donde su objetivo era realizar un Estudio del Comportamiento del Concreto Permeable en función del tipo de agregado grueso utilizado. En la cual se realizaron tres especímenes por cada alternativa del concreto permeable, considerando que una alternativa consta de una resistencia y un agregado diferente, evaluado a una edad específica (7, 14, 28 días), es decir que en el día 7 se someterán a la prueba de compresión 27 cilindros, a los 14 días se reventaran otros 27 cilindros y por ultimo a los 28 días se efectuara la prueba de compresión a los cilindros restantes que son 27. Concluyo que El uso del concreto permeable con el agregado grueso de tamaño nominal de 3/8” de las canteras el Carmen, Aramuaca y la Pedrera y según las pruebas de ASTM C-132 Y ASTM C-72 su resistencia es ideal para superficies de baja intensidad de carga.

Flores, Pacompia, Puno (2015) en su tesis diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos, Donde el Propósito era evaluar la incidencia que tiene la incorporación de tiras de plástico

(polipropileno) en las propiedades del concreto permeable $f'c=175\text{kg/cm}$ diseñado para pavimentos. Concluye que la resistencia a la Compresión desarrollada a los 28 días por el Concreto Permeable elaborado con el diseño óptimo, aumenta en un 16.7% y 4.2%, al adicionar las Tiras de Polipropileno en 0.05% y 0.10% respectivamente. Mientras que al incorporar las tiras en un 0.15% disminuye su resistencia a la compresión en un 10.7%. Concluyendo que el óptimo porcentaje de incorporación de Tiras de Polipropileno es 0.05% respecto al peso de todos los materiales del diseño de mezclas.

Flores México (2010) en su tesis “Caracterización del Concreto Permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste” donde su objetivo era establecer el procedimiento para caracterizar el concreto permeable considerando parámetros mecanicistas para estar en condiciones de diseñar mezclas de concreto permeable óptimas para pavimentos urbanos; concluye que se estableció un procedimiento adecuado para caracterizar el concreto permeable considerando parámetros mecanicistas, serán usando el Módulo de Ruptura y el porcentaje de desgaste obtenido por el método Cantabro, en el diseño del concreto permeable para pavimentos urbanos.

León, Rosero, Quito (2016) en su tesis de “Optimización del Diseño de una Mezcla de Hormigón Permeable a partir de tres Distintas Graduaciones” donde uno de sus objetivos era Diseñar una mezcla de hormigón permeable que nos permita alcanzar una resistencia aceptable; en la cual tomo muestras de agregados gruesos la cual analizó sus propiedades, luego paso al diseño de mezcla para obtener lo deseado. Concluye que realizando los ensayos de compresión se pudo observar que si se aumenta la relación agua/cemento (a/c) aumenta la resistencia a la compresión y a menor relación agua/cemento (a/c) disminuye su resistencia a la compresión, por lo que para obtener una mezcla de hormigón permeable se puede establecer un rango de relación agua/cemento que desde 0,55 a 0,60 para poder alcanzar resistencias a la compresión adecuadas.

Moujiry Castañeda, Santiago de Calí (2014) en su tesis de diseño y aplicación de Concreto Poroso para Pavimentos donde uno de sus objetivos era Determinar la viabilidad económica de la aplicación de concreto poroso, al comparar con aplicaciones de pavimento convencional en proyectos de infraestructura vial.

Concluye que Según los resultados de los ensayos realizados y la información que se recolectó para la elaboración del documento, el concreto poroso Tipo I se puede utilizar para una estructura de concreto como capa de rodadura en tráfico ligero o liviano. Implementándose en estacionamientos, ciclo vías, andenes peatonales, entre otras.

Pérez México (2009) realizó su tesis “estudio experimental de concretos permeables con agregados Andesíticos” con el propósito de sentar las bases para la fabricación de concretos permeables con agregados Andesíticos con un porcentaje de vacíos que cumplan los requisitos de permeabilidad y resistencia. Concluye que las mezclas con 15% de vacíos resultaron con un promedio de 196 kg/cm² en resistencia a compresión, 20kg/cm² en resistencia a la tensión indirecta por compresión diametral, 41 kg/cm² en resistencia a flexión y 117.768 kg/ cm² en módulo de elasticidad. Las mezclas con 20 % de vacíos resultaron con un promedio de 165 kg/cm² en resistencia a la compresión, 15kg/cm² en resistencia a la tensión indirecta por compresión diametral, 37 kg/cm² en resistencia a flexión y 105.378 kg/cm² en módulo de elasticidad.

Terreros, Carvajal, Bogotá (2016) en su tesis de investigación de “Análisis de las Propiedades Mecánicas de un Concreto Convencional Adicionando Fibra de Cáñamo” donde su objetivo general era determinar y analizar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) de un concreto convencional adicionando fibra de cáñamo en condiciones normales; investigación consta de unos análisis de datos, estudios e investigaciones; posteriormente un estudio experimental para comparar las propiedades mecánicas de un concreto normal con un concreto adicionando fibra de cáñamo. En los estudios experimentales se van a analizar varios aspectos tales como: la trabajabilidad o manejabilidad de la mezcla de

concreto mediante la relación agua-cemento(A/C), la resistencia a compresión adquirida en los días 7, 14 y 28 días. Concluyo que Basados en las fuentes de información, la fibra de cáñamo se utilizó en unas condiciones específicas, adicionando el 1% de fibra del peso total del concreto para cada uno de los ensayos, con una longitud de 4 cm a 5 cm por cada hilo, tratada con cal hidratada para evitar corrosión de la fibra causada por la alcalinidad del concreto y distribuida aleatoriamente en toda la mezcla para generar homogeneidad. En el proceso de mezclado la trabajabilidad del concreto con fibra fue más difícil que la del concreto normal, pues es necesario aglutinar eficazmente la fibra, sin embargo el grado de fluidez de los dos concretos con base al ensayo de asentamiento fue de 40 mm (1½") y los dos presentaron exudación notoria pero no en una alta tasa. Por lo tanto se afirma que la fibra genera mayor esfuerzo manual en el proceso de mezclado.

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Se percibe en las zonas andinas que las precipitaciones inundan las calles desbordando las alcantarillas pluviales, obstaculizando el tránsito vehicular y peatonal; además de afectar las bases de la losa de concreto de pavimentos, tal es el caso de la provincia Antonio Raimondi y sus distritos que utilizan el agregado de la cantera shonguwarqui. Por lo tanto motiva a investigar las propiedades del concreto permeable y su posterior aplicación en las pavimentaciones de sus calles de las zonas mencionadas, además siendo una fuente de información para futuras investigaciones acerca de este tipo de concreto y su aplicación en cualquier otra área cuyas condiciones sean similares a las encontradas en el territorio delimitado

Al llevar a cabo investigaciones del concreto permeable y su aplicabilidad en pavimentos urbanos, se estará conociendo el comportamiento de este y sus beneficios además de conocerse características del agregado grueso (grava) al emplearse como material pétreo en el concreto permeable. Por ende, los resultados obtenidos de esta investigación darán a conocer el agregado que

permita un concreto más eficiente (mejores características mecánicas e hidráulicas) además de reducir el costo.

PROBLEMA

Debido a las fuertes lluvias que afectan las pavimentaciones y alcantarillado pluvial los pobladores tienen inseguridad e incomodidad, pues las aguas obstaculizan el tránsito vehicular y peatonal debido al concreto usado en pavimentos, además de afectar a las mismas pues son poco durables, las aguas afectan las bases de los pavimentos debido a esto los pavimentos de concreto permeable ofrecen una solución atractiva a la fuga de agua y a los problemas asociados de contaminación de agua e inundaciones en épocas de lluvia. Este documento estudia la necesidad y las ventajas de los pavimentos de concreto permeable, y proporciona pautas para su diseño hidráulico y estructural, curado, mantenimiento, costo y otros aspectos importantes.

En nuestro medio existen que una serie de fenómenos relacionados con la intensidad de lluvia, entre ellos se manifiestan los siguientes;

La Escorrentía que se genera en obras viales; dicho problema se genera debido a que el agua no sigue su ciclo natural, generando que las obras viales fallen. Desde hace mucho se han instalados sistemas de drenaje (canaletas, badenes, cunetas, etc.) para contrarrestar dicho problema, pero este sistema está susceptible a fallas y no presenta una solución definitiva para manejar esta escorrentía, ya que el agua al ser evacuada por las obras de drenaje, generan problemas en los puntos de descarga natural (quebradas y ríos) generando crecidas repentinas del nivel del agua; provocando que las zonas de descargar no sean capaces de drenar el agua lo que conlleva a inundaciones repentinas en zonas aledañas y zonas bajas.

Si las obras de drenaje no evacúan el agua de las superficies de las aceras, pasos peatonales y estacionamientos puede ocasionar problemas de estancamiento de aguas en las estructuras ya mencionadas; dicho suceso deteriora tales obras viales, lo que implica costos de mantenimiento en las estructuras y al mismo

tiempo dichos estancamiento en las superficies peatonales también pueden ser fuentes de vectores de enfermedades, como el dengue u otras enfermedades.

En vista del conjunto de problemáticas antes mencionada, y percibir que no existen pruebas ni estudio del concreto permeable con los agregados más comunes, es indispensable el estudio del mismo en nuestro medio. Al investigar se obtendrán una serie características del concreto permeable sus diferentes resistencias respecto al concreto convencional. Y si en un futuro se desea emplear concreto permeable en Pavimentación de áreas urbanas existirá una investigación que indique ciertos parámetros de cómo será la resistencia de tal concreto.

Por lo tanto, se ha considerado estudiar la resistencia del concreto permeable como medida de atenuación a estos fenómenos.

Por lo expuesto nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es la resistencia a la compresión de un Concreto Permeable vs un concreto convencional aplicada a pavimentos, utilizando agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi?

CONCEPTUACIÓN Y OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

Concreto Convencional O Normal

Es la mezcla constituida por cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos, en proporciones adecuadas para obtener las propiedades prefijadas. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013). El concreto es un material durable y resistente pero, dado que se trabaja en su forma líquida, prácticamente puede adquirir cualquier forma. Esta combinación de características es la razón principal por la que es un material de construcción tan popular para exteriores. Sánchez D. (1997)

Concreto Permeable

El Concreto permeable se lo puede definir como un Concreto hidráulico y poroso debido a que sus características físicas (densidad, consistencia, tiempo de fraguado, tiempo de endurecimiento entre otros) poseen un contenido de vacíos muy alto en comparación con el Concreto tradicional. Este tipo de Concreto al

tener un alto contenido de vacíos permite el paso del agua y del aire de forma sencilla. La granulometría, la relación agua/cemento, y la adición de aditivos permiten obtener una mezcla exitosa de acuerdo a las características físicas y mecánicas requeridas.

Se encuentra dentro del espectro de los materiales ecológicos, ya que permite la filtración del agua al subsuelo logrando así la restauración de los mantos acuíferos. El material es sumamente durable, no degradable e increíblemente resistente manteniendo sus características de permeabilidad. ACI 522 R (2006)

Componentes del Concreto

Son aquellos materiales que en conjunto constituyen el concreto, los cuales básicamente son agregados (arena y grava) y pasta (cemento Pórtland y agua); los aditivos y adiciones son incluidos en la mezcla como componentes especiales. Sánchez D. (1997)

Cemento

Mineral pulverizado que tienen la propiedad que por acción de una cantidad de agua, forma una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como en el aire, produciendo compuestos estables Riva (2009). Las materias primas fundamentales del cemento son las rocas calcáreas, las arcillas que se extraen de los yacimientos a cielo abierto (canteras) y el yeso que se incorpora en el proceso de la molienda para regular el tiempo de fraguado Riva (2009). El proceso de fabricación consiste en obtener una mezcla de silicatos y aluminatos de calcio que se obtienen mediante un proceso de cocción a altas temperaturas de las calizas y arcillas calcinados en hornos giratorios, donde se produce la descomposición de las materias primas (arcilla y caliza) en óxidos que posteriormente se combinan entre sí a una temperatura de 850-1500°C y este producto que sale del horno giratorio se denomina Clinker. Abanto (2009).

Composición química cemento portland

Los componentes principales del cemento Portland son los silicatos y los aluminatos de calcio, estos compuestos se forman por la asociación química de diferentes óxidos como el óxido de calcio (CaO) entre 60-67%, el óxido de silicio (SiO₂) entre 17-25%, el trióxido de aluminio (Al₂O₃) entre 3-8% y el óxido de hierro (Fe₂O₃) entre 0.5-6% Ruiz (2009).

Hidratación y finura del cemento

Es la reacción (serie de reacciones químicas) del cemento cuando se le añade agua para formar un material de unión, el cual con la presencia de agua los silicatos y aluminatos forman productos de hidratación que con el tiempo producen una masa firme y dura, Dawood (2007). Mientras que el tamaño de una partícula de cemento tiene un efecto importante en la velocidad a la que se hidratará cuando se expone al agua, a medida que reacciona una capa de producto de hidratación se forma alrededor del exterior de la partícula, separando el núcleo sin reaccionar de la partícula del agua circundante, porque a medida que esta capa se hace más gruesa, la velocidad de hidratación disminuye. Hamlin and Jeff (2008)

Agregados

El agregado es el material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural, desgaste o trituración de rocas, de escorias siderúrgicas convenientemente preparadas para tal fin o de otros materiales suficientemente duros, que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables, destinados a ser empleados en el concreto.

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400.011. Hernandez C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Fino (Arena)

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm

Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Grava

Según Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013) es el agregado grueso proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural.

De acuerdo al tamaño de los agregados estas se dividen en:

Grava gruesa: 3'' a 3/4''

Grava fina: 3/4'' a 4.75mm

Piedra Triturada o chancada

Denominado así al agregado grueso obtenido por la trituración artificial de rocas o gravas. Sánchez D. (1997)

Diseño de Mezcla

Es la determinación de la combinación más práctica y económica de materiales disponibles para producir un concreto que satisfaga sus requerimientos bajo condiciones particulares de uso. Una mezcla se debe diseñar tanto para estado fresco como para estado endurecido. Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad y economía, y para el concreto endurecido son las de resistencia, durabilidad, acabado y en algunos casos el peso volumétrico. Sánchez D. (1997)

Agua

El agua como componente del concreto es el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Al mezclarse con el cemento se produce la pasta, la cual puede ser más o menos fluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua permanece en la estructura rígida de la pasta (Agua de hidratación), y el resto es agua evaporable. Sánchez D. (1997)

Características del concreto

Entre las características podemos ver:

La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aun tenga una consistencia plástica.

Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión.

Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua

Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Comportamiento

Es la manera de comportarse (conducirse, portarse). Se trata de la forma de proceder de un agente, material ante cualquier variable que lo afecte, es decir es la manera en la cual el concreto reacciona ante los materiales que lo componen. Niño J. (2010)

Trabajabilidad y consistencia

La trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones. No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad generalmente se le aprecia en los ensayos de consistencia; la consistencia es esta definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua usada. Prueba llamado revenimiento o "Slump test". Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Clases según su asentamiento.

Tabla 01 Control del concreto en estado fresco

Consistencia	Sump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0'' a 2''	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3'' a 4''	Trabajable	Vibración ligera Chuseado
Fluida	>5''	Muy trabajable	Chuseado

Permeabilidad

Se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando esta se encuentra a presión, o a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias. ACI 522 R (2006).

Impermeabilidad

Es una propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación y, si están interconectadas, el agua puede penetrar o atravesar el concreto. La inclusión de aire (burbujas diminutas) así como un curado adecuado por el tiempo prolongado, suelen aumentar la impermeabilidad. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Resistencia

Es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se pueda considerar de cuatro maneras: Compresión, tracción, flexión y corte. El concreto presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los de tracción, razón por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad a la que se le da mayor importancia. Sánchez D. (1997)

Segregación

Es un propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero. Es un fenómeno perjudicial para el concreto, produciéndose en el

elemento llenado, bolsones de piedra, capas arenosas, cangrejas, etc. La segregación es una función de la consistencia de la mezcla, siendo el riesgo mayor cuanto más húmedo es esta y menor cuanto más seca lo es; generalmente procesos inadecuados de manipulación y colocación son las causas del fenómeno de segregación en las mezclas, pues ocurre cuando parte del concreto se mueve más rápido que el concreto adyacente. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Exudación

Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos, este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado. La exudación puede ser producto de una mala dosificación de la mezcla, de un exceso de agua en la misma, de la utilización de aditivos, y de la temperatura, en la medida en que a mayor temperatura mayor es la velocidad de exudación. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Durabilidad

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio. Gran parte de los daños por intemperie sufrido por el concreto pueden atribuirse a los ciclos de congelación y descongelación. La resistencia del concreto a esos daños puede mejorarse aumentando la impermeabilidad incluyendo de 2 a 6% de aire con un agente inclusor de aire, o aplicando un revestimiento protector a la superficie. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Contenido de Vacíos

Masa volumétrica (masa unitaria) y vacíos: La masa unitaria es el peso o masa de agregado que se necesita para llenar un recipiente con un volumen determinado. El volumen referido aquí es el ocupado por los agregados y el volumen de vacíos que ocupan todo el recipiente. La masa volumétrica que ocupa los agregados comúnmente usados varía entre los 1200 a 1750 kg/m³.

La cantidad de vacíos afecta la demanda de pasta que necesita la mezcla –la demanda de agua de mezcla u cemento aumenta con la cantidad de vacíos – La cantidad de vacíos varía cerca de 30% a 45% para el agregado grueso y cerca del 40% al 50% para el agregado fino. Abanto F. (2013)

Vacío de Aire

Es un espacio, en la pasta del cemento, mortero o concreto, lleno de aire; un vacío de aire atrapado mide más o menos 1 mm de ancho, y es de forma irregular; estos tienen un diámetro entre 10 y 1000 ppm y asemeja una esfera. Sánchez D. (1997)

Autocompactable

El concreto auto compactable se define como “aquel que tiene la propiedad de consolidarse bajo su propio peso sin necesidad de vibrado, aun en elementos estrechos y densamente armados”.

Este concreto pertenece a la familia de los concretos de alto desempeño y tiene la propiedad de fluir sin segregación, auto compactándose por sí solo, asegurando así la continuidad del concreto endurecido. Abanto F. (2013)

Porosidad

Es la capacidad de un material de absorber líquidos o gases. También es el tamaño y número de los poros de un filtro o de una membrana semipermeable. ACI 522 R (2006)

Mezclado

Es la incorporación de los componentes del concreto hasta el grado en que las reacciones entre sí se completen; esta puede llevarse a cabo mediante medios manuales o mecánicos. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Concreto Endurecido

El concreto se encuentra en este estado cuando propiamente comienza la formación del tejido filamentosos producto de la hidratación, o gel de cemento, que endurece la pasta y que a su vez la capacita para aglutinar las partículas de los agregados, dándole resistencia mecánica a la masa del concreto. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Concreto Fresco

Mezcla de concreto recién elaborada, la cual es una masa plástica que puede ser moldeada con relativa facilidad, y que a temperatura normal de prueba permanece en ese estado durante pocas horas. Inicia desde que el concreto está recién mezclado, hasta el principio de la rigidez del mismo. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

Curado

Procedimiento para mantener en el concreto, los contenidos de humedad y temperatura en condiciones satisfactorias, durante un período definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

ACI

Es una sociedad técnica y educativa dedicada a mejorar el diseño, construcción, mantenimiento y reparación de estructuras de Concreto. ACI 522 R (2006)

ASTM

Siglas que corresponden a la entidad AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. (Sociedad americana para pruebas y materiales).

Relación Agua-Cemento (A/C)

La razón de la cantidad de agua, excluyendo sólo aquella absorbida por los agregados, a la cantidad de cemento en la mezcla de concreto o de mortero; establecida de preferencia como un decimal por peso. Sánchez D. (1997)

Aditivos

Se denomina aditivo a las sustancias añadidas a los componentes fundamentales del concreto con el propósito de modificar alguna de sus propiedades y hacerlo mejor para el fin a que se destine. Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013)

OPERACIONALIZACION DE VARIABLE:

VARIABLE DEPENDIENTE

Resistencia del Concreto

DEFINICION			
VARIABLE	CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Resistencia del Concreto	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento. (Juárez E. 2005).	Es el esfuerzo máximo que puede soportar una probeta de Concreto bajo una carga capaz de cumplir con las condiciones indicadas en la norma N.T.P.	Kg/cm ²

VARIABLE INDEPENDIENTE

Agregados, Agua, cemento

VARIABLE	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR
Independiente: Agregados Relación Agua/ Cemento	El agregado es el elemento que al mezclarse con cemento y agua en una adecuada proporción nos proporciona una piedra artificial con una resistencia deseada	Kg, m ³ , Bls, Ltrs

Se plantea como hipótesis: La resistencia a la compresión de un concreto permeable es superior al concreto convencional, Utilizando Agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi.

Como objetivo general se planteó evaluar la Resistencia a la compresión de un Concreto Permeable vs uno Convencional, utilizando agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi

Y como objetivos específicos

- ✓ Determinar las propiedades físicas y Químicas de los agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chinga, Provincia Antonio Raymondi.
- ✓ Determinar la relación a/c para un concreto permeable y convencional.
- ✓ Determinar La resistencia a la Compresión del Concreto Permeable y convencional en 7 días, 14 días y 28 días.
- ✓ Identificar y comparar el Concreto Permeable vs concreto convencional con la mejor resistencia para su aplicabilidad en pavimentos.

II. METODOLOGÍA DEL TRABAJO:

Primero se procede a la identificación de la cantera a usar para fines de investigación luego se localiza su ubicación, luego se procede a la extracción de esta para su análisis respectivo en laboratorio.

Dentro de estos análisis se realizan los análisis físicos y químicos, para poder tener conocimiento de las propiedades de este material y ver sus afecciones al concreto; seguido de estas actividades se procede a diseñar la mezcla y prepararla tanto convencional como permeable, para su posterior prueba de roturas, además de medir la permeabilidad del concreto permeable.

TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Según el Proceso, Aplicada, porque la investigación está orientada a lograr un nuevo conocimiento destinado a procurar soluciones a fin de conocer la resistencia del concreto permeable respecto al concreto convencional para su aplicación a pavimentos usando agregados de la zona.

























En coherencia con el fin de la ciencia

Explicativa porque los datos de la investigación han sido obtenidos por observación de fenómenos condicionados por el investigador. Se utiliza la experimentación.

Es un diseño experimental del tipo en bloque al azar, porque es un proceso en el cual estudiaremos la resistencia del concreto convencional en comparación con el concreto permeable a un diseño estandarizado aplicada a pavimentos, el estudio en su mayor parte se concentrará en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Materiales, donde el investigador estuvo en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en sus objetivos.

DISEÑO DE BLOQUE COMPLETO AL AZAR

- Concreto Permeable

DIAS DE CURADO	PRBETAS DE UN CONCRETO PERMEABLE VS UNO CONVENCIONAL		
	CONCRETO CONVENCIONAL	CONCRETO PERMEABLE	
		GRADACION 1 (3/4)	GRADACION 2 (3/8)
7			
14			
28			
			
			
			
			
			

POBLACIÓN Y MUESTRA

Conjunto de cubos de mortero con diseño capaz cumplir las condiciones de resistencias indicadas en el reglamento N.T.P.

Para este estudio se trabajó con una muestra de probetas de concreto permeable y concreto convencional o normal, 9 probetas de concreto permeable y 9 de concreto convencional

Para la elaboración de las unidades de estudio se utilizaron las siguientes referencias:

- ✓ Agregados fino y grueso para el concreto convencional
- ✓ Agregado grueso para el concreto permeable
- ✓ Agua
- ✓ Cemento portland Tipo I

TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

TECNICA	INSTRUMENTO
Observación	Guía de observación Resumen. Fichas técnicas del laboratorio de las pruebas a realizar.

Para esto se utilizó como instrumento una guía de observación resumen porque nos permitió elaborar sistemas de organización y clasificación de la información de los diversos ensayos y de la resistencia a la compresión (ver anexos).

PROCEDIMIENTO

IDENTIFICACION DE LA CANTERA

Identificación Preliminar de la cantera

Para identificar las canteras se usó el programa Google Heart lo cual nos facilita las vistas panorámicas de la cantera en explotación (Shonguwarqui) del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi.

De esta forma identificamos como sigue:

Cantera denominada Shonguwarqui perteneciente al Distrito de Chigas el cual se ubica a una altura de 2249msnm y $9^{\circ}08'21.21''$ S, $76^{\circ}56'44.08''$

Para llegar a la cantera se toma un desvío de la carretera Puchka – Llamellin. A unos 1.1 km desde el puente de Puchka, desde aquí se ubica a unos 3.15 km.

En el transcurso se encuentra la restricción de cadenas con muros de concreto lo cual asegura que se hurte el material extraído y almacenado.

Cerca de la cantera se encontró una gran cantidad de material de agregado tanto como material gravoso como arena almacenado para su uso con un área de la cantera es de unos 3.5 Has Aproximados de la cual se extrajo de unos 25 Kg de agregado para su análisis en laboratorio.



Extracción de la muestra para su análisis en laboratorio

PROCEDIMIENTO DE ANALISIS DE LOS AGREGADOS EN LABORATORIO

ANÁLISIS FÍSICO

Este ensayo se realizó en el laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales de la Universidad San Pedro – Huaraz

Para el Análisis Granulométrico separamos los finos de los gruesos (gravas) mediante tamizado usando el tamiz N°4 es decir los que quedan retenido en este tamiz son gruesos (gravas) y los que pasan son material fino.

Análisis Granulométrico Grava.- El análisis granulométrico se realiza mediante el uso de los tamices de 1 ½'', 1'', ¾'', 1/2'', 3/8'' y la n° 4 Siendo el tamaño máximo los de 1 ½'' y de tamaño nominal de 1''.

El procedimiento se realiza tamizándolos por los tamices mencionados anteriormente pesando lo retenido en cada tamiz; luego se procede a la selección para el desgaste de abrasión con maquina los Ángeles.

Análisis Granulométrico Fino.- El análisis granulométrico se realiza mediante el uso de los tamices n° 8, n° 16 n° 30, n° 50, n° 100, n° 200 y los que pasan el tamiz n° 200 o fondo (plato).

Primeramente se pesa una cierta cantidad de fino en este caso unos 2037.5gr. Lo cual se somete a lavado con el tamiz n° 200 para eliminar la materia orgánica; seguido se pone al horno por 24 horas para el secado del material. Una vez pasada 24 horas se procede a tamizarlos por los tamices mencionados pesando lo retenido en cada tamiz.

Pasada las 24 horas, se retira el material del horno y se procede a tamizarlo por los tamices mencionados.

Desgaste de abrasión con maquina los Ángeles.- La determinación de la resistencia al desgaste por cargas abrasivas, por medio de la máquina de los ángeles a una determinada muestra de agregado grueso.

Para el ensayo se separa una cierta cantidad de unos 5000gr o 5 kg es decir de la forma:

1 ½'' – 1'' 1250gr +- 10

1'' – ¾'' 1250gr +- 10

¾'' – ½'' 1250gr +- 10

½'' – 3/8'' 1250gr +- 10

Luego esta muestra se somete a lavarlo para luego colocarlo al horno; en el proceso de lavado se usa el tamiz n° 200 en el cual se echa solo el agua del lavado una vez lavado hasta clarificar el agua se coloca al horno por 24 horas.

Se pesa el material sacado del horno para introducirlo a la maquina los ángeles y se colocan las esferas de metal.

En la cual se introducen 12 esferas de metal para triturar el material agregado.

Y luego se enciende el aparato para procesar el agregado por unos 15 minutos

Obtenido luego el agregado se tamiza por el tamiz n° 12 y los retenidos se pesan para sacar el porcentaje de desgaste.

Equivalente de arena.- El equivalente de arena es un ensayo que nos sirve para ver la cantidad de finos en las arenas es decir la cantidad de limos y arcillas que son el material más fino lo cual se realiza de la siguiente forma:

Se usa Una Solución Tipo de cloruro de calcio (Ca Cl) se prepara con los siguientes materiales:

454g (1 lb) de cloruro de calcio anhidro.

2050g (1640 ml) de glicerina pura.

47g (45 ml) de formaldehido (en solución al 40 %, en volumen)

Preparación.- Se disuelve la cantidad indicada de cloruro de calcio (Ca Cl₂) en 1.90 l (½ galón) de agua destilada. Se deja enfriar esta solución y se pasa, por papel de filtro rápido. A la solución filtrada se agregan los 2050g de glicerina y la cantidad indicada de formaldehido. Se mezcla bien y se diluye hasta que la solución llegue a los 3.785 l (1 galón) de volumen.

Preparada la solución se vierte en el tubo de ensayo una cantidad de 4ml

Seguido se introduce la arena al tubo de ensayo.

Se procede al ensayo para lo cual es necesario utilizar las siguientes herramientas.

Luego de realizar el ensayo estas muestras se pone en reposo por unos 20 minutos para luego medirlos. Pasado los 20 minutos se procede a la medición

Impurezas Orgánicas.-La prueba de impurezas orgánicas se realiza por medio de reactivos químicos y reposo.

El ácido tánico empleado en la preparación de la solución tipo deberá cumplir unas series de condiciones en cuanto a enturbiamiento y limpieza, pérdida de peso por calentamiento y peso de cenizas por calcinación.

Se prepara una solución de hidróxido de sodio al 3% disolviendo 30 g de hidróxido de sodio en 970 g de agua destilada.

Se colocan en un frasco de vidrio blanco transparente 200 g de la muestra de arena con 100 cm³ de la solución de hidróxido de sodio al 3% o múltiplo de esas cantidades.

Se agita y se deja reposar por 24 horas.

El procedimiento para determinar la presencia de impurezas orgánicas en las arenas por el método de comparación de coloraciones, consiste en tratar una muestra de ensayo con una solución de hidróxido de sodio y comparar la coloración obtenida con la coloración de una solución tipo de ácido tánico.

La presencia de impurezas orgánicas en un árido puede modificar las reacciones químicas del cemento con el agua, alterando el correcto fraguado y endurecimiento.

El resultado del ensayo se expresa como presencia de impurezas orgánicas o no presencia de impurezas orgánicas (No apta o apta) cuando la coloración de la muestra tratada es más o es menos intensa que la solución tipo Placa Garden La placa orgánica viene con 5 vidrios de diferentes coloraciones que están numerados del 1 al 5 y están basados en la escala de colores estándar Gardner de acuerdo con lo descrito en la tabla

Tabla 02 Colores estándares de Gardner

Nº. DE COLOR EN PLACA ORGÁNICA	COLOR ESTÁNDAR GARDNER Nº.
1	5
2	8
3(Estándar)	11
4	14
5	16

Equivalencias entre colores de la placa orgánica y los colores estándar Gardner

Procedimiento

Reconocemos todos los materiales a usar para este ensayo

Llenar el bote de vidrio con la muestra de agregado fino a nivel de aproximadamente 130ml.

Añadir al interior del bote de vidrio, la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen del agregado fino y el líquido posterior al proceso de agitación sean de aproximadamente 200ml.

Tapar el bote, agitar vigorosamente (en el tiempo que se estime que la solución de hidróxido de sodio al 3% y el agregado fino se han mezclado completamente) y dejar reposar por 24 horas.

Peso unitario suelto y compactado.-Para este ensayo nos apoyaremos de las siguientes normas: NTP 400.017, ASTM C-29, MTC E203 siguiendo los parámetros e indicativos de la misma.

Además, el ejercicio de la experiencia de laboratorio nos permite obtener el suficiente conocimiento para realizar valoraciones de implementación extracción de los agregados, estos se implementaran en canteras, laboratorios u obras civiles. Y también, conoceremos como calcular el volumen de la probeta usando como elemento el agua, sacando el volumen en m³ para así obtener unos resultados más exactos. El peso unitario de un agregado debe ser conocido para seleccionar las proporciones adecuadas en el diseño de mezclas de concreto.

Procedimiento:

Agregado grueso – grava

Determinación del peso unitario suelto

Echar el agregado grueso al piso y mezclar con la pala (cuarteo).

Se procede a pesar el recipiente en donde se colocará la muestra.

Se pone con la pala de laboratorio el agregado en el molde, echar a una altura de 5cm en caída libre, compactándolo con la varilla hasta colmar el molde.

Enrazamos con la regla o una varilla esto se debe hacer como tres veces y limpiamos los expendes de los bordes con la brocha.

De ahí se vuelve a pesar el molde con la muestra.

DETERMINACION DEL PESO UNITARIO COMPACTADO

El agregado se encuentra en el piso se mezcla (cuarteo) y se echa con la ayuda de la pala de laboratorio al molde, se llena hasta el primer tercio de su capacidad, se chucea con la varilla 25 veces en forma helicoidal y haciendo presión.

De ahí se termina de llenar el molde, se agrega el material hasta que rebalse el molde, se chucea nuevamente, los espacios que quedaron vacíos se termina de llenar con los agregados de menor tamaño.

Se enrasa el material al nivel del borde superior del molde, con la ayuda de la varilla. De ahí se pesa el molde con la muestra.

Agregado fino – arena gruesa

Determinación del peso unitario suelto

En este ensayo se hace el mismo procedimiento que se hizo para el ensayo suelto del agregado fino.

b. determinación del peso unitario compactado

En este ensayo se hace el mismo procedimiento que se hizo para el ensayo suelto del agregado fino.

Cálculos

Fórmulas para determinar los cálculos

Peso Volumétrico para Agregado Fino – Suelto y Compacto

$$PVS(S, C) = (\text{peso de arena} - \text{peso del cilindro}) / \text{volumen del cilindro}$$

Peso Volumétrico para Agregado Grueso – Suelto y Compacto

$$PVS(S, C) = (\text{peso de grava} - \text{peso del cilindro}) / \text{volumen del cilindro}$$

Los resultados del ensayo se adjuntan en el anexo A

Gravedad Específica y Absorción de Agregado Grueso

Absorción.- Aumento en el peso de los agregados debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje del peso seco.

Gravedad Específica.- relación entre la masa (o peso en el aire) de una unidad de volumen de un material a la masa del mismo volumen de agua a una temperatura indicada. Los valores son adimensionales.

Gravedad Especifica Aparente.- Relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen de la parte impermeable del agregado a una temperatura indicada a el peso in el aire de un igual volumen de agua destilada libre de gas a una temperatura dada.

Gravedad Especifica Bulk.- Relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen total (incluyendo los vacíos permeables e impermeables de las partículas, pero sin incluir la vacíos entre partículas) a una temperatura establecida para el peso en el aire de un volumen igual del material libre de agua destilada a una temperatura establecida.

- Gravedad Especifica Bulk (SSD).- Relación entre el peso en el aire de una unidad de volumen total del agregado, incluyendo el peso del agua dentro de los vacíos alcanzados por la sumersión en agua durante aproximadamente 24 horas (pero sin incluir los vacíos entre las partículas), A una temperatura establecida, en comparación con el peso en el aire de un volumen igual del material libre de agua destilada a una temperatura establecida.

Análisis químico

Características químicas de los agregados.

De tiempo atrás se reconoce que ningún agregado es completamente inerte al permanecer en contacto con la pasta de cemento, debido a los diversos procesos y reacciones químicas que en distintos grados suelen producirse. Algunas de estas reacciones son benéficas porque contribuyen a la adhesión del agregado con la pasta mejorando las propiedades mecánicas del concreto, pero otras son perjudiciales porque generan expansiones internas que causan daño y pueden terminar por destruir al concreto.

Las principales reacciones químicas perjudiciales que ocurren en el concreto tienen un participante común representado por los álcalis, óxido de sodio y de potasio que normalmente proceden del cemento pero eventualmente pueden provenir también de algunos agregados por tal motivo, estas reacciones se designan generalmente como álcali-agregado.

Sustancias perjudiciales en el agregado.

Existen tres amplias categorías de sustancias perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados: Impurezas, que impiden el proceso de hidratación del cemento; recubrimientos, que impiden el desarrollo de la buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, y algunas partículas individuales que son en sí mismas débiles o inestables. Un agregado puede ser total o parcialmente dañino, debido a las reacciones químicas que ocurren entre el agregado y la pasta de cemento.

Entre dichos materiales contaminantes, los más comunes son los finos indeseables (limo y arcillas), la materia orgánica, el carbón y el lignito, las partículas ligeras y los terrones de arcilla y otras partículas desmenuzables. Si bien lo deseable es disponer de agregados completamente libres de estas materias perjudiciales, en la práctica esto no siempre es factible, por lo cual se hace necesario tolerarlas en proporciones suficientemente reducidas para que sus efectos nocivos resulten poco significativos.

La cantidad de sustancias deletéreas en el agregado fino no excederá los límites presentados en la tabla 03

Tabla 3. Límites de sustancias deletéreas en agregados finos

Sustancias	Porcentaje Máximo en peso total de la muestra
Arcilla y partículas disgregables	3.0
Material más fino que el tamiz 200 (75µm):	
Concreto sujeto a abrasión	3.0 ^A
Cualquier otro concreto	5.0 ^A
Carbón y lignito:	
Cuando la apariencia del concreto es de importancia	
Cualquier otro concreto	0.5
	1.0

En el caso de arena manufacturada, si el material más fino que el tamiz 200 consiste en polvo de fractura, esencialmente libre de arcilla o esquisto, estos límites pueden incrementarse en 5 y 7% respectivamente.

Fuente: Normas de la Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, Vol. 04.02 Pág.11

Limo y arcilla.- El limo es un material granular fino sin propiedades plásticas, cuyas partículas tienen tamaños normalmente comprendidos entre 2 y 60 micras aproximadamente.

En tanto que la arcilla corresponde al material más fino integrado por partículas menores de 2 micras y que si posee propiedades plásticas.

Por lo reducido del tamaño de sus partículas ambos materiales son perjudiciales pues incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos del concreto; pero el más perjudicial es la arcilla por su carácter plástico.

La prueba normal para cuantificar el contenido de tales finos contaminantes en los agregados, consiste en determinar la proporción de material que pasa la malla ASTM n° 200 (75 micras) mediante el lavado, en cuya determinación resultan comprendidos ambos tipos de finos

Materia Orgánica.- la materia orgánica que contamina los agregados suele hallarse principalmente en forma de humus, fragmento de plantas y raíces, y otros de

madera. La contaminación excesiva con estos materiales, básicamente en la arena ocasiona interferencia en el proceso normal de hidratación del cemento, afectando la resistencia y la durabilidad del concreto.

Para establecer el límite máximo permisible de contaminación de materia orgánica en la arena para concreto se aplica la llamada prueba calorimétrica ASTM C-40

El procedimiento aplicable para eliminar o reducir a un nivel tolerable la contaminación de los agregados con materia orgánica, depende de la forma en que ésta se encuentre. Si la materia contaminante consiste en minúsculas partículas de humus, es factible eliminarla en buena parte junto con otros finos de indeseables mediante un proceso de lavado ordinario pero si se compone de fragmentos de vegetación o madera su eliminación será empleando equipos especiales como los clasificadores hidráulicos que separan la arena en tamaños por sedimentación.

El procedimiento aplicable para eliminar o reducir a un nivel tolerable la contaminación de los agregados con materia orgánica, depende de la forma en que esta se encuentre.

Partículas inconvenientes.-Además de los contaminantes ya mencionados existen materiales de calidad inadecuada que se encuentran en agregados principalmente de origen natural como los terrones de arcilla fragmentos de rocas alteradas, partículas ligeras como las de carbón y las rocas muy porosas y débiles.

En previsión a ello se acostumbra en las especificaciones de agregados ASTM C-33, limitar su contenido máximo permisible con un rigor que depende de las características y condiciones de exposición y servicio de la estructura. Estas limitaciones incluyen también todas aquellas partículas que se identifican como desmenuzables, aunque no sean terrones de arcilla, pero cuya presencia en el concreto es igualmente indeseable. La eliminación de las partículas descritas es factible con un proceso de cribado y lavado ordinario, aplicando el agua sobre las cribas en forma de chiflones de alta presión.

Sales Inorgánicas.- Las sales inorgánicas que ocasionalmente pueden hallarse como contaminación en los agregados de origen natural son los sulfatos y

cloruros, principalmente estos últimos, como ocurre en los agregados de procedencia marina.

Sulfatos.- Tienen la facultad de reaccionar con el aluminio tricalcico (C3A) del cemento portland, para producir expansiones capaces de destruir paulatinamente al concreto. Sin embargo para que esto ocurra se requieren altas concentraciones de sulfato que normalmente puede provenir del exterior de la estructura, ya que las cantidades que eventualmente contienen los agregados no producen concentraciones riesgosas, a menos que coincidan con altos contenidos de estas sales con el agua de mezclado y que al sumar produzcan una concentración de sulfatos mayor de 3000 ppm, como SO_4 , en el agua total del concreto, en tal situación lo pertinente es cambiar la fuente de suministro de agua por otra más favorable en este aspecto, o bien efectuar el lavado de los agregados con agua libre de estas sales, a un grado tal que permitan reducir los sulfatos a un valor tolerable.

Cloruros.- El efecto de estas sustancias se debe fundamentalmente a que originan un medio favorable para que se produzca corrosión en el acero de refuerzo. Esta circunstancia puede darse principalmente si el medio de contacto externo con la estructura tiene un alto contenido de cloruros, como es el caso del agua de mar, pero también puede ocurrir si los componentes del concreto (agua, agregados o aditivos) aportan cantidades excesivas de cloruros solubles a la mezcla.

Si al efectuar la determinación de cloruros solubles en los agregados (ASTM D-1411) y hacer la evaluación correspondiente en el concreto se exceden los límites indicados, es recomendable someterles a un enérgico lavado con agua exenta de estas sales, a fin de obtener valores inferiores a dichos límites, si se pretende utilizarlos en la fabricación de concreto reforzado. No se considera prudente correr riesgos usando este tipo de agregados ni aun lavados, en la fabricación de concreto presforzado.

Los resultados de este análisis se adjuntan en el anexo A

DISEÑO DE MEZCLA



Fuente: Propia

El diseño de mezclas se elaboró por el método del ACI, para ello utilizamos las siguientes tablas que nos proporciona el ACI.

TABLA 4: SLUMP PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURAS

Tipo de Estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y Muros de Cimentación Reforzados	3"	1"
Cimentación Simples y Calzaduras	3"	1"
Vigas y Muros Armados	4"	1"
Columnas	4"	2"
Losas y Pavimentos	3"	1"
Concreto Ciclópeo	2"	1"

TABLA 5: CANTIDAD APROXIMADA DE AGUA PARA AMASADO

SLUMP	Tamaño Máximo de Agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
	Concreto Sin Aire Incorporado							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
	Concreto Con Aire Incorporado							
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

TABLA 6: RELACION AGUA CEMENTO VS RESISTENCIA DEL CONCRETO

fc a 28 días (kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin Aire Incorporado	Con Aire Incorporado
450	0.38	---
400	0.42	---
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

TABLA 7: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO COMPACTADO

Volumen de A°G° Compactado en Seco				
Tamaño Máximo de Agregado	Módulo de Fineza de la Arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8 "	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "	0.75	0.73	0.71	0.69
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.82	0.79	0.78	0.75
6 "	0.87	0.85	0.83	0.81

TABLA 8: PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO

CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO								
Máximo de A°G° (")	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4
Aire atrapado (%)	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00	0.50	0.30	0.20
CONCRETO CON AIRE INCORPORADO								
T. Máximo de A°G° (")	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	4
Grado de Exposición								
Normal	4.50	4.00	3.50	3.00	2.50	2.00	1.50	1.00
Moderada	8.00	5.50	5.00	4.50	4.50	4.00	3.50	3.00
Extrema	7.50	7.00	6.00	6.00	5.50	5.00	4.50	4.00

Esta última de las fuentes proporcionadas en cada producto de las diferentes marcas.

TABLA 9: PESO ESPECIFICO DE LOS CEMENTOS (gr/cm³)

Cemento	P. Especifico
Yura Tipo I	3.15
Yura Tipo IP	2.86
Yura Tipo IPM	2.95
Sol Tipo I	3.11
Andino Tipo I	3.11
Andino Tipo II	3.18
Andino Tipo V	3.11
Atlas Tipo IP	3.03

Seguido procedemos al diseño de nuestra mezcla para ello elegimos el slump de 1'' a 3'' elegimos 2'', luego tomamos una resistencia de diseño de $f'c=210\text{kg/cm}^2$ a esta no se debe de agregar por desperdicio por ser este diseño para laboratorio y no para aplicarla en obra.

Calculamos el volumen de agua de la siguiente manera

CALCULO 1: VOLUMEN DE AGUA

Slump 2 ''
 T. Máximo
 Agregado 3/4 ''

T.	1							
Máximo	3/8	1/2	3/4	1	1/2	2	3	4
Con Aire	181	175	168	160	150	142	122	107
Sin Aire	207	199	190	179	166	154	130	113

Con Aire 168
 Sin Aire 190

Agua 190 Kg. 0.19 m³

Calculamos el cemento como sigue

CALCULO 2: VOLUMEN DEL CEMENTO

f _c (kg/cm ²)	relación a/c con aire sin aire	
210	0.584	0.674

	Con Aire Incorporado		Sin Aire Incorporado
	190 Kg.	/	0.584 190 Kg. / 0.674
Cemento	325.34247 kg.		281.8991 kg.
	0.1046117 m ³		0.090643 m ³

Cemento: 0.091 m³

Calculo del agregado y volumen de aire

CALCULO 3: VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO

T. Máximo del Agregado Grueso	3/4 "
Módulo de Fineza de la Arena	2.60

T. Máximo	Módulo de Fineza			
Agregado	2.40	2.60	2.80	3.00
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6

Volumen de A°G° Compactado Seco	0.64 m ³
Peso Unitario Compactado Seco	1794 kg/m ³
Peso Específico Seco	2707 kg/m ³

**Agregado
Grueso: 0.424 m3**

**CALCULO 4:
VOLUMEN DEL AIRE**

Concreto Sin Aire Incorporado T. Máximo de A°G°	¾ "	Concreto Con Aire Incorporado T. Máximo de A°G°	¾ "
Aire atrapado	2 %	Aire atrapado	5 %

Aire: 0.020 m3

Calculo de los fino o arena gruesa

**CALCULO 5: VOLMEN
ABSOLUTO DE LA ARENA**

Volumen de Agua	0.19 m3
Volumen de Cemento	0.091 m3
Volumen del Agregado Grueso	0.424 m3
Volumen del Aire	0.020 m3
TOTAL:	0.725 m3

Arena: 0.275 m3

Calculo de pesos

**CALCULO 6: CÁLCULO DE
PESOS**

Elemento	Volumen Absoluto	Peso Especifico	Peso
Agua	0.190 m3	1000 kg/m3	190.000 kg.
Cemento	0.091 m3	3110 kg/m3	281.899 kg.
Piedra (seca)	0.424 m3	2707 kg/m3	1148.160 kg.

Arena (seca)	0.275 m3	2710 kg/m3	745.826 kg.
Aire	0.020 m3	0 kg/m3	0 kg.
TOTALES	1.000 m3		2365.885 kg.

Calculo finales y resultado

CALCULO 7: CALCULO DE PESO DE AGUA FINAL

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

	Humedad	pesará	balance de agua	contribución de agua
Piedra Húmeda	1.07 %	1160.45 kg.	0.00253	2.93593 kg
Arena Húmeda	5 %	783.117 kg.	0.0396	31.0114 kg

Agua Final: 156.053 kg.

Cantidad de materiales para 9 moldes de 6'' por 12''

DISEÑO FINAL PARA: 0.05004 m3 DE CONCRETO

ELEMENTO	PESO	
AGUA	7.809 kg.	
CEMENTO	14.106 Kg ó	0.3 bolsas
PIEDRA	58.069 kg.	
ARENA	39.187 kg.	
TOTAL	5.963 kg.	

ELEMENTO	VOLUMEN	DOSIFICACION
AGUA	0.008 m3	1.7 K
CEMENTO	0.005 m3	1.0 K
PIEDRA	0.032 m3	7.1 K
ARENA	0.014 m3	3.2 K
TOTAL	0.059 m3	

Para la elaboración de los testigos agregamos un 5% de desperdicio entonces quedaría como sigue

Agua	8.20 kg
Cemento	14.811 kg
Piedra	60.972 kg
Arena	41.146 kg
Total	125.129 kg

Diseño de Mezcla de un concreto permeable, para este diseño usamos la norma ACI 522r -10.

Diseño de mezcla para un concreto con gravas de ¾’’

Empezamos como sigue:

1.- tomamos las características físicas de los materiales a usar

MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Fineza	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo AI	Sol S. A.	3150					
Agua	Laboratorio	1000					
Ag. Fino	Shonguwarqui	2736	1.04	2.70	1656	1801	5.00
Ag. Grueso ¾’’ Huso 67	Shonguwarqui	2707	0.82	7.27	1650	1770	1.07

2.- Características del diseño de mezclas.

La relación agua-cemento se obtiene de las tablas proporcionadas por el ACI 522r

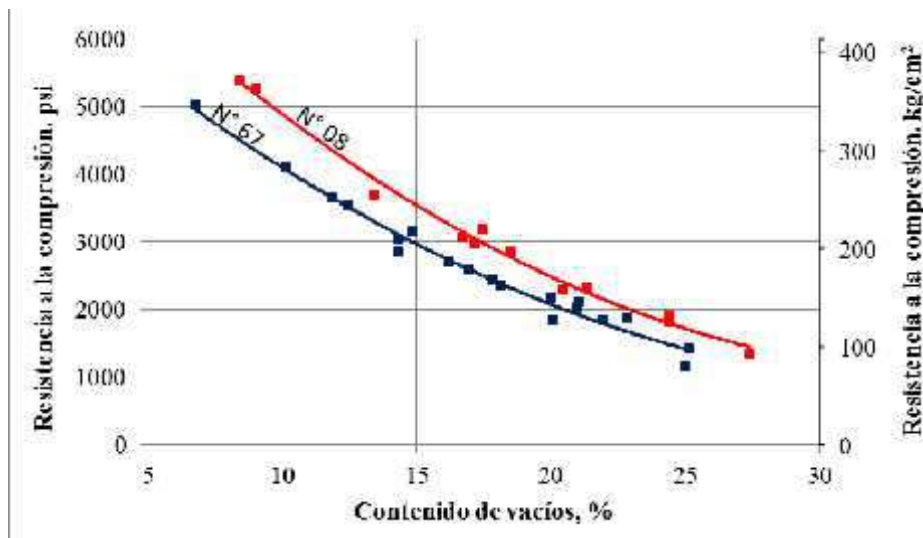


Gráfico 1 Resistencia a la compresión de concretos permeable según el contenido de vacíos. Fuente ACI 522r

Relación a/c	0.38
Contenido de Vacíos	15%
Ag. Fino	5 % de Finos

Determinación del volumen de pasta

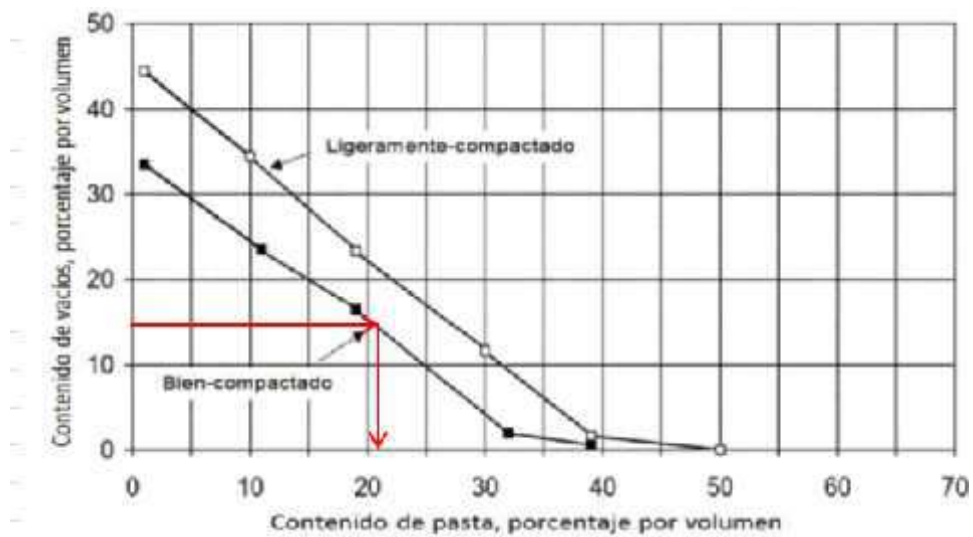


Gráfico 2 contenido de pasta en concretos permeable según el contenido de vacíos. Fuente ACI 522r

$$V_p = 0.21$$

$$V_p = 0.21$$

$$\begin{aligned} \text{C. Vacíos} &= 0.15 \\ \text{Vv} &= 0.36 \end{aligned}$$

Volumen de agregado grueso

$$\text{Vol. A. Grueso (Vag)} = 1 - (\text{Vp} + \text{Cv})$$

$$\text{Vol. A. Grueso (Vag)} = 0.64$$

$$0.64 \text{ (}=) \begin{array}{l} \text{A. Grueso} \\ \text{P.esp A. Grueso} \end{array}$$

$$\text{A. Grueso} = 1732.480 \text{ kg}$$

Cantidad de cemento

$$\boxed{Vp = \frac{C}{3.1 \times 1} + \left(\frac{a}{c}\right) \times C}$$

$$\text{Cemento} = 301.092 \text{ kg}$$

Determinación del volumen del cemento

$$\boxed{Vc = \frac{C}{P. e \quad ct}}$$

$$Vc = 0.096 \text{ m}^3$$

Determinación del contenido de agua

$$\boxed{a = C \times (a/c)}$$

$$\text{Agua} = 114.415 \text{ kg}$$

Determinación del Volumen de agua

$$\boxed{Va = \frac{a}{P. e \quad A}}$$

$$Va = 0.114 \text{ m}^3$$

Volumen total de Solidos.

$$\boxed{Vs = Vag + Vc + Va}$$

$$Vs = 0.850 \text{ m}^3$$

*Considerando un 5% de finos el agregado grueso será el 95%

$$\text{Vag. Grueso} = \text{Va.g} * 0.95\%$$

$$\text{Vag. Fino} = \text{Va.g} * 0.05\%$$

$$\text{Vag. Grueso} = 0.608$$

$$\text{Vag. Fino} = 0.032$$

$$\text{A. Grueso} = 1645.856 \text{ kg}$$

$$\text{A. Fino} = 87.552 \text{ kg}$$

*Para confirmar el porcentaje de vacíos

$$\text{Cont. Vacíos} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacíos} = 15 \%$$

Dosificación del concreto permeable

$$\text{Cemento} \quad 301.092 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{A. Grueso } 3/4'' \quad 1645.856 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{A. Fino} \quad 87.552 \quad \text{kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad 114.415 \quad \text{kg/m}^3$$

Corrección por absorción, humedad y aporte.

$$\text{Aporte del A. Grueso} = \text{A. Grueso} * ((\text{C.H.} - \text{Absor.}) / 100)$$

$$\text{Aporte de A. Grueso} = 4.33$$

$$\text{Aporte del A. Fino} = \text{A. Fino} * ((\text{C.H.} - \text{Absor.}) / 100)$$

$$\text{Aport. A. Fino} = 3.47$$

$$\text{Aportes} = 7.80$$

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Peso del agua} - \text{aportes}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 106.617 \text{ kg/m}^3$$

Valores de Diseño corregidos por humedad.

$$\text{A. Grueso Húmedo} = \text{Peso A. Grueso} * (1 + (\text{C.H.} / 100))$$

$$\text{A. Grueso Húmedo} = 1663.467 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Fino Húmedo} = \text{Peso A. Fino} * (1 + (\text{C.H.} / 100))$$

Entonces A.Fino Húmedo = 91.930 Kg/m3

Cemento	301.092	kg/m3
A. Grueso 3/4"	1663.467	kg/m3
A. Fino	91.930	kg/m3
Agua	106.617	kg/m3

Proporcionamiento de mezcla en peso (kg)

Cemento	1.000	kg
A. Grueso 3/4"	5.525	kg
A. Fino	0.305	kg
Agua	0.354	kg

Volumen del Molde = $\pi r^2 h$

r = 3.00 Pulgadas

h = 12.00 pulgadas

Entonces en m3 seria

Vm = 0.0055600 m3

Proporción de cantidad de materiales para una probeta

Cemento	1.674	kg
A. Grueso 3/4"	9.249	kg
A. Fino	0.511	kg
Agua	0.593	kg
TOTAL	12.027	kg

Proporción de cantidad de materiales para 9 probetas

Cemento	15.088	Kg
A. Grueso 3/4''	83.24	kg

A. Fino	4.6	Kg
Agua	5.34	Kg
Total	108.33	Kg

Proporción de cantidad de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio

Cemento	15.84	Kg
A. Grueso ¾''	87.40	kg
A. Fino	4.83	Kg
Agua	5.61	Kg
Total	113.68	Kg

Diseño de mezcla para un concreto con gravas de 3/8''

Empezamos como sigue:

1.- tomamos las características físicas de los materiales a usar

MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Fineza	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo AI	Sol S. A.	3150					
Agua	Laboratorio	1000					
Ag. Fino	Shonguwarqui	2736	1.04	2.70	1656	1801	5.00
Ag. Grueso 3/8" Huso 8	Shonguwarqui	2707	0.82	7.27	1650	1770	1.07

2.- Características del diseño de mezclas.

La relación agua-cemento se obtiene de las tablas proporcionadas por el ACI 522r del grafico del diseño de mezcla anterior

Relación a/c	0.38
Contenido de	15%

Vacíos	5 % de
Ag. Fino	Finos

De igual manera tomamos para el volumen de pasta del grafico del diseño anterior de contenido de pasta en concretos permeable según el contenido de vacíos. Fuente ACI 522r

$$V_p = 0.21$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0.21 \\ \text{C. Vacíos} &= 0.15 \\ V_v &= 0.36 \end{aligned}$$

Volumen de agregado grueso

$$\text{Vol. A. Grueso (Vag)} = 1 - (V_p + C_v)$$

$$\text{Vol. A. Grueso (Vag)} = 0.64$$

$$0.64 \text{ (}=) \text{ A. Grueso}$$

P.esp A. Grueso

$$\text{A. Grueso} = 1732.480 \text{ kg}$$

Cantidad de cemento

$$V_p = \frac{c}{3.1 \times 1} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) \times C}{1}$$

$$\text{Cemento} = 301.092 \text{ kg}$$

Determinación del volumen del cemento

$$V_c = \frac{C}{P.e \quad c\epsilon}$$

$$V_c = 0.096 \text{ m}^3$$

Determinación del contenido de agua

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{Agua} = 114.415 \text{ kg}$$

Determinación del Volumen de agua

$$V_a = \frac{a}{P \cdot e \cdot A}$$

$$V_a = 0.114 \text{ m}^3$$

Volumen total de Solidos.

$$V_s = V_{ag} + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.850 \text{ m}^3$$

*Considerando un 5% de finos el agregado grueso será el 95%

$$V_{ag. Grueso} = V_{a.g} * 0.95\%$$

$$V_{ag. Fino} = V_{a.g} * 0.05\%$$

$$V_{ag. Grueso} = 0.608$$

$$V_{ag. Fino} = 0.032$$

$$A. Grueso = 1645.856 \text{ kg}$$

$$A. Fino = 87.552 \text{ kg}$$

*Para confirmar el porcentaje de vacíos

$$\text{Cont. Vacíos} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacíos} = 15 \%$$

Dosificación del concreto permeable

$$\text{Cemento} \quad 301.092 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Grueso } 3/8'' \quad 1645.856 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Fino} \quad 87.552 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad 114.415 \text{ kg/m}^3$$

Corrección por absorción, humedad y aporte.

$$\text{Aporte del A. Grueso} = A. Grueso * ((C.H. - Absor.) / 100)$$

$$\text{Aporte de A. Grueso} = 4.33$$

$$\text{Aporte del A. Fino} = A. Fino * ((C.H. - Absor.) / 100)$$

$$\text{Aport. A. Fino} = 3.47$$

$$\text{Aportes} = 7.80$$

$$\text{Agua Efectiva} = \text{Peso del agua} - \text{aportes}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 106.617 \text{ kg/m}^3$$

Valores de Diseño corregidos por humedad.

$$\text{A.Grueso Húmedo} = \text{Peso A.Grueso} * (1 + (\text{C.H.}/100))$$

$$\text{A.Grueso Húmedo} = 1663.467 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Grueso Húmedo} = \text{Peso A.Fino} * (1 + (\text{C.H.}/100))$$

$$\text{A. Fino Húmedo} = 91.930 \text{ Kg/m}^3$$

Entonces

$$\text{Cemento} \quad 301.092 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Grueso } 3/8'' \quad 1663.467 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{A. Fino} \quad 91.930 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} \quad 106.617 \text{ kg/m}^3$$

Proporcionamiento de mezcla en peso (kg)

$$\text{Cemento} \quad 1.000 \text{ kg}$$

$$\text{A. Grueso } 3/8'' \quad 5.525 \text{ kg}$$

$$\text{A. Fino} \quad 0.305 \text{ kg}$$

$$\text{Agua} \quad 0.354 \text{ kg}$$

Volumen del Molde = $\pi * r^2 * h$

$$r = 3.00 \text{ Pulgadas}$$

$$h = 12.00 \text{ pulgadas}$$

Entonces en m³ seria

$$V_m = 0.0055600 \text{ m}^3$$

Proporción de cantidad de materiales para una probeta

$$\text{Cemento} \quad 1.674 \text{ kg}$$

$$\text{A. Grueso } 3/8'' \quad 9.249 \text{ kg}$$

$$\text{A. Fino} \quad 0.511 \text{ kg}$$

Agua	0.593	kg
TOTAL	12.027	kg

Proporción de cantidad de materiales para 9 probetas

Cemento	15.088	Kg
A. Grueso 3/8''	83.24	kg
A. Fino	4.6	Kg
Agua	5.34	Kg
Total	108.33	Kg

Proporción de cantidad de materiales para 9 probetas + 5% de desperdicio

Cemento	15.84	Kg
A. Grueso 3/8''	87.40	kg
A. Fino	4.83	Kg
Agua	5.61	Kg
Total	113.68	Kg

ELABORACIÓN DE TESTIGOS Y ENSAYO DE RESISTENCIA



Para esta actividad se realizó los viajes para traer el agregado de la cantera shonguwarqui trayendo un total de 89 kg de grava canto rodado para lo cual se usó tamices de 1'' y 3/4'' para diseño con 3/4''. Para diseño con gradación de 3/8'' 89 kg y arene fina de 10kg.

Herramientas que se utilizan para elaborar la mezcla la cual se realizó en la ciudad universitaria de la Universidad San Pedro.

Una carretilla

Una lampa

Cuchara

Varillas compactadora de proctor

Cono de abrams

27 moldes para los testigos

Una mezcladora

Balanza

Baldes

Petróleo

Procedimiento:

Se pesa cada material de acuerdo a los proporciones que se realizó en el diseño de mezclas.

Se procede a mezclar el agregado con el cemento con un porcentaje del agua, después de unos 15 segundos aproximadamente agregamos todo el agua y mezclamos por un minuto mínimo, esto en la mezcladora pospuesta.

Se vacía la mezcla preparada en una carretilla y se traslada hacia los moldes, es aquí donde se realiza la prueba de slump para todos los diseños.

Seguido se procede:

Primero para un concreto convencional

Llenamos cada molde varillándolo cada 5cm con 25 varilladas respectivamente

Segundo para un concreto permeable

Llenamos cada molde compactándolo con ayuda del pisón del proctor de un peso determinado cada 5 capas con 25 golpes de caída libre.

Una vez llenados se enrazan para que pueda fraguar

Curado de los testigos

A diferencia del concreto convencional que se cura sumergiéndolo al agua. El curado de los testigos de concreto permeable se realizan cubriéndolo con un plástico de embalaje durante los días recomendados por la norma ACI 522 r

El secado de los testigos se realiza quitando el plástico y dejándolos a la intemperie por unos 3 días para lograr que se seque su interior ya que mantiene la humedad debido a su porosidad.

Permeabilidad de los testigos

Para la permeabilidad de los testigos construimos moldes de 10cm de diámetro con 20cm de alto así como lo recomienda el ACI 522r -10.

Después del curado del concreto procedemos a llevar al laboratorio para su respectivo análisis de rotura y permeabilidad.

En laboratorio:

Para el ensayo de permeabilidad construimos el permeámetro de carga variable (ASTM C09.49) recomendada por el ACI 522r – 10, la cual fue presentada por el matemático Neithland.

El aparato consiste en un tubo vertical cilíndrico de preferencia transparente, en cuyo interior tiene una regla graduada; que está unida a un tubo horizontal el cual tiene una válvula para controlar el flujo, y finalmente un tubo vertical de drenaje.

El procedimiento consiste en colocar una muestra de concreto permeable cubierta con una membrana de látex o bolsa de embalaje para evitar la salida de agua por los costados laterales. Previo a la prueba la muestra es pre condicionado mediante saturación para minimizar la presencia de vacíos. La prueba consiste en añadir agua desde el tubo vertical cilíndrico graduado hasta llenar la celda donde se encuentra la muestra y la válvula de control, la cual al abrirla deja pasar el agua hasta el tubo de drenaje, y se registra el tiempo que se tarda en pasar el agua entre los dos puntos del tubo cilíndrico graduado. La permeabilidad puede calcularse con la expresión, para permeámetro de carga variable.

Procedimiento en el laboratorio:

Envolvemos la muestra con plástico de embalaje y colocamos la muestra en el permeámetro. Ajustamos el aparato para impedir que el agua filtre por los laterales.

Seguido saturamos la muestra para evitar que queden vacíos.

Luego se llena el cilindro de agua unos 25 cm se abre la válvula y se registra el tiempo que se drena.

III. RESULTADOS

Análisis Físico químico del agregado de la cantera Shonguwarqui

Cantera Shonguwarqui, Material Agregado Grueso

Peso Seco Inicial	15349.00 gr
Peso Seco Lavado	15349.00 gr
Peso perdido por lavado	0.00 gr

Tabla 10 granulometría de gravas de la cantera Shonguwarqui

Nº	TAMIZ ABERT (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	%Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	75.000				
2 1/2"	63.000				
2"	50.000				
1 1/2"	38.100	904.50	5.89	5.89	94.11
1"	25.000	3407.50	22.20	28.09	71.91
3/4"	19.000	2792.50	18.19	46.29	53.71
1/2"	12.500	2829.50	18.43	64.72	35.28
3/8"	9.500	1577.00	10.27	75.00	25.00
Nº 4	4.750	3838.00	25.00	100.00	0.00
Nº 8	2.360	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 16	1.180	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 30	0.600	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 50	0.300	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 100	0.150	0.00	0.00	100.00	0.00
Nº 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00
Plato		0.00	0.00	100.00	0.00
Total		15349.00	100.00		

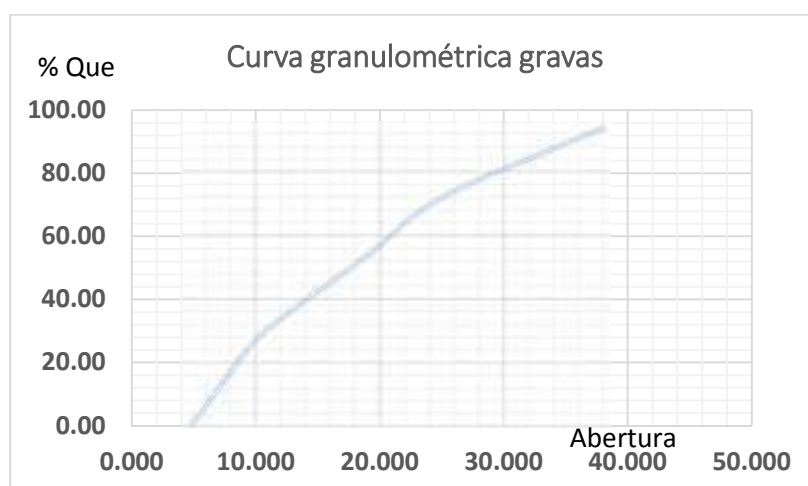


Gráfico 3 Curva granulométrica de gravas de la cantera Shonguwarqui.

Cantera Shonguwarqui, Material Agregado Fino

Peso Seco Inicial	15349.00 gr
Peso Seco Lavado	15349.00 gr
Peso perdido por lavado	0.00 gr

Tabla 10 granulometría de finos de la cantera Shonguwarqui

Nº	TAMIZ ABERT (mm)	Peso retenido (gr)	% Retenido parcial	% Retenido Acumulado	% Que pasa
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
Nº 8	2.360	283.00	16.15	16.15	83.85
Nº 16	1.180	273.50	15.61	31.76	68.24
Nº 30	0.600	284.50	16.24	48.00	52.00
Nº 50	0.300	391.50	22.35	70.35	29.65
Nº 100	0.150	334.50	19.09	89.44	10.56
Nº 200	0.075	163.50	9.33	98.77	1.23
Plato		21.50	1.23	100.00	0.00
Total		1752.00	100.00		

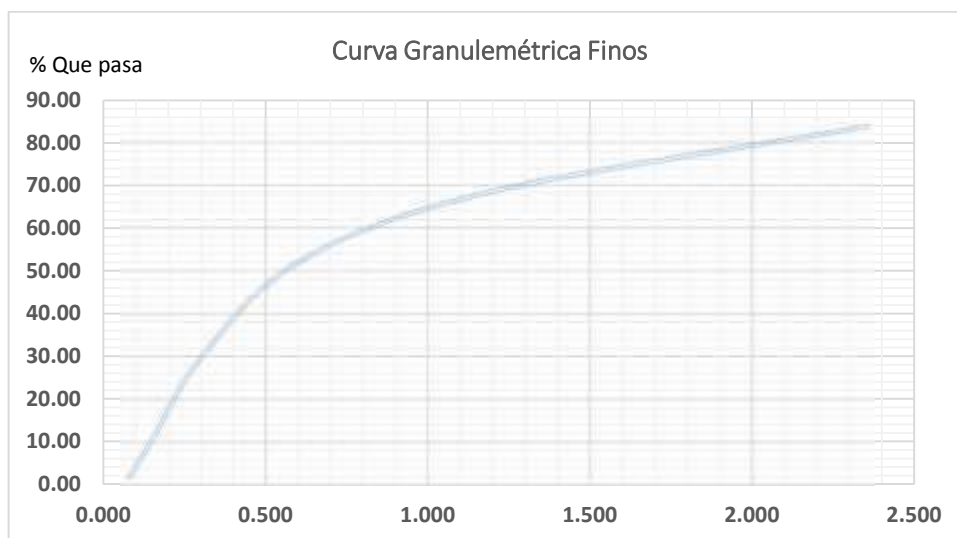


Gráfico 4 Curva granulométrica de finos de la cantera Shonguwarqui.

Cantera	Shonguwarqui
<i>Módulo de fineza (Gravas)</i>	7.27
<i>Contenido de Humedad finos</i>	5%
<i>Contenido de Humedad grava</i>	1.07%
<i>Módulo de fineza (Finos)</i>	2.6
<i>Desgaste por abrasión</i>	23.87%
<i>Equivalente de arena</i>	66%
<i>Impurezas Orgánicas</i>	Grado 1
<i>Peso Unitarios suelto finos</i>	1656 kg/m ³
<i>Peso Unitario Compactado Finos</i>	1801 kg/m ³
<i>Peso unitario Suelto Gravas</i>	1656kg/m ³
<i>Peso Unitario Compactado Gravas</i>	1770kg/m ³
<i>Peso Específico Finos</i>	2.66
<i>Absorción finos</i>	1.04 %
<i>Peso Específico gravas</i>	2.65
<i>Absorción Gravas</i>	0.82%

Tabla 12 Propiedades Químicas

pH	Sales Solubles Totales dS/m	Solubles C.E.	Materia Orgánica %	Cloruros Cr=ppm	Sulfatos SO4=ppm	Carbonato CaVO3=%
7.80	0.132		0.406	386	23	5.32

PERMEABILIDAD

Siendo $k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$ Para ambas muestras, de 3/8'' y de 3/4''

Tabla 13 Ensayo de Permeabilidad Concreto Permeable con agregados de (3/4") con 15% de finos

Fechas	Edad (Días)	t Tiempo (seg)	L Longitud de la Muestra (cm)	A Área de la Muestra (cm2)	a Área del cilindro de carga (cm2)	h1 Alt. De la Columna de agua (cm)	h2 Alt. De la tubería de salida del N.R.	k (cm/seg) Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)	k (mm/seg) Coeficiente de permeabilidad (mm/seg)
10-ago-17	7	32.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.17	21.73
		31.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.24	22.43
		30.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.32	23.18
17-ago-17	14	30.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.32	23.18
		32.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.17	21.73
		32.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.17	21.73
31-ago-17	28	33.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.11	21.07
		31.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.24	22.43
		30.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.32	23.18

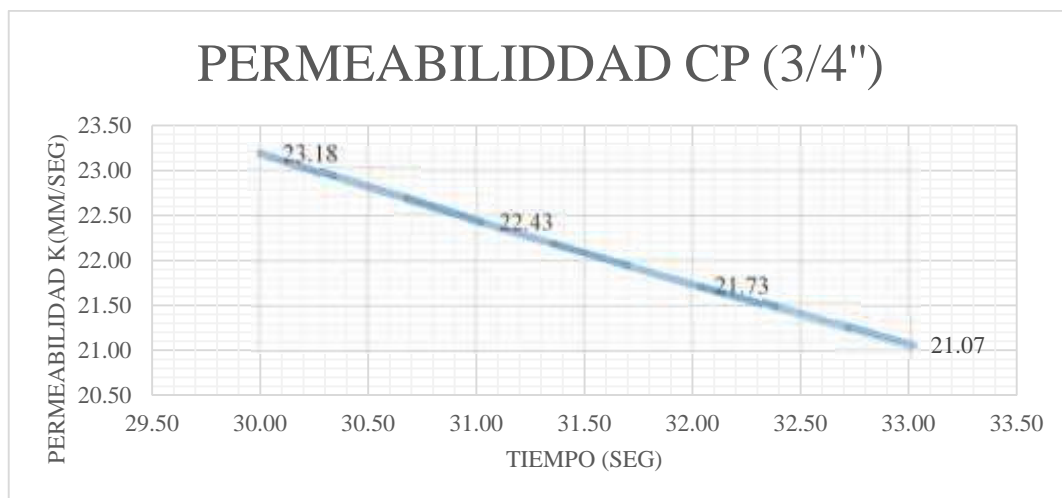


Grafico 05 Curva de permeabilidad con grava de 3/4.

Tabla 14 Ensayo de Permeabilidad Concreto Permeable con agregados de (3/8") con 15% de finos

Fechas	Edad	t Tiempo (seg)	L Longitud de la Muestra (cm)	A Área de la Muestra (cm ²)	a Área del cilindro de carga (cm ²)	h1 Alt. De la Columna de agua (cm)	h2 Alt. De la tubería de salida del N.R.	k (cm/seg) Coeficiente de permeabilidad (cm/seg)	k (mm/seg) Coeficiente de permeabilidad (mm/seg)
10-ago-17	7 Días	37.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.88	18.79
		38.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.83	18.30
		35.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.99	19.87
17-ago-17	14 Días	37.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.88	18.79
		36.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.93	19.31
		39.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.78	17.83
31-ago-17	28 Días	34.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	2.04	20.45
		38.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.83	18.30
		39.00	15.00	78.54	113.10	25.00	1.00	1.78	17.83

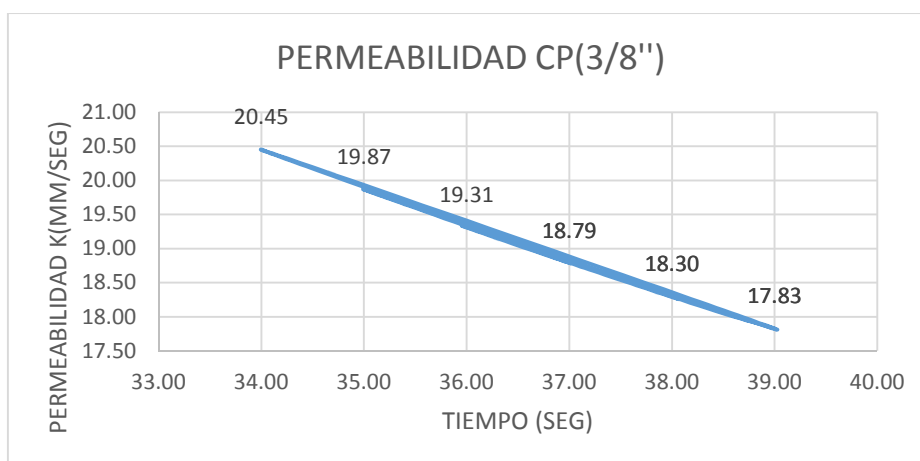


Grafico 06 Curva de permeabilidad con grava de 3/8''.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN $f'_c=210\text{kg/cm}^2$

Tabla 15 Resistencia a la compresión de concretos kg

DIAS	CONCRETO CONVENCIONAL		CONCRETO PERMEABLE (3/4")		CONCRETO PERMEABLE (3/8")	
	7 Días	17000 Kg		12540Kg		14922Kg
	18100 Kg		13240Kg		15649Kg	
	18800 Kg	17967 Kg	11950Kg	12577 Kg	16559Kg	15710Kg
14 Días	29001 Kg		20980Kg		22690Kg	
	26300 kg		21840Kg		23444Kg	
	28730 Kg	28010 Kg	19850Kg	20890 Kg	24961Kg	23698Kg
28 Días	36051 kg		23485Kg		28589Kg	
	38789 Kg		22410Kg		31450Kg	
	39989 Kg	38276 Kg	21350Kg	22415Kg	30052Kg	30030Kg
Área =182.4147 cm²						
Promedio Max	210 Kg/cm ²		122.88Kg/cm ²		164.62Kg/cm ²	

Tabla 16 resumen de la resistencia Promedio a la compresión de concretos

FECHAS	EDAD	RESISTENCIA f'_c (kg/cm ²)		
		Concreto Convencional	Concreto Permeable (3/4")	Concreto Permeable (3/8")
10-ago	7	98.50	69.95	86.12
17-ago	14	153.55	114.52	129.91
31-ago	28	210.00	122.88	164.62

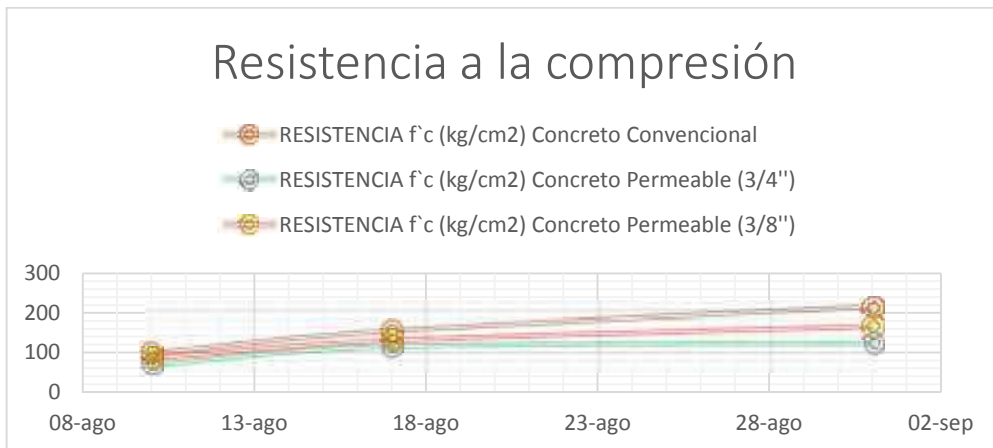


Grafico 6 Curva de resistencia a la compresión de concretos

Tabla 17 de resistencia kg/cm2 para la verificación de varianza Anova

Resistencia a la compresión del concreto permeable vs uno convencional según los días de curado KG/CM2			
Días de Curado	Concreto Convencional	Concreto Permeable (3/4")	concreto permeable (3/8")
7	93.19	68.74	81.80
	99.22	72.58	85.79
	103.06	65.51	90.78
14	158.98	115.01	124.39
	144.18	119.73	128.52
	157.50	108.82	136.84
28	197.63	128.75	156.73
	212.64	122.85	172.41
	219.22	117.04	164.75

Tabla 18: Resistencias a la compresión de las probetas de concreto con una permeabilidad con graba de 3/4 y de 3/8 según días de curado

Días de curado	Resistencia de concreto con permeabilidad con diferente medida de graba		
	Patrón	3/4 “	3/8 “
7	98,49	68,94	86,12
14	153,55	114,52	129,92
28	209,83	122,88	164,63

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 18 se puede apreciar que las resistencias a la compresión de las probetas son mayores a los 28 días de curado y menores resistencias de presenta a los 7 días de curado. También se puede apreciar que mayor resistencia se ilustra en el concreto patrón.

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad (Shapiro - Wilk) y homogeneidad de varianzas (Contraste de Levene) de las resistencias medias obtenidas en las probetas para cada tratamiento (permeabilidad con diferente medida de graba) se procedió a realizar la prueba ANOVA

Tabla 19: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Permeabilidad con diferente medida graba	4034,219	2	2017,109	8,393	,037
Días de curado	10018,544	2	5009,272	20,843	,008
Error	961,333	4	240,333		
Total	15014,096	8			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

En la tabla 19 se puede visualizar que el $p\text{-value} < \alpha$ ($0.037 < 0.05$) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para no rechazar la hipótesis nula. Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en kg/cm^2 logradas en las probetas, con permeabilidad con diferente tamaño de graba: Patrón, 3/4 y 3/8, son diferentes.

También se tienen que para los días de curado $p\text{-value} < \alpha$ ($0.008 < 0.05$) entonces podemos decir que las resistencias medias de las probetas son diferentes a consecuencias de los días de curado.

Tabla 20: Calculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias a la compresión de los cubos de mortero es diferente.

Sustitución	Subconjunto para alfa = 0,05	
	1	2
3/4 “	102,1133	
3/8 “	126.8900	126,8900
Patrón		153.9567

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio de la USP

Patrón	153,9567..... a
3/8 “	126,8900..... a
3/4 “	102,1133..... b

En la tabla 20 y, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que las probetas de concreto tienen mayor resistencia a la compresión cuando es el patrón y cuando es permeable con una graba de 3/8” (ambas iguales en resistencia) y es menor cuando se tiene un concreto con una permeabilidad con graba de tamaño 3/4 “.

IV. ANALISIS Y DISCUSIÓN

El agregado de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi. Cumplen con el % de retención normalizadas tanto gravas como finos según la NTP 400.012 en el ensayo de granulometría obteniéndose como tamaño máximo nominal 1''; el módulo de finura resulta de 7.27 en gravas y 2.60 en finos lo cual es adecuado para la fabricación de concretos de alta resistencia, debido que se encuentra dentro del rango tolerable que se encuentra de 2.3 a 3.1 en finos, y en los contenidos de humedad tenemos 1.07% en gravas y 5% en finos.

El agregado muestra una alta resistencia al desgaste a la Abrasión, pues tiene un resultado de resistencia a la abrasión de 23.87% esto quiere decir que el agregado tiene buena resistencia y esta apta para su uso en la elaboración de concretos y su uso en bases, sub bases en pavimentos; porque el porcentaje máximo de pérdida en peso del agregado sujeto a la prueba de los Ángeles, se limita al 50% para grava, grava triturada o roca triturada.

La relación de alturas entre la arcilla y la arena el análisis de esta muestra resulto un promedio de 66% lo cual es aceptable quiere decir agregado limpio para uso en concretos. Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90% y lo aceptable es desde el 65% para concretos desde $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

En los agregados finos naturales a veces se presentan impurezas orgánicas, las cuales menoscaban la hidratación del cemento y el desarrollo consecuente de la resistencia del concreto. Normalmente esas impurezas se evitan por medio del despejado adecuado del depósito, para eliminar por completo la tierra vegetal, y un enérgico lavado en la arena.

La detección del alto contenido orgánico en la arena se lleva a cabo con facilidad por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma ASTM C 40.

Cuando una muestra sujeta a este procedimiento, produce un color más oscuro que el color estándar del vidrio No. 3 (color estándar Gardner No. 11) de la placa

orgánica, el agregado fino bajo prueba debe ser considerado que posiblemente contenga impurezas orgánicas perjudiciales

En este caso la prueba resulta ser de grado 1 lo que significa que el material es limpio no tiene impurezas orgánicas y es de buena o excelente calidad.

En los pesos específicos y unitarios encontramos resultados como:

1656 kg/m³ en finos sueltos y 1801kg/m³ en finos compactados así como también 1656 kg/m³ en grava suelta y 1770kg/m³ en grava compacta. Los cuales nos indican que están en el rango de lo establecido por la norma NTP 400.021.

Además encontramos que el agregado tiene un peso específico de 2.66gr/cm³ en finos con una absorción de 1.04% y un peso específico de 2.65gr/cm³ en gravas con una absorción de 0.82%, esto nos indica que el material tiene buena densidad y una absorción adecuada según norma NTP 400.017. Lo cual permite que se use el material en concretos de alta resistencia debido a su dureza obtenidas en ensayos de abrasión.

Dentro de las propiedades químicas se encontraron alta cantidad de carbonatos lo cual afecta en la adherencia del concreto pues esta debería de estar en el rango de 0 a 0.7%, en este caso resulta de 5.32% lo cual puede necesitar tratamientos para la elaboración de concretos reforzados ya que la carbonatación ayuda a la corrosión del acero.

La relación agua cemento A/C para un concreto permeable el ACI nos recomienda usar para $f'c = 200$ a 250 (kg/cm²) de 0.69 a 0.61, entonces tomamos interpolando para un $f'c = 210$ kg/cm². Y para un concreto permeable el ACI 522r -10 nos recomienda usar una relación A/C de 0.35 a 0.45 según ACI 522R-10 y ACI 211.3R-02 para concretos hasta $f'c = 175$ kg/cm², además cabe mencionar el uso de A/C de otros investigadores, tal es el caso de León Rosero que en su tesis "Optimización del diseño de un mezcla de hormigón permeable a partir de distintas gradaciones" en la cual uso una relación de A/C de 0.55 a 0.60 para poder alcanzar resistencias a la compresión adecuadas.

Una vez que se hayan procesado los resultados en grafica se identificara como es el comportamiento del concreto permeable con los agregados de tamaños ¾" y 3/8" se compararan como varia la resistencias al cambiar el agregado grueso

Seguidamente se determinara el concreto más eficiente tanto a resistencia a la compresión y permeabilidad, es decir el concreto que posea las mejores características Vs el concreto Convencional. Dentro de los resultados se obtuvo el concreto con mayor resistencia es la convencional resultando con un promedio $f'c=210.00\text{kg/cm}^2$ y el concreto permeable con mayor resistencia a la compresión es la de gradación 3/8'' con un promedio $f'c=164.63\text{kg/cm}^2$. Y el concreto con menor resistencia es la de 3/4'' con un promedio $f'c=122.88\text{kg/cm}^2$, por lo cual podemos decir que se llegó al 78.46% de la resistencia deseada. Para poder superar la resistencia del concreto patrón – concreto convencional se necesitaría superar los 22.54% faltantes es decir 22.6%. En investigaciones encontradas respecto a la resistencia del concreto permeable Pérez México en su tesis “estudio experimental de concretos permeables con agregados Andesíticos” llego a una resistencia de $f'c=196\text{kg/cm}^2$ con una relación de vacíos de 15% diseño de mezclas esto debido a los agregados usados.

En la permeabilidad de las muestras del concreto permeable se obtiene resultados satisfactorios lo cual permite el drenado de aguas a través de él de forma rápida, esto es aplicable en veredas y pistas de tránsito liviano para drenar las aguas de lluvia.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

Según la curva granulométrica del AGREGADO GRUESO de la Cantera Shonguwarqui se concluye que al estar próxima al límite superior son partículas un tanto gruesas, por ello su Tamaño Nominal Máximo de 1 1/2"; sin embargo están dentro del rango establecido, lo cual representa una adecuada distribución de partículas de diferentes tamaños en la muestra ensayada.

De acuerdo con la gráfica de granulometría para el AGREGADO FINO de la Cantera Shonguwarqui se deduce que a pesar de tener una porción un poco baja de partículas retenidas en el tamiz # 8. El resto de partículas se encuentran correctamente segregadas en el resto de tamices cumpliendo así con los límites establecidos para este ensayo dando un módulo de finura de 3.0 el cual es el valor ideal de una arena para formar parte de un buen agregado.

Con el ensayo de peso unitario suelto se obtuvo en las gravas un valor de 1.382gr./cm³ siendo aunque por muy poco pero mayor con respecto a la arena cuyo valor es de 1.326 gr/cm³ lo que indica que la arena y la grava en estado natural de esta cantera tienen casi la misma masa por unidad de volumen.

En el ensayo de peso unitario compactado ocurrió algo parecido a lo obtenido en el suelto, la arena tiene 1.565 gr/cm³ mientras que en gravas tiene 1.558 gr/cm³ lo cual nuevamente indica que la arena y la grava, de esta cantera, tienen casi la misma masa por unidad de volumen a pesar de haber sufrido un proceso de compactación.

De igual manera que con 39% de arena y 61% de grava se obtiene el peso unitario óptimo de su mezcla el cual es 1.890 gr/cm³

La grava con un peso específico de 2.585gr./cm³ y la arena con un peso específico de 2.568gr./cm³ son aptos para ser utilizados en la elaboración de concretos debido a que el rango admisible está entre 2.500gr./cm³ y 2.700gr./cm³

El ensayo de abrasión se obtuvo una resistencia al desgaste de 42.5% que es menor al 50% que es el porcentaje máximo admisible para agregados gruesos de

buena resistencia por tanto cumple con las recomendaciones de la NTP 400.017 para su uso en pavimentos.

Los agregados de la Cantera Shonguwarqui tienen las propiedades físicas adecuadas para la elaboración de concretos de alta resistencia.

Dentro de las resistencias se concreta que el concreto permeable es aplicable en pavimentos de baja intensidad de carga.

Según la Norma ACI 522R nos indica que el rango de resistencia de resistencia a compresión del concreto permeable es de 28.55 kg/cm² a 285.51 kg/cm², por lo tanto se concluye que nuestro concreto comprende en tal rango de resistencia con $f'c=122.88\text{kg/cm}^2$ con gravas de ¾" y con $f'c=164.63\text{kg/cm}^2$ con gravas de 3/8".

Según el análisis Cualitativo que se ejecutó por medio de puntajes el concreto más eficiente es el concreto de gravas de 3/8" con un porcentaje de vacíos del 15%.

La permeabilidad y capacidad de absorción que posee el concreto con el tamaño de partículas ya dichas, según la norma ACI 522 R es capaz de filtrar 23.18 mm/seg con gravas de ¾" y 20.45mm/seg con gravas de 3/8" que se ha registrado actualmente.

Según las pruebas ejecutadas determinamos que el concreto más resistente resulta con un porcentaje al 15% de vacíos es el concreto de 3/8" de grava con un $f'c=164.63\text{kg/cm}^2$ y que tiene menor permeabilidad.

RECOMENDACIONES

Realizar este tipo de ensayos destinados a la obtención de las propiedades mecánicas de las muestras en estudio, cada 3 a 5 años debido a que conforme continúa la explotación de estos en una determinada cantera; no toda la arena o todas las gravas van a tener siempre las mismas características, si similares pero no iguales.

Los agregados al momento de realizar el ensayo destinado a obtener su peso específico, se encuentren en estado saturado superficie seca ya que esta condición es ideal para obtener resultados reales y confiables.

Si en un futuro se desea usar grava de 3/8" y 3/4" de la cantera Shonguwarqui es necesaria pasarla por un proceso de limpieza, Lavado y tamizado, debido a su contenido de carbonatos.

Para futuras investigaciones sobre concreto permeable indagar con diferentes contenidos de vacíos y resistencias ya así se logre la resistencia deseada para su aplicabilidad en nuestro país. Además se deben hacer pruebas con otros tamaños de grava como de 1/4" y de 1/2".

Continuar el estudio del concreto permeable al implementar 15% o menos de agregado fino y verifica el comportamiento del concreto con la condición adicional.

VI. AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento, en primera instancia a mis progenitores, Ebner Wrenn y Rosa Prisila (uno de ellos ya partió a la presencia del Altísimo) quienes permanentemente me apoyaron con espíritu alentador, contribuyendo incondicionalmente a lograr las metas y objetivos propuestos.

Gracias especiales a mis hermanos Wilder y Crobet quienes estuvieron conmigo en momentos claves de mi vida estudiantil y personal.

A nuestra casa de estudios por haberme dado la oportunidad de ingresar al sistema de Educación Superior y cumplir este gran sueño. A todas y todos quienes de una u otra forma han colocado un granito de arena para el logro de este Trabajo de Grado, agradezco de forma sincera su valiosa colaboración.

"Del hablador he aprendido a callar; del intolerante, a ser indulgente, y del malévolo a tratar a los demás con amabilidad. Y por curioso que parezca, no siento ninguna gratitud hacia esos maestros."

- Khalil Gibrán -

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abanto F. (2013) Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas). Perú, Lima Editorial San Marcos,

ACI 522 R (2006) Concreto Permeable

ACI Committee 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete

ACI-522R.6. (2006). Pervious Concrete. American Concrete Institute.

ASTM_C131. (1996). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA: ASTM International.

Azañedo, W. Wiston H. Chávez, H. - Muñoz, R. (2007) “Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera la victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca” Perú, Cajamarca.

Azañedo z., Chávez H. y Muñoz R. (2007) Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera la victoria, cemento pórtland tipo i con adición de tiras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos, en la ciudad de Cajamarca. Perú, Cajamarca. Universidad Nacional de Cajamarca (Tesis de Grado); Obtenida de http://www.vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/11522/3082/1/Diseño_aplicacion_concreto.pdf

Barahona R., Martínez M. y Zelaya S. (2013) Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el carmen, aramuaca y la pedrera, de la zona oriental de El Salvador. Centro America, El Salvador, Universidad de el Salvador (Tesis de Grado). Obtenida de <http://www.ri.ues.edu.sv/6259/1/50107992..pdf>

Calderón Y. y Charca J. (2011) Investigación de los pavimentos permeables de concreto poroso. Perú, Arequipa. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (Tesis de Grado). Obtenida de <https://es.scribd.com/.../Ponencia-Investigacion-de-Pavimento-Permeable-de-Concreto>

Castro J. (2004). Diseño de mezcla y construcción de pavimentos de concreto poroso en Chile. Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile. (Tesis de Magister). Obtenida de

https://www.researchgate.net/.../250311571_Desarrollo_de_mezclas_de_hormigon_p

Fernández R. y Navas A. (2008). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Obtenida de : <https://es.scribd.com/document/241406528/Diseno-de-Mezclas-Para-Evaluar-Su-Resistencia-a-La-Compresion-Uniaxial-y-Su-Permeabilidad>.

Flores C. y Pacompia A. (2015) Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para Pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de Puno. Perú Puno Universidad Nacional Altiplano de Puno (Tesis de Grado). Obtenida de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2230>

Flores J. (2010) Caracterización del concreto permeable usando el módulo de ruptura y el porcentaje de desgaste. México, Michoacán - Morelia, Universidad Michoacán San Nicolás de Hidalgo (Tesis de Grado). Obtenida de: <http://www.construaprende.com/docs/tesis/302-caracterizacion-concreto-permeable-modulo-ruptura-porcentaje-desgaste>

Hernández C; Rojas Y. y Bendezú M. (2013) Tecnología del Concreto (Teoría y Problemas). Perú, Lima Editorial San Marcos.

León A. y Rosero G. (2016) Optimización del diseño de una mezcla de hormigón permeable a partir de tres distintas graduaciones. Quito, Universidad central del Ecuador (Tesis de Grado). Obtenida de: http://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UCSM_ca3958232e412a20fffaeccff96b12a

Moujir Y. y Castañeda L. (2014) Diseño y Aplicación del concreto poros para pavimentos. Santiago de Calí, Pontificia universitaria Javeriana (Tesis de Grado).

Niño J. (2010) Tecnología del Concreto Tomo 1 (Materiales, Propiedades y Diseño de Mezcla) Colombia, Bogotá. Asociación Colombiana de Productores de concreto – Asocreto; obtenida de http://www.vitela.javerianacali.edu.co/bitstream/11522/3082/1/Diseño_aplicacion_concreto.pdf

Pérez (2009). Estudio Experimental de Concretos Permeables con Agregados Andesíticos. México: Universidad Nacional Autónoma de México. (Tesis de Grado). Obtenida de:

<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3443/perezramos.pdf?sequence=1>

Ruiz, J. (2009) Componentes y procesos químicos del cemento, 6° Edicion España

Sanchez D. (1997) Tecnologia y Propiedades (Colección básica del concreto 1) Colombia, Bogotá. Asociacion Colombiana de Productores de concreto – Asocreto.

Taylor J. (2014) Properties of the major cement minerals, 2da Edicion, Londres

VIII. APENDICES Y ANEXOS

Anexo A. certificación de laboratorio y análisis de datos



**UNIVERSIDAD
SAN PEDRO**

CONSTANCIA

Por medio de la presente dejamos constancia que el **Sr. Alexei M. Morales Espinoza**, identificado con Cód. 1410100488 estudiante del X Ciclo de la Escuela Ingeniería Civil, ha realizado sus ensayos de Agregados naturales y a Área de Laboratorio de Ingeniería Civil – USP HZ, realizando las funciones correspondiente al Curso de **TESIS II / ELABORACIÓN DE BORRADOR DE TESIS**.

Expedimos esta certificación para que se haga el uso pertinente al cual lo vea conveniente

Huaraz, 05 de julio de 2016.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
Jhonny S. Huaman-Gin
.....
Ing. Jhonny S. Huaman-Gin
JEFE



ANALISIS GRANULOMETRICO GRAVA

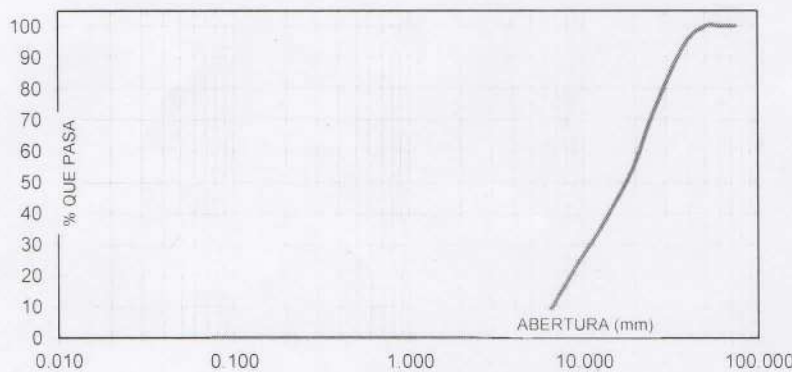
SOLICITA : Alumno . MORALES ESPINOZA, Alexei Moris
 OBRA : "INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS NATURALES PROCEDENTES DE LA ZONA DE CONCHUCOS "CHINGAS, ACZO, UCO, PALCA"
 LUGAR : Prov. Antonio Raymondi -Llamellin
 FECHA : 05/07/2016 CANTERA : Shonguwarki MATERIAL : AGREGADO GRUESO

PESO SECO INICIAL	15349
PESO SECO LAVADO	15349.00
PESO PERDIDO POR LAVADO	0.00

TAMIZ	PESO RETEN.	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)	(gr)	PARCIAL	ACUMULADO
3"	75.000			
2 1/2"	63.000			
2"	50.000			
1 1/2"	38.100	904.50	5.89	5.89
1"	25.000	3407.50	22.20	28.09
3/4"	19.000	2792.50	18.19	46.29
1/2"	12.500	2829.50	18.43	64.72
3/8"	9.500	1577.00	10.27	75.00
N° 4	4.750	3838.00	25.00	100.00
N° 8	2.360	0.00	0.00	100.00
N° 16	1.180	0.00	0.00	100.00
N° 30	0.600	0.00	0.00	100.00
N° 50	0.300	0.00	0.00	100.00
N° 100	0.150	0.00	0.00	100.00
N° 200	0.075	0.00	0.00	100.00
PLATO		0.00	0.00	100.00
TOTAL		15349.00	100.00	0.00

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : 1 1/2"
 MODULO DE FINEZA : 7.27
 HUMEDAD : -

CURVA GRANULOMETRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUÁRAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y
 Ensayo de Materiales

Ing. Jhonny S. Huaman Gin. J.E.
 JEFE



ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA

SOLICITA : Alumno . MORALES ESPINOZA, Alexei Moris

OBRA : "INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS NATURALES PROCEDENTES DE LA ZONA DE CONCHUCOS "CHINGAS, ACZO, UCO, PALCA"

LUGAR : Prov. Antonio Raymondi -Llamellin

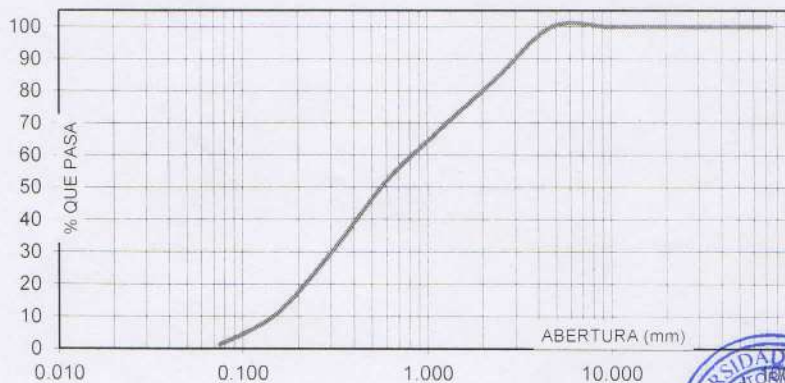
FECHA : 05/07/2016 CANTERA : Shonguwarki MATERIAL : AGREGADO FINO

PESO SECO INICIAL	1752
PESO SECO LAVADO	1730.50
PESO PERDIDO POR LAVADO	21.50

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)				
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	283.00	16.15	16.15	83.85
N° 16	1.180	273.50	15.61	31.76	68.24
N° 30	0.600	284.50	16.24	48.00	52.00
N° 50	0.300	391.50	22.35	70.35	29.65
N° 100	0.150	334.50	19.09	89.44	10.56
N° 200	0.075	163.50	9.33	98.77	1.23
PLATO		21.50	1.23	100.00	0.00
TOTAL		1752.00	100.00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : N° 4
 MODULO DE FINEZA : 2.6
 HUMEDAD : -

CURVA GRANULOMETRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 Laboratorio de Mecánica de Suelos y
 Ensayo de Materiales
 Ing. Jhonny S. Huaman Girardo
 JEFE



RESISTENCIA A LA ABRASION (MAQUINA DE LOS ANGELES)

SOLICITA : Alumno . MORALES ESPINOZA, Alexei Moris
OBRA : "INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS NATURALES
DE LA ZONA DE CONCHUCOS "CHINGAS, ACZO, UCO, PALCA"
LUGAR : Prov. Antonio Raymondi -Llamellin
CANTERA : Shonguwarki
MATERIAL : agregado grueso
FECHA : 05/07/2016

Peso de la muestra (gr.) :	5022
peso de la muestra final (gr.) :	3823
Método :	A
Número de esferas :	12
Número de revoluciones :	500
Desgaste (%) :	23.87

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma de diseño ASTM C - 131.

NOTA : La muestra fue traída a este laboratorio por el interesado de este laboratorio.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
Ing. Jhonny S. Huaman Gir.
JEFE



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

OBRA : "INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS NATURALES PROCEDENTES DE LA ZONA DE CONCHUCOS "CHINGAS, ACZO, UCO, PALCA"
SOLICITA : Alumno . MORALES ESPINOZA, Alexei Moris
ELEMENTO : agregados
CANTERA : shonguwarki
PROG (KM.) :
HECHO POR : u.s.p
ING. RESP. : H.H.G
FECHA : 05/07/2016

EQUIVALENTE DE ARENA

TAMAÑO MAXIMO (mm)				
MUESTRA Nº		1	2	
HORA DE ENTRADA		04:20	04:22	
HORA DE SALIDA		04:30	04:32	
HORA DE ENTRADA		04:32	04:34	
HORA DE SALIDA		04:52	04:54	
ALTURA MAX. DEL MAT. FINO (CM. O Pulg.)		4.9	5.2	
ALTURA MAX. DE LA ARENA (CM O Pulg.)		3.3	3.3	
EQUIVALENTE DE ARENA		67.3	63.5	
EQUIVALENTE DE ARENA PROMEDIO		66%		

OBNSERVACIONES: para mayores F'C 210 equivalente de arena mayor a 65%

MUESTREADO :
ANALIZADO :
REVISADO :



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENLAZO DE MATERIALES
Ing. Jhonny S. Huaman Gi...
JEFE



ENSAYO DE IMPUREZAS ORGANICAS DEL AGREGADO FINO

(ASTM C 33-03)

SOLICITA : MORALES ESPINOZA, Alexei
: "INVESTIGACION DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS NATURALES
: PROCEDENTES
OBRA : DE LA ZONA DE CONCHUCOS "CHINGAS, ACZO, UCO, PALCA"
LUGAR : Prov. Antonio Raymondi - Llamellin

CANTERA : Shonguwarki
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 05/07/2016

- El resultado de las pruebas de impurezas orgánicas dio como resultado el grado 1 dentro de la placa orgánica de colores Gardner.
- Significa que el material es limpio no tiene impurezas organicas y es de buena o excelente calidad.
- Se recomienda su uso para diferentes mezclas de concreto y otros.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
Laboratorio de Mecánica de Suelos y
Ensayo de Materiales
Ing. Johnny S. Huaman
JEFE



PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei

TESIS : "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shoguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymond!"

LUGAR : CHINGAS

CANTERA : SHONGUWARQUI

MATERIAL : AGREGADO FINO

FECHA : 12/07/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8005	8020	8025
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4585	4600	4605
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1652	1657	1659
Peso unitario prom.	1656 Kg/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8400	8430	8425
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4980	5010	5005
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1794	1805	1803
Peso unitario prom.	1801 Kg/m ³		



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES**

Ing. Lucio Y. Depaz Bailón
CIP: 169453
JEFE



PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei

TESIS : "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shoguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymondi"

LUGAR : CHINGAS

CANTERA : SHONGUWARQUI

MATERIAL : AGREGADO GRUESO

FECHA : 12/07/2017

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	20745	20715	20720
Peso de molde	5310	5310	5310
Peso de muestra	15435	15405	15410
Volumen de molde	9341	9341	9341
Peso unitario	1652	1649	1650
Peso unitario prom.	1650 Kg/m ³		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	21830	21835	21860
Peso de molde	5310	5310	5310
Peso de muestra	16520	16525	16550
Volumen de molde	9341	9341	9341
Peso unitario	1769	1769	1772
Peso unitario prom.	1770 Kg/m ³		



**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**
FILIAL HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS
Y ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Luzio Y. Depaz Bailón
CIP: 169453
JEFE



PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei
 TESIS : "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shoguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymondii"
 LUGAR : CHINGAS
 CANTERA : SHONGUWARQUI
 MATERIAL : AGREGADO FINO
 FECHA : 12/07/2017

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
 B : Peso de frasco+ agua
 C = A + B : Peso frasco + agua +material
 D : Peso de material+agua en el frasco
 E = C - D : Volumen de masa+volumen de vacio
 F : Peso Material seco en horno
 G= E- (A - F) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-F)/F) \times 100$

ABS. PROM. (%) :

300.0		
678.5		
978.5		
866.9		
111.6		
296.9		
-108.5		
1.04		
	1.04	

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca) = F/E
 P.e. Bulk (Base Saturada) = A/E
 P.e. Aparente (Base Seca) = F/G

2.66		
2.69		
-2.74		

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca)
 P.e. Bulk (Base Saturada)
 P.e. Aparente (Base Seca)

2.66
2.69
-2.74



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS
 Y ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Lucio Y. Depaz Bailón
 CIP: 169458
 JEFE



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei
TESIS : "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shoguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymondi"
LUGAR : CHINGAS
CANTERA : SHONGUWARQUI
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 12/07/2017

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
B : Peso de material saturado superficialmente seco (agua)
C = A - B : Volumen de masa + volumen de vacios
D : Peso de material seco en el horno
E = C - (A - D) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-D)/D) \times 100$
ABS. PROM. (%) :

978.5	811.5	994.5
612.1	508.2	621.2
366.4	303.3	373.3
971.3	804.1	986.7
359.2	295.9	365.5
0.74	0.92	0.79
0.82		

P.e. Bulk (Base Seca) = D/C
P.e. Bulk (Base Saturada) = A/C
P.e. Aparente (Base Seca) = D/E

PROMEDIO

2.65	2.65	2.64
2.67	2.68	2.66
2.70	2.72	2.70

PROMEDIO

P.e. Bulk (Base Seca)
P.e. Bulk (Base Saturada)
P.e. Aparente (Base Seca)

2.65
2.67
2.71



Ing. Lucto Y. Depaz Ballón
CIP: 169453
JEFE



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS QUIMICO DE CANTERA

TITULO DE TESIS: “Resistencia a la Compresión de un Concreto permeable Vs uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas, Provincia Antonio Raymondi”

TESISTA : MORALES ESPINOZA, Alexei Moris

MUESTRA : Cantera Shonguwarqui

LUGAR DE NUESTREO: Chingas – Antonio Raymondi

FECHA DE MUESTREO: 12 de Julio del 2017

FECHA DE RECEPCIÓN: 13 de Julio del 2017

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 13 de Julio del 2017

FECHA DE TERMINO DEL ANALISIS: 17 de julio del 2017

Muestra N°	pH	Sales Solubles Totales C.E dS/m.	M.O. %	Cloruros Cl ⁻ ppm	Sulfatos SO ₄ ⁼ ppm	Carbonatos CaCO ₃ ⁼ %
01	7.80	0.132	0.406	386	23	5.32

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomada por el cliente
- La fecha de muestreo es proporcionado por el cliente
- Lugar y condiciones ambientales del muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES.

- El pH es calificado como ligeramente alcalina
- La conductividad eléctrica (C.E.) es calificado como no salino
- La materia orgánica (M.O.) es bajo
- En cloruros y sulfatos se están dentro de los parámetros permisibles
- Alto en carbonatos (requiere tratamiento)

Huaraz, 18 de Julio del 2017




Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
TESIS:	"Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shoguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymondi"		
SOLICITA :	Bach. Morales Espinoza, Alexei		
DISTRITO :	CHINGAS		
PROVINCIA :	ANTONIO RAYMONDI	FECHA:	06/08/2017
PROG (KM.) :			

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

MUESTRA	FINOS		
	No. RECIPIENTE		
	20	21	22
1.- Peso Recipiente + Suelo Humedo	980	973	975
2.- Peso Recipiente + Suelo Seco	940	931	942
3.- Peso del Agua = (1) - (2)	40	42	33
4.- Peso Recipiente (gr)	165.7	172.7	175.4
5.- Peso Suelo Seco = (2) - (4)	774.3	758.3	766.6
6.- Humedad = (3)/(5) x 100 (%)	5.166	5.539	4.305
HUMEDAD PROMEDIO (%)	5.00		

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

MUESTRA	GRAVA		
	No. RECIPIENTE		
	31	23	11
1.- Peso Recipiente + Suelo Humedo	1202	1200	1201
2.- Peso Recipiente + Suelo Seco	1190	1189	1191
3.- Peso del Agua = (1) - (2)	12	11	10
4.- Peso Recipiente (gr)	163.8	166.7	158.4
5.- Peso Suelo Seco = (2) - (4)	1026.2	1022.3	1032.6
6.- Humedad = (3)/(5) x 100 (%)	1.169	1.076	0.968
HUMEDAD PROMEDIO (%)	1.07		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei Moris

OBRA: "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando Agregado de la Cantera Shonguwarki del Distrito de Chigas - Antonio Raymondi"

FECHA: 01/09/2017

F'c: 210 kg/cm²

DIAS	CONCRETO CONVENCIONAL		CONCRETO PERMEABLE (3/4")		CONCRETO PERMEABLE (3/4")	
7 Días	17000 Kg		12540Kg		14922Kg	
	18100 Kg		13940Kg		15649Kg	
	19740 Kg	18280 Kg	11630Kg	12703 Kg	16559Kg	15710Kg
14 Días	29001 Kg		20980Kg		22690Kg	
	26989 kg		22540Kg		23444Kg	
	28730 Kg	28240 Kg	19850Kg	21123 Kg	25571Kg	23902Kg
28 Días	38310 kg		28890Kg		25930Kg	
	40620 Kg		22410Kg		31450Kg	
	48480 Kg	42470 Kg	21350Kg	24216Kg	30052Kg	29144Kg
Area =182.4147 cm ²						
Promedio Max	232.82 Kg/cm ²		132.75Kg/cm ²		159.77Kg/cm ²	



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

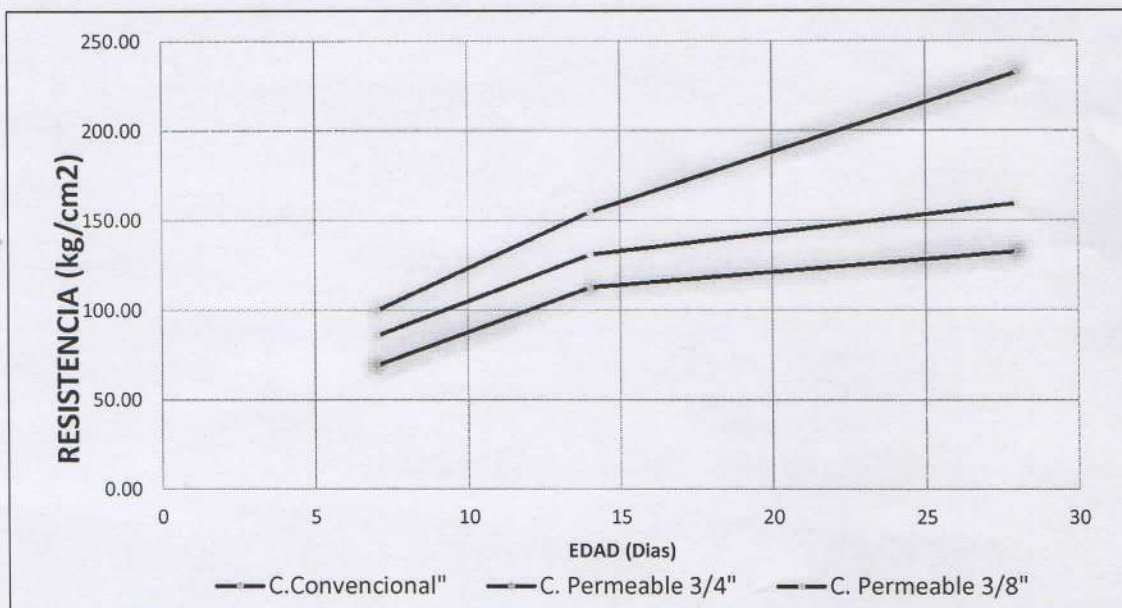
SOLICITA : Bach. Morales Espinoza, Alexei Moris

TESIS: "Resistencia a la Compresion de un Concreto Permeable Vs Uno Convencional Utilizando , Agregado de la Cantera shonguwarqui del Distrito de Chingas - Antonio Raymondi"

FECHA: 01/09/2017

F'c : 210 kg/cm²

FECHAS	EDAD	RESISTENCIA f'c (kg/cm ²)		
		Concreto Convencional	Concreto Permeable (3/4")	Concreto Permeable (3/8")
10-ago	7	100.21	69.64	86.12
17-ago	14	154.81	112.80	131.03
31-ago	28	232.82	132.75	159.77



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUÁRAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CONCRETO CON GRAVAS DE 3/8"

SOLITITA: Bach. Morales Espinoza Alexei Moris

TESIS: "Resistencia a la Compresión de un Concreto Permeable Vs uno Convencional Utilizando Agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas – Antonio Raymondi"

FECHA: 01/09/2017

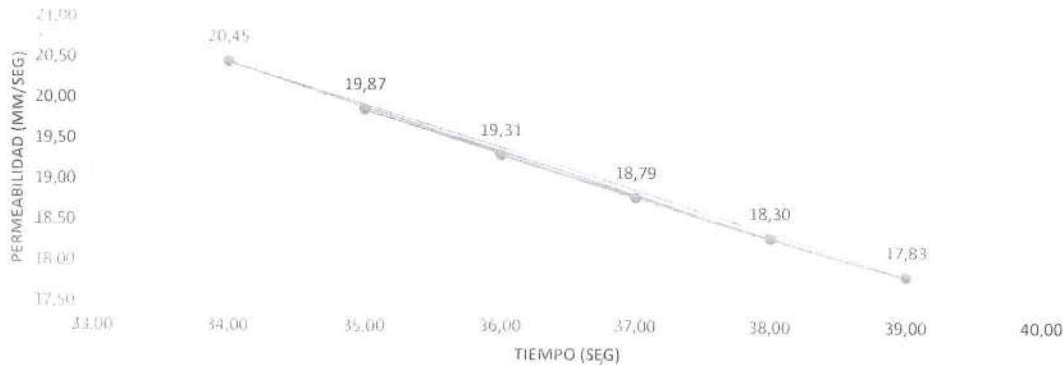
F'c=210kg/cm²

Siendo:

$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Ensayo de Permeabilidad Concreto Permeable con agregados de (3/8") con 15% de finos									
Fechas	Edad	t	L	A	a	h1	h2	k (cm/seg)	k (mm/seg)
		Tiempo (seg)	Longitud de la muestra (cm)	Area de la muestra (cm ²)	Area del cilindro de carga (cm ²)	Alt. De la columna de agua (cm)	Alt de la tubería de salida del N. R.	Coefficiente de permeabilidad (cm/seg)	Coefficiente de permeabilidad (mm/seg)
10-ago-17	7	37,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,88	18,79
		38,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,83	18,30
		35,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,99	19,87
17-ago-17	14	37,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,88	18,79
		36,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,93	19,31
		39,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,78	17,83
31-ago-17	28	34,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,04	20,45
		38,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,83	18,30
		39,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	1,78	17,83

PERMEABILIDAD CP (3/8")



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 1.16544
JEFE



ENSAYO DE PERMEABILIDAD DE CONCRETO CON GRAVAS DE 3/4"

SOLITITA: Bach. Morales Espinoza Alexei Moris

TESIS: "Resistencia a la Compresión de un Concreto Permeable Vs uno Convencional Utilizando Agregados de la cantera Shonguwarqui del Distrito de Chingas – Antonio Raymondi"

FECHA: 01/09/2017

F'c=210kg/cm²

Siendo:
$$k = \frac{L}{t} * \frac{a}{A} * \ln\left(\frac{h1}{h2}\right)$$

Ensayo de Permeabilidad Concreto Permeable con agregados de (3/4") con 15% de finos									
Fechas	Edad	t	L	A	a	h1	h2	k (cm/seg)	k (mm/seg)
		Tiempo (seg)	Longitud de la muestra (cm)	Area de la muestra (cm ²)	Area del cilindro de carga (cm ²)	Alt. De la columna de agua (cm)	Alt de la tubería de salida del N. R.	Coefficiente de permeabilidad (cm/seg)	Coefficiente de permeabilidad (mm/seg)
10-ago-17	7	32,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,17	21,73
		31,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,24	22,43
		30,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,32	23,18
17-ago-17	14	30,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,32	23,18
		32,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,17	21,73
		32,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,17	21,73
31-ago-17	28	33,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,11	21,07
		31,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,24	22,43
		30,00	15,00	78,54	113,10	25,00	1,00	2,32	23,18



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYOS DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

ACI 211.3R-02, "GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE PROPORCIONES PARA CONCRETOS DE CERO SLUMP"

ACI 211.3R-02

**Guide for Selecting Proportions
for No-Slump Concrete**

Reported by ACI Committee 211

	Michael J. Boyle Chair	
Terrance E. Arnold ¹	Michael E. Carner	Dipas T. Parakk ²
William L. Barringer	John T. Guthrie	James S. Pierce ²
Mohammad F. Beshara	G. Terry Housley, Sr.	Michael P. Tsigilis
Casimir Bognacki	Godfrey A. Hulimoron	Steven A. Ragan ²
Gary L. Bennis	Richard D. Hill	Royce J. Rhoads
Marshall L. Brewer	David L. Hollingsworth	John E. Ries
Ramon L. Carrasquillo	George W. Bolton	G. Michael Rebinon
James E. Cook	Seid Karvani	Donald L. Schlegel ^{2*}
John F. Cook	Tarif M. Jabe	James M. Shilstone
Kaymond A. Csok	Robert E. Jenkins	Avia Skypala
David A. Crocker	Frank A. Kozelinski	Jeffrey F. Speck
D. Gere Daniel	Cóin L. Lohr	William X. Sypher
Francois de Larard	Mark C. Luther	Stanley J. Virgallie
Donald E. Dixon	Howard P. Luc	Woodward L. Vogt
Calvin L. Doll	Gar R. Mass	Dean J. White, II
Darrell F. Elliot	Ed T. McGuire	Richard M. Wing

¹Members of subcommittee who prepare revisions.
²Chair of subcommittee C.
 The subcommittee thanks Gary Knight and Tom Bohn for providing assistance for some of the graphics in this report.

This guide is intended as a supplement to ACI 211.1. A procedure is presented for proportioning concrete that has slumps in the range of zero to 25 mm (1 in.) and consistencies below this range, for aggregate up to 75 mm (3 in.) maximum size. Suitable equipment for measuring such consistency is described. Tables and charts similar to those in ACI 211.1 are provided which, along with laboratory tests on physical properties of fine and coarse aggregate, yield information for obtaining concrete proportions for a trial mixture.

This document also includes appendices on proportioning mixtures for roller-compacted concrete, concrete roof tile, concrete masonry units, and

precast concrete for drainage purposes. Examples are provided as an aid in calculating proportions for these specialty applications.

Keywords: curability; mixture proportioning; no-slump concrete; roller-compacted concrete; slump test; water-cementitious materials ratio.

CONTENTS

Chapter 1—Scope and limits, p. 211.3R-2

Chapter 2—Preliminary considerations, p. 211.3R-2

- 2.1—General
- 2.2—Methods for measuring consistency
- 2.3—Mixing water requirement

Chapter 3—Selecting proportions, p. 211.3R-3

- 3.1—General
- 3.2—Slump and maximum-size aggregate
- 3.3—Estimating water and aggregate grading requirements
- 3.4—Selecting water-cementitious materials ratio
- 3.5—Estimate of coarse aggregate quantity

ACI Committee Reports, Guides, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.

Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.

ACI 211.3R-02 supersedes ACI 211.3R-07 and became effective January 31, 2002.
 Copyright © 2002, American Concrete Institute.
 All rights reserved, including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright requirements.

Chapter 4—Proportioning computations (SI units), p. 211.3R-7

- 4.1—General proportioning criteria
- 4.2—Example of proportioning computations
- 4.3—Batching quantities for production-size batching
- 4.4—Adjustment of trial mixture

Chapter 5—References, p. 211.3R-9

- 5.1—Referenced standards and reports
- 5.2—Cited references

Appendix 1—Proportioning computations (inch-pound units), p. 211.3R-10

Appendix 2—Laboratory tests, p. 211.3R-11

Appendix 3—Roller-compacted concrete mixture proportioning, p. 211.3R-13

Appendix 4—Concrete roof tile mixture proportioning, p. 211.3R-23

Appendix 5—Concrete masonry unit mixture proportioning, p. 211.3R-21

Appendix 6—Pervious concrete mixture proportioning, p. 211.3R-24

CHAPTER 1—SCOPE AND LIMITS

ACI 211.1 provides methods for proportioning concrete with slumps greater than 25 mm (1 in.) as measured by ASTM C 143/C 143M. This guide is an extension of ACI 211.1 and addresses the proportioning of concrete having slump in the range of zero to 25 mm (1 in.).

The paired values stated in inch-pound and SI units are the results of conversions that reflect the intended degree of accuracy. Each system is used independently of the other in the examples. Combining values from the two systems may result in nonconformance with this guide.

In addition to the general discussion on proportioning no-slump concrete, this guide includes proportioning procedures for these classes of no-slump concrete: roller-compacted concrete (Appendix 3); roof tiles (Appendix 4); concrete masonry units (CMU) (Appendix 5); and pervious concrete (Appendix 6).

CHAPTER 2—PRELIMINARY CONSIDERATIONS

2.1—General

The general comments contained in ACI 211.1 are pertinent to the procedures discussed in this guide. The description of the constituent materials of concrete, the differences in proportioning the ingredients, and the need for knowledge of the physical properties of the aggregate and cementitious materials apply equally to this guide. The level of overdesign indicated in ACI 301 and ACI 318/318R should be applied to the compressive strength used for proportioning.

2.2—Methods for measuring consistency

Workability is the property of concrete that determines the ease with which it can be mixed, placed, consolidated, and finished. No single test is available that will measure this

Table 2.1—Comparison of consistency measurements for slump and Vebe apparatus

Consistency description	Slump, mm	Slump, in.	Vebe, s
Extremely dry	—	—	32 to 18
Very stiff	—	—	18 to 10
Stiff	0 to 25	0 to 1	10 to 5
Stiff plastic	25 to 75	1 to 3	5 to 3
Plastic	75 to 125	3 to 5	3 to 0
Very plastic	125 to 190	5 to 7-1/2	—

property in quantitative terms. It is usually expedient to use some type of consistency measurement as an index to workability. Consistency may be defined as the relative ability of freshly mixed concrete to flow. The slump test is the most familiar test method for consistency and is the basis for the measurement of consistency under ACI 211.1.

No-slump concrete will have poor workability if consolidated by hand-rod-ding. If vibration is used, however, such concrete might be considered to have adequate workability. The range of workable mixtures can therefore be widened by consolidation techniques that impart greater energy in the mass to be consolidated. The Vebe apparatus,^{1,2} the compacting factor apparatus,³ the modified compaction test, and the Daulow drop table⁴ are laboratory devices that can provide a useful measure of consistency for concrete mixtures with less than 25 mm (1 in.) slump. Of the three consistency measurements, the Vebe apparatus is frequently used today in roller-compacted concrete and will be referred to in this guide. The Vebe test is described in Appendix 2. If none of these methods are available, consolidation of the trial mixture under actual placing conditions in the field or laboratory will, of necessity, serve as a means for determining whether the consistency and workability are adequate. Suitable workability is often based on visual judgement for machine-made present concrete products.

A comparison of Vebe test results with the conventional slump test is shown in Table 2.1. Note that the Vebe test can provide a measure of consistency in mixtures termed "extremely dry." Vebe time at compaction is influenced by other factors such as moisture condition of aggregates, time interval after mixing, and climatic conditions.

2.3—Mixing water requirement

In ACI 211.1, approximate relative mixing water requirements are given for concrete conforming to the consistency descriptions of stiff plastic, plastic, and very plastic, as shown in Table 2.2 of this guide. Considering the water requirement for the 75 to 100 mm (3 to 4 in.) slump as 100%, the relative water contents for those three consistencies are 92, 100, and 106%, respectively. Thaurow⁵ extended this concept of relative water contents to include stiffer mixtures, as shown in Table 2.2.

Figure 2.1 and 2.2 have been prepared based on the results from a series of laboratory tests in which the average air contents were as indicated in Figure 2.3. These tests show that the factors in Table 2.2 need to be applied to the quantities given in ACI 211.1 to obtain the approximate water content for

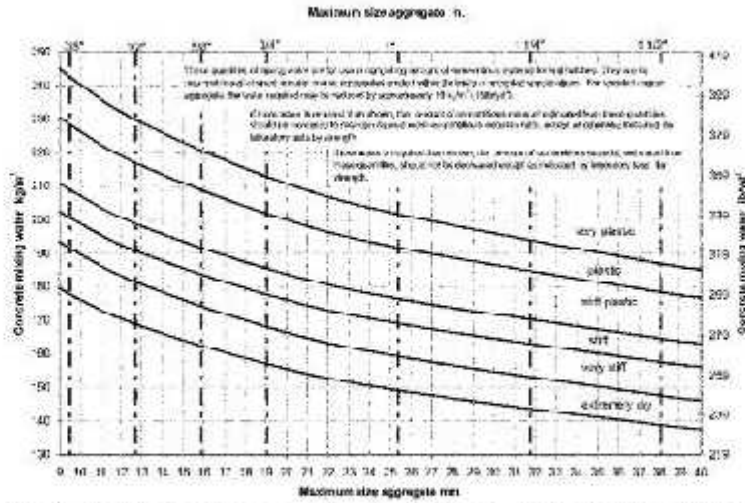


Fig. 2.1—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for nonair-entrained concrete.

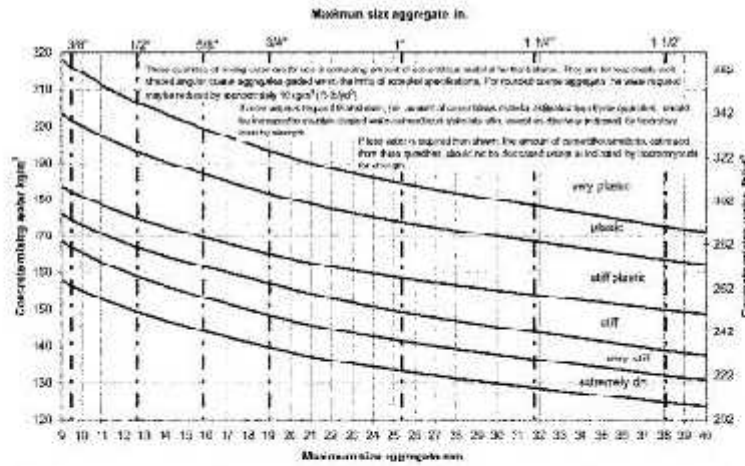


Fig. 2.2—Approximate mixing water requirements for different consistencies and maximum-size aggregate for air-entrained concrete.

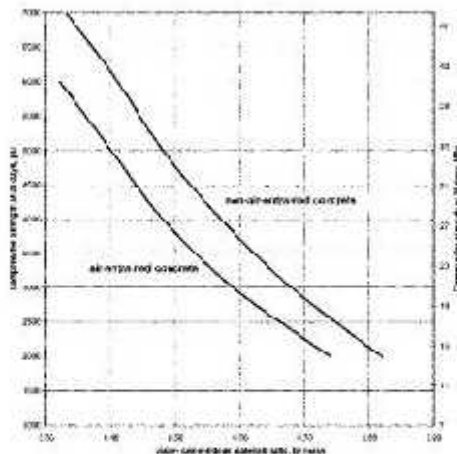
the six consistency designations. Approximate relative mixing water requirements are given in kg/m³ (lb/yd³) using the relative water contents shown by Table 2.1 for the stiff, very stiff, and extremely dry consistencies. For a given combination of materials, a number of factors will affect the actual mixing water requirement, and can result in a considerable difference from the values shown in Fig. 2.1 and 2.2. These factors include particle shape and grading of the aggregate, air content and temperature of the concrete, the

effectiveness of mixing chemical admixtures, and the method of consolidation. With respect to mixing for example, spiral-blade and pan-type mixers are more effective for no-slump concretes than are rotating-drum mixers.

CHAPTER 3—SELECTING PROPORTIONS

3.1—General

Cementitious materials include the combined mass of cement, natural pozzolans, fly ash, ground granulated-



Values are intended as general guides for concrete strengths and may differ from the compressive strength shown in Fig. 3.1. For a constant water-cementitious materials ratio the strength of concrete is related to the amount of cementitious materials used. The relationship between the water-cementitious materials ratio and the compressive strength of concrete is shown in Fig. 3.1. The relationship between the water-cementitious materials ratio and the compressive strength of concrete is shown in Fig. 3.1. The relationship between the water-cementitious materials ratio and the compressive strength of concrete is shown in Fig. 3.1.

Fig. 3.1—Relationships between water-cementitious materials ratios and compressive strength of concrete.

3.9 kg/m³ (110 to 666 lb/yd³). In mixtures richer than these, mixing water requirements can increase significantly as cementitious materials contents are increased. Acceptable aggregate gradings are presented in ASTM C 33 and AASHTO M 6 and M 80.

Aggregate grading is an important parameter in selecting proportions for concrete in machine-made precast products such as pipes, CMU, roof tile, manholes, and prestressed products. Forms for these products are removed immediately after the concrete is placed and consolidated, or the concrete is placed by an extrusion process. In either case, the concrete has no external support immediately after placement and consolidation; therefore, the fresh concrete mixture should be cohesive enough to retain its shape after consolidation. Cohesiveness is achieved by providing sufficient fines in the mixtures. Some of these fines can be obtained by careful selection of the fine aggregate gradings. Pozzolans, such as fly ash, have also been used to increase cohesiveness. In some cases, the desired cohesiveness can be improved by increasing the cementitious materials content. This approach is not recommended, however, because of negative effects of excessive cementitious materials such as greater heat of hydration and drying shrinkage.

The quantities of water shown in Fig. 2.1 and 2.2 of this guide are sufficiently accurate for preliminary estimates of proportions. Actual water requirements need to be established in laboratory trials and verified by field tests. This should result in water-cementitious materials ratios (w/cm),

in the range of 0.25 to 0.40 or higher. Examples of such adjustments are given further in this guide.

For machine-made, precast concrete products such as pipes and CMU, the general rule is to use as much water as the product will tolerate without slumping or cracking when the forms are stripped.

3.4—Selecting water-cementitious materials ratio

The selection of w/cm depends on the required strength. Figure 3.1 provides initial information for w/cm . The compressive strengths are for 150 x 300 mm (5 x 12 in.) cylinders, prepared in accordance with ASTM C 192, subjected to standard moist curing, and tested at 28 days in accordance with ASTM C 39 for the various ratios. The required w/cm to achieve a desired strength depends on whether the concrete is air-entrained.

Using the maximum permissible w/cm from Fig. 3.1 and the approximate mixing water requirement from Fig. 2.1 and 2.2, the cementitious material content can be calculated by dividing the mass of water needed for mixing by the w/cm . If the specifications for the job contain a minimum cementitious material content requirement, the corresponding w/cm for estimating strength can be computed by dividing the mass of water by the mass of the cementitious material. The lowest of the three w/cm s—those for durability, strength, or cementitious material content—should be selected for calculating concrete proportions.

Air-entraining admixtures or air-entraining cements can be beneficial in ensuring durable concrete in addition to providing other advantages, such as reduction in the mixture harshness with no increase in water. Air-entrained concrete should be used when the concrete products are expected to be exposed to frequent cycles of freezing and thawing in a moist, critically saturated condition. ASTM C 666 testing before construction is recommended to assess resistance to freezing-and-thawing characteristics of the no-slump concrete. If these no-slump concrete mixtures may be exposed to deicer salts, they should also be tested in accordance with ASTM C 666.

Figure 3.1 is based on the air contents shown in Fig. 2.3. In Fig. 3.1 at equal w/cm , the strengths for the air-entrained concrete are approximately 20% lower than for the non-air-entrained concrete. These differences may not be as great in the no-slump mixtures because the volume of entrained air in these mixtures using an air-entraining cement, or the usual amount of air-entraining admixture per unit of cementitious material, will be reduced significantly with practically no loss in resistance to freezing and thawing and density. In addition, when cementitious material content and consistency are constant, the differences in strengths are partially or entirely offset by reduction of mixing water requirements that result from air entrainment.

The required average strength necessary to ensure the strength specified for a particular job depends on the degree of control over all operations involved in the production and testing of the concrete. See ACI 214 for a complete guide. If flexural strength is a requirement rather than compressive strength, the relationship between w/cm and flexural

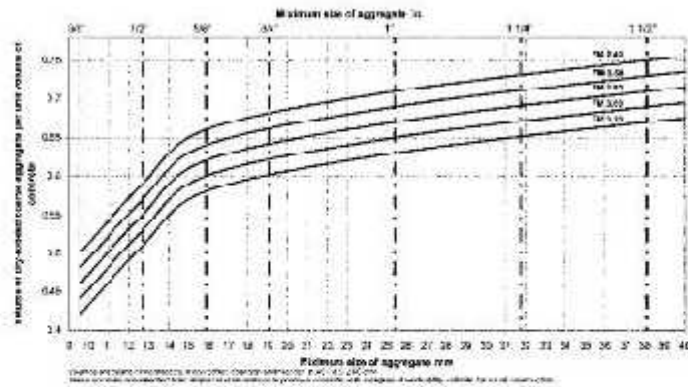


Fig. 3.2—Volume of coarse aggregate per unit volume of concrete of plastic consistency (75 to 125 mm [3 to 5 in.] slump).

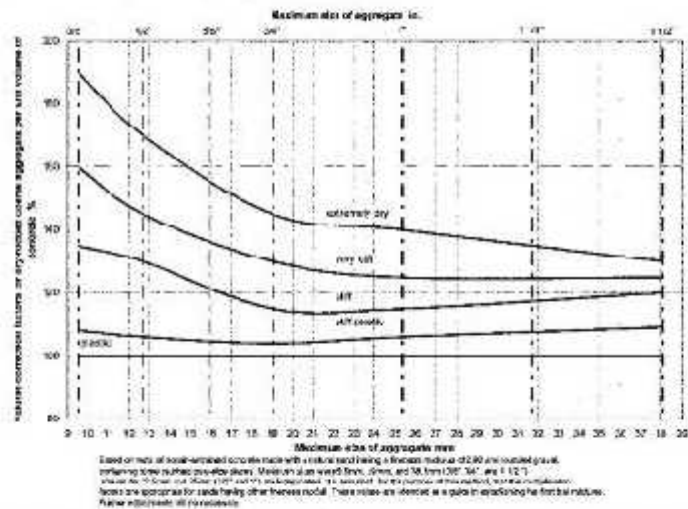


Fig. 3.3—Volume correction factors for dry-rodded coarse aggregate for concrete of different consistencies.

strength should be determined by laboratory tests using the job materials.

3.5—Estimate of coarse aggregate quantity

The largest quantity of coarse aggregate per unit volume of concrete should be used and be consistent with adequate placeability. For the purpose of this document, placeability is defined as the ability to adequately consolidate the mixture with the minimum of physical and mechanical time and effort. For a given aggregate, the amount of mixing water required will then be at a minimum and strength at a maximum. This quantity of coarse aggregate can best be determined from laboratory investigations using the materials for the

intended work with later adjustment in the field or plant. If such data are not available or cannot be obtained, Fig. 3.2 provides a good estimate of the amount of coarse aggregate for various concrete having a degree of workability suitable for usual reinforced concrete construction (approximately 75 to 100 mm [3 to 4 in.] slump). These values of dry-rodded volume of coarse aggregate per unit volume of concrete are based on established empirical relationships for aggregates graded within conventional limits. Changes in the consistency of the concrete can be affected by changing the amount of coarse aggregate per unit volume of concrete. As greater amounts of coarse aggregate per unit volume are used, the consistency will decrease. For the very plastic and

plastic consistencies, the volume of coarse aggregate per unit volume of concrete is essentially unchanged from that shown in Fig. 3.2. For the stiffer consistencies—those requiring vibration—the amount of coarse aggregate that can be accommodated increases rather sharply in relation to the amount of fine aggregate required. Figure 3.3 shows some typical values of the volume of coarse aggregate per unit volume of concrete for different consistencies, expressed as a percentage of the values shown in Fig. 3.2. The information contained in these two figures provides a basis for selecting an appropriate amount of coarse aggregate for the first trial mixture. Adjustments in this amount will probably be necessary in the field or plant operation.

In precast concrete products where cohesiveness is required to retain the concrete shape after the forms are stripped, the volume of coarse aggregate can be reduced somewhat from the values indicated in Fig. 3.2. The degree of cohesiveness required depends on the particular process used to make the concrete product. Uniformly graded aggregate is important in precast concrete pipe; therefore, blends of two or more coarse aggregates are frequently used.

Concrete of comparable workability can be expected with aggregates of comparable size, shape, and grading when a given dry-rodded volume of coarse aggregate per unit volume of concrete is used. In the case of different types of aggregates, particularly those with different particle shapes, the use of a fixed dry-rodded volume of coarse aggregate automatically makes a allowance for differences in mortar requirements as reflected by void content of the coarse aggregate. For example, angular aggregates have a higher void content, and therefore, require more mortar than rounded aggregates.

This aggregate-estimating procedure does not reflect variations in grading of coarse aggregates within different maximum-size limits, except as they are reflected in percentages of voids. For coarse aggregates falling within the limits of conventional grading specifications, this omission probably has little importance. The optimum dry-rodded volume of coarse aggregate per unit volume of concrete depends on its maximum size and the fineness modulus of the fine aggregate as indicated in Fig. 3.2.

CHAPTER 4—PROPORTIONING COMPUTATIONS (SI UNITS)

4.1—General proportioning criteria

Computation of proportions will be explained by one example. The following criteria are assumed:

- The cement specific gravity is 3.15;
- Coarse and fine aggregates in each case are of satisfactory quality and are graded within limits of generally accepted specifications such as ASTM C 33 and C 331;
- The coarse aggregate has a specific gravity, bulk over dry, of 2.68, and an absorption of 0.5%; and
- The fine aggregate has a specific gravity, bulk over dry, of 2.64, an absorption of 0.7%, and fineness modulus of 2.80.

4.2—Example of proportioning computations

Concrete is required for an extruded product in northern France that will be exposed to severe weather with frequent

cycles of freezing and thawing. Structural considerations require it to have a design compressive strength of 30 MPa at 28 days. From previous experience in the plant producing similar products, the expected coefficient of variation of strengths is 10%. It is further required that no more than one test in 10 will fall below the design strength of 30 MPa at 28 days. From Fig. 4.1(a) of ACI 214, the required average strength at 28 days should be $30 \text{ MPa} \times 1.15$, or 35 MPa. The size of the section and spacing of reinforcement are such that a nominal maximum-size coarse aggregate of 40 mm, graded to 4.75 mm, can be used and is locally available. Heavy internal and external vibration are available to achieve consolidation, enabling the use of very stiff concrete. The dry-rodded density of the coarse aggregate is 1600 kg/m^3 . Because the exposure is severe, air-entrained concrete will be used. The proportions may be computed as follows:

From Fig. 3.1, the w/cm required to produce an average 28-day strength of 35 MPa in air-entrained concrete is shown to be approximately 0.40 by mass.

The approximate quantity of mixing water needed to produce a consistency in the very stiff range in air-entrained concrete made with 40 mm nominal maximum-size aggregate is 130 kg/m^3 (Fig. 2.2). In Fig. 2.3, the required air content for the more plastic mixture is indicated to be 4.5%, which will be produced by using an air-entraining admixture. An air-entraining admixture, when added at the mixer as liquid, should be included as part of the mixing water. The note to the figure calls attention to the lower air contents entrained in stiffer mixtures. For this concrete, assume the air content to be 3.0% when the suggestions in the note are followed.

From the preceding two paragraphs, it can be seen that the required cementitious material is $300(0.40) = 120 \text{ kg/m}^3$. Only portland cement will be used.

Figure 3.2, with a nominal maximum-size aggregate of 40 mm and a fineness modulus of sand of 2.80, 0.71 m^3 of coarse aggregate on a dry-rodded basis, would be required in each cubic meter of concrete having a slump of about 75 to 100 mm.

In Fig. 3.3, for the very stiff consistency desired, the amount of coarse aggregate should be 125% of that for the plastic consistency, or $0.71 \times 1.25 = 0.89 \text{ m}^3$. The quantity in a cubic meter will be 0.89 m^3 , which in this case is $0.89 \text{ m}^3 \times 1600 \text{ kg/m}^3 = 1424 \text{ kg}$.

With the quantities of cement, water, coarse aggregate, and air established, the sand content is calculated as follows:

Solid volume of cement	=	$\frac{325}{3.15 \times 1000}$	=	0.103 m^3
Volume of water	=	$\frac{130}{1000}$	=	0.130 m^3
Solid volume of coarse aggregate	=	$\frac{1424}{2.68 \times 1000}$	=	0.531 m^3
Volume of air	=	1×0.030	=	0.030 m^3

Table 4.1—Comparison between computed batch quantities and those used in production

Ingredients	Batch quantities of concrete per cubic meter	
	Computed, kg	Used in production, kg
Cement	325	325
Net mixing water	130	130
Sand	544 (oven dry)	571 (moist)
Coarse aggregate	1424 (oven dry)	1438 (moist)
Water absorbed	11	—
Excess water	—	—20
Total	2434	2434
Water added at mixer	141	100

$$\begin{aligned} \text{Total volume of ingredients except sand} &= 0.794 \text{ m}^3 \\ \text{Solid volume of sand required} &= 1 - 0.794 = 0.206 \text{ m}^3 \\ \text{Required mass of oven-dry sand} &= 0.206 \times 2.61 \times 1000 = 544 \text{ kg} \\ \text{Water absorbed by oven-dry aggregates} &= (544 \times 0.007) + (1424 \times 0.005) = 11 \text{ kg} \end{aligned}$$

The estimated batch quantities per cubic meter of concrete are:

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 325 \text{ kg} \\ \text{Water} &= 141 \text{ kg } (130 + 11) \\ \text{Sand, oven-dry} &= 544 \text{ kg} \\ \text{Coarse aggregate, oven-dry} &= 1424 \text{ kg} \\ \text{Air-entraining admixture} &= (\text{as required}) \text{ for } 3\% \text{ air} \end{aligned}$$

4.3—Batching quantities for production-size batching

For the sake of convenience in making trial mixture computations, the aggregates have been assumed to be in an oven-dry state. Under production conditions, they generally will be moist and the quantities to be batched into the mixer should be adjusted accordingly.

With the batch quantities determined in the example, assume that tests show the sand to contain 5.0% and the coarse aggregate 1.0% total moisture. Because the quantity of oven-dry sand required was 544 kg, the amount of moist sand to be weighed out should be $544 \text{ kg} \times 1.05 = 571 \text{ kg}$. Similarly, the amount of moist, coarse aggregate should be $1424 \times 1.01 = 1438 \text{ kg}$.

The free water in the aggregates, in excess of their absorption, should be considered as part of the mixing water. Because the absorption of sand is 0.7%, the amount of free water which it contains is $5.0 - 0.7 = 4.3\%$. The free water in the coarse aggregate is $1.0 - 0.5 = 0.5\%$. Therefore, the mixing water contributed by the sand is $0.043 \times 544 = 23 \text{ kg}$ and that contributed by the coarse aggregate is $0.005 \times 1424 = 7 \text{ kg}$. The quantity of mixing water to be added is $130 - (23 + 7) = 100 \text{ kg}$. Table 4.1 shows a comparison between the computed batch quantities and those to be used in the field for each cubic

meter of concrete. The actual quantities used during production will vary because it depends on the moisture contents of the stockpiled aggregates which will vary.

The preceding trial mixture computations provide batch quantities for each ingredient of the mixture per cubic meter of concrete. It is seldom desirable or possible to mix concrete in exactly 1 m³ batches. It is therefore necessary to convert these quantities in proportion to the batch size to be used. Let it be assumed that a 0.55 m³ capacity mixer is available. Then to produce a batch of the desired size and maintain the same proportions, the cubic meter batch quantities of all ingredients should be reduced quantities to the following quantities:

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 0.55 \times 325 = 179 \text{ kg} \\ \text{Sand (moist)} &= 0.55 \times 571 = 314 \text{ kg} \\ \text{Coarse aggregate (moist)} &= 0.55 \times 1438 = 791 \text{ kg} \\ \text{Water to be added} &= 0.55 \times 100 = 55 \text{ kg} \end{aligned}$$

4.4—Adjustment of trial mixture

The estimate of total water requirement given in Fig. 2.1 and 2.2 may understate the water required. In such cases, the amount of cementitious materials should be increased to maintain the w/m, unless otherwise indicated by laboratory tests. This adjustment will be illustrated by assuming that the concrete for the example was found in the trial batch to require 135 kg of mixing water instead of 130 kg. Consequently, the cementitious materials content should be increased from 325 to $(135/130) \times 325 = 338 \text{ kg/m}^3$ and the batch quantities recomputed accordingly.

Sometimes less water than indicated in Fig. 2.1 and 2.2 may be required, but it is recommended that no adjustment be made in the amount of cementitious materials for the batch in progress. Strength results may warrant additional batches with less cementitious materials. Adjustment in batch quantities is necessary to compensate for the loss of volume due to the reduced water. This is done by increasing the solid volume of sand in an amount equal to the volume of the reduction in water. For example, assume that 125 kg of water is required instead of 130 kg for the concrete of the example. Then 125/1000 is substituted for 130/1000 in computing the volume of water in the batch. This results in 0.005 m³ less water; therefore, the solid volume of sand becomes $0.206 + 0.005 = 0.211 \text{ m}^3$.

The percentage of air in some no-sump concrete that can be consolidated in the container by vibration can be measured directly with an air meter (ASTM C 231) or it can be computed gravimetrically from measurement of the fresh concrete density in accordance with ASTM C 138. For any given set of conditions and materials, the amount of air entrained is approximately proportional to the quantity of air entraining admixture used. Increasing the cementitious materials content or the fine fraction of the sand, decreasing slump, or raising the temperature of the concrete usually decreases the amount of air entrained for a given amount of admixture. The grading and particle shape of aggregate also have an effect on the amount of entrained air. The job mixture should not be adjusted for minor fluctuations in water or air content. A variation in w/m of ± 0.02 , 0.38 to 0.42 in the above example,

resulting from maintaining a constant consistency is considered normal for no-slump concrete where compactability and demoulding respond better to target values for w/c_m . A variation of $\pm 1\%$ in air content is also considered normal. This variation in air content will be smaller in the drier mixtures.

CHAPTER 5—REFERENCES

5.1—Referenced standards and reports

The standards of the various standards producing organizations applicable to this document are listed below with their serial designations. Since some of these standards are revised frequently, generally in minor details only, the user of this document should contact the sponsoring group, if it is desired to refer to the latest document.

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)

- M 6 Fine Aggregate for Portland Cement Concrete
M 80 Coarse Aggregate for Portland Cement Concrete

American Concrete Institute (ACI)

- 116R Cement and Concrete Terminology
201.2R Guide to Durable Concrete
211.1 Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight and Mass Concrete
207.1R Mass Concrete
207.5R Roller-Compacted Mass Concrete
214 Recommended Practice for Evaluation of Strength Test Results of Concrete
301 Specifications for Structural Concrete for Buildings
318.318R Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary
325.10R State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements

American Society for Testing and Materials Standards (ASTM)

- C 25/ Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate
C 29 M
C 31/ Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field
C 31 M
C 35 Standard Specification for Concrete Aggregates
C 39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
C 78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
C 9C Standard Specification for Load Bearing Concrete Masonry Units
C 156 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate
C 158 Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete
C 143/ Standard Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete
C 143 M
C 150 Standard Specification for Portland Cement
C 192/ Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory
C 192 M

- C 231 Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method
C 331 Standard Specification for Lightweight Aggregate for Concrete Masonry Units
C 566 Standard Test Method for Total Moisture Content of Aggregate by Drying
C 618 Standard Specification for Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete
C 966 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
C 1170 Standard Test Methods for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table
C 1176 Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table
D 1557 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort
SI 10 Use of the International System of Units (SI): The Modern Metric System

The above publications may be obtained from the following organizations:

American Association of State Highway and Transportation Officials
444 N. Capitol St. NW Suite 225
Washington, DC 20001

American Concrete Institute
P.O. Box 5094
Farmington Hills, MI 48335-9094

ASTM
100 Barr Harbor Drive
West Conshohocken, PA 19428-2959

5.2—Cited references

1. Bahrner, V., 1940, "New Swedish Consistency Test Apparatus and Method," *Betong* (Stockholm), No. 1, pp. 27-38.
2. Cusens, A. R., 1956, "The Measurement of the Workability of Dry Concrete Mixes," *Magazine of Concrete Research*, V, 8, No. 22, Mar., pp. 23-30.
3. Glanville, W. H.; Collins, A. R.; and Matthews, D. D., 1947, "The Grading of Aggregates and Workability of Concrete," *Road Research Technical Paper No. 5*, Department of Scientific and Industrial Research/Ministry of Transport, Her Majesty's Stationery Office, London, 38 pp.
4. Thaulow, S., 1951, *Field Testing of Concrete*, Norsk Cementforening, Oslo.
5. Thaulow, S., 1955, *Concrete Proportioning*, Norsk Cementforening, Oslo.
6. Meininger R. C., 1988, "No-Fines Pervious Concrete for Paving," *Concrete International*, V, 10, No. 8, Aug., pp. 20-27.
7. NCMA High Strength Block Task Force, 1971, *Special Considerations for Manufacturing High Strength Concrete Masonry Units*.

8. Menzel, C. A., 1934, "Tests of the Fire Resistance and Strength of Walls of Concrete Masonry Units," PCA, Jan.

9. Grant, W., 1952, *Manufacture of Concrete Masonry Units*, Coserez Publishing Corp., Chicago, IL.

APPENDIX 1—PROPORTIONING COMPUTATIONS (INCH-POUND UNITS)

A1.1—General proportioning criteria

Computation of proportions will be explained by one example. The following criteria are assumed:

- The cement specific gravity is 3.15.
- Coarse and fine aggregates in each case are of satisfactory quality and are graded within limits of generally accepted specifications.
- The coarse aggregate has a specific gravity bulk oven-dry, of 2.68 and an absorption of 0.5%; and
- The fine aggregate has a specific gravity, bulk oven-dry, of 2.64, an absorption of 0.7%, and fineness modulus of 2.80.

A1.2—Example of proportioning computations

Concrete is required for an extruded product that will be exposed to severe weather with frequent cycles of freezing and thawing. Structural considerations require it to have a design compressive strength of 4000 psi at 28 days. From previous experience in the plant producing similar products, the expected coefficient of variation of strengths is 10%. It is further required that no more than one test in 10 will fall below the design strength of 4000 psi at 28 days. From Fig. 4.1(a) of ACI 214, the required average strength at 28 days should be 4000×1.15 , or 4600 psi. The size of the section and spacing of reinforcement are such that a nominal maximum-size coarse aggregate of 1-1/2 in., graded to No. 4 can be used and is locally available. Heavy internal and external vibrations are available to achieve consolidation, enabling the use of very stiff concrete. The dry-rodded density of the coarse aggregate is found to be 100 lb/ft³. Because the exposure is severe, air-entrained concrete will be used. The proportions may be computed as follows:

From Fig. 3.1, the *w/cm* required to produce an average 28 day strength of 4600 psi in air-entrained concrete is shown to be approximately 0.43 by mass.

The approximate quantity of mixing water needed to produce a consistency in the very stiff range in air-entrained concrete made with 1-1/2 in. nominal maximum-size aggregate is to be 225 lb/yd³ (Fig. 2.2). In Fig. 2.3, the desired air content, which in this case will be produced by use of an air-entraining admixture, is indicated as 4.5% for the more plastic mixtures. An air-entraining admixture, when added at the mixer as liquid, should be included as part of the mixing water. The note to the figure calls attention to the lower air contents entrained in these stiffer mixtures. For this concrete, assume the air content to be 3.0% when the suggestions in the note are followed.

From the preceding two paragraphs, it can be seen that the required cementitious material is $225(0.43) = 523$ lb/yd³. Portland cement only will be used.

From Fig. 3.2, with a nominal maximum-size aggregate of 1-1/2 in. and a fineness modulus of sand of 2.80, 0.71 ft³ of coarse aggregate, on a dry-rodded basis, would be required in each cubic foot of concrete having a slump of about 3 to 4 in.

In Fig. 3.3, for the very stiff consistency desired, the amount of coarse aggregate should be 125% of that for the plastic consistency, or $0.71 \times 1.25 = 0.89$. The quantity in a cubic yard will be $27 \times 0.89 = 24.03$ ft³, which in this case is 100×24.03 , or 2403 lb.

With the quantities of cement, water, coarse aggregate, and air established, the sand content is calculated as follows:

Solid volume of cement	=	$[523 / (3.15 \times 62.4)]$	=	2.66 ft ³
Volume of water	=	$[225 / 62.4]$	=	3.61 ft ³
Solid volume of coarse aggregate	=	$[2403 / (2.68 \times 62.4)]$	=	4.37 ft ³
Volume of air	=	27.00×0.030	=	0.81 ft ³
Total volume of ingredients except sand			=	21.45 ft ³
Solid volume of sand required	=	$[27.00 - 21.45]$	=	5.55 ft ³
Required weight of oven-dry sand	=	$[5.55 \times 2.64 \times 62.4]$	=	914 lb
Water absorbed	=	$[(914 \times 0.007) + (2.03 \times 0.005)]$	=	8 lb

The estimated batch quantities per cubic yard of concrete are:

Cement	=	523 lb
Water	=	243 lb (225 + 18)
Sand, oven-dry	=	914 lb
Coarse aggregate, oven-dry	=	2403 lb
Air-entraining admixture	=	(as required) for 3% air

A1.3—Batching quantities for production use

For the sake of convenience in making trial mixture computations, the aggregates have been assumed to be in an oven-dry state. Under production conditions they generally will be moist and the quantities to be batched into the mixer must be adjusted accordingly.

With the batch quantities determined in the example, let it be assumed that tests show the total moisture of sand to be 5.0 and 1.0% for the coarse aggregate. Because the quantity of oven-dry sand required was 914 lb, the amount of moist sand to be weighed out must be $914 \times 1.05 = 960$ lb. Similarly, the weight of moist coarse aggregate must be $2403 \times 1.01 = 2427$ lb.

The free water in the aggregates, in excess of their absorption, must be considered as part of the mixing water. Because the absorption of sand is 0.7%, the amount of free water which it contains is $5.0 - 0.7 = 4.3\%$. The free water in the coarse aggregate is $1.0 - 0.5 = 0.5\%$. Therefore, the mixing water contributed by the sand is $(0.043 \times 914) = 39$ lb and that contributed by the coarse aggregate is $0.005 \times 2403 = 12$ lb.

Table A1.1—Comparison between computed batch quantities and those used in production

Ingredients	Batch quantities of concrete per cubic yards	
	Computed, b	Used in production, lb
Cement	523	523
Net mixing water	225	225
Sand	914 (dry)	960 (moist)
Coarse aggregate	2403 (dry)	2427 (moist)
Water absorbed	18	—
Excess water	—	5
Total	4083	4081
Water added to mixer	243	176

The quantity of mixing water to be added, then, is $225 - (35 + 12) = 174$ lb. Table A1.1 shows a comparison between the computed batch quantities and those actually to be used in the field for each cubic yard of concrete.

The preceding computations provide batch quantities for each ingredient of the mixture per cubic yard of concrete. It is seldom desirable or possible to mix concrete in exactly 1-yc³ batches. It is therefore necessary to convert these quantities in proportion to the batch size to be used. Let it be assumed that a 16 ft³ capacity mixer is available. To produce a batch of the desired size and maintain the same proportions, the cubic yard batch quantities of all ingredients for the project must be reduced in the ratio $16/27 = 0.593$, that is:

$$\begin{aligned} \text{Cement} &= 0.593 \times 523 = 310 \text{ b} \\ \text{Sand (moist)} &= 0.593 \times 960 = 569 \text{ b} \\ \text{Coarse aggregate (moist)} &= 0.593 \times 2427 = 144 \text{ b} \\ \text{Water to be added} &= 0.593 \times 174 = 103 \text{ b} \end{aligned}$$

A1.4—Adjustment of trial mixture

The estimate of total water requirement given in Fig. 2.1 and 2.2 may underestimate the water required. In such cases, the amount of cementitious materials should be increased to maintain the w/cw, unless otherwise indicated by laboratory tests. This adjustment will be illustrated by assuming that the concrete for the example was found in the field trial batch to require 240 lb/yc³ of mixing water instead of 225 lb/yc³. Consequently, the cementitious materials content should be increased from 523 to $(240/225) \times 523 = 558$ lb/yc³ and the batch quantities recomputed accordingly.

Sometimes less water than indicated in Fig. 2.1 and 2.2 may be required, but it is recommended that no adjustment be made in the amount of cementitious materials for the batch in progress. Strength results may warrant additional batches with less cementitious materials. Adjustment in batch quantities is necessary to compensate for the loss of volume due to the reduced water. This is done by increasing the solid volume of sand in an amount equal to the volume of the reduction in water. For example, assume that 215 lb of water are required instead of 225 lb for the concrete of the example. Then 215/62.4 is substituted for 225/62.4 in computing the volume of water in the batch, and the solid volume of sand becomes 5.71 instead of 5.55 ft³.

APPENDIX 2—LABORATORY TESTS

A2.1—General

As stated in the Introduction, selection of concrete mixture proportions can be accomplished most effectively from results of laboratory tests that determine basic physical properties of materials needed for proportioning no-sllmp concrete mixtures: that establish relationships between w/cw, air content, cement content, and strength; and which furnish information on the workability characteristics of various combinations of ingredient materials. The extent of investigation of fresh and hardened concrete properties for any given job will depend on the size of the project, and importance and service conditions involved. Details of the laboratory program will also vary depending on facilities available and on individual preferences.

A2.2—Physical properties of cement

Physical and chemical characteristics of cement influence the properties of hardened concrete. The only property of cement directly concerned in computation of concrete mixture proportions is specific gravity. The specific gravity of cement may be assumed to be 3.15 without introducing appreciable error in mixture computations.

A sample of cement of the type selected for the project should be obtained from the mill that will supply the job. The sample quantity should be adequate for tests contemplated with a liberal margin for additional tests that might later be considered desirable. Cement samples should be shipped in airtight containers or in moisture-proof packages.

A2.3—Properties of aggregate

Sieve analysis, specific gravity, absorption, and moisture content of both fine and coarse aggregate and dry-rodded density of coarse aggregate are essential physical properties required for mixture computations. Other tests that may be desirable for large or special types of work include petrographic examination, tests for chemical reactivity and soundness, durability, resistance to abrasion, and for various deleterious substances. All such tests yield valuable information for judging the ultimate quality of concrete and in selecting appropriate proportions.

Aggregate grading or particle-size distribution is a major factor in controlling unit water requirement, proportion of coarse aggregate to sand, and cement content of concrete mixtures for a given degree of workability. Numerous "ideal" aggregate grading curves have been proposed, but a universally accepted standard has not been developed. Experience and individual judgment must continue to play important roles in determining acceptable aggregate gradings. Additional workability, realized by use of air entrainment, permits the use of less restrictive aggregate gradings to some extent.

Undesirable sand gradings may be corrected to desired particle size distribution by:

- Separation of the sand into two or more size fractions and recombining in suitable proportions.
- Increasing or decreasing the quantity of certain sizes to balance the grading.
- Reducing excess coarse material by grinding; or

- By the addition of manufactured sand.

Undesirable coarse aggregate gradings may be corrected by:

- Crushing excess coarse fractions;
- Wasting excess material in other fractions;
- Supplementing deficient sizes from other sources; or
- A combination of these methods.

The proportions of various sizes of coarse aggregate should be held closely to the grading of available materials to minimize the amount of waste material. Whatever processing is done in the laboratory should be practical from a standpoint of economy and job operation. Samples of aggregates for concrete mixture tests should be representative of aggregate selected for use in the work. For laboratory tests, the coarse aggregates should be cleanly separated into required size fractions to provide for uniform control of mixture proportions.

The particle shape and texture of both fine and coarse aggregate also influence the mixing water requirement of concrete. Void content of compacted dry, fine, or coarse aggregate can be used as an indicator of angularity. Void contents of more than 40% in conventionally graded aggregates indicate angular material that will probably require more mixing water than given in Fig. 2.1 and 2.2. Conversely, rounded aggregates with voids below 35% will probably need less water.

A2.4—Concrete mixture tests

The values listed in the figures (2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, and 3.3) can be used for establishing a preliminary trial mixture. They are based on averages obtained from a large number of tests and do not necessarily apply exactly to materials being used on a particular job. If facilities are available, it is advisable to make a series of concrete tests to establish the relationships needed for selection of appropriate proportions based on the materials actually to be used.

Air-entrained concrete or concrete with no measurable slump must be machine-mixed. Before mixing the first batch, the laboratory mixer should be "battered," as described in ASTM C 192/ C 192 M, because a clean mixer retains a percentage of mortar that should be taken into account. Similarly, any processing of materials in the laboratory should simulate, as closely as practicable, corresponding treatment in the field. Adjustments of the preliminary trial mixture will almost always be necessary. It should not be expected that field results will check exactly with laboratory results. An adjustment of the selected trial mixture on the job is usually necessary.

Some of the variables that may require a more extensive program are alternative aggregate sources and different aggregate gradings, different types and brands of cement, different admixtures, different nominal maximum sizes of aggregate, considerations of concrete durability, thermal properties, and volume change, which includes drying shrinkage and temperature due to cement hydration.

A2.5—Specifications and test methods

Appropriate specifications and test methods for the various ingredients in concrete and for freshly mixed and hardened



Fig. A2.1—Modified Vebe apparatus. Photograph provided by Soiltest Division, ELE International.

concrete are published by the American Society for Testing and Materials, the American Association of State Highway and Transportation Officials, and various Federal and State agencies. A list of useful test methods is shown in the appendix to ACI 211.1.

A2.6—Equipment and techniques for measuring consistency

The following is a more detailed description of the equipment and techniques involved in a method for measuring consistency described in Section 2.2.

A2.7—Vebe apparatus

The Vebe apparatus consists of a heavy base, resting on three rubber feet, a vibrating table supported on rubber shock absorbers, a motor with rotating eccentric mass, a cylindrical metal container to hold the concrete sample (approximate inside dimensions: 240 mm [9 1/2 in.] in diameter and 195 mm [7 3/4 in.] high), a slump cone (ASTM C 143/ C 143 M), a funnel for filling the slump cone, a swivel arm holding a graduated metal rod, and a clear plastic disk (diameter of disk slightly less than diameter of cylindrical metal container). The vibrating table is typically 380 mm (15 in.) in length, 260 mm (10 1/4 in.) in width, and 300 mm (12 in.) in height. The overall width, with the disk swung away from the container, is 675 mm (26 1/2 in.). The overall height

- By the addition of manufactured sand.

Undesirable coarse aggregate gradings may be corrected by:

- Crushing excess coarse fractions;
- Wasting excess material in other fractions;
- Supplementing deficient sizes from other sources; or
- A combination of these methods.

The proportions of various sizes of coarse aggregate should be held closely to the grading of available materials to minimize the amount of waste material. Whatever processing is done in the laboratory should be practical from a standpoint of economy and job operation. Samples of aggregates for concrete mixture tests should be representative of aggregate selected for use in the work. For laboratory tests, the coarse aggregates should be cleanly separated into required size fractions to provide for uniform control of mixture proportions.

The particle shape and texture of both fine and coarse aggregate also influence the mixing water requirement of concrete. Void content of compacted dry, fine, or coarse aggregate can be used as an indicator of angularity. Void contents of more than 40% in conventionally graded aggregates indicate angular material that will probably require more mixing water than given in Fig. 2.1 and 2.2. Conversely, rounded aggregates with voids below 35% will probably need less water.

A2.4—Concrete mixture tests

The values listed in the figures (2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, and 3.3) can be used for establishing a preliminary trial mixture. They are based on averages obtained from a large number of tests and do not necessarily apply exactly to materials being used on a particular job. If facilities are available, it is advisable to make a series of concrete tests to establish the relationships needed for selection of appropriate proportions based on the materials actually to be used.

Air-entrained concrete or concrete with no measurable slump must be machine-mixed. Before mixing the first batch, the laboratory mixer should be "battered," as described in ASTM C 192/ C 192 M, because a clean mixer retains a percentage of mortar that should be taken into account. Similarly, any processing of materials in the laboratory should simulate, as closely as practicable, corresponding treatment in the field. Adjustments of the preliminary trial mixture will almost always be necessary. It should not be expected that field results will check exactly with laboratory results. An adjustment of the selected trial mixture on the job is usually necessary.

Some of the variables that may require a more extensive program are alternative aggregate sources and different aggregate gradings, different types and brands of cement, different admixtures, different nominal maximum sizes of aggregate, considerations of concrete durability, thermal properties, and volume change, which includes drying shrinkage and temperature due to cement hydration.

A2.5—Specifications and test methods

Appropriate specifications and test methods for the various ingredients in concrete and for freshly mixed and hardened



Fig. A2.1—Modified Vebe apparatus. Photograph provided by Soltest Division, ELE International.

concrete are published by the American Society for Testing and Materials, the American Association of State Highway and Transportation Officials, and various Federal and State agencies. A list of useful test methods is shown in the appendix to ACI 211.1.

A2.6—Equipment and techniques for measuring consistency

The following is a more detailed description of the equipment and techniques involved in a method for measuring consistency described in Section 2.2.

A2.7—Vebe apparatus

The Vebe apparatus consists of a heavy base, resting on three rubber feet, a vibrating table supported on rubber shock absorbers, a motor with rotating eccentric mass, a cylindrical metal container to hold the concrete sample (approximate inside dimensions: 240 mm [9-1/2 in.] in diameter and 195 mm [7-3/4 in.] high), a slump cone (ASTM C 143/ C 143 M), a funnel for filling the slump cone, a swivel arm holding a graduated metal rod, and a clear plastic disk (diameter of disk slightly less than diameter of cylindrical metal container). The vibrating table is typically 380 mm (15 in.) in length, 260 mm (10-1/4 in.) in width and 300 mm (12 in.) in height. The overall width, with the disk swung away from the container, is 675 mm (26-1/2 in.). The overall height

above floor level from the top edge of the funnel used to fill the slump cone is approximately 710 mm (28 in.). The total mass of the equipment is approximately 95 kg (210 lb). Figure A2.1 shows the apparatus mounted on a concrete pedestal approximately 380 mm (15 in.) in height.

To carry out the Vebe test device shown in Fig. A2.1, the sample of concrete is compacted in the slump cone, the top struck off, the cone removed, and the slump measured, as per ASTM C 143/ C 143M. The swivel arm is then moved into position with the clear plastic disk and graduated rod resting on top of the concrete sample. The vibrator is switched on and the time in seconds to deform the cone into a cylinder, at which stage the whole face of the plastic disk is in contact with the concrete, is determined. This time in seconds is used as a measure of the consistency of the concrete.

APPENDIX 3 ROLLER-COMPACTED CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING

A3.1—General

Roller-compacted concrete (RCC) is defined in ACI 116R as “concrete compacted by roller compaction; concrete that in its unhardened state will support a roller while being compacted.” Conventional concrete cannot generally be repropportioned for use as RCC by any single action, such as altering the proportions of mortar and coarse aggregate, reducing the water content, changing the *w/cm*, or increasing the fine aggregate content. Differences in conventional portland cement concrete and RCC mixture proportioning procedures are primarily due to the relatively dry consistency of RCC and the possible use of unconventionally graded aggregates.

This guide describes methods for selecting proportions for RCC mixtures for use in mass concrete and horizontal concrete slab or pavement construction applications. The methods provide a first approximation of proportions intended to be checked by trial batches in the laboratory or field, and adjusted, as necessary, to produce the desired characteristics of the RCC. Additional information on RCC can be found in ACI 207.5R and ACI 325.10R.

A3.2—Consistency

For RCC to be effectively consolidated, it must be dry enough to support the weight mass of a vibratory roller yet wet enough to permit adequate compaction of the paste throughout the mass during the mixing and compaction operations. Concrete suitable for compaction with vibratory rollers differs significantly in appearance in the unconsolidated state from that of concrete having a measurable slump. There is little evidence of any paste in the mixture except for coating on the aggregate until it is consolidated. RCC mixtures should have sufficient paste volume to fill the internal voids in the aggregate mass and therefore may differ from related materials such as soil cement or cement-treated base course.

Although the slump test is the most familiar means of measuring concrete consistency in the United States and is the basis for the measures of consistencies shown in ACI 211.1, it is not suitable to measure RCC consistency. RCC will have poor workability if compaction by hand-rod-ding is attempted

If vibration is used, however, the workability characteristics of the same concrete might be considered as excellent. The range of workable mixtures can be broadened by adopting compaction techniques that impart greater energy into the mass to be consolidated. The standard test method for measuring the consistency of RCC is ASTM C 1170, which uses the modified Vebe apparatus.

The modified Vebe apparatus shown in Fig. A2.1 consists of a vibrating table of fixed frequency and amplitude, with a 0.009 m³ (0.33 ft³) container attached to the table. A representative sample of RCC is loosely placed in the container under a surcharge of 23 kg (50 lb). The measure of consistency is the time of vibration, in seconds, required to fully consolidate the concrete, as evidenced by the formation of a ring of mortar between the edge of the surcharge and the wall of the container. The Vebe time is normally determined for a given RCC mixture and compared with the field results of onsite compaction tests conducted with vibratory rollers to determine if adjustments in the mixture proportions are necessary. The optimum Vebe time is influenced by the mixture proportions, particularly the water content, nominal maximum aggregate size, fine aggregate content, and the amount of aggregate finer than the 75 μ m (No. 200) sieve.

A3.3—Durability

Although the resistance of RCC to deterioration due to cycles of freezing and thawing has been good in some pavements and other structures, RCC should not be considered resistant to freezing and thawing unless it is air-entrained or some other protection against critical saturation is provided. If the RCC does not contain a sufficiently fluid paste, proper air entrainment will be difficult, if not impossible, to achieve. In addition, a test method for measuring the air content of fresh RCC has not been standardized.

Other ways of protecting RCC from frost damage in mass concrete applications may include sacrificial RCC on exposed surfaces, a conventional air-entrained concrete facing, or some means of membrane protection.

RCC produced with significant amounts of clay will check and crack when exposed to alternating cycles of wetting and drying, while that proportioned with nonplastic aggregate fines generally experiences no deterioration.

A3.4—Strength

The strength of compacted RCC, assuming the use of consistent quality aggregates, is determined by the water-cement ratio (*w/c*). Differences in strength and degree of consolidation for a given *w/cm* can result from changes in maximum size of aggregate; grading, surface texture, shape, strength, and stiffness of aggregate particles; differences in cement types and sources; entrapped air content; and the use of admixtures that affect the cement hydration process or develop cementitious properties themselves. ASTM C 176 is the standard method practice for fabricating test specimens, which involves molding specimens by filling the molds in layers and consolidating each layer of RCC under a surcharge on a vibrating table.

A3.5—Selection of materials

A3.5.1 General—Materials used to produce RCC consist of cementitious materials, water, fine and coarse aggregate, and sometimes chemical admixtures. Materials and mixture proportions used in various projects to date have ranged from pit- or bank-run, minimally processed, aggregates with low cementitious material contents, to fully processed concrete aggregates having normal size separations and high cementitious materials contents. Mixture proportions and materials selection criteria for RCC in massive concrete applications are based on the need to provide bond between layers while still maintaining a cementitious material content low enough to minimize temperature rise due to the heat of hydration that can cause thermal cracking when the RCC cools quickly. The specified strength, durability requirements, and intended application affect the materials selected for use in RCC slabs and pavements.

A3.5.2 Cementitious materials—Cementitious materials used in RCC can include portland cement, blended hydraulic cements, or a combination of portland cement and pozzolans. The selection of cement types should be based in part on the design strength and the age at which this strength is required. In addition, applicable limits on chemical composition required for different exposure conditions and alkali reactivity should follow standard concrete practices. For massive RCC structures, the use of cement with heat of hydration limitations is recommended. A detailed discussion of cementitious materials for use in mass concrete is found in ACI 207.1R.

Selection of a pozzolan suitable for use in RCC should be based on conformance with applicable standards or specifications, its performance in the concrete, and its availability to the project location. Pozzolans have been successfully used in RCC to reduce heat generation, increase ultimate strength beyond 180 days age, and increase the paste volume of mixtures to improve compaction characteristics. The use of fly ash is a particularly effective means of providing additional fine material to aid in the compaction of those RCC mixtures that contain standard graded concrete fine aggregate.

A3.5.3 Aggregates—The aggregates generally comprise 75 to 85% of the volume of an RCC mixture, depending on the intended application, and significantly affect both the fresh and hardened concrete properties. In freshly mixed RCC, aggregate properties affect the workability of a mixture and its potential to segregate, which in turn affects the ability of the mixture to consolidate under a vibratory roller. Aggregate properties also affect hardened concrete characteristics such as strength, elastic and thermal properties, and durability. The aggregate grading and particle shape affect the paste requirement of an RCC mixture. For high-quality RCC, both the coarse and fine aggregate fractions should be composed of hard, durable particles, and the quality of each should be evaluated by standard physical property tests such as those given in ASTM C 33. If lower-quality RCC is acceptable, then a variety of aggregate sources that may not meet ASTM grading and quality requirements may be satisfactory as long as design criteria are met. For example, in stiff, lean RCC mixtures to be used in massive sections,

broader limits for some deleterious substances than those specified in ASTM may be acceptable.

Greater economy may be realized by using the largest practical nominal maximum-size aggregate (NMSA). Increasing the NMSA reduces the void content of the aggregate and thereby lowers the paste requirement of a mixture. Lower cementitious material contents, in turn, reduce the potential for cracking due to thermal stress in massive sections. The disadvantages of increasing the NMSA are primarily associated with RCC mixing and handling problems. In the United States, the NMSA has generally been limited to 25.0 mm (1 in.) in RCC produced for horizontal applications such as pavements and slabs, and to 75 mm (3 in.) in RCC used in massive sections.

The range in gradings of aggregate used in RCC mixtures has varied from standard graded concrete aggregate with normal size separations to pit- or bank-run aggregate with little or no size separation. Changes in consistency and workability are affected by changes in aggregate grading. The relative compactability of RCC is also affected by the aggregate grading and fines content.

The volume of coarse aggregate in an RCC mixture directly affects the effort required to compact the mixture. Assuming an adequate volume of paste is available in the mixture, a wide range of coarse and fine aggregate gradings is not likely to significantly affect the densities achieved in the field. For RCC pavement applications in which longitudinal and transverse pavement smoothness are of importance, the coarse and fine aggregates should be combined so that a dense-graded aggregate blend is produced that approaches a maximum-density grading. Equation (A3.1), the equation for Fuller's maximum density curve, gives an approximate cumulative percentage of material finer than each sieve. This grading results in a mixture that is compactible yet stable under the roller.

$$P = (d/D)^{1.25} (100) \quad (\text{A3.1})$$

where

P = cumulative percent finer than the d -size sieve.

d = sieve opening, mm (in.); and

D = NMSA, mm (in.).

In areas where pozzolans are not readily available, the use of blended sands or mineral fines can be a beneficial means of reducing or filling aggregate voids; in some instances, however, their use can also increase the amount of water required to achieve the consistency needed to ensure thorough consolidation. The effects of these materials on the RCC mixture proportions should be evaluated by determining their effect on minimum paste volume requirements or by evaluation of test specimens for strength, shrinkage, or both.

A3.5.4 Admixtures—Chemical admixtures, including water-reducing and retarding admixtures, have experienced wide use in RCC placed in massive sections, but their use has been more limited in pavement applications. The ability of these admixtures to lower the water requirements

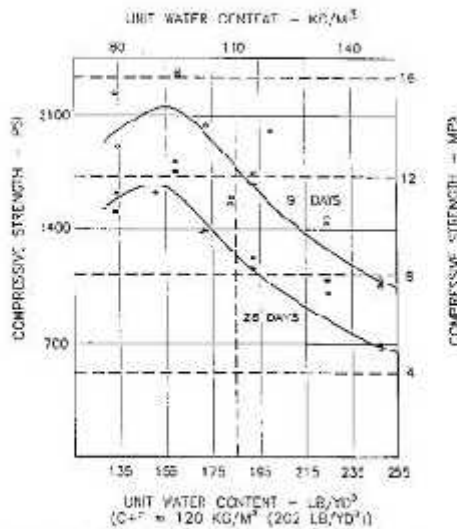


Fig. A3.1—Relation between unit water content and compressive strength of mass concrete.

or to provide extended workability to a mixture appears to be largely dependent on the amount and type of aggregate finer than the 75 μm (No. 200) sieve. Air-entraining admixtures have seen limited use in RCC. Conventional methods of adding air-entraining admixtures at the mixer have only been marginally successful in entraining proper air-void systems in lean RCC mixtures. Limited data have shown, however, that if air can be entrained in RCC, significant improvements in resistance to freezing and thawing can be achieved.

A3.6—Selection of mixture proportions

A3.6.1 General—A number of RCC mixture proportioning methods have been successfully used to produce mixtures for mass concrete applications and pavements and other horizontal concrete construction applications. These methods have differed significantly for a number of reasons. One significant reason has been the philosophy of the treatment of the aggregates as either conventional concrete aggregates or as aggregates used in the placement of stabilized materials.

Two methods are described herein for selecting proportions for RCC mixtures. The first is recommended primarily for use in selecting proportions of lean mixtures, which typically contain a 57.5 mm (1-1/2 in.) or larger NMSA and are intended for use in relatively massive sections. The second method is recommended primarily to proportion mixtures for relatively thin sections such as pavements or slabs. The former method is based on proportioning RCC to meet specified limits of consistency, and the latter method is based on proportioning RCC using soil's construction concepts. Although RCC designed for use in horizontal concrete con-

struction applications can be proportioned using the first method, the second method is limited for use on these mixtures containing 19 mm (3/4 in.) or smaller NMSA. Proportions determined by the use of either procedure should result in mixtures that contain sufficient paste volume to fill voids between aggregate particles and coat individual aggregate particles.

A3.6.2.1 Procedure for proportioning RCC to meet specified limits of consistency—This method uses the modified Vebe test, as previously described in Section A3.2, as the basis for determining optimum workability and aggregate proportions. The vibration time for full consolidation is measured and compared with field-compaction tests conducted with vibratory rollers. The desired time is determined based on the results of density tests and evaluation of cores. The vibration time is influenced by a number of parameters of the mixture, including water content, combined aggregate grading, NMSA, fine aggregate content, and content of material finer than the 75 μm (No. 200) sieve. Mixtures that contain relatively clean concrete sands and fixed aggregate grading in lines 18 and 19 with 38 mm (1-1/2 in.) NMSA generally require 15 to 30 s to fully consolidate. These mixtures containing clean sands, fixed aggregate grading, and 19 mm (3/4 in.) or smaller NMSA to be used for horizontal construction applications require approximately 35 to 50 s to fully consolidate.

A3.6.2.2 Water content—Those mixtures with paste volumes in excess of aggregate void volumes will fully consolidate to approximately 98% of their theoretical densities as defined by ASTM C 138. Variations in mixture water contents will directly affect the compactive effort required to achieve full consolidation. The optimum water content of a given mixture is that whose variability has the least effect on compactive effort for full consolidation. If the water content of a mixture is too low, the aggregate voids will no longer be filled with paste and the strength of the mixture will decrease even though the *w/cm* has decreased. Figure A3.1 shows an example of the variation in strength with water content for a fixed cementitious materials content.

A3.6.2.3 Cementitious material content—The cementitious material content used in RCC mixtures depends on the specified strength, bond requirement between layers, and thermal considerations. For a given cementitious materials content, the strength at a given age will be maximized when the paste volume is just enough to fill the aggregate voids. Strength will be reduced if the paste volume is not sufficient to fill the entrapped air voids or if the water content is increased to a point that creates excess paste but a higher *w/cm*. Therefore, as the paste content increases, the water content can be reduced and strength optimized without losing workability. For most ASTM C 150 Type I or II cements, Fig. A3.2 can be used as a guide to proportion equal-strength RCC for varying proportions of portland cement and ASTM C 618 Class F pozzolans. Similar results can be expected with other pozzolans. The use of mortar compressive strength tests have also been found to be a suitable means of determining the *w/cm* required for strength considerations. Once mortar is proportioned to meet strength requirements, varying percentages of mortar

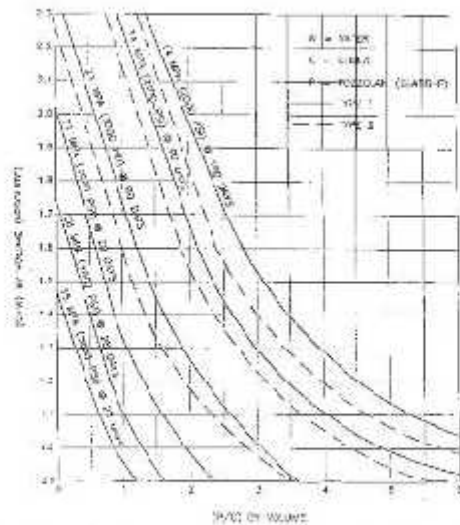


Fig. A3.2—Proportioning curves for equal-strength concrete.

Table A3.1—Recommended absolute volumes of coarse aggregate per unit volume of RCC

NMSA, mm (in.)	Absolute volume, % of total RCC volume
150 (6)	63 to 64
115 (4-1/2)	61 to 62
75 (3)	57 to 61
37.5 (1-1/2)	52 to 56
19 (3/4)	46 to 51
9.5 (3/8)	42 to 48

*NMSA = nominal maximum size aggregate

and coarse aggregate can be proportioned to achieve a given workability as measured by Vebe time. These determinations are based upon the mortar required per unit volume of RCC.

A3.6.2.4 Fine aggregate content—The void content of fine aggregate, as determined in dry-rodded density measurements, normally ranges from 34 to 42%. The minimum paste volume can be determined by maximum density curves in much the same way as optimum water content is determined in soils. Fine aggregate is added in equal increments to paste proportioned at the w/c determined for the mixture, and specimen density measurements are made using ASTM D 1557 or extended vibration. The density values are plotted versus the calculated paste volumes and the paste volume producing the maximum density of the mortar specimens may be determined. The paste volume, as a ratio of the total mortar volume, should be increased from 5 to 10% for mass concrete mixtures, and 20 to 25% for those mixtures designed for use when a bonding mortar is not used between horizontal lifts of RCC.

Table of notation

p/c	volumetric ratio of pozzolan to cement
P_1	minimum paste content
P_2	ratio of air-free volume of paste to air-free volume of mortar
V_{CA}	volume of coarse aggregate
V_A	volume of air in mixture
C_V	unit volume of concrete upon which proportions are based
V_p	air-free volume of paste
V_{MT}	total mortar volume
V_m	air-free volume of mortar
V_{FA}	volume of fine aggregate
V_W	volume of water
V_C	volume of cement
V_P	volume of pozzolan
$w/c+p$	volumetric ratio of water to cement plus pozzolan

A3.6.2.5 Coarse aggregate content—For any NMSA, the minimum aggregate volume to produce no-slump consistency can be determined by proportioning the mortar fraction to yield the approximate strength that is required and then adjusting the proportions of coarse aggregate and mortar to achieve a zero slump. Once the coarse aggregate-mortar ratio that yields zero slump is determined, the coarse aggregate can be increased until the ratio is reached that results in the desired modified Vebe time. The absolute volume for coarse aggregate per unit volume of RCC will generally fall within the limits of Table A3.1.

A3.6.3 Proportioning steps

Step 1—Select the volumetric pozzolan-cement ratio (p/c) and $w/c+p$ from Fig. A3.2 for the production of trial mortar and concrete batches.

Step 2—Determine the minimum paste content P_1 as a percentage of the total mortar volume using procedures previously discussed. As an alternative, the ratio of the air-free volume of paste to the air-free volume of mortar, P_2 , in the range of 0.38 to 0.46 can be selected. Careful attention should be given to selecting this value if it is not based on specific test results.

Step 3—Determine the volume of coarse aggregate, V_{CA} , by trial methods as previously discussed until the desired modified Vebe time is obtained or by selection from Table A3.1.

Step 4—Assume the entrapped air content is 1.0 to 2.0% of the total concrete volume. Calculate the volume of air in the mixture from

$$V_A = (\text{air content}/100) \times C_V$$

Step 5—Calculate the air-free volume of paste, V_p , from

$$V_p = (P_1/100) \times V_{MT} - V_A$$

where V_{MT} = Total mortar volume = $C_V - V_{CA}$

Or if a value of P_2 is selected in Step 2

$$V_p = V_m \times P_2$$

where V_m = air-free volume of mortar

$$= C_V - V_{CA} - V_A$$

Step 6—Determine the fine aggregate volume, V_{FA} , from

$$V_{FA} = C_V - V_{CA} - V_p - V_A$$

or

$$V_{FA} = V_m \times (1 - F_1)$$

Step 7—Determine the trial water volume, V_W , from

$$V_W = V_P \times w/(c+p) / [1 + w/(c+p)]$$

where:

$w/c+p$ = water-cementitious materials ratio, by volume (Fig. A3.2).

Step 8—Determine the cement volume, V_C , from

$$V_C = V_W / \{w/(c+p) \times [1 + (p/c)]\}$$

Step 9—Determine the pozzolan volume, V_F , from

$$V_F = V_C \times (p/c)$$

Step 10—Calculate the mass of each material by multiplying its absolute volume by its respective solid bulk density.

Step 11—Perform consistency tests on trial batches as previously discussed to achieve the desired modified Vebe time or to determine the minimum vibration duration needed to achieve maximum compacted density.

Step 12—After the final aggregate volumes are selected, proportion at least two additional batches—one having a higher and one having a lower $w/c+p$. Plot strength versus $w/c+p$ to determine the final mixture proportions.

A3.6.4 Example problem—Concrete is required for a large, 1200 mm (48 in.) thick overflow slab located in a moderate exposure environment. The specified compressive strength is 14 MPa (2000 psi) at 90 days. Water velocities will be less than 12 m/s (40 ft/s), and the concrete will be continuously submerged. No reinforcement is required and the area is accessible to large equipment. Placement conditions allow the use of 75 mm (3 in.) NMSA. Three coarse-aggregate size groups, consisting of 4.75 to 19 mm (No. 4 to 3/4 in.), 19 to 37.5 mm (3/4 to 1-1/2 in.), and 37.5 to 75 mm (1-1/2 to 3 in.), will be used in the concrete. These coarse aggregates will be combined in the proportions of 34, 26, and 40% by volume, respectively, to match the idealized combined grading given in ACI 211.1. Type II portland cement and Class F fly ash are available and will be specified. Proportion an RCC mixture having a modified Vebe time of 15 to 20 s, which will achieve the specified compressive strength.

Step 1—An initial mixture will be proportioned with $p/c = 3$. (Subsequent mixtures would also likely be proportioned with other p/c 's). From Fig. A3.2, $w/(c+p) = 1.3$ by volume.

Step 2—Based upon previous experience, a value of $P_v = 0.39$ is selected for the ratio of air-free volume of paste to the air-free volume of mortar.

Steps 3-10 are presented in SI units and are repeated in inch-pound units which are shown in the framed text.

Step 3—From Table A3.1, the percentage of aggregate, by absolute volume, per unit volume of concrete is selected to be 59. Therefore,

$$V_{ca} = 0.59 \times 1 \text{ m}^3 = 0.59 \text{ m}^3$$

and

$$4.75 \text{ to } 19 \text{ mm} = 0.34 \times 0.59 \text{ m}^3 = 0.201 \text{ m}^3$$

$$19 \text{ to } 37.5 \text{ mm} = 0.26 \times 0.59 \text{ m}^3 = 0.153 \text{ m}^3$$

$$37.5 \text{ to } 75 \text{ mm} = 0.40 \times 0.59 \text{ m}^3 = 0.236 \text{ m}^3$$

Step 4—An entrapped air content of 1.0% is assumed. The volume of air, V_A , is:

$$V_A = (1.0/100) \times 1 \text{ m}^3 = 0.01 \text{ m}^3$$

Step 5—The air-free volume of mortar, V_m , is:

$$V_m = 1 \text{ m}^3 - (0.59 \times 1 \text{ m}^3) - 0.01 \text{ m}^3$$

$$= 0.40 \text{ m}^3$$

The value of V_m is:

$$V_m = 0.40 \text{ m}^3 \times 0.39 = 0.156 \text{ m}^3$$

Step 6—The fine aggregate volume, V_{FA} , is:

$$V_{FA} = 0.40 \text{ m}^3 \times (1 - 0.39) = 0.244 \text{ m}^3$$

Step 7—The volume of water, V_W , is:

$$V_W = (0.156 \times 1.3) / (1 + 1.3) = 0.088 \text{ m}^3$$

Step 8—The volume of cement, V_C , is:

$$V_C = 0.088 [1.3 \times (1 + 3)] = 0.017 \text{ m}^3$$

Step 9—The volume of fly ash, V_F , is:

$$V_F = 0.017 \times 3 = 0.051 \text{ m}^3$$

Step 10—The bulk density (saturated surface dry basis) of each of the materials is:

$$\text{cement} = 3150 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{fly ash} = 2300 \text{ kg/m}^3$$

$$4.75 \text{ to } 19 \text{ mm} = 2710 \text{ kg/m}^3$$

$$19 \text{ to } 37.5 \text{ mm} = 2730 \text{ kg/m}^3$$

$$37.5 \text{ to } 75 \text{ mm} = 2730 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{fine aggregate} = 2690 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{water} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Then the mass of each material (saturated-surface dry basis) required for 1 m³ of concrete is (volume in proportions \times bulk density).

$$\text{cement} = 54 \text{ kg}$$

$$\text{fly ash} = 117 \text{ kg}$$

$$4.75 \text{ to } 19 \text{ mm} = 345 \text{ kg}$$

$$19 \text{ to } 37.5 \text{ mm} = 418 \text{ kg}$$

$$37.5 \text{ to } 75 \text{ mm} = 644 \text{ kg}$$

$$\text{fine aggregate} = 656 \text{ kg}$$

$$\text{water} = 88 \text{ kg}$$

Step 11—A sample taken from the trial batch indicates the modified Vebe time is only 11 s. Adjust the trial mixture proportions by either increasing P_v or decreasing V_{CA} , or both, and recalculate the material absolute volumes and masses.

Step 12—After the aggregate volumes are finalized, proportion two additional mixtures: one having a higher and one having a lower $w/(c+p)$. Plot compressive strength versus $w/(c+p)$ to determine the final mixture proportions.

Steps 3-10 in inch-pound units

Step 3—From Table A.3.1, the percentage of aggregate, by absolute volume, per unit volume of concrete is selected to be 59. Therefore,

$$V_{ca} = 0.59 \times 27 \text{ ft}^3 = 15.93 \text{ ft}^3$$

and

$$\text{No. 4 to } 3/4 \text{ in.} = 0.34 \times 15.93 \text{ ft}^3 = 5.42 \text{ ft}^3$$

$$3/4 \text{ to } 1-1/2 \text{ in.} = 0.26 \times 15.93 \text{ ft}^3 = 4.14 \text{ ft}^3$$

$$1-1/2 \text{ to } 3 \text{ in.} = 0.40 \times 15.93 \text{ ft}^3 = 6.37 \text{ ft}^3$$

Step 4—An entrapped air content of 1.0% is assumed. The volume of air, V_A , is:

$$V_A = (1.0/100) \times 27 \text{ ft}^3 = 0.27 \text{ ft}^3$$

Step 5—The air-free volume of mortar, V_m , is:

$$V_m = 27 \text{ ft}^3 - (0.59 \times 27 \text{ ft}^3) - 0.27 \text{ ft}^3$$

The value of V_m is:

$$V_m = 10.80 \text{ ft}^3 \times 0.39 = 4.22 \text{ ft}^3$$

Step 6—The fine aggregate volume, V_{FA} , is:

$$V_{FA} = 10.80 \text{ ft}^3 \times (1 - 0.39) = 6.59 \text{ ft}^3$$

Step 7—The volume of water, V_W , is:

$$V_w = (4.22 \times 1.3)/(1 + 1.3) = 2.39 \text{ ft}^3$$

Step 8—The volume of cement, V_c , is:

$$V_c = 2.39/[1.3 \times (1 + 3)] = 3.46 \text{ ft}^3$$

Step 9—The volume of fly ash, V_f , is:

$$V_f = 0.45 \times 3 = 1.38 \text{ ft}^3$$

Step 10—The bulk density of each material is (specific gravity \times 62.4):

cement	= 196.6 lb/ft ³
fly ash	= 143.5 lb/ft ³
No. 4 to 3/4 in.	= 169.1 lb/ft ³
3/4 to 1-1/2 in.	= 170.4 lb/ft ³
1-1/2 to 3 in.	= 170.4 lb/ft ³
fine aggregate	= 167.9 lb/ft ³
water	= 62.4 lb/ft ³

Then the mass of each material (saturated-surface dry basis) required for 1 yd³ of concrete is (volume in proportions \times bulk density):

cement	= 88.5 lb
fly ash	= 198.1 lb
No. 4 to 3/4 in.	= 916.5 lb
3/4 to 1-1/2 in.	= 705.3 lb
1-1/2 to 3 in.	= 1085.1 lb
fine aggregate	= 1105.2 lb
water	= 147.9 lb

Steps 11 and 12 remain the same as before.

A3.7—Proportioning using soil compaction concepts

A3.7.1 General—This proportioning method involves establishing a relationship between the dry density and moisture content of the RCC by compacting specimens at a given compactive effort over a range of moisture content. It is similar to the method used to determine the relationship between the moisture content and dry density of soils and soil-aggregate mixtures. The compaction equipment used includes a 4.24 kg (10 lb) compaction hammer having an 457 mm (18 in.) drop and a 157 mm (6.0 in.) diameter steel mold having a height of 116 mm (4.5 in.). Both are described in ASTM D 1557. The method is suited to those mixtures that have a NMSA of 19 mm (3/4 in.) or less and cementitious material contents greater than typically used in RCC mixtures for massive sections. It should generally be considered for use in proportioning RCC mixtures for relatively thin sections such as pavements or slabs. The compactive effort to be applied to the moisture-density specimens corresponds to that described in ASTM D 1557.

A3.7.2 Cementitious materials content—The cementitious materials content is determined by the compressive or flexural strength at the optimum water content for different mixtures. The cementitious material content is expressed as a percentage of the dry mass of aggregate. The cementitious material content for RCC pavements generally ranges from 10 to 17%, depending on the strength and durability requirements. This range corresponds to approximately 210 to 350 kg/m³ or 350 to 610 lb/ft³ of cementitious material.

A3.7.3 Fine and coarse aggregate content—Fine and coarse aggregate should be blended to create a dense-graded combined aggregate. Recommended grading limits for 19 mm

Table A3.2—Recommended RCC pavement combined aggregate grading limits

Sieve size	Cumulative percent passing
25 mm (1 in.)	100
19 mm (3/4 in.)	42 to 100
12.5 mm (1/2 in.)	72 to 93
9.5 mm (3/8 in.)	66 to 85
4.75 mm (No. 4)	51 to 69
2.36 mm (No. 6)	38 to 56
1.18 mm (No. 16)	28 to 46
600 μ m (No. 30)	18 to 36
300 μ m (No. 50)	11 to 27
150 μ m (No. 100)	6 to 18
75 μ m (No. 200)	2 to 8

(3/4 in.) NMSA to be used in RCC pavement mixtures are given in Table A3.2. The volume of fine and coarse aggregate per unit volume of concrete are determined after the optimum water content of the aggregate-cementitious material mixture is determined.

A3.7.4 Water content—For a given compactive effort, the optimum moisture content of the mixture is depends upon the properties of the aggregates used and the cementitious material content. Strength loss will occur with a moisture content below the optimum. This is due to insufficient paste and the presence of voids between aggregate particles. Strength loss will also occur if the moisture content is significantly above the optimum due to an increase in the w/c . The moisture content (by mass) is expressed as a percent of the dry mass of the aggregate-cementitious material mixture and should be determined in accordance with ASTM C 566. After completion of compaction tests conducted at incremental moisture contents, the moisture-density data points are plotted, and a smooth curve is drawn through them. The peak of the parabolic curve establishes the optimum moisture content (Fig. 3.3).

A3.7.5 Proportioning steps—

Step 1—Combine dry coarse and fine aggregate to produce a grading within the limits of Table A3.2. Approximately 9 kg (20 lb) of the combined aggregate are needed for each moisture-density test.

Step 2—Select a cementitious materials content according to the compressive or flexural strength. For RCC pavements having specified flexural strengths as determined in accordance with ASTM C 78, of 4 to 5 MPa or 600 to 700 psi, the amount of cementitious materials used should range between 12 and 16% by mass of dry aggregate. The value selected will depend partially on the type and amount of pozzolan used.

Step 3—Using the combined aggregate and the selected cementitious materials content, determine the optimum moisture content of the RCC in accordance with ASTM D 1557. A minimum of four moisture-density specimens should be molded, and each specimen should be prepared from a separate batch of RCC to avoid excessive cement hydration. Each successive batch should contain a higher moisture content than previous ones. This is done by adding

sufficient water to the batch so as to increase the RCC moisture content, as a percentage of the dry mass of RCC by 0.75 to 1.0%.

Step 4—Determine the optimum moisture content by plotting the dry mass of each specimen versus its respective moisture content and drawing a smooth curve through these plotted points (Fig. A3.3). The moisture content and dry density corresponding to the peak of this curve is the optimum moisture.

Step 5—Assure an entrapped air content of 2.0%. (The actual value can be calculated from compaction test results and the zero air-voids curve.)

Step 6—Using the optimum moisture content, the selected cementitious materials content, and the value for the air content, calculate the absolute volumes and masses of the materials for the required unit volume of concrete.

Step 7—Follow Steps 2 through 5 using a higher and lower cementitious materials content. After trial batches are produced at the optimum moisture content for each cementitious materials content, plot strength versus cementitious materials content to determine the value needed for the final mixture proportions. Follow Steps 2 through 6 again with the selected cementitious materials content to determine the optimum moisture content and recalculate the material absolute volumes and mass.

A3.7.6 Example problem—Concrete pavement is required for a large storage terminal located in a moderate climate. The specified flexural strength is 4.5 MPa (650 psi) at 28 days age. Local aggregate sources are capable of producing ample supplies of aggregate fractions which, when properly blended, will be well-graded. A nominal maximum-size aggregate of 19 mm (3/4 in.) is selected based on the type of modified paving equipment that is anticipated for use. Type I portland cement and Class F fly ash are available and will be specified. Proportion an RCC mixture which may be compacted such that it contains not more than 2% voids and will achieve the required strength.

Step 1—Aggregates for the project are supplied in two size groups—4.75 to 19 mm (No. 4 to 3/4 in.) and 75 μ m to 4.75 mm (No. 200 to No. 4). Sieve analysis tests indicate that if 46% of the coarse aggregate is combined with 54% of the fine aggregate, a well-graded combined aggregate grading within the limits of Table A3.2 is produced. Four 9 kg or 20 lb batches of the combined dry aggregate are batched in preparation for the production of compaction test specimens.

Step 2—A cementitious materials content of 14% by dry mass of aggregates is initially selected for use. A fly ash content of 23% by absolute volume of cementitious materials is also selected. Varying cementitious materials contents and fly ash contents should be considered, depending on specification requirements during the mixture proportioning study.

Steps 3 and 4—Compaction tests are conducted in accordance with ASTM D 1557, Method D, at regularly spaced RCC moisture contents. The moisture-dry density curve indicates the optimum moisture content is 5.8% and the maximum dry density of 2348 kg/m³ or 146.5 lb/ft³.

Steps 5 and 6—The bulk densities (dry basis) of the materials are:

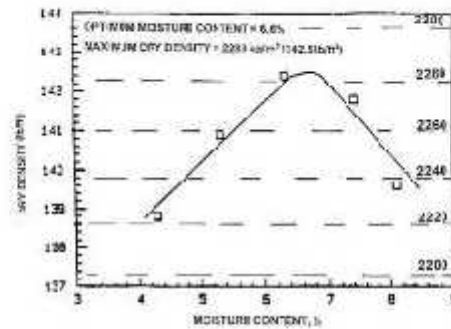


Fig. A3.3—Typical moisture-dry density relationship.

cement	=	3150 kg/m ³ (197 lb/ft ³)
fly ash	=	2450 kg/m ³ (153 lb/ft ³)
4.75 to 19 mm		
(No. 4 to 3/4 in.)	=	2710 kg/m ³ (169.5 lb/ft ³)
75 μ m to 4.75 mm		
No. 200 to No. 4)	=	2624 kg/m ³ (163.7 lb/ft ³)
water	=	1000 kg/m ³ (62 lb/ft ³)

Calculations are given herein for SI units and the corresponding inch-pound values are in the frame text. The proportions of materials (dry basis) used in a batch prepared at the optimum moisture content, are (in SI units):

75 μ m to 4.75 mm	=	9 kg \times 0.54	=	4.85 kg (0.00185 m ³)
4.75 to 19 mm	=	9 kg \times 0.46	=	4.14 kg (0.00152 m ³)
cementitious material volume	=	(5 kg \times 0.14) / 3150	=	0.0004 m ³
cement	=	(0.0004 m ³ \times 0.75) \times 3150 kg/m ³	=	0.945 kg (0.0003 m ³)
fly ash	=	(0.0004 m ³ \times 0.25) \times 2450 kg/m ³	=	0.245 kg (0.0001 m ³)
water	=	9 kg \times 0.058	=	0.522 kg (0.000522 m ³)
total air-free batch volume			=	0.004292 m ³

For 1 m³ of concrete, multiply the volume of each material by:

(1 - 0.02) / 0.004292	=	228.33
75 μ m to 4.75 mm	=	0.422 m ³ (1110 kg)
4.75 to 19 mm	=	0.347 m ³ (945 kg)
cement	=	0.069 m ³ (215 kg)
fly ash	=	0.023 m ³ (56 kg)
water	=	0.119 m ³ (119 kg)
air	=	0.02 m ³

The proportions of materials (dry basis) used in a batch prepared at the optimum moisture content are (in inch-pound units).

No. 200 to No. 4	=	20 lb × 0.54	=	10.80 lb (0.0661 ft ³)
No. 4 to 3/4-in.	=	20 lb × 0.46	=	9.20 lb (0.0543 ft ³)
cementitious material volume	=	(20 lb × 0.14)/196.56	=	0.01425 ft ³
cement	=	$\frac{(0.1425 \text{ ft}^3 \times 0.75) \times 196.56 \text{ lb/ft}^3}{196.56 \text{ lb/ft}^3}$	=	2.10 lb (0.01059 ft ³)
fly ash	=	$\frac{(0.01425 \text{ ft}^3 \times 0.25) \times 152.88 \text{ lb/ft}^3}{152.88 \text{ lb/ft}^3}$	=	0.54 lb (0.00356 ft ³)
water	=	20 lb × 0.058	=	1.16 lb (0.0186 ft ³)
total air-free batch volume			=	0.1532 ft ³

For 1 yd³ of concrete, multiply the volume of each material by (27 ÷ 0.54)/0.1532 = 172.72.

No. 200 to No. 4 (dry)	=	11.40 ft ³ (1866.3 lb)
No. 4 to 3/4-in. (dry)	=	9.38 ft ³ (1589.7 lb)
cement	=	1.35 ft ³ (363.6 lb)
fly ash	=	0.51 ft ³ (93.3 lb)
water	=	3.21 ft ³ (200.3 lb)
air	=	0.54 ft ³

Step 7—Follow Steps 2 through 6 using a higher and lower cementitious materials content. After trial batches are produced and flexural strength specimens molded and tested at the optimum moisture content for each cementitious materials content, plot flexural strength versus cementitious materials content to determine the value needed for the final mixture proportions. Follow Steps 2 through 6 again with the selected cementitious materials content to determine the optimum moisture content and recalculate the material absolute volumes and weights masses.

APPENDIX 4—CONCRETE ROOF TILE MIXTURE PROPORTIONING

A4.1—General

Concrete roof tiles are generally produced by an extrusion process, although some manufacturers incorporate a vibration and compaction process similar to that for producing masonry units and paving stones. The extrusion process requires a mixture incorporating only fine aggregate, whereas the vibration and compaction process incorporates both fine and coarse aggregates. This guide deals only with the manufacture of concrete roof tiles by the extrusion process.

Roof tiles are produced by extruding a concrete mixture into a specific shape (profile) and cutting the extruded section to the proper length. The freshly extruded roof tiles are transported by conveyor to storage racks and subsequently placed into kilns for air, mist, or low-pressure steam curing. The proportioning of

materials for the concrete mixture will vary depending on the type of materials, the specific tile profile being produced, and the desired density.

Material properties most critical for concrete roof tiles are strength, absorption, durability, density, texture, and aesthetics. The strength of roof tiles is determined by measuring the flexural load capacity.

A low-absorption value of concrete roof tiles is a major factor in the design of a roof-framing system due to the effect of increased dead load under inclement weather conditions. Low-absorption values are also thought to improve the durability aspects of roof tiles; however, further studies on this subject are warranted.

The density of roof tiles determines the load per unit area that a structure must support. This can influence the feasibility of using concrete roof tile instead of asphaltic shingles for a proposed reroofing operation.

Texture and aesthetics are important for providing the purchaser with an architecturally desirable product that can be manufactured to match pigmented stucco walls or other building elements.

A4.2—Selection of materials

A4.2.1 Portland cement—Type I and Type III portland cement (ASTM C 150) are typically used in the production of concrete roof tile depending upon the climate, availability, and production schedule for the particular manufacturing facility.

A4.2.2 Mineral admixtures—Pozzolans are sometimes used as partial replacement of portland cement. Typically, either Class F or Class C fly ash (ASTM C 618) is used. Class C fly ash is often used because it provides faster strength gain than Class F. Class C fly ash can be used as a partial replacement for cement in the range of 20 to 25%. The cement replacement percentage should be determined so that sufficient early strength is obtained for production and handling.

A4.2.3 Normalweight and lightweight aggregates—Most roof tiles are produced using only normalweight aggregates; however, some production incorporates lightweight aggregate. Lightweight roof tiles are produced mainly for the reroofing market where structures are not designed for normalweight roof tile dead loads. Considering that patents for lightweight roof tile production are held by certain manufacturing companies, this guide deals exclusively with the manufacture of roof tiles using normalweight aggregates.

A4.2.4 Grading and fineness modulus—Fine aggregate only is used in the production of extruded concrete roof tile to facilitate cutting of the extrudate and producing smooth ends. The fineness modulus of the aggregate should range between 2.2 and 3.0, with a typical value being 2.5. The grading limits that have been recommended by one international supplier to the roof tile industry are shown in Fig. A4.1.

A4.2.5 Admixtures

Accelerators—Depending on the climate, production schedule, and type of cement, accelerating admixtures are used in the production of roof tiles.

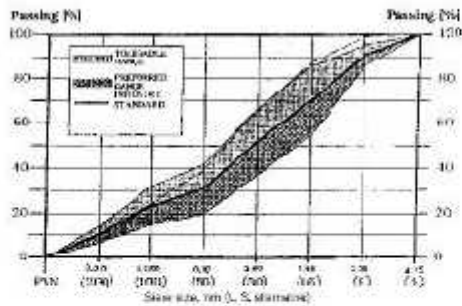


Fig. A4.1—Aggregate grading ranges for concrete roof tiles.

Water repellents—Integral water repellents can be used to decrease water absorption of roof tile. Use of low *w/cm*, pozzolans and low-absorption aggregates typically decrease water absorption as well.

Plasticizers (wetting agents, water reducers)—Plasticizers can be used to increase the flow of material while improving the texture of the roof tile during extrusion and curing.

A4.2.6 Pigments—Pigments are added integrally to the concrete mixture, or placed in a cement slurry, or both, and applied to the roof tile after extrusion. This is done to obtain the desired aesthetics with the roof tile, either by producing a single color or applying a mottled color to the exposed surface for a specific effect.

A4.3—Proportioning procedure

A4.3.1 Water-cementitious materials ratio—The *w/cm* can range from 0.32 to 0.45 depending on the fineness of the aggregate and the profile of the roof tile being produced. When the amount of cementitious materials is held constant, the *w/cm* will increase with decreasing aggregate fineness modulus (due to increased surface area), but it may not be clear how the type of roof tile profile being produced influences the *w/cm*.

For a given concrete roof tile mixture, the flexural load capacity of a convoluted roof tile will be greater than that of a flat roof tile due to a greater moment of inertia for the convoluted tile. Therefore, to achieve the same flexural load capacity, the concrete mixture for flat roof tile must be stronger than the mixture for convoluted roof tile. This is accomplished by increasing the cement content of the mixture, which in turn decreases the water-cementitious materials content.

Cement-aggregate ratio by weight mass—The cement to aggregate ratio varies from 1:2.5 to 1:4.5, with a typical cement to aggregate ratio for flat and convoluted roof tile being 1:3 and 1:4, respectively.

Example 1—An example of a convoluted roof tile mixture using Type III portland cement and no admixtures is:

- 1200 kg (2600 lb) sand (FM = 2.60, SSD)
- 285 kg (620 lb) cement (cement aggregate ratio = 1:4.2)
- 123 kg (267 lb) water (*w/c* = 0.43)
- 10 kg (22 lb) pigment (3.5% by mass of cement)

Example 2—An example of a flat roof tile mixture using Type III portland cement and no admixtures is:

- 1200 kg (2600 lb) sand (FM = 2.60, SSD)
- 387 kg (840 lb) cement (cement-aggregate ratio = 1:3.1)
- 123 kg (267 lb) water (*w/c* = 0.32)
- 13 kg (29 lb) pigment (3.5% by mass of cement)

APPENDIX 5—CONCRETE MASONRY UNIT MIXTURE PROPORTIONING

A5.1—General

This guide contains methods for selecting mixture proportions for standard CMU (less than no slump mixtures) manufactured on conventional vibrating block machines. Covered are the selection of cementitious materials, blending and proportioning aggregates for both normalweight and lightweight units, and curing conditions as they affect mixture proportioning. Mixture proportioning for decorative CMU is not covered due to its highly specialized nature.

A5.2—Cementitious materials

A5.2.1 Portland cement—Portland cement should conform to ASTM C 150. In certain areas, block cement is used, but this type of cement does not have a corresponding ASTM specification. This is a proprietary product and its performance characteristics should be discussed with the cement supplier. Types III and III-A portland cements are frequently used to achieve early strengths and to facilitate handling and storage.

A5.2.2 Supplementary cementitious materials—Commonly used supplementary cementitious materials are ground granulated blast-furnace slag (GGBFS), fly ash (ASTM C 618, Class F and C) and silica fume. Common additions by mass of cement for GGBFS are 20 to 50%. Fly ash is normally used at a rate of 15 to 25% by mass of cement.

A5.2.3 Quantity of cementitious materials—Cementitious materials content of CMU mixtures can be expressed as kilograms (kg) or pounds (lb) of material per batch or per CMU (200 mm [8 in.] standard unit). Also, cement content can be calculated as a percent of the total mass of the aggregates. Cement content can vary depending on design strength, aggregate grading and quality, and expected curing condition. For ASTM C 90, CMU produced with normalweight aggregates, a cement content of 7 to 10% by mass of aggregate is the normal range. Obviously, higher cement factors are needed for high-strength CMU and these may exceed 20% by mass of aggregates.⁹

A5.3—Aggregates

Aggregates for CMU may be made from either normalweight or lightweight materials. The normalweight materials are generally considered to be gravel, crushed limestone, and unprocessed blast-furnace slag. Normalweight aggregates should conform to the requirements of ASTM C 33.

Lightweight aggregates may be classified into three general types as follows:

- Aggregates prepared by expanding, pelletizing, or sintering products such as blast-furnace slag, clay, diatomite, fly ash, shale, or slate;
- Aggregates prepared by processing natural materials, such as pumice, scoria, or tuff; or

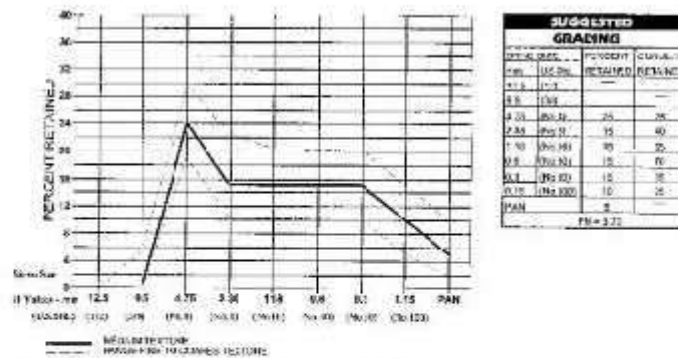


Fig. A5.1 Aggregate analysis graph: normal weight.

Table A5.1—Fineness modulus (FM) by mass and volume

Sieve size (mm or U.S. alternative)	Percent retained by mass	Cumulative percent retained by mass	Specific gravity (SSD)	Percent retained by volume	Cumulative percent retained by volume
9.5 (3/8 in.)	0	0	—	—	—
4.75 (No. 4)	5	5	1.5	5.5	5.9
2.36 (No. 8)	25	30	1.6	27.4	33.7
1.18 (No. 16)	25	55	1.7	26.1	59.8
0.60 (No. 30)	10	65	1.8	9.5	69.7
0.30 (No. 50)	10	75	1.9	9.2	79.0
0.15 (No. 100)	10	85	2.0	8.5	87.9
Pan/FM	15	FM by mass	3.3	17.1	FM by volume
	Total 100	3.15	—	Total 100	3.36

- Aggregate consisting of end products of coal or coke combustion.

Lightweight aggregates should conform to ASTM C 331.

Grading of aggregates—Generally, in CMU manufacture, material passing the 9.5 mm (3/8 in.) sieve and remaining on the 4.75 mm (No. 4) sieve is designated as coarse aggregate. A coarser grading of normalweight aggregate results in less surface area and less inter-particle voids; therefore, less cement paste is needed. If the volume of cementitious materials is held constant, a lower w/cm can be used resulting in increased strength. Therefore, the ideally graded aggregate is that mixture that contains as much coarse material as can be used, short of producing harshness in the mixture and an excessively rough-textured CMU.

Fine aggregates consist of natural sand, lightweight fines or stone screenings, which pass the 4.75 mm (No. 4) sieve. The grading of each aggregate to be used in the mixture should be determined in accordance with ASTM C 136.

Fineness modulus—The specific gravity for natural aggregates is essentially constant for all sieve sizes and, as a result, the fineness modulus on a mass basis will directly reflect the volumes occupied by each particular size. In contrast, the specific gravities measured on each sieve size in a typical commercial lightweight aggregate blend reveal a progressive increase in specific gravity as the particle size decreases. It is the volume occupied by each size fraction, not the mass

of material retained on each sieve that ultimately determines the void structure, paste requirements, and workability characteristics. An example is included and shown in Table A5.1 to further demonstrate this difference between the mass and volume occupied by particles on each sieve for a particular lightweight aggregate.

From Table A5.1 it can be seen that the fineness modulus by volume of 3.36 indicates a considerably coarser gradation than the fineness modulus by mass, 3.15. Therefore, because of their unique characteristics, lightweight aggregates require a significantly larger percentage of material retained on the finer sieves, when computed on a mass basis, than normalweight aggregates to provide a comparable void system. Furthermore, pyroprocessed lightweight aggregate particles passing the 150 μ m (No. 100) sieve are extremely beneficial because they serve a dual role as both aggregate and pozzolan.

It is important to recognize that the fineness modulus is a single number index that suggests an average particle size, and identical fineness moduli may be obtained from fundamentally differing gradings. The fineness modulus can be useful as an overall qualitative index or for quality control of an individual supplier providing a specific standard gradation, but it is not a reliable index for comparing alternative aggregate sources. From the data shown in Table A5.2, it can be seen that an aggregate producer could supply three different grading textures that have identical fineness modulus that would

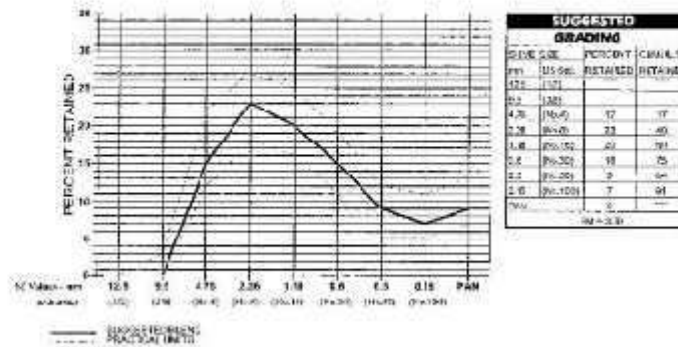


Fig. A5.2—Aggregate analysis graph for intermediate weight.

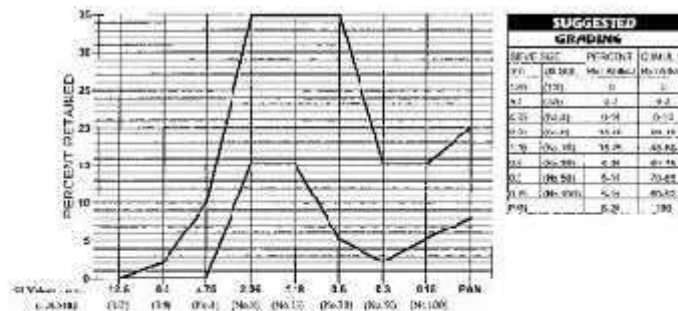


Fig. A5.3—Aggregate analysis graph for lightweight.

Table A5.2—Comparison of gradings for aggregates with equal fineness modulus

Sieve size, mm or U.S. alternative	ASTM C 331 limits for combined aggregates, % retained	Texture			ASTM C 331 limits for combined aggregates, % retained
		Fine	Medium	Coarse	
9.5 (3/8 in.)	(0)	0	0	0	(0-10)
4.75 (No. 4)	(0-15)	5	10	15	(0-35)
2.50 (No. 6)	—	35	40	45	(35-65)
1.18 (No. 16)	(20-60)	55	55	55	—
0.60 (No. 30)	—	75	70	65	—
0.30 (No. 60)	(55-95)	85	80	75	(75-95)
0.15 (No. 100)	(75-95)	90	80	60	(85-95)
F.M.	—	3.45	3.45	3.45	—

produce CMUs with three significantly different textures. Because fineness modulus methodology reflects an average particle size, by keeping the percent retained constant on the 1.18 mm (No. 16) sieve for all gradings, one can manipulate numbers and arrive at the same fineness modulus for all three fundamentally different products that satisfy the grading limits in ASTM C 331.

Figure A5.1 illustrates the ideal grading and range for a blend of normalweight aggregates. A blend of intermediate-weight

aggregate shown in Fig. A5.2 and A5.3 illustrates the ideal grading for 100% lightweight CMU. Although the curves are empirical, they can be modified to fit local market preferences for surface texture. The optimum fineness modulus for normalweight aggregates is generally considered to be 3.70.

Merzel⁸ showed that the influence of grading (expressed in terms of fineness modulus) on the strength-making characteristics of CMU molded with structural grade lightweight

aggregate (LWA CMU) differed from units incorporating rounded sand and gravel. The compressive strength of the CMUs made with expanded slates was essentially constant over a wide range of fineness modulus up to approximately 3.5, after which there was a rapid decline in strength levels with coarser gradings. This behavior was opposite to the sand and gravel CMUs, which showed an increase of strength, ultimately reaching a maximum at a fineness modulus above 4. Compressive strength levels for LWA CMUs significantly greater than ASTM C 90 minimums are best achieved when finer gradings of structural grade lightweight aggregate are used. Systematically eliminating large particles that have an inherently higher porosity, and as a consequence a lower particle strength, will significantly increase the strength. Lowering of the nominal maximum size of aggregate also reduces bridging of particles within the mass and improves the compactability of the mixture.

Use of optimized gradings will result in a balance of qualities that include production characteristics (smooth feeding, compactability, green strength) as well as superior hardened concrete properties. What is truly important in achieving the consistent quality standards required of high-quality LWA CMUs is close attention to specific individual sieve sizes of aggregate, and in particular, the material retained on the 4.75 and 2.36 mm (No. 4 and No. 8) sieves (essential for texture control) and that passing the 150 μm (No. 100) (critical for molding and handling characteristics). Following the gradings recommendations shown in Fig. A5.3 will result in a uniform, fine-textured surface with an optimum interstitial void system within the block concrete. This will, in turn, maximize the thermal, acoustical, and fire resistance as well as the strength-making properties of the finished product.

A5.4—Proportioning procedure

Calculation of aggregate proportions—The percentage of coarse and fine aggregate by volume to achieve an optimum fineness modulus grading is calculated as follows:

$$FA\% = \frac{FM_{CA} - FM_{COMB}}{(FM_{CA} - FM_{FA})} \times 100 \quad (A5.1)$$

where FM_{CA} and FM_{FA} are the fineness modulus of coarse and fine aggregate, respectively; and FM_{COMB} is the recommended combined fineness modulus.

Example—

Given: $FM_{CA} = 5.48$; $FM_{FA} = 2.57$

Desired combined $FM_{COMB} = 3.70$

$$FA\% = \frac{5.48 - 3.70}{(5.48 - 2.57)} \times 100 = 61\% \quad (A5.2)$$

Therefore, the blend would consist of 39% coarse aggregate and 61% fine aggregate, by volume.

NOTE: Fineness modulus determinations are normally based on mass retained on given sieve sizes rather than volumes. Volume-based gradings can be developed for use in designing block mixtures; however, experience has shown

that mass-determined fineness moduli provide a satisfactory basis for preliminary block mixtures because production adjustments are almost always needed. Block machine compaction and vibration will affect the surface texture of the masonry units as will the moisture content of the mixture at time of use.

Calculation of batch quantities—To determine batch quantities, the volume capacity of the mixer to be used and the dry mass of the aggregates must be determined. For design purposes, the full rated volume of the mixer is used, yet, total batch size may need adjusting as trial batches are run.

Trial batch example:

Mixer volume = 2.27 m³ (80 ft³)

CA density (dry-rodded) = 1218 kg/m³ (76 lb/ft³)

FA density (dry-rodded) = 1522 kg/m³ (95 lb/ft³)

The paste volume is only a little greater than the voids between the aggregate particles so that the dry-rodded volume is close to the concrete volume. A batch volume of 2.21 m³ or 78 ft³ will be used.

Mass calculations in SI units:

Mass of CA = 2.21 m³(1.39)(1218 kg/m³) = 1050 kg

Mass of FA = 2.21 m³(0.61)(1522 kg/m³) = 2052 kg

Total mass of aggregate = 3102 kg

Cement factor: assume 10% by mass of aggregate

Cement content = 3102(0.10) = 310 kg

Mass calculated in inch-pound units:

Mass of CA = 78 ft³ (0.39)(76 lb/ft³) = 2312 lb

Mass of FA = 78 ft³ (0.61)(95 lb/ft³) = 4570 lb

Total mass of aggregate = 6882 lb

Cement factor: assume 10% by mass of aggregate

Cement content = 6882 (0.10) = 688 lb

The water content is adjusted until the mixture will "ball" in the hand. It will have sufficient cohesion to hold its shape when squeezed but will not exhibit any free moisture.

This method is more of a trial-and-error approach than the volumetric approach and therefore, is for trial designs only. Test batches must be run through the machine to be used in production to verify such characteristics as compressive strength, surface texture, absorption, and green strength (the ability of a freshly molded block to withstand machinery and pallet handling, without cracking).

APPENDIX 6—PERVIOUS CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING

A6.1—General

This guide provides a method for proportioning no-slump pervious concrete that is used for pavements and other applications where drainage and percolation are needed. Pervious concrete is an open-graded material that is bound by cement paste. The structure of the material allows the passage of water, yet provides moderate structural strength. Because of the high percentage of voids, pervious concrete has been used also as an insulating material.

A6.2—Materials

Pervious concrete is composed of cement or a combination of cement and pozzolan, coarse aggregate, and water. Occasionally, a small amount of fine aggregate has been

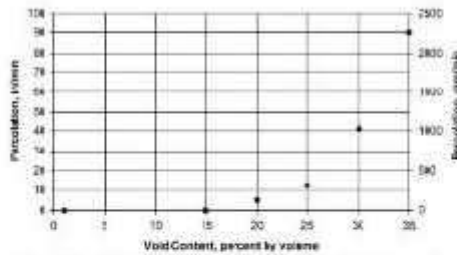


Fig. A6.1—Minimum void content for percolation based on NAA-NRMCA tests and test method.

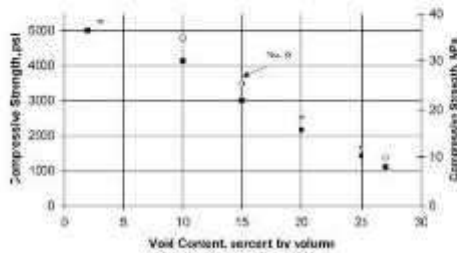


Fig. A6.3—Relationship between void content and 28-day compressive strength for No. 67 and No. 8 aggregate size.

incorporated to increase compressive strength and to reduce percolation through the concrete. The most common gradings of coarse aggregate used in pervious concrete meet the requirements of ASTM C 33 sieve sizes 9.5 to 2.36 mm (size number 8), 12.5 to 4.75 mm (size number 7), and 19.0 to 4.75 mm (size number 67). Portland cement should conform to ASTM C 150 or a combination of cementitious materials can be used that conform to the appropriate ASTM specifications.

A6.3—Water-cementitious materials ratio

The w/cm is an important consideration for maintaining strength and the void structure of the concrete. A high w/cm reduces the adhesion of the paste to the aggregate and causes the paste to flow and fill the voids even when tightly compacted. A low w/cm will tend to cause balling in the mixer and prevent an even distribution of materials. Experience has shown a range of 0.35 to 0.45 will provide the best aggregate coating and paste stability. Higher values of w/cm should only be used if the concrete is lightly tamped or compacted. The w/cm versus compressive strength relationship, which is normally used with conventional concrete, does not apply to pervious concrete.

A6.4—Durability

Freezing-and-thawing tests of pervious concrete indicate poor durability if the void system is filled with water. Tests have indicated that durability is improved when the void structure is permitted to drain and the cement paste is

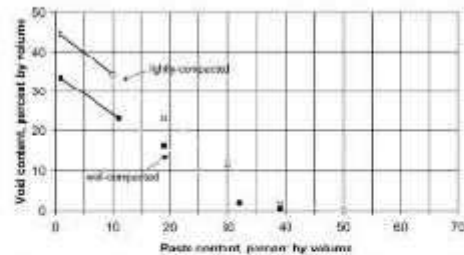


Fig. A5.3—Relationship between paste content and void content for No. 8 aggregate size designations.

Table A6.1—Effective $b\delta_a$ values

Percent fine aggregate	$b\delta_a$	
	ASTM C 33 Size No. 8	ASTM C 33 Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

air-entrained. No research has been conducted on resistance of pervious concrete to the aggressive attack by sulfate-bearing or acidic water that can percolate through the concrete. Therefore, caution should be used in applications where aggressive water may exist.

A6.5—Percent voids

Compressive strength versus percolation—To ensure that water will percolate through pervious concrete, the percent voids, calculated as percent air by the gravimetric method (ASTM C 138), should be 15% or greater as shown in Fig. A6.1.⁵ At this void content, the compressive strength of the concrete as shown in Fig. A6.2 would be approximately 24 MPa (3500 psi) at 28 days. The higher the percent voids, the higher the percolation rate and the lower the compressive strength. The lower the percent voids, the lower the percolation rate and the higher the compressive strength. Also, the compressive strength increases as the nominal maximum size aggregate decreases.

A6.6—Amount of coarse aggregate

Coarse aggregate, $b\delta_a$, dry-rodded density tests made by the National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association (NAA-NRMCA)⁶ show that the dry-rodded density of coarse aggregate, as determined by ASTM C 29/C 29M, can be effectively used in proportioning pervious concrete, where:

$b\delta_a$ = dry-rodded volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete;

b = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete; and

δ_a = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of coarse aggregate.

The hb_o value automatically compensates for the effects of different coarse aggregate particle shape, grading, and specific gravity. Furthermore, the hb_o values for a range of nominal maximum-size aggregates normally used in pervious concrete, 10 to 20 mm (3/8 to 3/4 in.), are very similar. Table A6.1 gives the hb_o values for coarse aggregate sizes No. 8 and No. 67 for fine aggregate contents of 0, 10, and 20% of the total aggregate.

A6.7—Proportioning procedure

The proportioning procedure for pervious concrete is based on the volume of paste necessary to bind the aggregate particles together while maintaining the necessary void content, as shown in Fig. A6.3. The quantity of aggregate depends on the dry-rodded density and the hb_o values selected from Table A6.1. Once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the desired w/c is selected, the cement and water quantities can be determined from the relationship:

$$\text{Paste volume } (V_p) = \text{cement volume} + \text{water volume, or}$$

$$V_p = c/3150 + w/600 \text{ (m}^3\text{)}$$

In inch-poured units

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + w/62.4 \text{ (ft}^3\text{)}$$

where c is the mass of cement and w is the mass of water. If the water-cement ratio is (w/c) then

$$w = (w/c)c; \text{ and}$$

$$V_p = c/3150 + [(w/c)c/1000] \text{ (m}^3\text{)}$$

In inch-poured units

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + [(w/c)c/62.4] \text{ (ft}^3\text{)}$$

Therefore, once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the w/c is selected, the mass of cement can be calculated. When fine aggregate is used, the paste volume should be reduced by 2% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for well-compacted pervious concrete, and by 1% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for lightly compacted pervious concrete. These reductions are necessary to maintain the same percent voids by volume.

Example—Proportion a well-compacted pervious concrete mixture with a No. 8 coarse aggregate (ASTM C 33) that has a dry-rodded density of 1742 kg/m^3 (108.7 lb/ft^3), a bulk specific gravity (saturated surface dry) of 2.75, and an absorption of 1.2%. The mixture should have a void content of at least 20% and a compressive strength of 14 MPa or 2000 psi at 28 days. The pervious concrete will be proportioned for $w/c = 0.38$, which has been selected as a stable paste for this example. No fine aggregate will be used in the mixture.

Mass of aggregate (M_a) per m^3 (yd^3):

$$M_a = 1742 \times 0.99 = 1725 \text{ kg (dry)}$$

$$= 1725 \times 1.012 = 1746 \text{ kg (SSD)}$$

$$M_a = 108.7 \times 0.99 \times 27 = 2906 \text{ lb (dry)}$$

$$= 2906 \times 1.012 = 2941 \text{ lb (SSD)}$$

Solid volume of aggregate per m^3 (yd^3)(V_a):

$$V_a = 1746/2750 = 0.635 \text{ m}^3$$

$$V_a = 2941/(2.75 \times 62.4) = 17.14 \text{ ft}^3$$

From Fig. A6.3, the percent paste by volume is 16.5 when the voids equal 20% and the material is well-compacted.

Figure A6.1 indicates a percolation rate of approximately 125 mm/min (5 in./min). Figure A6.2 indicates a compressive strength of approximately 7 MPa (2500 psi).

Solid volume of paste per m^3 (V_p):

$$V_p = 16.5/100 = 0.165 \text{ m}^3, \text{ and}$$

$$0.165 = c/3150 + (0.38)c/1000, \text{ therefore,}$$

$$c = 237 \text{ kg/m}^3$$

$$w = 237(0.38) = 90 \text{ kg/m}^3$$

$$V_c = 237/3150 = 0.075 \text{ m}^3$$

$$V_w = 90/1000 = 0.090 \text{ m}^3$$

In inch-poured units

$$V_p = (16.5/100) \times 27 = 4.46 \text{ ft}^3, \text{ and}$$

$$4.46 = c/(3.15 \times 62.4) + 0.38(c/62.4) = 2.03 + 2.42, \text{ there-}$$

fore:

$$c = 399 \text{ lb/yd}^3$$

$$V_c = 399/(3.15 \times 62.4) = 2.03 \text{ ft}^3$$

$$w = (0.38)399 = 152 \text{ lb}$$

$$V_w = 152/62.4 = 2.43 \text{ ft}^3$$

The batch quantities, per m^3 , are as follows:

Cement	237 kg/m ³
Water	90 kg/m ³
No. 8 aggregate	1746 kg/m ³ (SSD)
Total mass	= 2072 kg/m ³
Density	= 2072 kg/m ³

Check solid volume, per m^3 :

Cement	0.075 m ³
Water	0.090 m ³
No. 8 aggregate	0.635 m ³
Total	0.800 m ³

Volume of voids = $1.000 - 0.800 = 0.200 \text{ m}^3$

The batch quantities, per yd^3 , are as follows:

Cement	399 lb/yd ³
Water	152 lb/yd ³
No. 8 aggregate	2941 lb/yd ³ (SSD)
Total mass	= 3492 lb/yd ³
Density	= 129.3 lb/yd ³

Check solid volume, per ft^3 :

Cement	2.03 ft ³
Water	2.43 ft ³
No. 8 aggregate	17.14 ft ³
Total	21.60 ft ³

Volume of voids = $(27 - 21.60) = 5.4 \text{ ft}^3$

Percent voids = 20.00

The calculated mixture proportions should be checked in the laboratory by trial batch and adjusted as required. In addition, it is recommended that trial batches include two additional mixtures with 30 kg/m^3 (50 lb/yd^3) more and 30 kg/m^3 (50 lb/yd^3) less cement. These mixtures should also include the appropriate adjustments in: 1) water to produce the required w/c ; and in 2) aggregate to maintain the required percent voids. Generally, achieving the required void content and percolation rate with a stable paste are of greater importance than compressive strength of the mixture.

Anexo C.

Panel fotográfico

Imagen 1. Vista aérea de la cantera Shonguwarqui obtenida a través del programa Google Heart



Imagen 2. Material almacenado (Hormigón)



Imagen 3. Extracción de Muestra para su análisis en laboratorio



Imagen 4. Análisis Granulométrico de agregados de la cantera shonguwarqui



Imagen 5. Muestra sometida al horno para su análisis de humedad



Imagen 6. Prueba a la resistencia a la abrasión



Imagen 7. Pruebas de equivalente de arena, se ilustra el tesista y el técnico de laboratorio



Imagen 8. Pruebas de Impurezas orgánicas (izquierda: introducción del material; medio reposo de la muestra, derecha comparación del color de agua con los colores estándares de Gardner.)



Imagen 9. Peso unitario de gravas y finos suelto (izquierda: llenado del material, derecha pesada del material.)



Imagen 10. Peso unitario de gravas y finos Compactado (izquierda: llenado del material, derecha pesada del material.)



Imagen 11. Diseño y construcción de moldes y permeámetro (izquierda: Moldes para briquetas de 20cm de altura por 10 de diámetro; Permeámetro de carga variable.)



Imagen 12. Preparado de la mezcla (izquierda: pesado del material, medio: preparado de mezcla; derecha control del slump.)



Imagen 13. Llenado de los moldes (izquierda: Concreto Convencional; derecha concreto permeable.)



Imagen 14. Curado de los concretos (izquierda: Concreto permeable; derecha concreto permeable y convencional para su traslado al laboratorio y someterla a rotura.)



Imagen 15. Resistencia a la compresión



Imagen 16. Ensayo de permeabilidad (Izquierda: envoltorio de la muestra; derecha: ajuste del aparato)



Imagen 17. Ensayo de permeabilidad (Izquierda: saturación de la muestra; derecha: control de tiempo de filtro)

