

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"DETERMINACIÓN DE LA MANEJABILIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJO
ASENTAMIENTO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ENSAYO DEL CONSISTÓMETRO VEBE"**

TESIS DE GRADO

MARIA JOSE RAMIREZ PENAGOS

CARNET 10556-09

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL

**"DETERMINACIÓN DE LA MANEJABILIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJO
ASENTAMIENTO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ENSAYO DEL CONSISTÓMETRO VEBE"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
MARIA JOSE RAMIREZ PENAGOS

PREVIO A CONFERÍRSELE
EL TÍTULO DE INGENIERA CIVIL EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, OCTUBRE DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

VICEDECANO: MGTR. OSMAN CARRILLO SOTO

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. PLINIO ESTUARDO HERRERA RODAS

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
ING. CHRISTIAN BASILIO CHIRIZ UMAÑA
ING. JOSÉ ESTUARDO PALENCIA SAMAYOA
ING. JUAN CARLOS GARCIA DIAZ



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado de la estudiante MARIA JOSE RAMIREZ PENAGOS, Carnet 10556-09 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA CIVIL, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02421-2017 de fecha 27 de junio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"DETERMINACIÓN DE LA MANEJABILIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJO ASENTAMIENTO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ENSAYO DEL CONSISTÓMETRO VEBE"

Previo a conferírsele el título de INGENIERA CIVIL en el grado académico de LICENCIADA.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 5 días del mes de octubre del año 2017.



MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARÍA
INGENIERÍA
Universidad Rafael Landívar

Guatemala, 29 de mayo de 2017

Ingeniera
Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería
Universidad Rafael Landívar

Estimada Inga. Ortiz:

Por este medio me es grato saludarle y desearle éxitos en sus labores cotidianas.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA MANEJABILIDAD DE MEZCLAS DE CONCRETO DE BAJO ASENTAMIENTO UTILIZANDO EL MÉTODO DE ENSAYO DEL CONSISTÓMETRO VEBE”**, de la estudiante **Maria José Ramírez Penagos**, quien se identifica con número de carné **10556-09**. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar doy mi aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular.

Atentamente,



Plinio Estuardo Herrera Rodas
Ingeniero Civil
Asesor

Agradecimientos

- A Dios
Por haberme acompañado en todo momento y darme la sabiduría para cumplir mis metas.
- A Virgen María
Por ser esa iluminación y fuerza en todo momento.
- A mis padres
Rosa Cristina Penagos y Francisco Javier Ramírez por darme la oportunidad de estudiar y cumplir mis metas, apoyarme en todo momento y en las decisiones y acompañarme en todo momento.
- A mi hermano
Javier Antonio por ser ese ejemplo de superación y de emprendimiento, por ser apoyo incondicional y por sus conocimientos compartidos.
- A mis amigos
en especial a Carol Cortes, Julio Castañeda, José Paredes, Stephanie Motta, por todos los momentos compartidos durante los años de estudio, por las experiencias vividas y por las que vendrán.
- A Luis Alejandro de la Roca
Por su apoyo en esta última parte de mi etapa universitaria, por darme animo a continuar y apoyarme en todo momento.
- A mi Asesor
Ing. Plinio Estuardo Herrera, por el apoyo para que este trabajo se llevara a cabo y por el tiempo y conocimientos compartidos.
- A Terna Evaluadora
Ing. Estuardo Palencia, Ing. Christian Chiriz e Ing. Juan Carlos García por los aportes y comentarios dados a mi trabajo de graduación.

Dedicatoria

Mi trabajo de graduación se lo dedico:

A mis tres ángeles: mi hermano Carlos Alberto Ramírez Penagos, porque me enseñó lo que es el esfuerzo en lo que uno desea conseguir, por el amor siempre demostrado para cuidarme y por ser un ejemplo; a mi abuelito David Penagos de León, quien fue un ejemplo de superación y de trabajo arduo pero siempre poniendo el corazón en las cosas, por sus consejos y apoyo en todos los momentos de mi vida; y a mi abuelita Maria Marta de Penagos, por enseñarme a hacer todas las cosas con amor y entregarle todo a Dios, por haberme dado la oportunidad de recibir varios cursos durante mi vida y siempre contar con su apoyo y consejos.

A mi hermano Javier Antonio Ramírez Penagos por ser uno de mis mayores ejemplos, y ser de las personas que más me ha inspirado en la vida a seguir adelante, a luchar por las cosas y sé que en todo momento me apoya y que me ayuda a ser una mejor hermana y ahora una buena profesional.

A mis papas Rosa Cristina Penagos y Francisco Javier Ramírez, por siempre apoyarme en cumplir mis metas y darme ánimos para buscar ser una mejor persona.

A todos mis amigos por ser un gran ejemplo y estar conmigo en las buenas y en las malas. Por su apoyo para poder cumplir esta meta y por todos los proyectos que vendrán.

A las personas que me apoyaron durante este proyecto y que me dieron motivación para poder realizarlo, que sepan que todo se puede cumplir si se está rodeado de un buen equipo, y trabajando con dedicación y perseverancia.

Resumen Ejecutivo

El presente trabajo de investigación ha sido elaborado con la finalidad de comparar los resultados de la determinación de la manejabilidad del concreto por medio del uso del consistómetro Vebe, en mezclas que no tienen asentamiento. Son llamadas mezclas de concreto sin asentamiento cuando el uso del ensayo de asentamiento convencional (COGUANOR NTG 41052 / ASTM C143) carece de sensibilidad. Para la determinación de un parámetro comparativo, se desarrollarán los procedimientos determinados por la Normativa Europea: Ensayos de Hormigón Fresco. Ensayo Vebe, siendo esta la EN 12350-3, siendo este el equipo con el que se cuenta en laboratorio.

Para la realización de este trabajo se contó con el apoyo del laboratorio CETEC (certificado ISO 17025), del Centro de Investigación y Desarrollo de la Empresa Cementos Progreso S.A. Para la ejecución de las pruebas de laboratorio, se siguieron los procedimientos de preparación del consistómetro Vebe y equipos auxiliares, para cada una de las mezclas de concreto que se elaboraron para el análisis comparativo presentado en este trabajo. Para el efecto, se utilizaron las mismas materias primas en cada una de las mezclas, se hizo el ensayo de asentamiento inicial de cada mezcla.

Al terminar la fase experimental de laboratorio, se procede a caracterizar las mezclas de concreto y hacer un análisis comparativo de las mismas. En todas ellas se tomó en cuenta el asentamiento inicial de la mezcla, tiempo de inicio de la prueba y por último tiempo Vebe y asentamiento final en consistómetro. Todas las mezclas de consistencia seca, elaboradas en este estudio, se compararon utilizando el ensayo del consistómetro Vebe, a pesar de que en la prueba de asentamiento por medio del método del cono de Abrams (COGUANOR NTG-41052 / ASTM C143) los resultados no arrojen diferencia alguna entre las distintas mezclas. Precisamente, es la respuesta que se desea obtener, para, comprobar que el ensayo del consistómetro Vebe es de utilidad para caracterización de mezclas de concreto de consistencia seca.

Glosario

Asentamiento: medida de la consistencia del concreto fresco, también llamado revenimiento.

Concreto: un material compuesto que consiste esencialmente de un medio conglomerante dentro del cual están embebidas las partículas o fragmentos del agregado; en el concreto de cemento hidráulico, el conglomerante está formado por una mezcla de cemento hidráulico y agua.

Concreto compactado con rodillo: concreto compactado en estado fresco por un rodillo, a menudo por un rodillo vibratorio.

Concreto fresco: concreto que aún posee la suficiente trabajabilidad original, para ser colocado y consolidado por los medios deseados.

Cono Abrams: ensayo que se realiza al concreto en estado fresco para medir la consistencia.

Consistencia: del concreto fresco, mortero, graut. Es el mayor o menor grado de deformación que tiene la mezcla al ocupar todos los espacios vacíos del molde donde sea colocado.

Consistencia Seca: consistencia de la mezcla de concreto que posee un exceso de agregado fino o un escaso contenido de agua respecto a los demás componentes que la forman.

Consistómetro Vebe: aparato constituido por una mesa vibratoria, un cilindro, y un cono de Abrams, el cual sirve para determinar la consistencia de mezclas de concreto secas.

Mezcla sin Asentamiento: mezclas que cuando se realiza la prueba de cono de Abrams presentan un asentamiento entre 0 pulg y ½ pulg.

Norma EN: conjunto de normas, normas experimentales e informes creados en los comités técnicos de normalización de la Asociación Española de Normalización y Certificación.

Norma COGUANOR: conjunto de normas guatemalteco creado por la Comisión Guatemalteca de Normas.

Relación agua-cemento: cociente obtenido al dividir el peso del agua por el peso del cemento en la mezcla de concreto.

Trabajabilidad: también llamada manejabilidad es la facilidad de colocación, compactación y acabado del concreto fresco.

Índice de Contenidos

Marco I: Introducción.....	4
1.1 Introducción.....	5
1.2 Lo escrito sobre el tema.....	6
1.2.1 Trabajabilidad del concreto	6
1.2.2 Ensayos para determinación de consistencia de concreto.....	8
1.2.3 Historia de consistómetro Vebe.	14
1.3 Marco Teórico.....	14
1.3.1 Método de ensayo de consistómetro Vebe	14
1.3.2 Fundamentos del concreto.....	16
1.3.3 Concreto endurecido.....	22
1.3.4 Concreto de bajo asentamiento.....	25
1.3.5 Concreto compactado con rodillo.....	26
Marco II: Planteamiento de la investigación.....	30
2.1 Justificación de la investigación.....	31
2.2 Objetivos.....	32
2.2.1 Objetivo general.....	32
2.2.2 Objetivos específicos	32
2.3 Variables.....	32
2.3.1 Asentamiento.....	32
2.3.2 Consistencia del concreto	32
2.3.3 Tiempo Vebe	32
2.3.4 Resistencia a compresión	32
2.4 Definición de variables	32
2.4.1 Asentamiento.....	32
2.4.2 Consistencia del concreto	32
2.4.3 Consistencia tiempo Vebe.....	33
2.4.4 Resistencia a compresión	33
2.5 Alcances y limitaciones	33
2.5.1 Alcances.....	33
2.5.2 Limitaciones.....	34

2.6	Aporte.....	35
Marco III:	Método.....	37
3.1	Sujetos.....	38
3.1.1	Ingeniero Plinio Estuardo Herrera Rodas.....	38
3.1.2	Ingeniero Ariel Osorio.....	38
3.1.3	Ingeniero Christian Basilio Chiriz Umaña.....	38
3.1.4	Ingeniero Mario de León.....	38
3.2	Instrumentos.....	38
3.2.1	Equipo para determinación de temperatura.....	38
3.2.2	Equipo para determinación de asentamiento.....	39
3.2.3	Equipo para elaboración y curado de especímenes.....	39
3.2.4	Equipo para medición de resistencia del concreto.....	39
3.2.5	Equipo para determinación de consistencia utilizando el consistómetro Vebe	39
3.3	Metodología.....	41
3.3.1	Procedimiento para la determinación de la consistencia de las mezclas.....	41
Marco IV:	Presentación y análisis de resultados.....	44
4.1	Diseño teórico de mezclas.....	45
4.1.1	Mezclas y ensayos realizados en laboratorio.....	46
4.2	Resultados.....	49
4.2.1	Matriz de resultados.....	49
4.2.2	Resultados de asentamiento, tiempo Vebe.....	50
4.2.3	Gráfica de relación de resultados.....	51
4.3	Discusión.....	54
Marco V:	Conclusiones y Recomendaciones.....	57
5.1	Conclusiones.....	58
5.2	Recomendaciones.....	59
Marco VI:	Referencias.....	60
6.1	Libros de texto.....	61
6.2	Tesis.....	61
6.3	Normas técnicas.....	61
Marco VII:	Anexos.....	63

7.1	Diseños de mezcla.....	64
7.2	Resultados de cilindros a compresión.....	69
7.3	Estudio con adiciones de fibras.....	74

Marco I: Introducción

1.1 Introducción

La necesidad de conocer de forma más detallada las estructuras y los materiales constructivos que las componen, nos lleva a exigir mayor información de los mismos, por lo que se hace necesario obtener valores de sus propiedades y características que solo pueden ser encontrados realizando ensayos, tanto convencionales, como aquellos que no son tan utilizados comúnmente. Lo importante es que nos pueden proporcionar información valiosa y, en algunos casos, indispensable.

El presente trabajo tiene como finalidad la implementación de un ensayo distinto para la caracterización de la consistencia de mezclas de concreto especiales, que utilizando el método convencional para determinar el asentamiento (COGUANOR NTG 41052 / ASTM 143), no proporciona información determinante sobre el desempeño de las mezclas en estado fresco.

La consistencia del concreto es una propiedad de este, que cambia con el tiempo debido a la hidratación del cemento y a la pérdida de humedad. Por lo tanto, para realizar este estudio comparativo, los ensayos se realizaron transcurrido el mismo intervalo de tiempo, para que los resultados obtenidos pudieran ser comparados.

El procedimiento de este trabajo está basado en la Normativa Europea EN 12350-3 que es el equipo con el que contamos en laboratorio, utilizando mezclas de concreto compactado con rodillo (CCR). Este procedimiento es utilizado para conocer la consistencia de mezclas de concreto que, utilizando el método convencional de asentamiento, arroja valores nulos o casi nulos, y el ensayo no presenta asentamiento.

Para realizar este estudio de manera adecuada, primero se elaboró un diagrama de flujo para determinar los pasos a seguir en el procedimiento. También se realizaron varios ensayos de prueba previos a poder ensayar las mezclas definitivas, esto con el fin de conocer el equipo.

Finalmente, se realizó un análisis comparativo de los resultados de los ensayos efectuados a las mezclas, para así poder determinar la importancia del uso de este tipo de ensayos para la caracterización de las mezclas de concreto.

El presente trabajo de investigación sobre la implementación de esta metodología de ensayo para caracterización de mezclas de concreto y su aplicación en la industria incluye lo siguiente: objetivos, metodología y procedimientos realizados, resultados obtenidos, discusión sobre estos, así como algunas conclusiones y recomendaciones.

1.2 Lo escrito sobre el tema

1.2.1 Trabajabilidad del concreto

La trabajabilidad del concreto según la normativa (COGUANOR NTG 41006 / ASTM C-125), es la propiedad que determina el esfuerzo requerido para la manipulación de cierta cantidad de concreto en estado fresco, sin llegar a perder la homogeneidad de la misma. Al manipular la mezcla es importante mencionar que se debe de tomar en cuenta la colocación, compactación y acabado; además durante el transporte y manejo no debe de segregarse ninguno de sus componentes.

El esfuerzo requerido para la colocación del mismo está determinado por el trabajo que conlleva iniciar y mantener el flujo de la descarga; la cual depende de propiedades con la lubricación (pasta de cemento) y de la fricción interna entre los agregados y el contacto con la superficie. La uniformidad en la distribución de las partículas de los agregados y la presencia de aire incorporado ayuda en gran parte a mejorar la trabajabilidad y controla la segregación en el concreto.

La consistencia del concreto se puede medir por diferentes ensayos que serán descritos más adelante; es una característica que muestra la capacidad de fluir del concreto en estado fresco. Puede llegar a determinar la facilidad con la que el concreto puede compactarse. Esta no es una propiedad fundamental del concreto, hasta el momento en que se encuentra una asociación con el tipo de construcción en donde será utilizado.

Se considera como un indicador cercano de la trabajabilidad. La consistencia del concreto debe de ser lo más seca posible para que aun se permita la colocación utilizando los equipos de consolidación disponibles.

La consistencia del concreto es el mayor o menor grado que tiene para deformarse y como consecuencia de esta propiedad, de ocupar todos los espacios vacíos del molde donde se coloca. Existen diferentes tipos de consistencias, según la normativa EN 12350-3:

1. Consistencia extremadamente seca: según el tiempo Vebe es un tiempo entre 30 y 21 segundos.
2. Consistencia muy seca: tiempo Vebe entre 20 y 11 segundos.
3. Consistencia seca: tiempo Vebe entre 10 y 6 segundos.
4. Consistencia Vebe: el tiempo que requiere una masa de concreto para ser consolidada por vibración en un molde de forma cilíndrica bajo una masa de sobrecarga.

Al realizar una evaluación de la consistencia se mide que tan fluida es la mezcla y si es aceptable la consistencia para el trabajo en el que se empleara. La prueba que normalmente se utiliza para conocer la consistencia del concreto es ³HWHUPLQDFLyQ GHQ \$HQWDPLHQWR GHQ RQFUHWR GOGUONOR NTG 41052 / ASTM C143). El resultado del asentamiento se mide dependiendo del tipo de uso que se le dará y de la trabajabilidad que requiere el mismo.

1.2.1.1 Factores que afectan la trabajabilidad

No se afectarán los factores de la trabajabilidad de la mezcla, sino los factores que van a afectar son de la consistencia y la cohesión; ya que estos dos son componentes de la trabajabilidad y pueden llegar a estar afectadas por el cambio en variables particulares, para este trabajo en particular se analizara la consistencia del concreto.

Por la influencia de la consistencia y cohesión se puede decir que la trabajabilidad de las mezclas de concreto es afectada por el contenido de agua, contenido de cemento, granulometría de los agregados, aditivos y otras características físicas como lo son la pérdida de asentamiento.

1. Contenido de Agua: la consistencia del concreto es una función directa del contenido de agua que se encuentra en la mezcla, y se encuentra en los límites de independencia de factores como la granulometría de los agregados y el contenido de cemento.

Las mezclas de concreto con un contenido de agua muy alto tienden a segregar y sangrar mucho, afectando el acabado y pueden llegar a causar que el concreto tenga un muy bajo desempeño, por otro lado las mezclas con baja consistencia serán muy difíciles de colocar y de compactar.

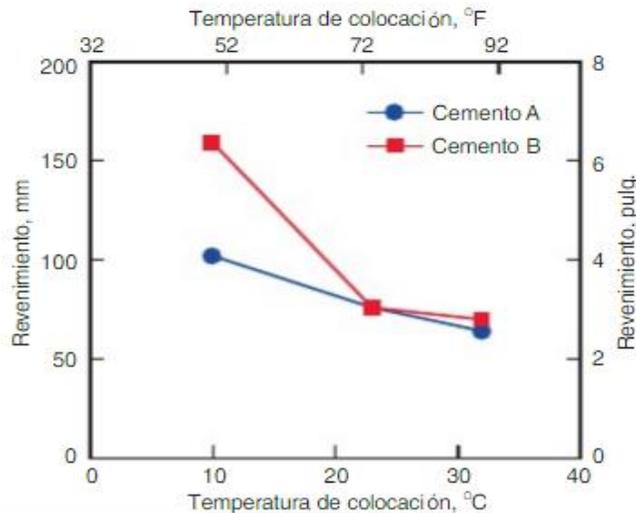
Para una mejor consistencia de la mezcla se debe de utilizar la menor cantidad de agua posible para el equipo de compactación con el que se cuenta.

2. Contenido de Cemento: una mezcla de concreto con un contenido de agua dado, y una reducción del contenido cemento producirá una mezcla pobre y con acabado pobre. Mientras que las mezclas de concreto que contienen una cantidad alta de cemento o de partículas finas muestran una buena cohesión pero tienden a ser pastosas.
3. Características de los Agregados: el tamaño máximo del agregado grueso influye en el contenido de agua requerido para una consistencia especificada. Por otro lado las arenas muy finas,

necesitaran más agua para mantener la consistencia requerida, de lo contrario la mezcla se volverá dura y con poca trabajabilidad.

4. Aditivos: cuando el contenido de agua de una mezcla de concreto se mantiene constante, y se adhiere un aditivo reductor de agua se aumenta la consistencia del concreto. Sin embargo, al incorporar un aditivo inclusor de aire se aumenta el volumen de la pasta y mejora la consistencia del concreto en un contenido de agua dado; esto también aumenta la cohesión reduciendo el exudación y la segregación de la mezcla.
5. Pérdida de asentamiento: es la pérdida de la consistencia en concreto fresco con el paso del tiempo; es decir esto es un fenómeno normal que se produce en las mezclas ya que es el resultado del endurecimiento y la fijación de la hidratación de la pasta de cemento, produce un fenómeno asociado a la formación de productos de hidratación tales como la etringita y silicatos hidratados de calcio.

Figura 1: Gráfico del efecto de la temperatura de la colocación de la mezcla (puesto en obra) en el asentamiento (medido por el cono Abrams) y la trabajabilidad relativa de mezclas de concreto elaboradas con diferentes cementos.



Fuente: Kosmatka, Kerkehott, Panarese y Tanesi. (2004).

1.2.2 Ensayos para determinación de consistencia de concreto

El valor de la consistencia como una propiedad del concreto se puede medir de diferentes maneras y existen diferentes métodos para poder medir esta característica. La consistencia depende, como ya se mencionó con anterioridad, del tipo de construcción, método de colocación, compactación y acabado.

El método más utilizado para medir la consistencia del concreto es el método del cono de Abrams (COGUANOR NTG 41052 / ASTM C143), el cual será descrito más adelante, provee una caracterización cuantitativa de la reología y trabajabilidad del concreto incompleta, por lo que otros métodos pueden ser utilizados para poder determinar la consistencia de las mezclas con una mayor información sobre la mezcla.

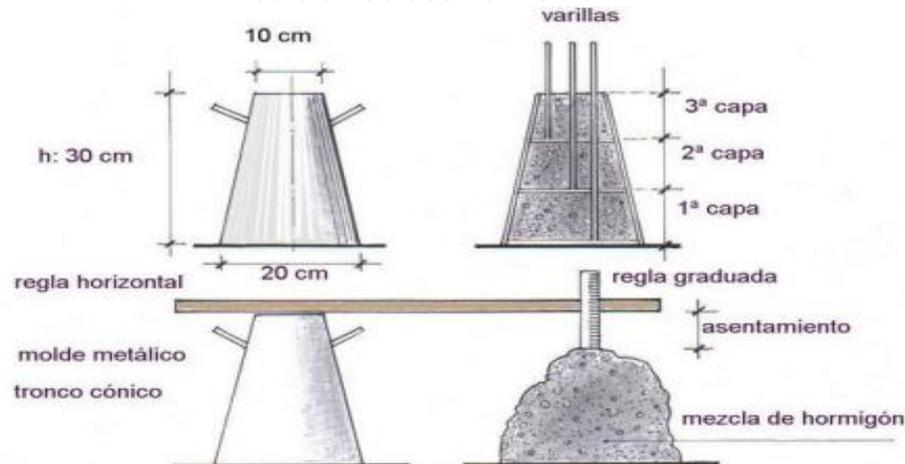
1.2.2.1 Cono de Abrams

El método de cono Abrams (COGUANOR NTG-41052 / ASTM C143) para la determinación de la consistencia del concreto, consta de un equipo de un cono truncado con agarraderas y una plancha de superficie lisa, plana y no absorbente. Se coloca el molde sobre la base sujetándolo por las agarraderas, se humedece y se procede a llenar en tres capas iguales, las cuales se deben compactar con una varilla por medio de 25 golpes, en cada capa, al llegar a la última capa se enrasa dejando la superficie lisa. Se levanta el molde en forma vertical y gradual en un tiempo entre 5 ± 2 segundos.

La medición del asentamiento se efectúa colocando una regla sobre el molde para poder medir cuanto se asentó la mezcla. Se mide la diferencia vertical entre la parte superior del molde y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Se debe de registrar el asentamiento que se tuvo en milímetros con aproximación de 5 mm, o en pulgadas al $\frac{1}{4}$ más cercano

Este método es útil para detectar variantes en la uniformidad de mezclas con proporciones dadas. Sin embargo, mezclas distintas pueden llegar a dar el mismo valor de asentamiento para diferentes consistencias del concreto y esta medición no siempre proporciona una noción clara de cómo se debe de compactar el concreto.

Figura 2: Medidas del Cono Abrams, proceso de llenado y varillado, y forma de medición de asentamiento.



Fuente: Lucas (2009).

La prueba total se debe de realizar sin ninguna interrupción en un periodo de 2 ½ minutos. Se puede decir que mientras menor sea el valor del asentamiento registrado, mayor será el esfuerzo requerido para compactarlo en obra. Este ensayo no es aplicable a concretos con asentamientos menores a 1.3 cm (½ pulg.) o con asentamientos mayores a 23 cm (9 pulgs.).

1.2.2.2 Bola de penetración

El método de ensayo de Bola de penetración (ASTM C360-92) también conocido como esfera de Kelly, se utiliza para determinar la consistencia del concreto mediante la profundidad de la penetración. Es utilizado un aparato que consta de una semiesfera de acero con un peso de 14 ± 0.05 Kg. Esta semiesfera cuenta con un agarradero graduado en incrementos de ¼ de pulg. Desde la base en el estribo. Cuenta con una base que sirve para guiar el agarradero como una referencia para poder medir la profundidad.

La medición de la profundidad se debe de colocar la semiesfera sobre la superficie horizontal del concreto fresco compactado, y se deja que el aparato penetre el interior de la masa hasta detenerse; se mira la penetración leyendo en la escala graduada el valor correspondiente, este valor puede ser en cms. o plgs. Este valor obtenido mide la consistencia del concreto. Esta prueba es más sencilla y rápida de realizar por lo que se puede realizar en una carreta manteniendo una profundidad no menor a 200 mm, ni lateral menor a 460 mm.

Figura 3: Medidas de semiesfera de Kelly.



Fuente: Lucas (2009).

Para esta prueba se debe de tomar un mínimo de tres lecturas de la misma muestra, si la diferencia entre las muestras es mayor a 1 pulg. (25 mm) se deben de realizar mediciones adicionales hasta que tres lecturas sucesivas sean obtenidas entre un rango no mayor a 1 pulg. Este método de ensayo es apto para

determinar la consistencia de concretos en estructuras extensas y horizontales, como losas de entrepiso y pavimentos.

Figura 4: Comparación entre penetración de Esfera Kelly y Asentamiento de Cono Abrams.

PENETRACIÓN ESFERA KELLY (mm)	ASENTAMIENTO CON EL CONO (mm)
15	20
20	30
25	40
30	50
35	60
40	70
45	80
50	90

Fuente: Rivera (2009).

1.2.2.3 Factor de compactación

El método de Factor de compactación (BS 1881: part 103: 1993), mide el grado de compactación logrado cuando una mezcla es sometida a una cantidad de trabajo estándar. El grado de compactación es medido por medio de la relación de densidad. El equipo consta de un marco rígido que soporta dos embudos con una compuerta en la parte inferior de cada uno, siendo más grande el que se encuentra hasta arriba, colocados uno encima del otro alineados, y un cilindro de 150 x 300 mm colocado por debajo de los dos embudos antes mencionados.

Figura 5: Equipo de Factor de Compactación.



Fuente: Norma BS 1881: Part 103: 1983.

Se procede a llenar el embudo superior (más grande) con concreto sin compactarlo, luego se abre la compuerta en la parte de abajo del cono y se deja caer el concreto en el segundo cono, con un poco de desbordamiento. Esto permite obtener una cantidad deseada de concreto con una compactación estándar sin la influencia de la fuerza de la persona. Luego se procede a abrir la compuerta del segundo embudo, el cual permitirá caer el concreto dentro del cilindro, nuevamente con un exceso de material que se desbordara.

Se obtiene el peso del concreto dentro del cilindro, del cual se conoce el volumen, con estos dos datos se obtiene el valor de la densidad del concreto sin compactación. Luego de obtenido este valor se llena el cilindro nuevamente en cuatro capas, con la diferencia que ahora cada una debe de ser compactada, por vibración o a mano. Se saca el peso del concreto y se obtiene el valor de la densidad del concreto compactado. La densidad del concreto sin compactar se divide dentro de la densidad del concreto compactado, y obtener como resultado el factor de compactación.

Figura 6: Descripción de trabajabilidad y factor de compactación.

Descripción de Trabajabilidad	Factor de Compactación	Asentamiento (mm)
Muy baja	0.78	0-25
Baja	0.85	25-50
Media	0.92	50-100
Alta	0.95	100-175

Fuente: Neville, A.M. (1999).

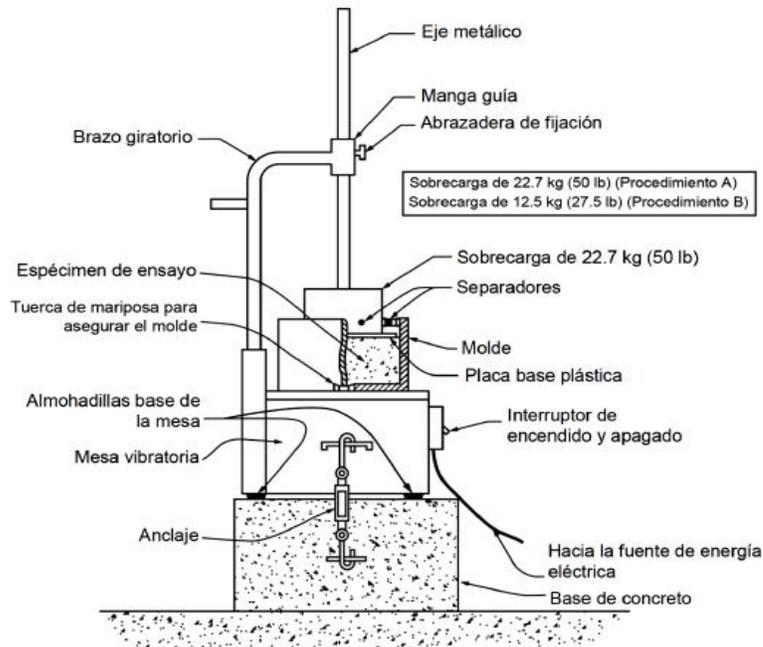
1.2.2.4 Ensayo Vebe Modificado

El método de ensayo de Vebe modificado (COGUANOR NTG 41017 h37 / ASTM C1170-06) se utiliza para determinar la consistencia de concretos compactados con rodillo, es decir mezclas que son muy secas y la densidad de los mismos. Las mezclas que se pueden aplicar a este método son las que tengan un agregado de tamaño máximo nominal de 50.80 mm (2 pulg).

Para este procedimiento se utiliza una mesa vibratoria este debe de estar fija y nivelada sobre una superficie para prevenir desplazamientos del aparato durante el ensayo.

Moldes cilíndricos los cuales deben de tener un diámetro interior de 240 ± 2 mm esta debe de poderse fijar a la mesa. Brazo giratorio que incluye una manga guía, esta debe de ser capaz de soportar una masa cilíndrica máxima de 22.7 kg. Ensamble de sobrecarga debe de incluir una de las masas, cada una de las cuales esta especificada para cada uno de los tipos de procedimiento.

Figura 7: Equipo de Vebe modificado.



Fuente: Norma COGUANOR NTG 41017 h37, 2016.

Para realizar este método se debe de seleccionar que sobrecarga se le colocara al concreto 22.7 kg (procedimiento A), 12.5 kg (procedimiento B); se coloca una sobrecarga de 12.5 kg para los concretos que son compactados por medio de rodillo cuando la consistencia es de seca a muy seca, pero no llega a ser extremadamente seca, y una sobrecarga de 22.7 kg para los concretos que son compactados con rodillo cuando la mezcla es de muy seca a extremadamente seca.

El procedimiento A se utiliza cuando las mezclas a ensayar son extremadamente secas o el procedimiento B es de 30 s o mayor. El procedimiento B se utiliza cuando la consistencia de las mezclas es seca o cuando el procedimiento A es menor a 20 s. Ambos ensayos se pueden utilizar para mezclas muy secas y para cuando en procedimientos A y B el rango de tiempo este entre 20 y 30 s.

El molde debe de ser llenado con 13.5 ± 1 kg. De concreto, para lo cual primero se debe de pesar el molde, y registrar este valor, luego de ya estar lleno de concreto se debe de seleccionar la sobrecarga que se le colocara, dependiendo del tipo de consistencia de la mezcla. Colocar la sobrecarga suavemente sobre el concreto que se ensayara, para poder dar inicio a la vibración de la mesa y el cronómetro al mismo tiempo.

Luego de la determinación del tiempo Vebe, se remueve la sobrecarga y se llena el molde con el concreto que hace falta. Al ya estar lleno se procede a colocar la sobrecarga nuevamente y a vibrar para poder compactar.

Determinar la masa neta del concreto restando la masa del molde, que se pesó al principio de la prueba, y calcular el valor de la densidad, por medio de la fórmula:

$$D = \frac{M_s}{V_s}$$

En donde:

D = densidad Kg/m³

M_s = Masa del espécimen Kg = masa del espécimen con el molde ± masa del molde cilíndrico.

V_s = Volumen del molde cilíndrico, m³.

1.2.2.5 Ensayo de consistómetro Vebe

El ensayo del consistómetro Vebe (EN 12350-3) es el ensayo utilizado en el presente trabajo y será descrito con mayor detalle en la sección 1.3.

1.2.3 Historia de consistómetro Vebe.

El consistómetro de Vebe, fue desarrollado por V. Bährner de Suecia, aproximadamente en el año 1940 y fue nombrado de esta forma por las iniciales de su inventor.

1.3 Marco Teórico

Con el fin de comprender el método y procedimientos realizados en el proyecto, se presentarán algunos conceptos básicos:

1.3.1 Método de ensayo de consistómetro Vebe

El método del consistómetro Vebe se refiere a los procedimientos para determinar la consistencia y plasticidad del concreto. Apto para mezclas sin asentamiento, con tamaño máximo de agregado de 63 mm (2 ½ pulg).

Considerando realizar los ensayos en el mismo intervalo de tiempo para poder realizar un análisis comparativo. El tiempo necesario para efectuar la operación indica la consistencia, o grado Vebe.

El consistómetro Vebe consta de un equipo de un molde cilíndrico de 240 mm de diámetro interior y 200 mm de altura; debe contener asas en la parte inferior del molde para permitir que se asegure a la mesa vibratoria. Un cono truncado igual al del método de ensayo de cono Abrams.

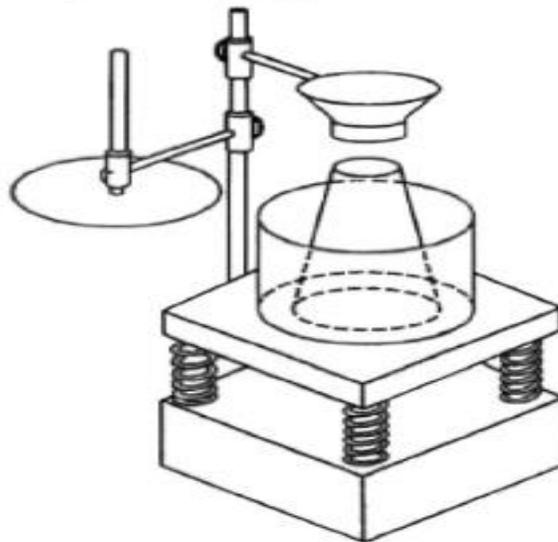
Disco transparente, horizontal y que se encuentre unido a la barra la cual a su vez se encuentra unida a una guía, y todo se encuentra montado sobre el brazo giratorio. Arriba del disco se debe de colocar un peso con una masa de 2750 ± 50 g. Es importante mencionar que la barra que se encuentra en el brazo giratorio debe de tener una escala graduada en intervalos de 5 mm para poder leer el asentamiento del concreto.

El procedimiento para este método de ensayo consiste en colocar el molde cilíndrico sobre la mesa vibratoria y asegurarlo perfectamente a la misma, luego se procede a comprobar que el molde este centrado y que el disco no vaya a topar con ninguna de las paredes del molde.

Después se procede a humedecer el molde cilíndrico y se coloca dentro de este el molde de cono truncado previamente humedecido. Se coloca un embudo arriba del cono truncado, para evitar que se derrame concreto en el interior del molde cilíndrico, se procede a llenar el cono en tres capas de igual volumen y se compacta por medio de una varilla con 25 golpes en cada una.

Se enrasa el molde y se procede a levantar el cono en forma vertical hacia arriba en un tiempo comprendido entre 2 s y 5 s, evitando que se dé un movimiento lateral o de torsión.

Figura 8: Consistómetro Vebe.



Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana. (2015)

Se procede a registrar la forma del asentamiento del concreto, de acuerdo a si se asienta de forma sesgada, colapsada o sin estar en contacto con ninguna de las paredes del molde cilíndrico.

Luego de medido la forma del asentamiento del concreto, se procede a colocar el disco sobre la parte superior del concreto y aflojar el tornillo para que se

pueda poner en contacto el concreto con el disco. Cuando el disco toca el punto más alto del concreto se aprieta el tornillo y se procede a registrar el valor del asentamiento dado en la escala, luego de esto se procede a aflojar por completo el tornillo para permitir que el disco se deslice fácilmente y se apoye totalmente en el concreto.

Al mismo tiempo se tienen que poner en marcha la mesa vibratoria y el cronómetro. Se debe de observar por medio del disco transparente como se va moldeando el concreto. Cuando el concreto se encuentra completamente en contacto con el disco transparente se detiene el cronómetro y la mesa vibratoria y se registra el tiempo al segundo más cercano. El ensayo completo se debe de realizar en un tiempo máximo de 5 minutos.

Para la presentación de los resultados de este ensayo, se debe de registrar, el tipo de asentamiento que tuvo, el asentamiento medido en la escala en milímetros, redondeado a los 10 mm, y por último la lectura del cronómetro, al segundo más cercano, esto será el tiempo Vebe.

1.3.2 Fundamentos del concreto

En documentos de la Asociación de Cemento Portland (PCA) se describe, el concreto es la mezcla de agregados y pasta. La pasta se encuentra compuesta de la mezcla de algún tipo de material cementante como puede ser cemento portland o hidráulico entre otros y agua. La pasta actúa como material de adherencia con los agregados finos y gruesos. Al endurecer la pasta con los agregados, por medio de la reacción química de la hidratación del concreto, se va dando una consistencia de dureza, muy parecida a la de una roca.

Los agregados se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los finos pueden ser arena natural o artificial, el cual contiene partículas de hasta 3/8 pulg (9.5 mm) y los gruesos son las partículas que no pasan el tamiz No. 16 y pueden llegar a tener un tamaño máximo de hasta 6 pulg (150 mm). Normalmente se utilizan agregados entre 3/4 de pulgada y 1 pulgada (19 mm o 25 mm).

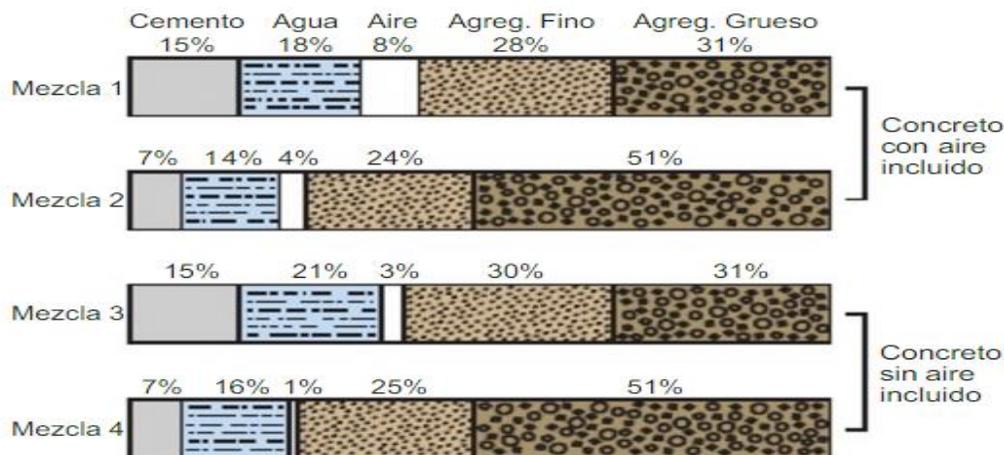
Figura 9: Compuestos del concreto: cemento, agua, agregado fino y grueso.



Fuente: Elaboración propia (2016).

La pasta del concreto se encuentra compuesta de material cementante, agua y aire, ya sea atrapado o incorporado, la pasta compone entre el 25% al 40% del volumen total del concreto. El volumen del cemento es entre el 7% y 15% y el agua entre el 14% y 21%. El contenido de aire puede variar dependiendo si es una mezcla sin aire incluido, entre 1% y 3%, y con aire incorporado, entre el 4% y el 8%, del volumen. La mayor parte del volumen están formadas por los agregados y esta es entre el 60% al 75%, del volumen total de la mezcla de concreto. La selección de los materiales a utilizar depende específicamente del diseño de mezcla que se tiene y el uso que se le dará al mismo.

Figura 10: Variaciones de las proporciones usadas en concreto.



Fuente: Kosmatka, Kerkehott, Panarese y Tanesi. (2004).

Debido a que los agregados representan la mayor proporción del volumen de la mezcla, los diseños de mezclas se basaran principalmente en las características que tienen estos. Tomando en cuenta la resistencia mecánica adecuada y la resistencia a las condiciones de exposición, por último se debe de tomar en cuenta que no contenga materiales que puedan causar algún daño al concreto.

La calidad de la pasta en unión con la de los agregados, es un factor importante para la calidad del concreto. Se debe de elaborar de manera correcta la pasta para que cubra todas las partículas de los agregados llevando esto a que se le proporción a la mezcla en conjunto las características de dureza y resistencia deseada.

Cuando se utiliza una gran cantidad de agua, se tiende a disminuir la densidad de la pasta y se reduce la función cementante de esta. Por lo cual es importante considerar la disminución de la relación Agua/cemento, lo cual proporciona algunas ventajas:

- Aumento de la resistencia a la compresión y la flexión del concreto.
- Disminución de la permeabilidad, absorción.

- Aumento de la resistencia a la intemperie.
- Mejor agarre entre armadura de acero y concreto.
- Reducción de la contracción y de las fisuras.
- Menores cambios del volumen causados por mojado y secado.

A menor cantidad de agua que se utilice, mejor es la calidad del concreto, tomando en cuenta que la mezcla se debe de consolidar de manera adecuada.

El concreto fresco y el concreto endurecido se puede modificar por medio de aditivos químicos, los cuales son normalmente incorporados en la mezcla de forma líquida durante la dosificación. Se utilizan frecuentemente para:

1. Ajuste de tiempo de fraguado.
2. Reducir demanda de agua.
3. Aumento de trabajabilidad.
4. Incorporación de aire intencionalmente.
5. Ajustar otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Luego de finalizar el proceso de proporcionamiento, dosificación, mezclado, colocación, acabado y curado adecuado, el concreto endurece y se transforma en un material duradero, resistente a la abrasión, e impermeable, lo cual lleva a requerir de poco o casi ningún tipo de mantenimiento.

a. Concreto recién mezclado

Se debe contar con un concreto recién mezclado que sea plástico y semifluido y normalmente capaz de ser moldeado a mano. Cuando la mezcla de concreto es muy húmeda se puede colocar dentro del encofrado, pero no es esencialmente un parámetro de mezcla plástica, la cual implica que la mezcla es flexible y capaz de ser moldeada de la misma forma que un terrón de arcilla.

En una mezcla plástica de concreto todos los granos de agregado fino y agregado grueso son envueltos y sostenidos en suspensión. Los componentes de la mezcla no son vulnerables a la segregación durante el tiempo de transporte, y cuando el concreto fragua se transforman en una mezcla homogénea. Por último al colocarse estas mezclas no se desmoronan, sino por el contrario fluyen sin segregarse.

En la construcción existen elementos delgados y fuertemente reforzados, para los cuales es necesario que la consistencia del concreto sea trabajable para que la colocación sea más fácil, pero tomando en cuenta que no sea una consistencia muy fluida. Es importante mencionar que la mezcla debe de estar en estado plástico, para asegurar la resistencia y la homogeneidad de la misma durante el transporte y la colocación.

b. Mezclado, transporte, manejo y colocación

Dosificación se refiere al proceso de pesar y medir los materiales para poder elaborar la mezcla de concreto, teniendo en cuenta que se debe de tener precisión en las medidas. Actualmente las dosificaciones se dan en peso, ya no en volumen. Se debe de tener en cuenta también que la combinación de estos elementos debe de ser homogénea.

Para que se obtenga una mezcla homogénea es necesario tomar en cuenta que la secuencia de carga de los materiales tiene un papel muy importante. La secuencia puede tener una variación y aun así producir un concreto de muy buena calidad. La diferencia en la secuencia de cargar los agregados requiere ajustes en la adición de agua, cantidad de revoluciones de la mezcladora, y la velocidad de rotación de la misma. Otro factor a tomar en cuenta es el volumen del concreto en relación al tamaño del tambor de la mezcladora, cantidad de tiempo entre el proporcionamiento y el mezclado, diseño, configuración y las condiciones del tambor y las paletas.

Para el transporte y el manejo del concreto no se tiene ningún método que sea el mejor, todo depende del tipo de trabajo que se está realizando, ubicación y accesibilidad, para lo cual se debe de contar con una planificación para poder conocer cuál será la mejor opción para el proyecto.

Durante la colocación el concreto debe de ser vertido sin interrupción y en un lugar cercano a donde estará ubicado. Por lo general se coloca en capas horizontales con un espesor uniforme, y con una consolidación adecuada. Para que todo esto pueda llevarse a cabo se debe de tomar en cuenta la velocidad de colocación para que se siga descargando, consolidando y no se esté fraguando de una capa a otra, con el fin de evitar juntas frías, fisuras u otro tipo de problema que pueda causar un daño al concreto.

c. Exudación

El sangrado es también conocido como exudación, y se conoce como el desarrollo de una cama de agua en la superficie del concreto recién colocado. Esto es causado por el asentamiento del cemento y de los agregados, que se da al mismo tiempo que la subida del agua a la superficie.

La exudación en las mezclas es una reacción normal y que no debe de afectar la calidad del concreto con una colocación, acabado y curado de forma correcta.

Se debe de esperar a que toda el agua de la exudación se evapore, para observar que la superficie endurecida es un poco más baja que la superficie recién colocada. Este cambio en las alturas, desde el momento de la colocación hasta el inicio del fraguado se conoce como contracción por sedimentación.

Figura 11: Agua de exudación en la superficie de concreto recién fundido en la losa.



Fuente: Elaboración propia (2017).

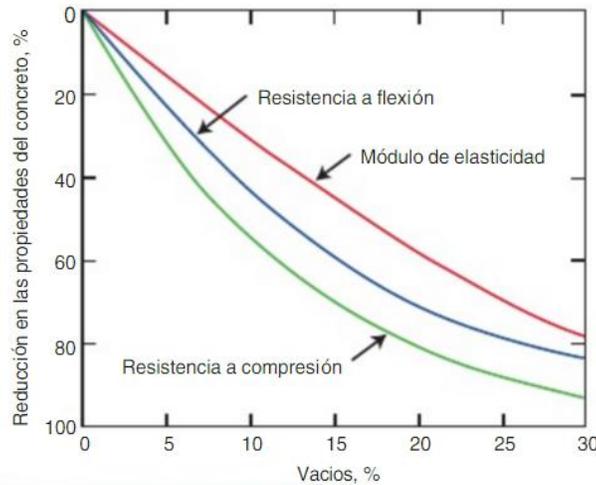
La tasa de exudación, es la sedimentación total por unidad de peso del concreto original, se incrementa con la cantidad inicial de agua utilizada, altura del elemento de concreto y presión. Se reduce la cantidad de exudación cuando se utilizan agregados con la granulometría adecuada, algunos tipos de aditivos, incorporación de aire, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos.

d. Consolidación

En el concreto recién mezclado la vibración produce el movimiento de las partículas, reduciendo la fricción entre ellas y les proporciona movilidad de un fluido denso. La acción de vibrar un concreto permite que se utilicen mezclas más rígidas y con mayor cantidad de agregado grueso y menor cantidad de agregados finos.

Con una correcta graduación de los agregados, cuanto mayor sea el tamaño máximo de los agregados, menor es el volumen que se debe de llenar con pasta, por consiguiente menor es la cantidad de agua y cemento necesarios en la mezcla. Mientras más óptima sea la granulometría de los agregados, será más fácil de consolidarse y de colocarse una mezcla. Cuando se da una mala consolidación esto da como resultado un concreto poroso y débil, con durabilidad reducida.

Figura 12: Efecto de los vacíos, resultado de la falta de consolidación, sobre el módulo de elasticidad, resistencia a compresión y flexión.



Fuente: Kosmatka, Kerkehott, Panarese y Tanes.. (2004).

La vibración mecánica permite una colocación, admite una colocación de forma más económicamente accesible, para las mezclas que no pueden ser consolidadas manualmente bajo diferentes condiciones.

e. Hidratación, fraguado y endurecimiento

Se conoce como hidratación del concreto a la reacción química exotérmica que tiene el cemento al entrar en contacto con el agua, que dependerá del procedimiento de curado y las condiciones de temperatura a las que el concreto estuvo sometido. El cemento representa un papel importante en el proceso de la hidratación, y cada tipo de cemento los tiene en diferentes proporciones pero siempre cuenta con los cuatro compuestos principales.

Los cuatro compuestos son, silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico. Los silicatos de calcio constituyen el 75% del peso del cemento, los cuales reaccionan con el agua para formar dos compuestos: Hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado. El último es el más importante compuesto para el concreto, ya que es el encargado del fraguado, endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional.

En la pasta endurecida del cemento, el silicato de calcio hidratado forma un vínculo denso entre las otras fases cristalinas y los granos de cemento que aún no se han hidratado, también se adhieren a los granos de agregado fino y agregado grueso, para poder conectarlos a todos.

A menor porosidad de la pasta de cemento, mayor resistencia tiene el concreto. Por lo que, al mezclar el concreto, no se debe usar más agua de la que es necesaria para obtener una mezcla plástica y con trabajabilidad. La cantidad de

agua usada regularmente es mayor que la que se necesita para la hidratación completa del cemento.

Conocer la cantidad de calor liberado por la hidratación del cemento puede ser útil para la planeación de la construcción. Esto puede ser útil en época de invierno, ya que el calor de hidratación ayudara a proteger el concreto contra los daños causados por las bajas temperaturas. Es importante tomar en cuenta que el calor puede ser dañino, como en presas, ya que puede producir temperaturas diferenciales indeseables.

1.3.3 Concreto endurecido

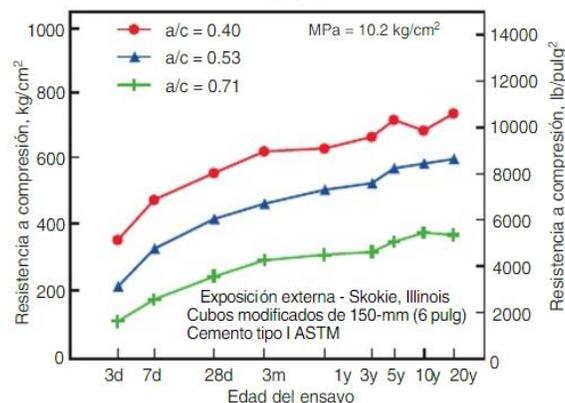
a. Curado

El curado del concreto es mantener la adecuada humedad y temperaturas en el concreto durante un periodo que se define inmediatamente después de la colocación y el acabado, hasta que el concreto adquiere y desarrolla las propiedades deseadas. El curado tiene como objetivos principales, primero prevenir la perdida de la humedad del concreto y segundo el mantener una temperatura favorable durante el periodo mencionado anteriormente.

Generalmente la resistencia del concreto aumenta con la edad, una vez este permanezca húmedo o la humedad relativa del ambiente se encuentre arriba del 80%, la temperatura del concreto sea favorable por encima de los 10°C y exista suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Temperaturas debajo de este rango mencionado son poco favorables para el desarrollo de resistencia temprana.

Es mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada, ya que una vez que el concreto se haya secado por completo, es muy difícil volver a saturarlo.

Figura 13: Desarrollo de resistencia a lo largo del tiempo de exposición al aire libre.



Fuente: Kosmatka, Kerkehott, Panarese y Tanesi. (2004).

Es importante mencionar que algunos de los métodos de curado efectivos son:

1. Inmersión
2. Inundación con agua
3. Aspersión
4. Cubiertas mojadas
5. Cubiertas de tierra
6. Cubiertas de arena
7. Cubiertas de heno
8. Curado con vapor
9. Curado por métodos eléctricos, con aceite y con rayos infrarrojos

b. Velocidad de secado del concreto

Con el secado, el concreto no se endurece ni se cura. Como se mencionó anteriormente el concreto necesita de la humedad para hidratarse y endurecerse. Mientras el concreto se va secando, la resistencia deja de desarrollarse. Cuando el concreto se encuentra ya seco no precisamente indica que se hayan obtenido las propiedades físicas deseables.

El concreto al secarse se retrae por la pérdida de agua de la misma forma que ocurre con otros materiales como la madera. La retracción por secado es la principal causa de la fisuración y del tamaño de las fisuras, las cuales son una función directa del grado de secado, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad del apareamiento de las mismas.

La superficie del elemento se secura de forma más rápida que su parte interior. Y es importante tomar en cuenta que las condiciones a las cuales se encuentra expuesto un elemento de concreto en campo no son las mismas a las que se encuentra en un ambiente controlado de laboratorio.

c. Resistencia

La resistencia es la medida máxima de la carga axial del espécimen de concreto. Se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm^2), Megapascales (MPa), o en libras por pulgada cuadrada (psi) a la edad de 28 días. La resistencia que un espécimen pueda presentar a los 7 días de edad regularmente representa el 75% de la resistencia que se presentara a los 28 días, mientras que las resistencias que se puedan presentar a los 56 y 90 días representan aproximadamente el 10% y 15% más de la representada a los 28 días.

La resistencia real del concreto f_c debe de exceder el valor de la resistencia a la compresión especificada f'_c . La resistencia real del concreto es una función

de la relación agua-cemento, cuando la hidratación ha avanzado. La resistencia de algunos concretos aumentara con la disminución de la relación agua-cemento. Estos factores también afectan la resistencia a la flexión, tensión y la adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo.

Los concretos que tienen aire incorporado, aunque son más trabajables, requieren de una relación agua-cemento menor que uno sin aire incorporado, esto debido a que cuando se le incorpora aire a una mezcla de manera intencional regularmente disminuye la resistencia mecánica.

Para la determinación de la resistencia a la compresión, se deben de realizar especímenes de ensayo en forma cilíndrica según normativa COGUANOR NTG 41060 / ASTM C192/C192M.

Figura: 14: Ensayo de resistencia a compresión de Cilindro de 150 x 300 mm.



Fuente: Elaboración propia (2016).

d. Otros tipos de resistencia

La resistencia a la tensión directa es aproximadamente del 8% al 12% de la resistencia a la compresión. Se estima que regularmente es de 0.4 a 0.7 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión en Megapascuales, o de 1.3 a 2.2 veces la raíz cuadrada en kilogramos por centímetro cuadrado y de 5 a 7.5 veces la raíz cuadrada en libras por pulgada cuadrada.

La resistencia por corte es del 8% al 14% de la resistencia a la compresión. Por otro lado la resistencia a la torsión, está relacionada con el módulo de ruptura y las dimensiones de los miembros de concreto.

e. Peso unitario

Generalmente el concreto convencional utilizado para diferentes tipos de estructuras tiene un peso específico, que también se le conoce como densidad, peso volumétrico o masa unitaria, que puede variar entre 2200 hasta 2400 Kg/m³.

La densidad del concreto cambia conforme a la cantidad y densidad del agregado, cantidad de aire y la relación de agua-cemento, ya que al aumentar la cantidad de agregado, se reduce la pasta, por lo que se aumenta la densidad.

El peso del concreto seco es igual al peso de cada uno de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado que se evapora durante el proceso de curado y secado del concreto. Un porcentaje del agua reaccionara con el cemento en el proceso de hidratación y otra parte será retenida por los poros y no se evaporara bajo condiciones normales. La cantidad de agua que se evapora no es la misma en todas las mezclas, ya que esto depende de las características de absorción, tamaño y forma de los agregados.

Figura 15: Promedio de las densidades observadas para el concreto fresco (unidades en pulgadas-libras).

Tamaño máximo del agregado (pulg)	Contenido de Aire, (%)	Agua (lb/yd ³)	Cemento (lb/yd ³)	Densidad (lb/pie ³)				
				Gravedad específica del Agregado				
				2.55	2.60	2.65	2.70	2.75
¾	6.0	283	566	137	139	141	143	145
1 ½	4.5	245	490	141	143	146	148	150
3	3.5	204	408	144	147	149	152	154

Fuente: Kosmatka, Kerkehott, Panarese y Tanesi.. (2004).

f. Durabilidad

La durabilidad del concreto es la disposición que tiene el concreto de poder resistir la acción del ambiente, ataques químicos y la abrasión; manteniendo sus propiedades. Dependiendo de la exposición a la que esté sometido el concreto de esta forma deben de ser las características, componentes de concreto, así también como de las proporciones de la mezcla, método de colocación y curado del mismo.

1.3.4 Concreto de bajo asentamiento

Se le define a este tipo de concreto como un concreto con consistencia que corresponde a un asentamiento de 0.6 cm (1/2 pulg.) o menor. Este concreto tiene la característica de ser muy seco, pero debe de tener la suficiente trabajabilidad para poder ser colocado y compactado con los equipos que se tengan disponibles.

En este tipo de concretos se aplican las mismas propiedades básicas, como por ejemplo en el concreto endurecido las propiedades dependen principalmente de la relación agua-cemento, desde que es compactado de forma correcta.

La consistencia de los concretos de bajo asentamiento es muy diferente que la de los concretos con un asentamiento más alto, ya que para poder medir el asentamiento no se utiliza el método de cono de Abrams. En ACI 211.3, Prácticas estándares para la Selección de las Proporciones de los concretos sin Asentamiento, se describen tres métodos distintos al cono de Abrams para poder determinar la consistencia de concretos sin asentamiento:

1. Consistómetro Vebe
2. Ensayo de factor de compactación

Si no se cuenta con los equipos mencionados anteriormente se puede calificar la trabajabilidad del concreto por medio de una mezcla de prueba que se debe de colocar y compactar con los equipos y métodos que se utilizaran en la obra. Es recomendable incorporar aire a los concretos de bajo asentamiento cuando se requiere que estos tengan mayor durabilidad.

1.3.5 Concreto compactado con rodillo

El concreto compactado con rodillo también conocido como CCR, se define como un concreto pobre, de asentamiento nulo o casi nulo. Este tipo de mezclas nació de la necesidad de reducir el tiempo de construcción y que pudiera tener ahorros significativos en la cantidad de cemento y el tiempo de construcción de una obra. Esta técnica es utilizada para la construcción de pavimentos de concreto a partir de una mezcla seca, con baja relación agua/cemento, que es colocada con una pavimentadora y se compacta con rodillo vibratorio, también es utilizado para la construcción de presas, por medio de ser colocado por capas de espesor considerable que se consolidan utilizando el mismo método de compactación.

Los procedimientos y propiedades de las mezclas de CCR, son muy diferentes a las del concreto convencional, ya que la consistencia es más rígida, las diferencias principales de las mezclas de CCR, en comparación con mezclas convencionales, son:

1. Normalmente las mezclas de CCR, no tienen aire incorporado.
2. Las mezclas de CCR tienen menor contenido de agua.
3. El contenido de pasta en las mezclas de CCR es menor.
4. Las mezclas de CCR requieren mayor cantidad de agregado fino para proporcionar una mejor combinación de agregados, más estable ante la acción del rodillo vibratorio.
5. Las mezclas de CCR, normalmente utilizan un agregado de tamaño máximo de $\frac{3}{4}$ a 1 pulg. para poder minimizar la segregación y producir una superficie con textura lisa, cuando esta característica tenga relevancia. De lo contrario se puede utilizar agregado de tamaño máximo mayor, sobre todo si la aplicación es para elementos masivos, como presas y algunos tipos especiales de pavimento.

El contenido alto de materiales cementicios y agregados de alta calidad, que se utilizan en las mezclas de CCR, lo distingue de suelo cementos y de bases tratadas con cemento.

Para que estas mezclas puedan ser compactadas correctamente, la mezcla debe estar suficientemente seca para soportar el peso del rodillo vibratorio, pero suficientemente húmedo para permitir la adecuada distribución de la pasta, durante la mezcla y compactación.

El concreto adecuado para compactación con rodillos vibratorios cambia significativamente en apariencia en un estado no consolidado, del concreto que tienen una consistencia medible. En las mezclas de concreto existe poca evidencia de la presencia de la pasta hasta que se encuentra consolidado. Sin embargo, las mezclas de CCR deben tener suficiente volumen de pasta para llenar los vacíos de los agregados en la masa de concreto. Para la colocación de las mezclas de CCR, se conocen dos categorías:

1. Dosificación por medio pruebas de consistencia
2. Dosificación por medio de ensayos de compactación de suelo

La dosificación por medio de pruebas de consistencia, proporciona las mezclas de CCR para una trabajabilidad al nivel requerido, utilizando el consistómetro Vebe. Determinar la consistencia por medio del tiempo de vibración, en segundos, es necesario para consolidar totalmente la mezcla.

La dosificación por medio de uso de ensayos de compactación, tratan de establecer una relación entre el peso unitario seco o húmedo, y el contenido de humedad de la mezcla CCR, por medio de la compactación de especímenes en un rango de contenido de humedad. Este método es muy parecido, al que se utiliza para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario de suelos y mezclas de suelo y agregados.

El contenido de material cementicio está determinado por los requisitos de resistencia y durabilidad del pavimento, los cuales a menudo expresan un porcentaje del peso total seco de los materiales. Para mezclas CCR, el contenido de cemento debe de estar entre el 10 y 17% del peso seco.

Los agregados finos y gruesos, son combinados para crear una mezcla bien graduada. El volumen del agregado fino y grueso dentro del volumen de la mezcla de CCR puede ser calculado después de tener el valor del contenido óptimo de humedad de la mezcla. El contenido óptimo de humedad de la mezcla se define como el contenido de humedad, correspondiente al pico de la curva de humedad-densidad, y depende de las propiedades de los agregados utilizados y del cemento.

La pérdida de resistencia en una mezcla que tiene una humedad menor a la óptima, se da por aire atrapado en la mezcla. También ocurre cuando el contenido

de humedad está por encima del valor óptimo, esto debido a un aumento en la relación agua-cemento.

Los usos principales que se dan al concreto compactado con rodillo (CCR) son la construcción de presas y la construcción de pavimentos. A pesar de que se utiliza el mismo concepto para las dos aplicaciones, el diseño, el tipo de concreto y los procesos de construcción son generalmente diferentes.

1.3.5.1 Presas con mezclas CCR

El uso de concreto compactado con rodillo para estructuras de control de agua, es decir presas, se presenta como una protección, normalmente sobre la sección superior y sobre la cara de bajamar. Es un proceso que se construye por medio de capas. Para este uso, se puede tener un tamaño máximo nominal de agregado de hasta 150 mm (6 pulg); mientras que el contenido de cemento utilizado, es menor que en una mezcla convencional.

En proyectos de presas se han obtenido resistencias a compresión que pueden variar entre 70 hasta 320 Kg/cm² (1000 a 4500 lb/pulg²), pero las resistencias pueden variar según se requiera en el diseño de la estructura. Las presas en donde se utiliza CCR, tienen la ventaja de permitir declives mayores en las dos caras, a comparación de lo que ocurre en una presa con relleno de tierra. Otro de los beneficios que se puede obtener es el utilizar menor cantidad de material y se puede poner en servicio mucho más rápido.

1.3.5.2 Pavimentos CCR

En pavimentos el uso de concreto compactado con rodillo puede variar desde la colocación de pisos industriales de minería, donde se necesite espesores tan grandes como un metro, hasta calles de ciudades o pisos de almacenes. En pavimentos se requiere un control más estricto que cuando se coloca este tipo de concreto para presas.

Figura 16: Mezcla de concreto compactado con rodillo (CCR)



Fuente: Elaboración propia (2016).

El contenido de cemento es similar al concreto convencional, pero la resistencia puede variar entre 360 hasta 715 Kg/m² (5000 hasta 10000 lb/pulg²). En el caso de pavimentos, el tamaño máximo nominal del agregado que se utiliza es de 19 mm (3/4 pulg), esto con el fin de proporcionar una superficie más suave y densa.

Normalmente el concreto compactado con rodillo se coloca en capas con espesor de 125 a 250 mm (5 a 10 pulg), utilizando una pavimentadora. Es importante mencionar que en el caso de los pavimentos en donde se utilice concreto compactado con rodillo, debido a que este es colocado en varias capas, se debe de tener un control para que se den retrasos mínimos en la colocación de las siguientes capas, esto con el fin de lograr una adherencia correcta entre capas.

Debido a que la relación agua/cemento es muy baja y esto lleva a que la mezcla se seque más rápido, se debe de tener un control estricto en el curado de este tipo de pavimentos. Se recomienda que el curado sea con agua de forma continua, a pesar de que otros métodos también pueden ser utilizados.

Se debe tener la precaución necesaria en la elaboración y colocación de las mezclas de concreto, para que sean lo suficientemente secas para prevenir que se hundan los equipos de rodillo vibratorio, pero lo suficientemente húmedas para permitir una adecuada distribución del mortero durante el mezclado y la compactación.

Marco II: Planteamiento de la investigación

2.1 Justificación de la investigación

Con la necesidad de caracterizar de manera más amplia y detallada las mezclas de concreto se promueve la utilización de otro método de ensayo para la caracterización de mezclas secas, ya que para este tipo de mezclas se requieren ensayos de laboratorio y en escala real para poder determinar la aptitud de los materiales y la dosificación óptima de la mezcla.

El método de ensayo del consistómetro Vebe, utilizado en este estudio, se basa en la normativa europea EN 12350-3 y describe un procedimiento para la determinación de la consistencia del concreto fresco en mezclas específicas, como lo son las mezclas CCR. Se utiliza en los casos donde el ensayo de asentamiento convencional carece de sensibilidad, dando resultados sin asentamiento. Este tipo de resultados pueden ser observados, por ejemplo, en mezclas de concreto secas, como las del Concreto compactado con rodillo.

La consistencia del concreto cambia con el tiempo debido a la hidratación del cemento y a la pérdida de humedad. Por lo que para realizar este estudio comparativo, los ensayos se realizarán transcurrido el mismo intervalo de tiempo luego de elaborada la mezcla, con el fin de obtener resultados comparables, las diferentes mezclas.

Como parte del estudio se elaborará una matriz de mezclas de concreto para comparación de diferentes proporciones de materiales. Cambiando un factor importante que afectará la consistencia del concreto, como la cantidad de agua en la dosificación de las mezclas.

Esto nos servirá para observar la efectividad que el ensayo tiene para mostrar el desempeño de las mezclas ante las variaciones, y conocer los proyectos en los que puede ser aplicable el uso de esta metodología para conocer la consistencia del concreto.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo general

Realizar comparación de la consistencia de mezclas de CCR, por medio del método del consistómetro Vebe según norma europea EN 12350-3 para confirmar los beneficios del método en la optimización de este tipo de mezclas.

2.2.2 Objetivos específicos

- Determinar si el método de ensayo del consistómetro Vebe provee información adicional para la caracterización de mezclas de concreto secas.
- Implementar el método de ensayo del consistómetro Vebe para caracterizar la consistencia de mezclas de concreto secas en laboratorio.

2.3 Variables

2.3.1 Asentamiento

2.3.2 Consistencia del concreto

2.3.3 Tiempo Vebe

2.3.4 Resistencia a compresión

2.4 Definición de variables

2.4.1 Asentamiento

Conceptual: este método de ensayo cubre la determinación de la consistencia de las mezclas de concretos plásticos. Para determinar esta característica del concreto se utiliza el método de ensayo del cono Abrams, en la que se utiliza un cono truncado sobre una superficie plana, realizando el ensayo en un tiempo menor a 2 minutos y medio. El valor del asentamiento se obtiene luego de llenado el cono colocando una regla sobre el molde para poder medir cuanto se asentó el concreto fresco. Este valor debe de estar dado con una aproximación de 5mm, o en pulgadas al $\frac{1}{4}$ más cercano.

Operacional: utilizado para la determinación del asentamiento inicial de cada una de las mezclas secas, con el fin de tener un parámetro de comparación entre las mismas.

2.4.2 Consistencia del concreto

Conceptual: este método de ensayo cubre la determinación de la movilidad relativa o habilidad para fluir del concreto, según la norma de terminología referente al concreto y agregados para concreto. Usualmente, para concreto, se utiliza el ensayo de asentamiento, mencionado anteriormente, pero existen

varios métodos para determinarla, como el método del Consistómetro Vebe, que es objeto de este estudio. Esta característica de las mezclas de concreto en estado fresco es difícil de cuantificar.

Operacional: es el parámetro utilizado en este trabajo y será el punto de comparación del estudio, siguiendo los parámetros del método del consistómetro Vebe, así como el del método de asentamiento.

2.4.3 Consistencia tiempo Vebe

Conceptual: es la lectura registrada en el cronómetro con una aproximación al segundo más cercano. Este tiempo corresponde al proceso cuando se acciona la mesa vibratoria y el cronómetro se pone en marcha simultáneamente. Es llamado tiempo Vebe, ya que expresa la consistencia de la mezcla que se está ensayando, según el método de ensayo de consistómetro Vebe.

Operacional: es el parámetro principal utilizado en este trabajo, como comparación entre las mezclas de concreto que se están estudiando.

2.4.4 Resistencia a compresión

Conceptual: este método de ensayo es utilizado para la determinación de la resistencia a compresión en cilindros de concreto de 6x12 pulg. Consiste en aplicar carga axial de compresión a los cilindros hasta lograr su falla. Para conocer la resistencia a la compresión de un espécimen se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo por el área de la sección transversal del espécimen. Este valor usualmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), en libras por pulgada cuadrada (lb/pulg^2) o en el Sistema Internacional de Unidades en N/mm^2 (MPa). Normalmente se utiliza la edad de 28 días como parámetro de comparación, aunque puede ser utilizada otra edad según sea necesario.

Operacional: utilizada para caracterizar las mezclas de concreto elaboradas en este estudio sobre todo comprobando el desempeño que tienen las mezclas realizadas en el laboratorio, variando las condiciones de elaboración.

2.5 Alcances y limitaciones

2.5.1 Alcances

La metodología de este estudio se utiliza para elaborar un análisis comparativo por medio del uso del consistómetro Vebe para caracterizar mezclas específicas, las que al ser ensayadas para determinar su consistencia, no muestran asentamiento cuando se utiliza el método del cono de Abrams. Para este caso en particular se utilizaron de concreto compactado con rodillo.

El consistómetro Vebe es un método de ensayo para la determinación de la consistencia del concreto, que puede proporcionar valores racionales, que con otro método de ensayo no se verían reflejados. El conocer el valor de la consistencia por medio de este método nos proporciona datos sobre una característica importante del concreto, que es importante para definir de qué manera se deberá manejar el concreto en la obra y que se puede esperar de su desempeño.

Entre los alcances más importantes de este trabajo de investigación se contempla contar con un método alternativo de ensayo para mezclas secas de concreto, ya sea como control de calidad o como control de proceso.

En resumen, los aspectos más relevantes que pretende alcanzar este proyecto de investigación, son:

1. Implementar el uso de consistómetro Vebe como un método alternativo para la determinación de la consistencia de las mezclas secas de concreto, tanto en laboratorio. como en proyectos de construcción de pavimentos y presas en los que se utilice CCR.
2. Demostrar la importancia de la aplicación del consistómetro Vebe como un método de determinación de la consistencia de mezclas con bajo asentamiento, como herramienta para la optimización de este tipo de mezclas.
3. Presentar un documento con los lineamientos y metodologías para aplicación del método de ensayo del consistómetro Vebe, con las fases requeridas de ensayo, con la cual se pueda mejorar los controles de calidad de las mezclas de concreto, también como referencia para futuras investigaciones del uso del mismo método.

2.5.2 Limitaciones

Como cualquier proyecto de investigación se buscará el cumplimiento de los objetivos, considerando que existen limitaciones propias de la metodología, las que se mencionan a continuación:

1. El método de ensayo del consistómetro Vebe, se debe de utilizar solo para mezclas secas que no presentan asentamiento, no es útil para todo tipo de mezclas.
2. El ensayo se debería realizar en el mismo límite de tiempo después de elaborada la mezcla, esto para que los datos puedan ser comparables entre mezcla y mezcla, ya que una diferencia en el tiempo de hidratación del cemento previo a las mediciones, podría influir negativamente para la comparación de resultados entre mezclas.

3. Los antecedentes del uso de este método de ensayo en el país son prácticamente inexistentes, la mayor parte de la investigación se realizó bajo normativas y documentos internacionales.
4. El uso de esta metodología para la determinación de la consistencia en campo es más complicada que la metodología convencional, ya que requiere de aditamentos especiales, energía eléctrica y apoyo de personal capacitado sobre temas de concreto, mezclas secas, y el uso del equipo especializado.
5. Para el uso de este método de ensayo se necesita de laboratorios equipados con la instrumentación adecuada, así también como contar con personal certificado para los ensayos, de lo contrario, los resultados obtenidos pueden no ser representativos.

2.6 Aporte

Al sector de la construcción general en Guatemala:

El método de determinación de la consistencia de las mezclas de concreto por medio del ensayo del consistómetro Vebe, propone una metodología alternativa para caracterización de las mezclas de concreto. Permite conocer la consistencia de mezclas de concreto que, con la utilización del método convencional del cono de Abrams, no se obtendría información.

Como se menciona con anterioridad, existen otros métodos para la determinación de la consistencia de mezclas de concreto, pero que pueden no ser funcionales para concretos secos como los concretos compactados con rodillo, siendo entonces la aplicación de este método una opción más conveniente y que permitirá la caracterización adecuada de las mezclas de concreto.

Investigando sobre el uso de esta metodología, se encontró que es un método utilizado a nivel internacional, pero hasta el momento en Guatemala no ha sido tan utilizado para caracterización de las mezclas de concreto, así que la información de esta investigación puede ser utilizada para que este equipo y normativa sean implementados y la implementación del método son aportes para la industria de la construcción de presas y pavimentos en donde se utilice mezclas CCR en el país.

Este documento es una guía para futuras investigaciones sobre el tema de medición de consistencia de mezclas secas.

A la Universidad Rafael Landívar:

Proporciona una guía para futuros profesionales, para investigar proyectos en los que se utilizó el mismo método de determinación de obtención de la consistencia del concreto, es decir, por medio del método de ensayo del consistómetro Vebe. Promueve que se lleven a cabo nuevas investigaciones sobre el tema.

Marco III: Método

3.1 Sujetos

3.1.1 Ingeniero Plinio Estuardo Herrera Rodas

De la Universidad de San Carlos de Guatemala, graduado de Ingeniero Civil, cuenta con Maestría en Administración de Negocios (MBA), de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Actual Gerente de Investigación y Desarrollo de Concreto en el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso, S. A. Encargado de la delimitación del tema y de asesoría en esta Investigación.

3.1.2 Ingeniero Ariel Osorio

De la Universidad de San Carlos de Guatemala, graduado de Ingeniero Civil, actualmente estudiando Maestría en Estructuras en la Universidad Mariano Gálvez de Guatemala. Encargado de diseño de mezclas elaboradas para análisis comparativo de esta investigación.

3.1.3 Ingeniero Christian Basilio Chiriz Umaña

De la Universidad Rafael Landívar Guatemala graduado de Ingeniero Civil. Coordinador de Concreto Fresco y Servicios Externos del Laboratorio CETEC en el Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso, S.A., encargado del recurso humano que apoyó en la ejecución del proyecto.

3.1.4 Ingeniero Mario de León

De la Universidad de San Carlos de Guatemala, graduado de Ingeniero Químico. Actualmente Jefe del Laboratorio CETEC, siendo encargado de proporcionar las instalaciones y el equipo para la ejecución de este proyecto.

3.2 Instrumentos

A continuación se describirán las normativas que especifican el equipo estandarizado que se utilizó para la comparación de las mezclas de concreto.

3.2.1 Equipo para determinación de temperatura

Normativa COGUANOR NTG 41053 (ASTM C1064), método de ensayo estándar para la medición de temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado.

3.2.2 Equipo para determinación de asentamiento

Normativa COGUANOR NTG 41052 (ASTM C143), método para la determinación del asentamiento en el concreto a base de cemento hidráulico.

3.2.3 Equipo para elaboración y curado de especímenes

Normativa COGUANOR NTG 41060 (ASTM C192/ C192M), practica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en el laboratorio.

3.2.4 Equipo para medición de resistencia del concreto

Normativa COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C39/C39M), método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión para especímenes cilíndricos de concreto. En el cual hace referencia al equipo requerido para dicho ensayo.

3.2.5 Equipo para determinación de consistencia utilizando el consistómetro Vebe

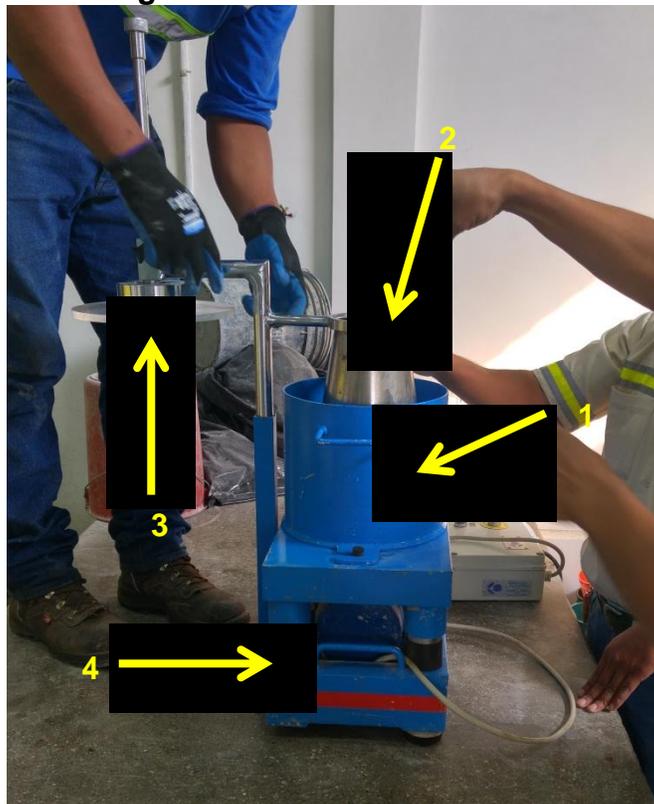
Es la principal metodología utilizada para desarrollar el presente proyecto. El equipo utilizado se encuentra descrito en la normativa europea EN 12350-3, en donde se incluyen las medidas de cada una de las partes que conforman el consistómetro Vebe, y que se resumen a continuación:

1. Contenedor: fabricado en metal, de forma cilíndrica, con un diámetro interior de 240 ± 5 mm y altura de 200 ± 2 mm. El espesor de las paredes debe de ser de aproximadamente 3 mm y el de la base de 7.5 mm. Asimismo debe de tener abrazaderas de refuerzo, las cuales permiten la fijación en la mesa vibratoria, por medio de tuercas.
2. Molde: forma de cono truncado, fabricado en metal, con un espesor mínimo de 1.5 mm. El molde debe de ser liso y no presentar ningún tipo de abolladura. Con las medidas de diámetro base de 200 ± 2 mm, diámetro superior 100 ± 2 mm, y altura de 300 ± 2 mm. La base y la parte superior del cono deben de estar paralelas y abiertas, este debe de contar con dos asas que permitan levantarlo fácilmente en forma vertical.
3. Disco: transparente, horizontal y que se encuentre unido a una barra que se deslizará verticalmente a través de una guía que se encuentra en el brazo giratorio, este disco puede ser fijado en una posición por el tornillo. El diámetro del disco debe de ser de 230 ± 2 mm, con un espesor de 10 ± 2 mm. Directamente sobre el disco debe de tener un peso, con una masa de 2750 ± 50 g. En la guía por donde bajara el disco, se debe de tener una escala graduada

con intervalos de 5 mm para poder leer el asentamiento que pueda tener el concreto.

4. Mesa vibratoria: tiene una medida de 380 ± 3 mm de longitud y 260 ± 3 mm de ancho. Esta mesa debe de estar soportada por amortiguadores de caucho; estos cuatro amortiguadores se encuentran ubicados en la parte vacía de la mesa, y en la parte inferior se encuentran 3 patas de caucho que soportan toda la mesa. El vibrador debe de tener una frecuencia nominal de 50 Hz a 60 Hz y la amplitud vertical de la mesa con el contenedor vacío colocado en la parte de arriba debe de ser de aproximadamente ± 0.5 mm.

Figura 17: Consistómetro Vebe.



Fuente: Elaboración propia (2016)

3.3 Metodología

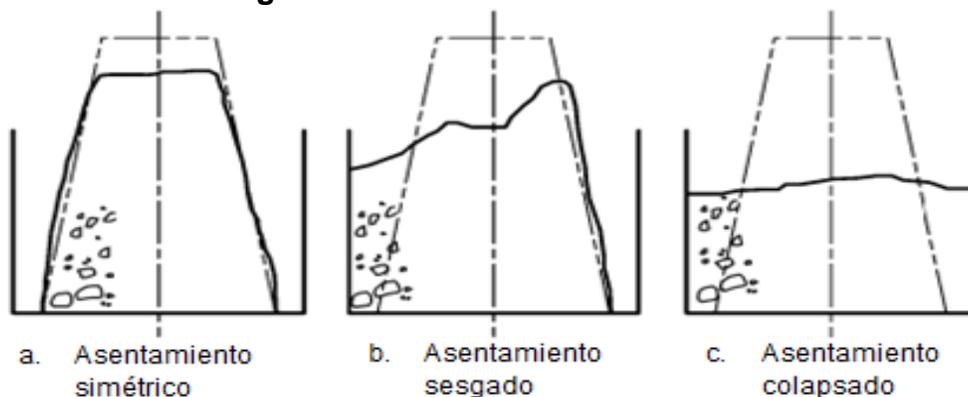
3.3.1 Procedimiento para la determinación de la consistencia de las mezclas.

El procedimiento se basa en la normativa EN12350-3, que incluye los procedimientos que se siguieron para poder determinar la consistencia de las mezclas, además, se realizó un diagrama de flujo para poder seguir de forma más sencilla ciertas etapas para el procedimiento:

3.3.1.1 Descripción del procedimiento

1. Fijar el consistómetro: se debe de colocar el consistómetro en una base rígida y horizontal, para evitar su movimiento. Luego de esto se debe asegurar el contenedor quede sujeto a la mesa vibratoria, se debe verificar que el contenedor quede centrado al disco, por lo que se debe de bajar el disco.
2. Preparar el molde: humedecer el molde (cono cónico) y colocar dentro de contenedor, este debe ser fijado junto con el embudo a colocarse sobre el molde.
3. Llenar el molde: se debe de llenar el molde en tres capas, y compactar con 25 apisonamientos, cada una de las capas. Luego de compactar la última capa se debe de retirar el embudo
4. Retirar molde y registrar asentamiento: se debe de retirar el concreto sobrante con la barra, para poder dejar el molde libre, luego de esto se retira el molde con dirección vertical hacia arriba en un tiempo de 5 a 10 segundos. Registrar el tipo de asentamiento según sea el caso según la figura 30.

Figura 18: Formas de Asentamiento



Fuente: Norma EN 12350-3

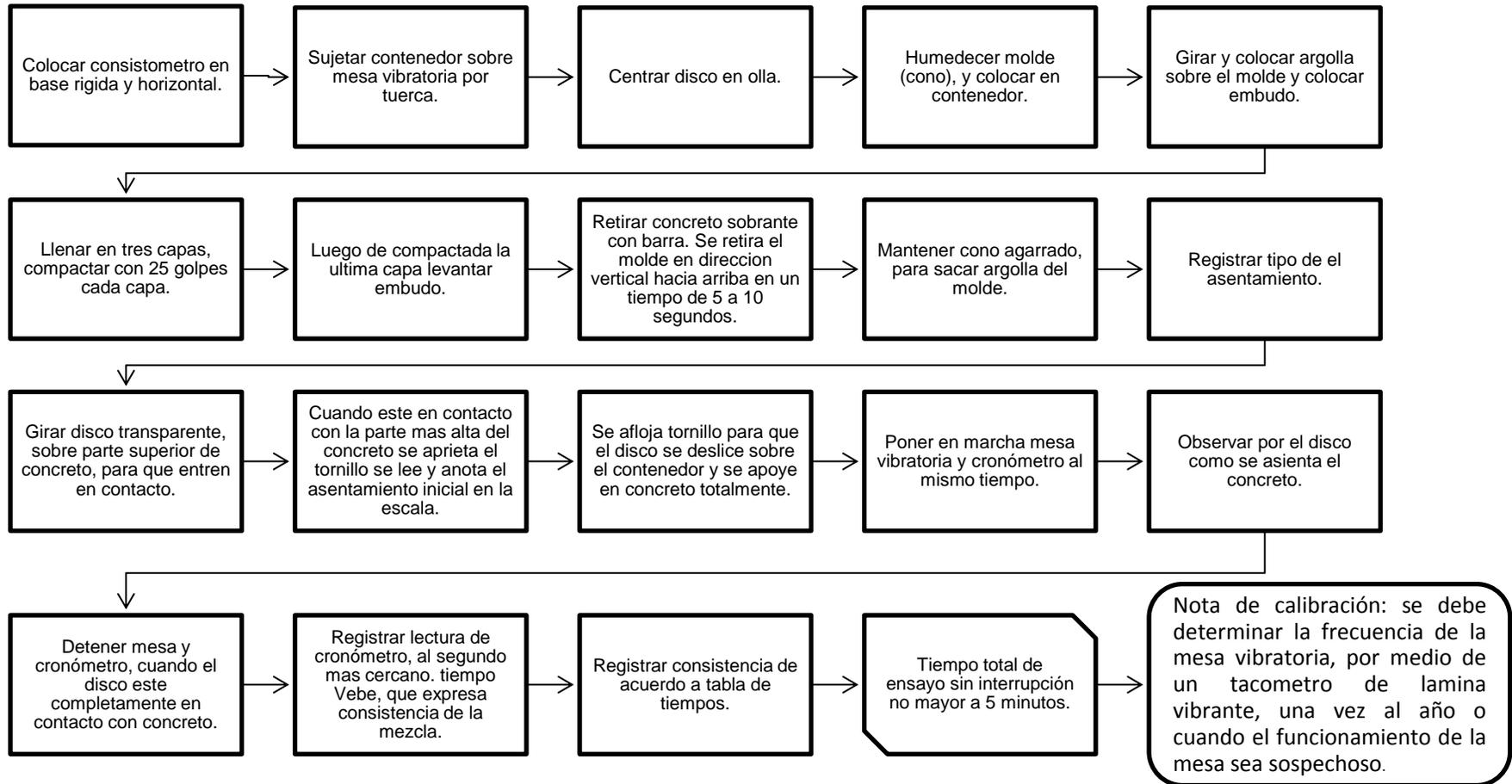
5. Colocar disco: se debe girar el disco transparente para que quede sobre el espécimen de concreto y aflojar el tornillo para permitir el contacto entre el concreto y el disco, al entrar en contacto en la parte más alta se aprieta el tornillo, leer el asentamiento inicial en la escala de la barra. Se debe registrar el valor de la escala. Por último se debe de aflojar el tornillo para permitir que el disco se deslice fácilmente sobre el concreto y se apoye sobre el mismo.
6. Vibración: poner en marcha la mesa vibratoria y el cronómetro, al mismo tiempo. Se debe de observar a través del disco como se asienta el concreto, y para detener la mesa y el cronómetro se debe de esperar a que el disco se encuentre completamente en contacto con el concreto. Registrar tiempo al segundo más cercano. El tiempo total de la ejecución del ensayo, sin interrupciones, no debe de ser mayor a 5 minutos.
7. Resultados: se debe de registrar la lectura del cronómetro al segundo más cercano, este tiempo se conocerá como tiempo Vebe, el cual expresa la consistencia de las mezclas. Teniendo este valor, se registra el tipo de consistencia de acuerdo a la figura 19.

Figura 19: Consistencia del concreto según tiempo Vebe.

Clase	Consistencia tipo Vebe (s)
V0*	•
V1	30 a 21
V2	20 a 11
V3	10 a 6
V4*	5 a 3
*	Para esta clase, el ensayo de Consistómetro Vebe no es adecuado.

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana. (2015).

Diagrama de flujo, método de consistómetro Vebe



Fuente: Elaboración propia (2016)

Marco IV: Presentación y análisis de resultados

4.1 Diseño teórico de mezclas

A continuación se presentaran los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas a cada una de las mezclas de CCR que se utilizaron para este estudio. Se realizaron pruebas para conocer diferentes parámetros de las mezclas. Se generó un cuadro en donde se fueron anotando los resultados de cada una de las mezclas después de los ensayos.

Cada uno de los ensayos realizados para esta investigación, se ejecutaron con base en las normativas respectivas, en las páginas siguientes se mostraran los resultados de los ensayos.

Es importante mencionar que el aditivo utilizado para las mezclas de concreto, es abastecido por la empresa MASTER BUILDER, con calidad certificada. La inclusión de este aditivo reductor de agua permite que la mezcla de concreto mantenga sus características.

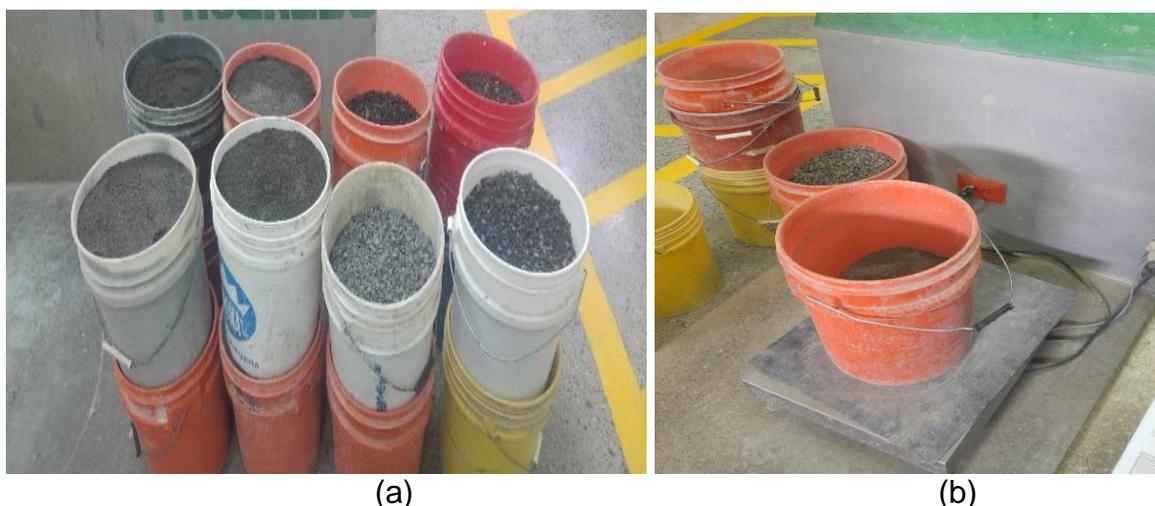
Primero se presenta una tabla con el diseño teórico de cada una de las mezclas, y luego se presenta el cuadro con los resultados de las pruebas al concreto fresco y por último, en anexos se puede encontrar los diseños de mezcla de cada una, así también como los resultados de los ensayos a compresión.

Los resultados de las pruebas al concreto endurecido, fueron cilindros a compresión, aunque normalmente las resistencias que se utiliza para proyectos de pavimentos con mezclas CCR es la de resistencia a flexión. De hecho, en este caso, el diseño de la mezcla era una especificación para 650 psi a los 28 días en resistencia a flexión. Se observa por eso que las resistencias a compresión son bastante altas. Se utilizaron especímenes cilíndricos a compresión, debido a que es un procedimiento más sencillo que el de ensayar vigas a flexión. Para fines prácticos de este estudio, la resistencia del concreto se utiliza más bien como referencia, ya que la prueba relevante es la de asentamiento y consistencia.

4.1.1 Mezclas y ensayos realizados en laboratorio.

Luego de establecer las especificaciones para cada una de las mezclas, se procedió a realizar los ensayos correspondientes. En el laboratorio se tenían preparadas las cantidades de agregados y materiales necesarios para elaborar las mezclas a ensayar, incluyendo el pesaje de cada material.

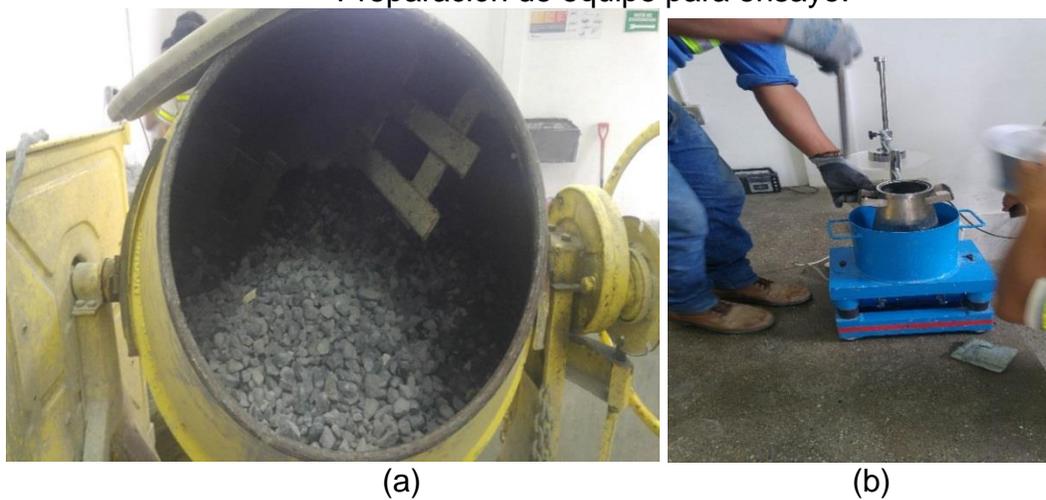
Figura 20: Materiales para elaboración de mezclas, (a) agregados pesados, (b) Pesaje de Materiales



Fuente: Elaboración propia 2016.

Inmediatamente después se procedió a elaborar la mezcla; simultáneamente se preparó el equipo necesario para realizar los ensayos.

Figura 21: Preparación de la mezcla y equipo (a) materiales en mezcladora (b) Preparación de equipo para ensayo.



Fuente: Elaboración propia 2016.

Al concluir con el proceso de elaboración de la mezcla se realizaron los ensayos.

Figura 22: Ensayos (a) Materiales y equipo listos para empezar ensayos, (b) Llenado de Molde para ensayo, (c) Disco sobre mezcla.



(a)

(b)



(c)

Fuente: Elaboración propia 2016

Para finalizar, se elaboraron especímenes cilíndricos para obtener su resistencia a compresión. Los cilindros de CCR se compactaron por medio de placa apisonadora. Estos dos procesos se observan en la Figura 23 (a) y (b).

Figura 23: Cilindros para ensayo a compresión (a) Cilindros de mezcla CCR terminados, (b) Compactación de cilindros con mezcla CCR



(a)



(b)



(c)

Fuente: Elaboración propia 2016.

4.2 Resultados

4.2.1 Matriz de resultados

Se elaboró una tabla en donde se presentan los datos de todos los resultados de los ensayos realizados a las mezclas. Se incluyen también las dosificaciones de las mezclas elaboradas en laboratorio.

Componentes para 1 m ³		Mezclas CCR				
		Humedad				
		Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Datos Diseño Teórico	Variable	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2
	Mezcla de concreto	5000 - 1"	5000 - 1"	5000 - 1"	5000 - 1"	5000 - 1"
	Materiales	PPO / CFB	PPO / CFB	PPO / CFB	PPO / CFB	PPO / CFB
	Tiempo Vebe (s)	16	13	9	8	6
	f'c 7 días (psi)	3,450	4,715	6,970	7,280	5,770
	f'c 28 días (psi)	4,225	7,080	9,440	9,755	8,050
	Cemento CFB (kg/m ³)	250	250	250	250	250
	Agua (lt/m ³)	65	75	85	95	105
	Piedrín 1" Agreca PPO curva 56 (kg/m ³)	560	560	560	560	560
	Piedrín 3/8" Agreca PPO curva 8 (kg/m ³)	380	380	380	380	380
	Arena 0 - 1/4" PPO (kg/m ³)	1,239	1,213	1,188	1,162	1,136
	Aditivo Poly 789 (ml/kg cto)	7	7	7	7	7
	Relación W / C	0.26	0.30	0.34	0.38	0.42

4.2.2 Resultados de asentamiento, tiempo Vebe

A continuación se muestran los resultados que se deben de registrar durante el ensayo de la prueba de Consistómetro Vebe.

Tipo de mezcla	Tipo de asentamiento	Asentamiento en escala inicial (cm)	Tiempo Vebe (s)	Asentamiento en escala final (cm)
CCR -2	A	0	16	17.30
CCR -1	A	0	13	17.90
CCR 0	A	0	9	18.00
CCR +1	A	0	8	18.30
CCR +2	A	0	6	18.50

4.2.3 Gráfica de relación de resultados

Con los resultados obtenidos se elaboraron gráficas que nos muestran una comparación sencilla de las diferencias o similitudes que existen entre las características más relevantes de las mezclas elaboradas.

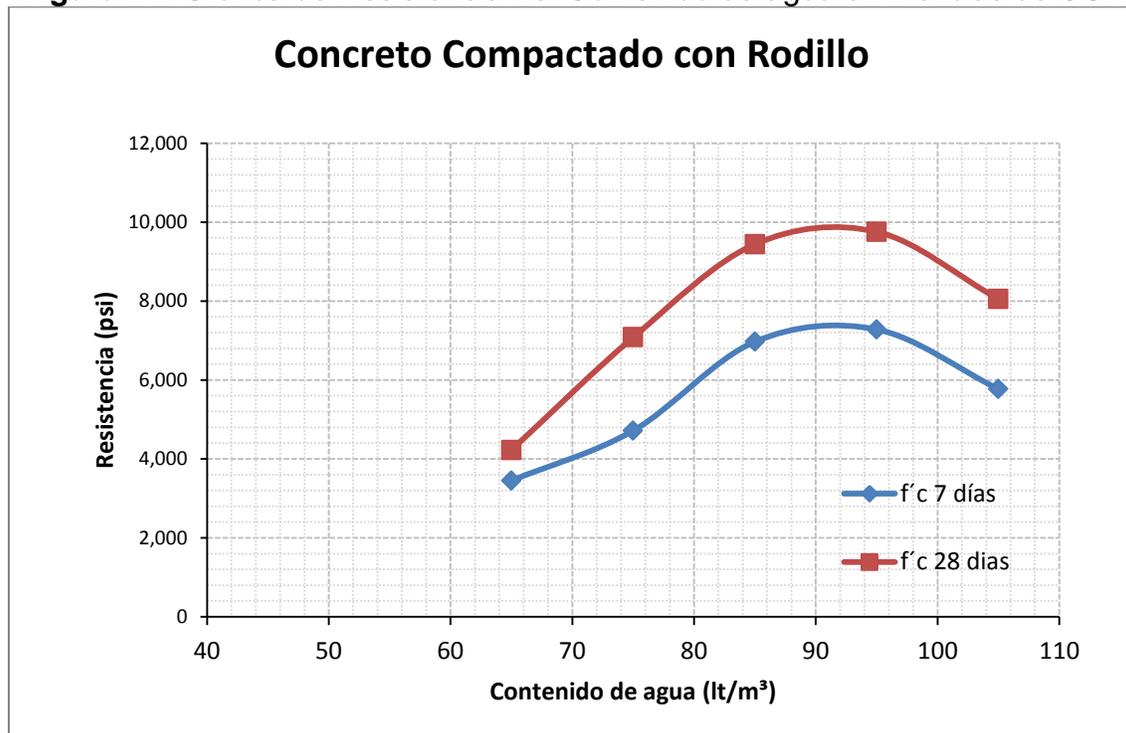
En la figura 24 se muestra la gráfica que relaciona la resistencia del concreto con el contenido de agua utilizado en L/m^3 para cada una de las mezclas de CCR, esta grafica muestra los resultados de la resistencia tanto a 7 días como a 28 días.

En la figura 25 se muestra la gráfica en la cual se relaciona el resultado del tiempo Vebe con el contenido de agua utilizado para cada una de las mezclas.

En la figura 26 se muestra el resultado de la resistencia con el resultado del tiempo Vebe, nuevamente se presentan los resultados de las resistencias tanto a 7 días como a 28 días.

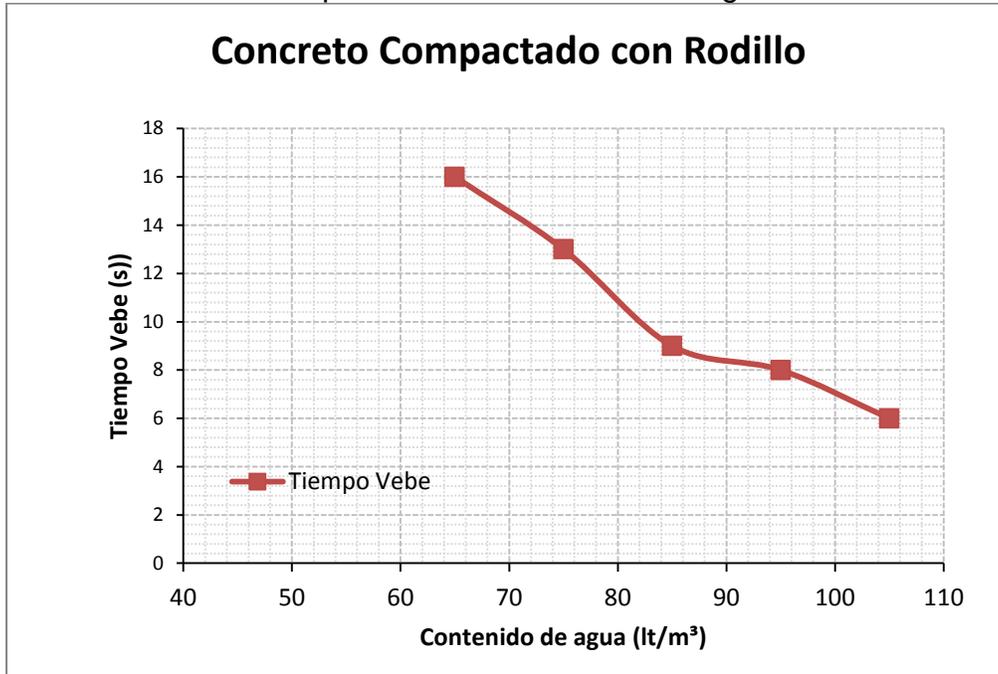
Por ultimo en la figura 27 y 28 se muestra una interrelación entre los valores de contenido de agua, resistencia y tiempo Vebe, la gráfica 27 presenta la resistencia a 7 días y la gráfica 28 los resultados a 28 días.

Figura 24: Gráfica de Resistencia Vs. Contenido de agua en mezclas de CCR



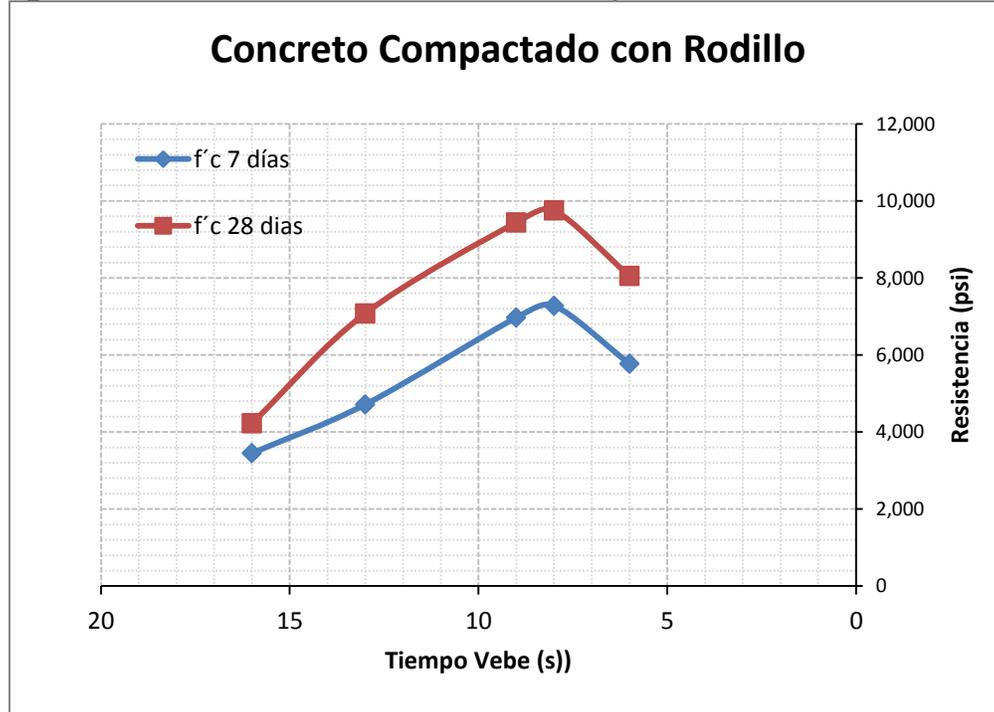
Fuente: Elaboración propia 2016.

Figura 25: Gráfica de tiempo Vebe Vs. Contenido de agua en mezclas de CCR.



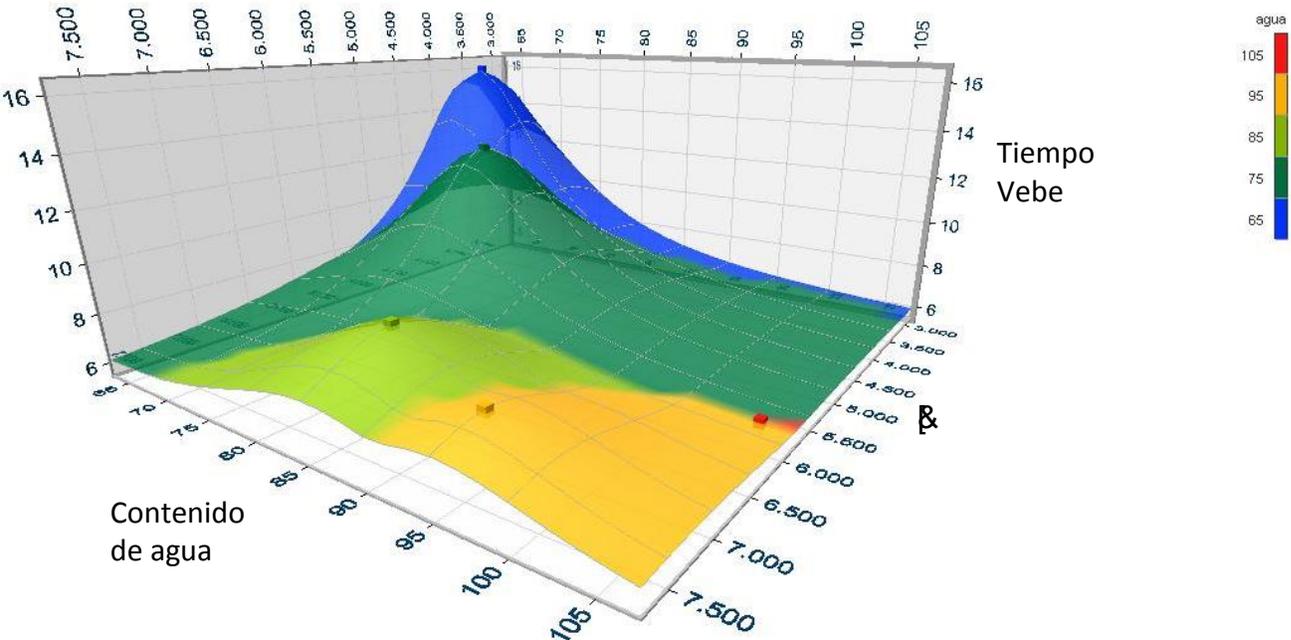
Fuente: Elaboración propia 2016.

Figura 26: Gráfica de Resistencia Vs. Tiempo Vebe en mezclas de CCR



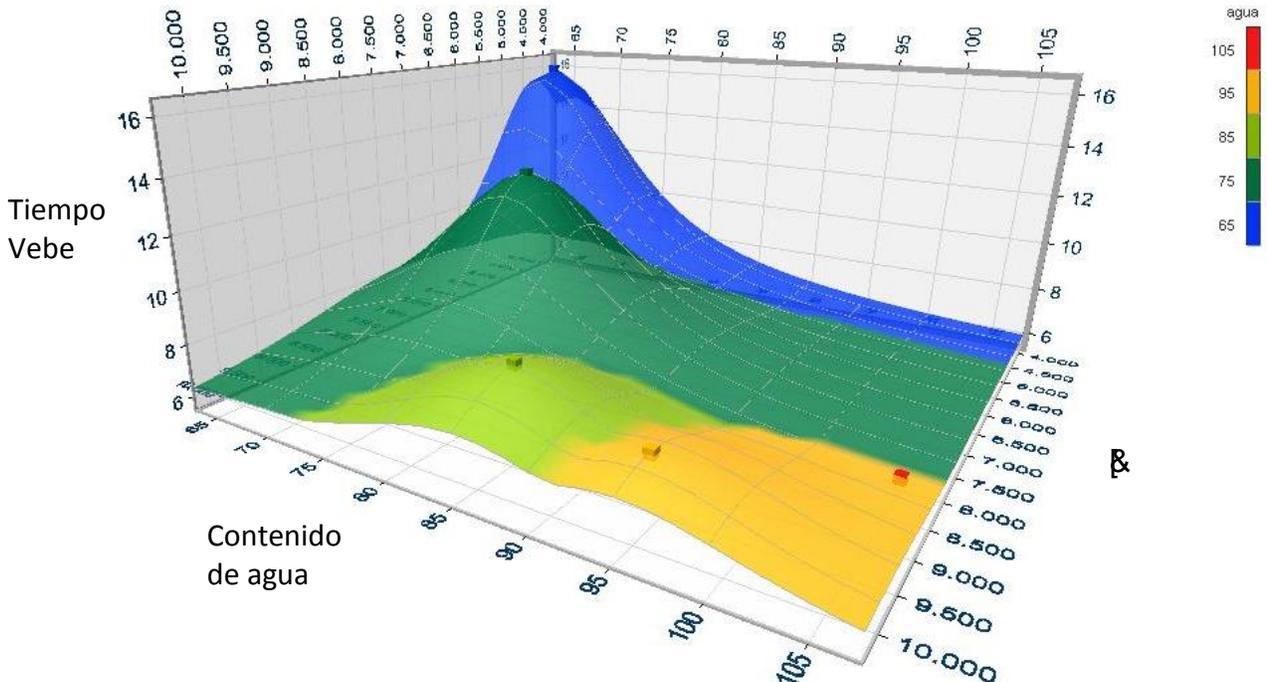
Fuente: Elaboración propia 2016.

Figura 27: Gráfica de Resistencia 7 días Vs. Contenido de agua Vs. Tiempo Vebe en mezclas de CCR



Fuente: Elaboración propia 2016.

Figura 28: Gráfica de Resistencia 28 días Vs. Contenido de agua Vs. Tiempo Vebe en mezclas de CCR



Fuente: Elaboración propia 2016.

4.3 Discusión

Descripción general de la práctica

La característica principal a determinar con este método, es la consistencia de cada mezcla, y esto será válido en la medida que se realicen en el mismo intervalo de tiempo luego de realizada la mezcla. Además, es importante conocer los componentes de las mezclas a estudiar y cuáles fueron las variaciones en la mezcla para poder conocer cuáles fueron los cambios de comportamiento del tiempo Vebe que se fueron dando.

Para desarrollar este trabajo fue necesario conocer en detalle el funcionamiento del consistómetro Vebe, sus alcances y limitaciones, esto con el fin de evaluar el aporte que puede tener para proyectos en Guatemala específicamente a proyectos con mezclas CCR para pavimentos o presas, y determinar los beneficios que puede proveer. Para el efecto se elaboraron varias mezclas de prueba, con el solo objetivo de conocer el equipo y aprender a operarlo adecuadamente, siguiendo los pasos establecidos por la norma EN 12350-3, que se resumen en el diagrama de flujo, mostrado en la sección 3.3.2.

Para estos ensayos utilizamos mezclas de concreto convencional, esto como ya se mencionó anteriormente con el fin de conocer el equipo y ver el comportamiento que nos iba dando. Durante este periodo se determinaron pasos importantes de mencionar en el diagrama de flujo, como lo fue el centrar el disco cuando se está colocando la olla, ya que de lo contrario esto podía repercutir en los resultados del tiempo Vebe.

Se diseñaron las mezclas de concreto y al tener los diseños concluidos, se elaboraron siguiendo los protocolos establecidos para elaboración de mezclas de concreto en laboratorio. Durante el proceso de elaboración de las mezclas, se procedió a realizar los ensayos en estado fresco y endurecido que se requeridos por el proyecto y que se han resumido en los puntos anteriores de este capítulo.

Resultados de asentamiento

De los ensayos de asentamiento realizados a las mezclas de CCR todas las mezclas se muestran sin asentamiento, es decir que tienen una consistencia seca, como podemos observar en los resultados todas las mezclas presentaron un DVHQWDPLHQWR^{3'}

Como se ha mencionado anteriormente, el ensayo del consistómetro Vebe se utiliza en los casos en los que el ensayo de asentamiento convencional carece de sensibilidad, como ocurre con las mezclas de concreto secas, que para esta investigación se utilizaron las mezclas de concreto compactado con rodillo.

El tiempo Vebe para todas las mezclas, de CCR, se encuentran en el rango entre 6 y 16 segundos. Según datos del asentamiento inicial medido en el consistómetro Vebe, todas las mezclas ensayadas en este estudio aplican para proceder con la medición de tiempo Vebe y luego de ensayadas comprobamos que

este ensayo es aplicable para todas las mezclas ensayas, aunque el último ensayo se encuentra muy cerca del límite de ya no poderse utilizar esta metodología para determinar la consistencia de las mezclas CCR, bajo las características dadas.

Según la clasificación mostrada en la figura No. 19, los tiempos Vebe de las mezclas de CCR clasifican como clase V2 y V3, en otras palabras, este ensayo es adecuado para determinar la consistencia del concreto de estas mezclas.

Estos resultados también lo podemos ver reflejado en la figura 25 ya que esta grafica nos muestra una relación entre el tiempo Vebe y la cantidad de agua en cada mezcla, lo que nos muestra es que mientras menor es la cantidad de agua que tienen las mezclas, mayor es el tiempo que se necesita para ser consolidada, de igual forma lo vemos físicamente reflejado en la mezcla, debido a que cuando la mezcla tiene mayor cantidad de agua la mezcla tiene una apariencia más pastosa que cuando tiene menor cantidad de agua.

Es importante mencionar que en las mezclas CCR, mientras más alejada esta la mezcla de la cantidad optima de agua, el tiempo Vebe es menos adecuado para medir el valor de la consistencia de las mezclas, esto se puede comparar de esta forma ya que en las mezclas ensayadas el valor que fue variando fue el contenido de agua en las mezclas.

Para mejor comprensión de la clasificación de los tiempos, relacionado a la consistencia del concreto, se elaboró la tabla que se muestra a continuación

Consistencia del concreto según el tiempo Vebe		
Clase	Tiempo Vebe	Consistencia
V0	∇HJ∅GRV	ensayo no adecuado
V1	30 a 21 segundos	extremadamente seca
V2	20 a 11 segundos	muy seca
V3	10 a 6 segundos	seca
V4	∇HJ∅GRV	ensayo no adecuado

Resultados de resistencia

Se programaron ensayos de cilindros a compresión con el objeto de conocer el comportamiento de las resistencias que desarrolló el concreto, según los componentes que tenía cada mezcla, especialmente el contenido de agua.

Para poder tener una mejor visualización de los resultados, se elaboraron los gráficos que se muestran en el punto 4.2.3.

La primera gráfica, la figura 24, muestra que se alcanza una mayor resistencia con un contenido de agua óptimo, en otras palabras, con más y menos agua que este contenido óptimo encontrado, las resistencias tienden a bajar. Es un comportamiento típico, por ejemplo, en los suelos estabilizados con cemento. Estos suelos se colocan y

compactan idealmente a la humedad óptima porque así es como se obtiene la densidad máxima de los mismos y por ende, la mayor resistencia y capacidad soporte posible del material. Con más o menos agua que la óptima, la densidad tiende a bajar y su capacidad soporte también. La gráfica de la figura 24 nos muestra que el comportamiento de las resistencias es similar, tanto para la resistencia a 7 días, como para la resistencia a 28 días. La cantidad óptima de agua para las mezclas de CCR analizadas es de alrededor de 90 L/m³.

Resultados de resistencia Vs. tiempo Vebe

En la gráfica de resistencia vs. Tiempo Vebe vemos que tienen un comportamiento similar al de resistencia vs. Contenido de agua, en donde conforme va aumentando la resistencia, va disminuyendo el tiempo Vebe, hasta llegar a una resistencia máxima y empezamos a ver el decremento en la resistencia pero continuamos viendo que el tiempo Vebe sigue decreciendo.

Por ultimo en las figuras 27 y 28 vemos una interrelación entre los resultados de la resistencia, contenido de agua en las mezclas y el resultado del tiempo Vebe, como las tres graficas anteriormente descritas interaccionan entre sí.

Marco V: Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

- Se realizaron mediciones comparativas de consistencia utilizando el equipo del consistómetro Vebe, en mezclas de concreto compactado con rodillo. En las mezclas se midió el asentamiento inicial según normativa y se midió el tiempo Vebe en el consistómetro. Se determinó que el método del consistómetro Vebe era adecuado para medir la consistencia de las mezclas de concretos compactados con rodillo (CCR) elaboradas en este estudio, ya que para las variaciones que se les dio a las mezclas los resultados se mantuvieron dentro del rango permitido para este ensayo, a pesar que la última mezcla se encontraba en el límite inferior de los resultados, los cuales se mantuvieron en las clases V2 y V3 según se muestra en la tabla que se encuentra dentro de la discusión de los resultados.
- El método del consistómetro Vebe provee información adicional valiosa, que permite diferenciar la consistencia de distintas mezclas secas, como las del CCR, que con otros métodos, como el de asentamiento, sería imposible de determinar. La información que proporciona este ensayo permite encontrar el contenido óptimo de agua en la mezcla para obtener la máxima resistencia a compresión. Con esta optimización se asegura, no solo obtener una mezcla de mejores características, sino también con mejor desempeño en estado fresco y en estado endurecido, además será la más económica para lograr una resistencia determinada.
- Se logró la implementación del método de ensayo del consistómetro Vebe (EN 12350-3) en el laboratorio CETEC, del Centro de Investigación y Desarrollo de Cementos Progreso. Dicha implementación abre alternativas para el control de mezclas de consistencia seca, como el concreto compactado con rodillo, que tiene aplicación en proyectos de infraestructura como pavimentos y presas para generación de energía hidráulica. Es un aporte al desarrollo de proyectos de gran envergadura, que son vitales para el desarrollo de nuestro país.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda continuar con la elaboración de mezclas de concreto de consistencia seca para perfeccionar la metodología de ensayo del consistómetro Vebe, caracterizando distintos tipos de materiales, de distintas regiones del país, variando el contenido de agua, para en primer lugar, encontrar el rango de contenido de agua para el cual este ensayo es válido, optimizándola para alcanzar las resistencias más altas y las mejores propiedades del concreto, tanto en estado fresco, como en estado endurecido.
- Se recomienda promover y difundir esta metodología de ensayo para contribuir al desarrollo de la industria de la construcción en Guatemala. Metodologías de ensayo como estas nos ayudarán a conocer mejor el concreto para aplicaciones de infraestructura, sobre todo de gran envergadura, como pavimentos y presas para generación de energía hidráulica, que son precisamente las que se necesita impulsar para el mayor y mejor desarrollo de nuestro país. Con este tipo de ensayos se pueden mejorar los proyectos en Costo-Beneficio, debido a que se conoce de mejor forma las mezclas sin la necesidad de invertir dinero, tiempo y horas-hombre, en ensayos que no proporcionarían información relevante de las mezclas de concreto como las CCR.
- Se recomienda al laboratorio CETEC contar con personal técnico preparado para la realización del método de ensayo del consistómetro Vebe en forma adecuada. La metodología de este ensayo, si bien no es complicada de seguir, si requiere de conocimiento detallado del procedimiento, del equipo y la herramienta necesarios. Así también a la Universidad Rafael Landívar se le recomienda ampliar el laboratorio para la caracterización de mezclas, esto con el fin que el estudiante tenga una mejor preparación en cuanto a los tipos de ensayo que puede utilizar para conocer de mejor forma los concretos.

Marco VI: Referencias

6.1 Libros de texto

Aïtcin, P., (2008). *Concreto de alto desempeño*. Zürich, Suiza.

Bud, R., Warner, D., (1998). *Instruments of Science*. Londres.

Kong, F., Evans, R., (1987). *Reinforced and Prestressed concrete*. Londres.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., Tanesi, J., (2016). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Illinois, EE.UU.

Mehta, P. Kumar, P., (2006). *Concrete microstructure, properties and materials*. McGraw-Hill.

Neville, A., (1999). *Properties of concrete*. Pearson Education Limited.

6.2 Tesis

Guevara, M., (2014). *Ensayos que se realizan al concreto en estado fresco*. Universidad Técnica de Loja, Ecuador.

Juárez, C., Rodríguez, P., (2004). *Uso de fibras naturales de lechuguillas como refuerzo de concreto*. Universidad autónoma de Nuevo León, México.

Lucas, S., (2009). *Ensayos de hormigón en estado fresco y endurecido*. Tesis inédita. Centro de Investigaciones Viales, Argentina.

Ortiz, A., (2015). *Análisis y descripción de la producción de concretos en obra de cinco proyectos de vivienda en Colombia*. Universidad militar Nueva Granada, Colombia.

6.3 Normas técnicas

Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 41006. *Terminología referente al concreto y agregados para concreto*.

Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 41017 h37. *Método de ensayo. Determinación de la consistencia y densidad del concreto compactado con rodillo utilizando una mesa vibratoria*.

Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 41052. *Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico*.

Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 41060. *Practica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de concreto en laboratorio*.

Norma Técnica Guatemalteca COGUANOR NTG 41017 h1. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.*

Normativas Española EN 12350-3. *Ensayos de hormigón fresco, parte 3: Ensayo Vebe.*

Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 3069. *Hormigón fresco. Método de ensayo Vebe.*

ASTM C1116M. *Standard specification for fiber-reinforced concrete.*

ACI 211.3R-02: *Guide for selecting proportions for No-Slump concrete.*

ASTM C360. *Método de prueba para la bola de penetración cemento hidráulico recién mezclado.*

ASTM C1170. *Standard test methods for determining consistency and density of roller-compacted concrete using a vibrating table.*

Marco VII: Anexos

7.1 Diseños de mezcla

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 1

Fecha: 18/08/2016

Título: Mezcla CCR -2

Especificaciones			Datos de la materia prima					
			—	Abs	Hum	AG/AF	Proporción	
f'c o MR	45	Kg/cm2	Cemento	CFB	3.00			
Edad	28	Días	Agua		1.00			
TMA	25	mm	3/4	PPO	2.67	1.0	0.74	
Slump	Mezcla Húmeda	mm	3/8	PPO	2.65	1.1	0.67	
Peso	2350/2500	Kg/cm3	Arena		2.59	2.4	2.45	
Colocación	Directo					55%	60%	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje				45%	100%	
						finos		

Diseño Teórico	Kg/m3	m3	0.035 m3	Bache Práctico
Cemento	250	0.083	8.80 kgs	Cemento CFB
Agua	65	0.065	2.40 Kgs	Agua
3/4	560	0.210	19.50 Kgs	3/4
3/8	380	0.143	13.20 Kgs	3/8
Arena	1239	0.479	43.40 Kgs	Arena
Vacíos	2.00%	20.000		
Total	2494	1.000	87.30 Kgs	Total
Polyheed 789	7	ml/kg cto	61.30 ml	Polyheed 789
Relación A/C	0.26			

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 2

Fecha: 18/08/2016

Título: Mezcla CCR -1

Especificaciones

Datos de la materia prima	☑	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
---------------------------	---	-----	-----	-------	------------

f'c o MR	45	Kg/cm2
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	Mezcla Humeda	mm
Peso	2350/2500	Kg/cm3
Colocación	Directo	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Cemento	CFB	3.00				
Agua		1.00				
3/4	PPO	2.67	1.00	0.74	55% Gruesos	60%
3/8	PPO	2.65	1.10	0.67		40%
Arena		2.59	2.40	2.45	45% finos	100%

Diseño Teórico	Kg/m3	m3
----------------	-------	----

0.035 m3	Bache Práctico
----------	----------------

Cemento	250	0.083
Agua	75	0.075
3/4	560	0.210
3/8	380	0.143
Arena	1213	0.479
Vacíos	2.00%	20.000
Total	2478	1.000
Polyheed 789	7	ml/kg cto
Relación A/C	0.3	

8.80 kgs	Cemento CFB
2.70 Kgs	Agua
19.50 Kgs	3/4
13.20 Kgs	3/8
42.50 Kgs	Arena
86.70 Kgs	Total
61.30 ml	Polyheed 789

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 3

Fecha: 22/08/2016

Título: Mezcla CCR 0

Especificaciones			Datos de la materia prima						
f'c o MR	45	Kg/cm2	Cemento	CFB	3.00	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
Edad	28	Días	Agua		1.00				
TMA	25	mm	3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55% Gruesos	60%
Slump	Mezcla Humeda	mm	3/8	PPO	2.65	1.10	0.60		40%
Peso	2350/2500	Kg/cm3	Arena		2.59	2.40	1.66	45% finos	100%
Colocación	Directo								
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje							

Diseño Teórico	Kg/m3	m3	0.030 m3	Bache Práctico
Cemento	250	0.083	7.50 kgs	Cemento CFB
Agua	85	0.085	2.90 Kgs	Agua
3/4	560	0.210	16.70Kgs	3/4
3/8	380	0.143	11.30 Kgs	3/8
Arena	1188	0.459	35.40 Kgs	Arena
Vacios	2.00%	20.000		
Total	2463	1.000	73.90 Kgs	Total
Polyheed 789	7	ml/kg cto	52.50 ml	Polyheed 789
Relación A/C	0.34			

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 4

Fecha: 22/08/2016

Título: Mezcla CCR +1

Especificaciones

f'c o MR	45	Kg/cm ²
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	Mezcla Humeda	mm
Peso	2350/2500	Kg/cm ³
Colocación	Directo	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Datos de la materia prima	?	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
---------------------------	---	-----	-----	-------	------------

Cemento	CFB	3.00				
Agua		1.00				
3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55% Grosos	60%
3/8	PPO	2.65	1.10	0.60		40%
Arena		2.59	2.40	1.66	45% finos	100%

Diseño Teórico	Kg/m ³	m ³
----------------	-------------------	----------------

Cemento	250	0.083
Agua	95	0.095
3/4	560	0.210
3/8	380	0.143
Arena	1162	0.449
Vacios	2.00%	20.000
Total	2447	1.000
Polyheed 789	7	ml/kg cto
Relación A/C	0.38	

0.030 m ³	Bache Práctico
----------------------	----------------

7.50 kgs	Cemento CFB
3.20 Kgs	Agua
16.70Kgs	3/4
11.30 Kgs	3/8
34.60 Kgs	Arena
73.40 Kgs	Total
52.50 ml	Polyheed 789

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 5

Fecha: 22/08/2016

Título: Mezcla CCR +2

Especificaciones

f'c o MR	45	Kg/cm2
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	Mezcla Humeda	mm
Peso	2350/2500	Kg/cm3
Colocación	Directo	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Datos de la materia prima	?	ABS	Hu m	AG/AF	Proporción
---------------------------	---	-----	------	-------	------------

Cemento	CFB	3.00				
Agua		1.00				
3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55% Gruesos	60%
3/8	PPO	2.65	1.10	0.60		40%
Arena		2.59	2.40	1.66	45% finos	100%

Diseño Teórico	Kg/m3	m3
----------------	-------	----

Cemento	250	0.083
Agua	105	0.105
3/4	560	0.210
3/8	380	0.143
Arena	1136	0.439
Vacios	2.00%	20.000
Total	2431	1.000
Polyheed 789	7	ml/kg cto
Relación A/C	0.42	

0.030 m3	Bache Práctico
----------	----------------

7.50 kgs	Cemento CFB
3.50 Kgs	Agua
16.70Kgs	3/4
11.30 Kgs	3/8
33.80 Kgs	Arena
72.90 Kgs	Total
52.50 ml	Polyheed 789

7.2 Resultados de cilindros a compresión

7.3 Estudio con adiciones de fibras

Como parte de este estudio se realizaron mezclas con adiciones de fibra, pero por los resultados de la consistencia de estas mezclas, estas son una parte complementaria de este estudio. Por lo que a continuación se explicara un poco mejor que fueron los tipos de fibras que se utilizaron, los diseños de mezcla y los resultados reflejados.

Las fibras es un material que siempre ha estado presente en el uso de estructuras y que se agrega al concreto durante el proceso de la mezcla, se pueden clasificar bajo la norma de Especificación estándar para el concreto reforzado con Fibras (ASTM C1116M / EN14889). Existen diferentes tipos de fibras, las cuales son fibras de acero, plástico, vidrio y materiales naturales (celulosa de madera). Todas estas fibras se encuentran en diferentes formas, tamaños y espesores. Los factores primordiales que controlan el desempeño del material compuesto son:

1. Propiedades físicas de las fibras y de la mezcla.
2. Resistencia de adherencia entre las fibras y la mezcla.

Figura 29: Concreto con fibras de acero



Fuente: Elaboración propia (2016).

Se adicionan al concreto en volúmenes muy bajos, generalmente menos del 1%, y demuestran eficiencia en el control de las fisuras por retracción. Si las cantidades son adecuadas, no trastorna la retracción libre del concreto y pueden llegar a aumentar la resistencia al agrietamiento y disminuir el tamaño de las fisuras. Las fibras se distribuyen de forma aleatoria por toda la sección transversal del concreto.

Los concretos con fibras son adecuados para el uso en secciones muy delgadas, en donde llegar a colocar armadura convencional, puede llegar a ser muy difícil.

Tipo y propiedades de fibra utilizada

Fibra de Acero

Las fibras de acero son pedazos pequeños de aceros delgados, y con muchas secciones transversales. Algunos tipos de fibras tienen los extremos conformados para mejorar la resistencia al arrancamiento del concreto.

Figura 30: Las fibras de acero con extremos conformados se pegan para formar haces que facilitan el manejo y el mezclado. Durante el mezclado se separan en fibras individuales.



Fuente: Elaboración propia (2016).

1. Tipo I, fibras de alambre conformadas a frío, estas están elaboradas de alambre de acero conformado.
2. Tipo II, fibras cortadas de chapa, elaboradas de cortar chapas de acero.
3. Tipo III, fibras extraídas de fundición, son elaboradas por medio de una rueda en rotación que es utilizada para levantar el metal líquido de una superficie de metal fundido. El metal que queda fundido es retirado y se congela en forma de fibras y se quita de la rueda por la fuerza centrífuga. Las fibras que resultan de esta acción tienen una sección transversal en forma de media luna.
4. Tipo IV, otras fibras, cumple con las tolerancias de longitud, diámetro y esbeltez especificadas, así también como la resistencia a la tensión mínimas y los requisitos de flexión.

El volumen de fibra de acero utilizado en concreto varía de 0.25% al 2%, cuando el valor aumenta del 2% se puede producir una reducción en la trabajabilidad y no se van a dispersar de manera adecuada las fibras. Esto lleva a que se necesiten diseños especiales de mezclas u otro tipo de técnicas de fundición y colocación, las cuales no son las utilizadas normalmente.

Las fibras afectan de manera mínima la resistencia a la compresión. Al adherir a una mezcla fibras de acero se puede aumentar la resistencia a la flexión de un 25% a

un 100%, esto depende directamente de la proporción de fibra que se agrega a la mezcla. Mientras que la resistencia a la compresión puede aumentar un 10% aproximadamente. Estos aumentos en las resistencias dependen directamente del espacio que exista entre las fibras, la adherencia que tengan las fibras con el concreto y del área de la superficie de las fibras.

La durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero depende de los mismos factores que el concreto convencional. Media vez el concreto este proporcionado y colocado de manera correcta, va a ocurrir una corrosión casi nula de las fibras. Si en la superficie se dan problemas de corrosión de las fibras esto solo es un problema de la apariencia del concreto no de sus condiciones estructurales.

Las fibras de acero son utilizadas regularmente en pavimentos, tableros de puentes o pisos industriales esto con el fin de reducir el uso de acero de refuerzo convencional. Es utilizado en estos lugares ya que ha demostrado que puede durar hasta tres veces más que concreto sin ninguna adición de fibras. Otra aplicación de concreto con fibras de acero puede ser los prefabricados de concreto, ya que provee un aumento de la resistencia al impacto. Se utiliza fibras de acero para poder proporcionar a una mezcla resistencia al agrietamiento así como al desgaste por la abrasión.

A las mezclas con adición de fibra, se especificaron y diseñaron para una resistencia de 4000 psi a 28 días. En los resultados observaremos que la resistencia a compresión da valores más altos que los de diseño.

Para la elaboración de las mezclas con adición de fibra se realizaron los mismos procedimientos que para las mezclas CCR con la diferencia de que en primer lugar, se elaboró la mezcla, se hizo el ensayo del cono Abrams para obtener el asentamiento antes de la adición. Luego, se adicionó fibra y se midió de nuevo el asentamiento. Al terminar este proceso, se realizaron las pruebas de con el consistómetro Vebe.

Figura 31: Ensayos a mezclas con Adición de Fibra (a) Fibra medida para adicionar a una mezcla, (b) Ensayo de Cono Abrams antes de la Fibra, (c) Ensayo de cono de Abrams después de la Fibra, (d) ensayo de consistómetro Vebe de mezcla con fibra, (e) disco sobre mezcla con fibra.



(a)



(b)



(c)

(d)



(e)

Fuente: Elaboración propia 2016

Para finalizar, se elaboraron especímenes cilíndricos para obtener su resistencia a compresión, los cilindros con adición de fibra metálica se compactaron por medio de un vibrador de inmersión.

Figura 32: Cilindros para ensayo a compresión (a) Cilindros de mezcla con adición de fibra, (b) Ensayo a compresión de cilindros.



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia 2016.

Componentes para 1 m ³		Mezclas con Fibra		
		Dosificación de Fibra		
		Mezcla 6	Mezcla 7	Mezcla 8
Datos Diseño Teórico	Variable	dosis 1	dosis 2	dosis 3
	Mezcla de concreto	4000 - 1"	4000 - 1"	4000 - 1"
	Materiales	PPO / CFB	PPO / CFB	PPO / CFB
	Slump (plgs)	5 1/4	5 1/4	3 3/4
	Slump Fibra (plgs)	2 3/4	2 1/2	1 3/4
	Tiempo Vebe (s)	4	4	7
	f'c 7 días (psi)	5,525	5,235	5,370
	f'c 28 días (psi)	6,410	6,525	6,610
	Cemento CFB (kg/m³)	320	320	320
	Agua (lt/m ³)	160	160	160
	Piedrín 1" Agreca PPO curva 56 (kg/m³)	650	650	650
	Piedrín 3/8" Agreca PPO curva 8 (kg/m³)	410	410	410
	Arena 0 - 1/4" PPO (kg/m³)	855	855	855
	Aditivo Poly 789 (ml/kg cto)	4.0	4.0	4.0
	Fibra (kg/m³)	20	30	40
Relación W / C	0.50	0.50	0.50	

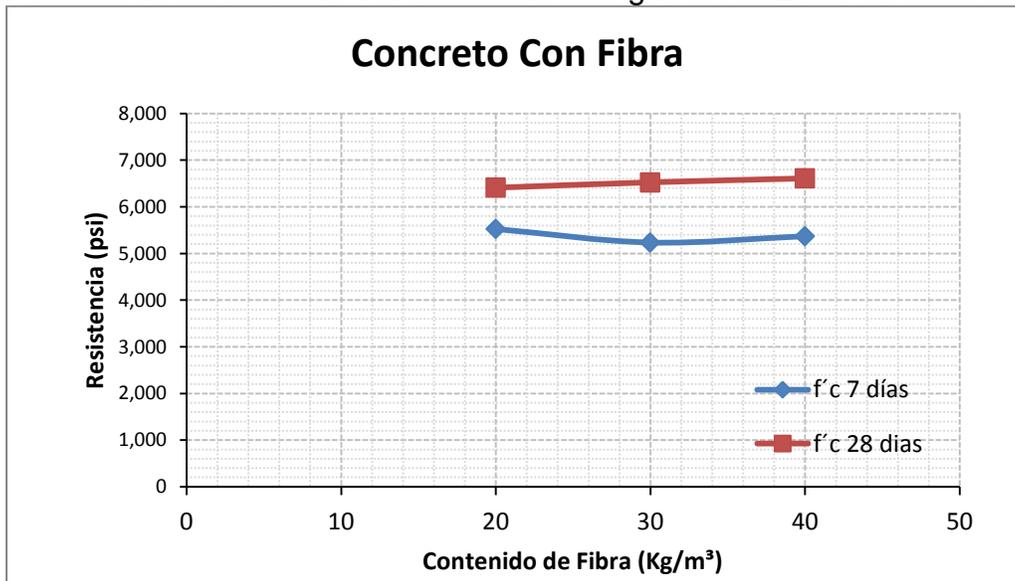
Resultados de asentamiento, tiempo Vebe y ensayos complementarios

Junto con el ensayo del consistómetro Vebe, se realizaron pruebas complementarias. A continuación se hace un recuento de los resultados obtenidos en los distintos ensayos.

Tipo de mezcla	Masa unitaria (Kg/m ³)	Contenido de aire (%)	Temperatura (°C)	Asentamiento sin fibra (cm)	Asentamiento con fibra (cm)	Tipo de asentamiento	Asentamiento en escala inicial (cm)	Tiempo Vebe (s)	Asentamiento en escala final (cm)
FIBRA DOSIS 1	20.73	1.4	20.5	13.35	7.00	A	4.6	4	17.00
FIBRA DOSIS 2	20.75	1.5	20.5	13.35	6.35	A	4.3	4	17.20
FIBRA DOSIS 3	20.79	1.7	20.5	9.50	4.45	A	1.0	7	17.30

En la figura 33 se muestra la gráfica que relaciona la resistencia del concreto con el contenido de fibra metálica en kg/m^3 para cada una de las mezclas en que se utilizó la adición de este tipo de fibra.

Figura 33: Grafica de Resistencia Vs. Contenido de Agua en mezclas de concreto con Fibra.



Fuente: Elaboración propia 2016.

Diseño de mezclas

No. Prueba: mezcla 6

Fecha: 23/08/2016

Título: Mezcla Fibra Dosis 1

Especificaciones		
------------------	--	--

f'c o MR	280	Kg/cm ²
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	125+/- 25	mm
Peso	2300/2400	Kg/cm ³
Colocación	Directo/Bombeado	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Datos de la materia prima	?	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
---------------------------	---	-----	-----	-------	------------

Cemento	CFB	3.00			
Agua		1.00			
3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55% Gruesos
3/8	PPO	2.65	1.10	0.60	61%
Arena		2.59	2.20	1.87	45% finos
					100%

Diseño Teórico	Kg/m ³	m ³
----------------	-------------------	----------------

Cemento	320	0.107
Agua	160	0.160
¾	650	0.243
3/8	410	0.155
Arena	855	0.330
Vacíos	0.50%	5.000
Total	2395	1.000
Polyheed 789	4	ml/kg cto
Fibra	15	mkg/m ³
Relación A/C	0.5	

0.035 m ³	Bache Práctico
----------------------	----------------

11.20 kgs	Cemento CFB
5.80 Kgs	Agua
22.70 Kgs	¾
14.30 Kgs	3/8
29.80 Kgs	Arena
83.8 Kgs	Total
44.80 ml	Polyheed 789
0.00	Fibra

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 7

Fecha: 23/08/2016

Título: Mezcla Fibra Dosis 2

Especificaciones		
f'c o MR	280	Kg/cm ²
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	125+/- 25	mm
Peso	2300/2400	Kg/cm ³
Colocación	Directo/ Bombeado	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Datos de la materia prima		—	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
Cemento	CFB	3.00				
Agua		1.00				
3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55% Gruesos	61%
3/8	PPO	2.65	1.10	0.60		39%
Arena		2.59	2.20	1.87	45% finos	100%

Diseño Teórico	Kg/m ³	m ³
----------------	-------------------	----------------

0.035 m ³	Bache Práctico
----------------------	----------------

Cemento	320	0.107
Agua	160	0.160
3/4	650	0.243
3/8	410	0.155
Arena	855	0.330
Vacios	0.50%	5.000
Total	2395	1.000
Polyheed 789	4	ml/kg cto
Fibra	25	mkg/m ³
Relación A/C	0.5	

11.20 kgs	Cemento CFB
5.80 Kgs	Agua
22.70 Kgs	3/4
14.30 Kgs	3/8
29.80 Kgs	Arena
83.8 Kgs	Total
44.80 ml	Polyheed 789
0.00	Fibra

Diseño de mezcla

No. Prueba: mezcla 8

Fecha: 23/08/2016

Título: Mezcla Fibra Dosis 3

Especificaciones

f'c o MR	280	Kg/cm ²
Edad	28	Días
TMA	25	mm
Slump	125+/- 25	mm
Peso	2300/2400	Kg/cm ³
Colocación	Directo/Bombeado	
Contenido de Aire	1.5 +/- 1	Porcentaje

Datos de la materia prima		☐	ABS	Hum	AG/AF	Proporción
Cemento	CFB	3.00				
Agua		1.00				
3/4	PPO	2.67	1.00	0.70	55%	61%
3/8	PPO	2.65	1.10	0.60	Gruesos	39%
Arena		2.59	2.20	1.87	45% finos	100%

Diseño Teórico	Kg/m ³	m ³
----------------	-------------------	----------------

Cemento	320	0.107
Agua	160	0.160
3/4	650	0.243
3/8	410	0.155
Arena	855	0.330
Vacios	0.50%	5.000
Total	2395	1.000
Polyheed 789	4	ml/kg cto
Fibra	35	mkg/m ³
Relación A/C	0.5	

0.035 m ³	Bache Práctico
----------------------	----------------

11.20 kgs	Cemento CFB
5.80 Kgs	Agua
22.70 Kgs	3/4
14.30 Kgs	3/8
29.80 Kgs	Arena
83.8 Kgs	Total
44.80 ml	Polyheed 789
0.00	Fibra



**cementos
PROGRESO®**

Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Fecha impresión: 2016.09.20
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 28555-6
Fecha OT: 2016.08.23

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE
CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA 6	28555-6-01	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.38	18265	684.0	37.4	5430	2
2	MEZCLA 6	28555-6-02	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.43	18265	708.2	38.8	5620	2
3	MEZCLA 6	28555-6-03	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.38	18265	832.6	45.6	6610	2
4	MEZCLA 6	28555-6-04	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.38	18265	782.6	42.8	6210	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR CETEC. CC-DISEÑO, HECHURA Y EVALUCION DE MEZCLA.

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador

SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



**cementos
PROGRESO®**
Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Fecha impresión: 2016.09.20
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 28555-7
Fecha OT: 2016.08.23

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE
CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA 7	28555-7-01	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.48	18265	679.1	37.2	5390	2
2	MEZCLA 7	28555-7-02	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.51	18265	639.5	35.0	5080	2
3	MEZCLA 7	28555-7-03	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.35	18265	830.3	45.5	6590	2
4	MEZCLA 7	28555-7-04	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.33	18265	813.6	44.5	6460	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos; 6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR CETEC. CC-DISEÑO, HECHURA Y EVALUCION DE MEZCLA.

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas. No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador
SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06



**CEMENTOS
PROGRESO®**

Compartimos Sueños. Construimos Realidades.

CEMENTOS PROGRESO, S.A.
CENTRO TECNOLÓGICO
15 Av. 18-01, zona 6 La Pedrera
Tel: 2286-4178 Fax: 2286-4181



ACREDITADO
OGA-LE-052-13

Fecha impresión: 2016.09.20
Página: 1 de 1
Usuario: DVILLATORO
OT: 28555-8
Fecha OT: 2016.08.23

Cliente: CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO.	Proyecto: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Dirección: 15 AV. 18-01 Z-6 FINCA LA PEDRERA	Dirección: TRABAJO DE TESIS CONSISTOMETRO VEBE
Contacto: ESTUARDO HERRERA/ARIEL OSORIO	Muestra: CILINDROS
Teléfono: 22864100	Analista: DELBERT VILLATORO

INFORME DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE
CONCRETO - NORMA NTG 41017 h1

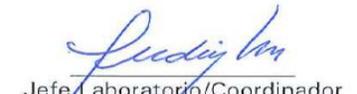
No.	Id. Cliente	Id. Especimen	Ubicación Elemento Fundido	Fecha Hechura	Fecha Rotura	Edad (días)	Tipo Concre (PSI)	Slump (in)/ Flujo (mm)	Masa (kg)	Area (mm ²)	Carga (KN)	Resis -tencia (N/mm ²)	Resis -tencia (PSI)	T. Rot
1	MEZCLA 8	28555-8-01	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.40	18265	684.5	37.5	5440	2
2	MEZCLA 8	28555-8-02	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.08.30	7	CCDISEÑO		13.39	18265	667.6	36.6	5300	2
3	MEZCLA 8	28555-8-03	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.42	18265	838.1	45.9	6660	2
4	MEZCLA 8	28555-8-04	CEMENTO CFB	2016.08.23	2016.09.20	28	CCDISEÑO		13.49	18265	826.1	45.2	6560	2

T. Rot: 1 = Cónica; 2 = Cónica y vertical; 3 = Columnar; 4 = Diagonal; 5 = Fractura en los extremos;
6 = Similar tipo 5 pero extremo puntiagudo

Observaciones: MUESTREO REALIZADO POR CETEC. CC-DISEÑO, HECHURA Y EVALUCION DE MEZCLA.

Los resultados de ensayos se refieren únicamente a las muestras presentadas.
No debe reproducirse este informe, salvo que se haga íntegramente.


Analista


Jefe Laboratorio/Coordinador
SGL-CT-CP-IE-02/Rev.06