



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**ESTUDIO COMPARATIVO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS DE
MEZCLAS DE CONCRETO DE 3000 PSI CON ADITIVO RMIX S30 Y MEZCLAS
DE CONCRETO DE 3000 PSI SIN USO DE ADITIVOS.**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Brenda Verónica Aragón Gutiérrez.

Tutor

Ing. Israel Morales.

Asesor

Msc. Ing. Carlos Gutiérrez.

Managua, febrero 2017

DEDICATORIA

En primer lugar, dedico este trabajo monográfico a Dios: por darme la oportunidad de vivir y fuerzas para llegar a este momento tan lleno de felicidad y dicha, mismo que quiero compartir con todos mis seres queridos.

A mis padres: Margarita Gutiérrez y Luis Aragón, con mucho cariño por el apoyo incondicional que me dieron durante esta y todas las etapas de mi vida. A ellos les dedico con mucho amor mis metas y mis logros. Gracias por ser los principales pilares de mi vida.

A mi tío: Ing. Carlos Gutiérrez que estuvo en todo momento apoyándome. Sin su apoyo y comprensión no habría llegado a este momento, por ello le dedico con mucho amor este trabajo.

A mis queridas abuelitas: Mercedes, como me habría encantado que estuvieras a mi lado. Sé que desde el cielo estarás orgullosa de mí. Te extraño Mucho. Francisca, tu ejemplo y consejos cambiaron significativamente mi vida, gracias por estar siempre a mi lado, espero también estés orgullosa de mi.

Y, por último, pero no menos importante, a mis tíos, primos y sobrinos: ya que son parte esencial de mi vida, que estuvo en todo momento apoyándome. Con mucho amor y cariño.

Agradecimiento

Agradezco antes que todo a Dios, por haberme permitido la culminación de este trabajo monográfico, a mis padres y a la Universidad Nacional de Ingeniería, así como a todas las personas que directa e indirectamente apoyaran este proyecto que a continuación se mencionan:

Ing. Bayardo Umaña.
(Presidente ASERQUIM.)

Ing. Glenda Membreño.
(Coordinadora Control de calidad de concreto CEMEX Nicaragua.)

Ing. Evangelina López.
(Coordinadora Laboratorio control de calidad de cemento CEMEX Nicaragua.)

Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba.
(Decano de la FTC Universidad Nacional de Ingeniería.)

Ing. Marcos Bermúdez.
(Jefe Laboratorio de suelos IMS)

Sr. Johnny Robles Díaz.
(Técnico de Laboratorio de materiales UNI-RUPAP)

Todos los miembros del laboratorio de materiales del MTI.

Todos los miembros del laboratorio de control de calidad concretos Plantel San Cristóbal. CEMEX.

Todos los miembros del laboratorio de materiales del IMS.

RESUMEN EJECUTIVO.

El concreto, más que un producto, es un conglomerado de múltiples tecnologías. Desde lo que nos provee la propia naturaleza como son: los agregados, que existe cierta disertación entre si son inertes o no inertes en la mezcla de concreto, pero que su uso se atribuye principalmente; por que influyen favorablemente en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía. El agua, que juega un papel importante tanto en la formación de los productos de hidratación como en el curado del concreto; y el aire, que se encuentra atrapado naturalmente en la mezcla de concreto pero que también puede estar intencionalmente.

Luego tenemos lo que nos provee la propia invención del hombre, como lo es el cemento, esto que es producto de un complejo proceso industrial y que da como resultado complejas reacciones químicas, para la formación de la pasta cementante que une a cada una de las partículas (agregados) para formar una masa homogénea que endurece con el tiempo, y los aditivos, que no es un término reciente, pero que a través de la historia podemos observar su importancia, como nuevo componente del concreto y las razones de por qué su uso está debidamente justificado, ya que nos permite mejorar algunas propiedades del concreto, que es el objetivo de este trabajo monográfico, investigar que variaciones hay en las propiedades del concreto tales como: tiempos de fraguado, revenimiento y resistencia a la compresión, siendo el aditivo en estudio **RMIX S30**.

En esta investigación se utilizaron dos tipos de cementos, cemento **CANAL** y **CANAL PLUS 5000** que de acuerdo a la norma **ASTM C 1157**, son cementos tipo **GU** y **HE** respectivamente, para hacer una comparación del comportamiento de los mismos con el aditivo **RMIX S30** y comprobar que tan efectivo es el uso de dicho aditivo.

Los agregados utilizados para la elaboración de los diseños de mezclas de concreto sin aditivo y con aditivo, fueron grava de ¾" y material cero comercializados por **CEMEX Nicaragua** (Platel San Cristóbal) y **AGRENIC**.

Ya seleccionados los materiales, se prosiguió a realizarles las respectivas pruebas para determinar sus propiedades según los procedimientos descritos en las normas **ASTM** (American Society for Testing and Materials). Los ensayos para determinar las propiedades del cemento CANAL Plus 5000 (con y sin aditivo), se realizaron en el laboratorio de control de calidad de cemento de CEMEX plantel San Rafael del Sur y las propiedades de los agregados del Banco San Cristóbal se realizaron en el laboratorio de control de calidad de concreto del plantel de concretos y agregados CEMEX-San Cristóbal. Los ensayos para determinar las propiedades tanto del cemento CANAL (con y sin aditivo), como de los agregados del banco AGRENIC se realizaron en el laboratorio de materiales y suelos **UNI-RUPAP**.

Una vez determinadas las propiedades de los materiales componentes del concreto, en los análisis preliminares, se utilizó el método de diseño de mezclas de concreto de peso normal, recomendado por el American Concrete Institute ACI **211.1**; ya que es un método muy sencillo y rápido para estimar las proporciones de mezclas de concreto. Se decidió trabajar con un concreto de **3000 PSI** por ser el más comercializado en el país, con un revenimiento de **3" a 4"** sin aire incluido. Primero se realizó una mezcla de concreto sin aditivo para cementos CANAL Plus 5000 y agregados del banco San Cristóbal, a esta mezcla se denominó Patrón 1, luego de determinar las propiedades del concreto en estado fresco y las pruebas para determinar la resistencia a la compresión a edades de 1,3,7,14 y 28 días para probetas de 4 x 8¹ pulgadas, se encontró que estos resultados eran satisfactorios, se prosiguió a realizar pruebas con aditivo RMIX S30 variando la dosificación de un rango de 50 ml a 150 ml por bolsa de cemento, con el mismo diseño de la mezcla patrón bajo las mismas condiciones y procedimientos.

Para las pruebas con cemento CANAL (tipo GU) y agregados del banco AGRENIC, se analizó la mezcla de prueba sin aditivo denominada patrón 2, donde se determinaron las propiedades de la mezcla en estado fresco para luego realizar

¹ La norma ASTM C 42 Proporciona factores de corrección para la resistencia de cilindros con diferentes relaciones de altura a diámetro, como se utilizaron cilindros de 4 x 8 pulgadas y cilindros estándar de 6 x 12 pulgadas, la relación entre su altura y diámetro es 2.00, por lo tanto, el factor de corrección de la resistencia es 1.00.

los ensayos a compresión en probetas estándares de 6 x 12 pulgadas a edades de 7, 14 y 28 días, estos ensayos se realizaron en el laboratorio de materiales y suelos de la **UNI-RUPAP**; por problemas técnicos, solo se lograron obtener los resultados de resistencia a compresión en las probetas de 7 días de curado para la prueba patrón 2, sin posibilidades de probar a las edades de 14 y 28 días ni realizar las pruebas con el aditivo , razón por la cual este procedimiento se continuó en el laboratorio de materiales y suelos de **IMS** donde se analizó la prueba patrón 3 con y sin aditivo RMIX S30.

Las pruebas para mezclas de concreto en estado fresco con aditivo RMIX S30 y reducción de agua en un rango de 5 a 15 %, se realizaron en el laboratorio de IMS y la confección de las probetas para los ensayos de resistencia a la compresión, las pruebas de ruptura se realizaron en el laboratorio de materiales y suelos del **MTI**, donde se culminaron los experimentos para este trabajo monográfico.

Los ensayos de la mezcla patrón 2, aunque no se pudieron continuar, dichos resultados se presentarán en los anexos. También se realizaron pruebas con otro aditivo llamado polyheed que es un producto ya certificado, el cual su dosificación es de 6 ml por kilogramo de cemento, se utilizó esta misma dosificación para el aditivo RMIX S30 para comparar ambos resultados, pero al no ser este el objetivo de este trabajo investigativo, igualmente dichos resultados se presentaran como anexos.

I. INTRODUCCION

Hoy en día, gracias a los avances tecnológicos se han desarrollado nuevos sistemas constructivos, donde la selección de los materiales está asociada principalmente al conocimiento de sus propiedades tanto físicas como mecánicas, debido a esto el concreto ha venido tomando un lugar primordial en la industria de la construcción, ya que se usa en todo tipo de obra civil, y es un material de aceptación universal, por la disponibilidad de los materiales que lo componen.

El concreto es un material conglomerado, durable, moldeable y resistente que se obtiene de la mezcla de otros materiales debidamente dosificados como lo son: el cemento, los agregados (finos y gruesos), agua y aire, los cuales se integran para formar elementos monolíticos, que han permitido la concepción de magnificas estructuras. A pesar del uso común del concreto, pocas personas están conscientes de las consideraciones involucradas en el diseño de un concreto de alta calidad, lo que da la noción que hacer un buen concreto puede parecer simple, pero no es así. Aunque aparentemente se logren obtener supuestos beneficios económicos con ofertas de bajo precio, la diferencia entre un producto de calidad y los demás se manifiesta, tarde o temprano en la obra, en su seguridad y en el prestigio de quien la construye.

Sin embargo sus propiedades pueden modificarse agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación, para ajustar ciertas características como: el tiempo de fraguado o endurecimiento, reducir la demanda de agua, aumentar la trabajabilidad, incluir intencionalmente aire, y ajustar otras propiedades del concreto, los cuales han permitido la producción de concretos con características diferentes a los tradicionales, han dado un creciente impulso a la construcción y se consideran como un nuevo ingrediente, conjuntamente con el cemento, el agua y los agregados.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no

combustible, durable, resistente al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento.

El presente trabajo consiste en un estudio comparativo de las propiedades físico-mecánicas de mezclas de concreto de 3000 psi como resistencia mínima, usando aditivo RMIX S30, y comprobar que su uso modifica de una u otra forma sus características, para satisfacer la gran mayoría de las necesidades para los usuarios del concreto en Nicaragua.

La metodología a seguir es mediante la realización de ensayos correspondientes, a cada uno de los materiales que se utilizan en el diseño de mezclas de concreto para discutir sus propiedades, cuyos resultados servirán como base para la realización de especímenes de concreto con aditivo y sin aditivo, a diferentes edades y presentar un análisis experimental, tanto en estado fresco como endurecido, los cuales deberán ser efectuados en el laboratorio de materiales de construcción, esto claro está, para establecer parámetros de comparación y obtener datos estadísticos para lograr resultados más precisos, y mediante su adecuada interpretación ingenieril, lograr predecir con bastante aproximación, el comportamiento de mezclas de concreto bajo la acción de las cargas a que sean sometidos.

II. ANTECEDENTES

La historia del hombre siempre ha estado ligada a sucesos de gran esplendor, los cuales han significado cambios radicales que le han permitido al ser humano evolucionar en su forma de pensar y de vivir. Es su capacidad de razonar lo que le ha permitido al hombre comprender que los materiales a su disposición pueden ser transformados en algo totalmente diferente, así como también el entorno donde vive para satisfacer sus propias necesidades.

Los primeros materiales de construcción empleados por el hombre fueron el barro, la piedra, y fibras vegetales como madera o paja, los cuales se han venido modificando gracias a los progresos logrados por técnicas empleadas que junto con la ciencia se han desarrollado nuevas tecnologías para crear materiales más sofisticados y que respondan mejor a las necesidades que conlleva vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Y es en esta carrera por crear un material constructivo que responda bien a las especificaciones requeridas para la construcción en donde el hombre ha logrado conquistar nuevos horizontes como lo es la tecnología del concreto:

Los primeros indicios del concreto se atribuyen a las grandes civilizaciones.

Antiguo Egipto: - Los egipcios usaron yeso calcinado para pulir o alisar sus estructuras de ladrillo o piedra.

Antigua Roma: - Entre los romanos aparece un material conocido hoy en la construcción: el cemento, constituido por calcita y arcilla cocidas (magras naturales) (Félix Orus Asso, 1974). Frecuentemente usaron agregados de ladrillo quebrado fijados en una mezcla de cal con polvo de ladrillo o ceniza volcánica, y es justamente aquí donde se atribuyen los antecedentes más remotos de los aditivos químicos, en los concretos romanos, a los cuales se incorporaba sangre y clara de huevo.

Luego de las importantes mejoras aportadas por los romanos, las técnicas de construcción no cambiaron durante mucho tiempo.

Fue sino hasta el siglo pasado, tiempo después que Joseph Aspdin patentó en Inglaterra el 21 de octubre de 1824, un producto que llamó «Cemento

Portland», donde el uso de aditivos químicos en los hormigones revolucionó el campo de la construcción.

La primera adición de cloruro de calcio como aditivo a los hormigones fue registrada en 1873, obteniéndose su patente en 1885. Al mismo tiempo que los aceleradores, los primeros aditivos utilizados fueron hidrófugos. Igualmente, a principios de siglo se ensayó la incorporación de silicato de sodio y de diversos jabones para mejorar la impermeabilidad.

En ese entonces, se comenzaron a añadir polvos finos para colorear el hormigón. Los fluatos o fluosilicatos se emplearon a partir de 1905 como endurecedores de superficie. La acción retardadora del azúcar también había sido ya observada.

Para la construcción de túneles, especialmente para las grandes centrales hidroeléctricas y la minería, se utilizó la técnica del hormigón proyectado que, a su vez, requiere de aditivos acelerantes de muy rápido fraguado para obtener una construcción eficiente y segura.

El primer conjunto de procedimientos y especificaciones data de 1950 y se relacionó al primer tipo de aditivo, incorporadores del aire. Ya en esta normativa se observa la necesidad de crear un grupo de procedimientos que consideren pruebas estándares, materiales controlados, equipos específicos y parámetros comparativos con una mezcla patrón sin el aditivo, para clasificar un producto como aditivo incorporador de aire.

En Europa los primeros conjuntos de normas datan de 1958 en España y 1963 en Inglaterra. En 1962, ASTM extendió la normativa de clasificación a otros tipos de aditivos.

III. JUSTIFICACION

En Nicaragua así como en el resto del mundo, el concreto es un material de construcción muy popular, y como todo lo que proporciona la invención del hombre, no es del todo perfecto; es por eso que siempre se ha visto en la constante necesidad de mejorar este extraordinario material, y esto se ha venido manifestando principalmente en el mejoramiento de sus características, ya sea modificando sus elementos en sí o simplemente adicionando agentes, los cuales su única función es modificar ciertas propiedades.

En la industria del concreto, siempre se deben de tomar ciertas consideraciones como son: las condiciones de diseño de la obra, la ubicación donde se realizará la construcción, el proceso constructivo y las condiciones económicas, lo cual se requiere conocerlas a fondo; Por lo tanto es aquí donde todos los involucrados en la construcción tienen que ingeniárselas para solucionar cualquier inconveniente que se presente durante las diferentes etapas de planeación y ejecución de una obra de concreto. Es importante mencionar que en Nicaragua se ha trabajado con aditivos químicos desde hace ya algunos años, sin embargo, no se cuenta con pruebas que respalden la información que presentan los distribuidores de los mismos; documentación que generalmente ha sido desarrollada en otros países con condiciones completamente diferentes a las que en este país se presentan.

RMIX S30 es una emulsión de dispersión altamente concentrada, muy fina y baja viscosidad. Este aditivo ha sido especialmente desarrollado para su aplicación en la fabricación de elementos de concreto. RMIX S30 es una dispersión modificada de polisiloxano en base acuosa, que permite el retraso del proceso de fraguado de productos prefabricados y fluidifica la mezcla de concreto. Este es un producto aun no comercializado en Nicaragua, el cual requiere de sus respectivas pruebas de laboratorio para comprobar su funcionalidad y desempeño al momento de ser aplicado en obras de construcción. Es debido a esto que se estudiará la integración de este aditivo en mezclas de concreto y la presente investigación, se enfoca en el

mejoramiento de un diseño de concreto patrón a través de dicho aditivo, modificando sus propiedades físicas y mecánicas ya que estas sufren una variación con respecto al diseño de referencia.

Este aditivo es una nueva iniciativa, elaborado por Asesoría Química - **ASERQUIM**, la cual es una empresa nicaragüense dedicada a la investigación, desarrollo, producción y venta de aditivos.

IV. OBJETIVO.

4.1 Objetivo General:

Contribuir al conocimiento mediante la medición, evaluación y comparación de las propiedades físico-mecánicas de mezclas de concreto de 3000 psi con aditivo RMIX S30 y sin uso de aditivos.

4.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos y gruesos de mezclas de concreto.

- ✓ Establecer las propiedades del cemento hidráulico para mezclas de concreto:
 - Consistencia normal del cemento.
 - Densidad del cemento hidráulico.
 - Tiempo de fraguado por la aguja de Vicat.

- ✓ Identificar qué influencia tiene en el comportamiento mecánico la presencia de variaciones de revenimiento en mezclas de concreto con aditivo y sin aditivo.

- ✓ Analizar la variación de la resistencia mecánica en mezclas de concreto con aditivo y sin aditivo a diferentes edades.

V. MARCO TEORICO.

5.1 Definición de Concreto.

Mezcla de cemento pórtland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (ACI 318S, 2014)

5.1.1 Tipos de concreto.

- **Concreto simple:** Material que se obtiene al mezclar cemento, agua y áridos minerales de tamaños varios, superiores e inferiores a 5 mm.
- **Concreto de peso normal:** En general, el concreto de peso normal tiene una densidad (peso unitario) entre 2155 y 2560 kg/m³, y comúnmente se toma entre 2320 y 2400 kg/m³. Concreto que contiene agregados finos y gruesos que cumplen con lo especificado en ASTM C33.
- **Concreto en masa:** No contiene en su interior acero de refuerzo de ninguna clase. Apto para resistir esfuerzos de compresión.
- **Concreto reforzado:** Es el concreto que en su interior tiene armaduras de acero, debidamente calculadas y situadas. Este concreto es apto para resistir esfuerzos de compresión y tensión. Los esfuerzos de tensión los resisten las armaduras de acero. Es el concreto más habitual.
- **Concreto pre-tensado y pos-tensado:** Es el concreto que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tensión. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el concreto fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el concreto ha adquirido su resistencia.
- **Concreto ciclópeo:** Es el concreto que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.
- **Concreto aerocluso:** Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad.

5.2 Materiales componentes para mezclas de concreto:

Los materiales que componen las mezclas de concreto, juegan un papel transcendental puesto que de ellos dependen las propiedades o características generales (mecánicas o fisicoquímicas) del producto terminado.

5.2.1 Cementos:



Fig. 1 Piedra de cantera de la isla de Portland (derecha) al sur de Inglaterra, a la par de un espécimen de concreto (izquierda), de ahí el nombre característico para este tipo de cemento. Imagen PCA 2004.

Esencialmente el cemento es un material con propiedades tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto. Los cementos de mayor uso son los de tipo portland, y su uso está muy generalizado en la construcción e ingeniería civil.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación (**ver sección 5.2.1.3**), el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo. (PCA, 2004)

5.2.1.1 Elección y especificación de cementos.

Al especificarse el cemento para un proyecto, se debe estar seguro de la disponibilidad de los tipos de cemento, además, la especificación debe permitir flexibilidad en la selección del cemento. La limitación de un proyecto a un sólo tipo de cemento, una marca o una norma de cemento puede resultar en retrasos del proyecto y puede impedir el mejor uso de materiales locales. No se deben requerir los cementos con propiedades especiales, a menos que características especiales sean necesarias. Además, el uso de materiales cementantes suplementarios no debe inhibir el uso de cualquier cemento portland o cemento adicionado en particular. Las especificaciones de proyecto deben enfocarse en la necesidad de la estructura de concreto y permitir la utilización de una variedad de materiales para que se alcancen estas necesidades. (PCA, 2004)

5.2.1.2 Clasificación de los cementos

Con un rápido avance, en cuanto a tecnologías para concreto se refiere, hasta la fecha se han desarrollado diferentes tipos de cemento. En Nicaragua se clasifican según la norma **NTON 12 006-11 (Fabricación, uso y manejo del Cemento)**, el alcance de esta norma es hacia todos los cementos fabricados y comercializados en el país, de acuerdo a las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) en sus respectivas designaciones:

- **ASTM C91** Especificación Estándar para Cemento de Albañilería.
- **ASTM C150** Especificación Estándar para Cemento Portland.
- **ASTMC595** Especificación Estándar para Cementos Hidráulicos Adicionados.
- **ASTM C1157** Especificación Estándar de Desempeño para Cemento Hidráulico.

5.2.1.2.1 ASTM C 1157: Cementos utilizados para ensayos de concretos con y sin aditivo RMIXS30.

❖ Tipo GU

El cemento de uso general **tipo GU** es adecuado para todas las aplicaciones donde las propiedades especiales de los otros tipos no sean necesarias. Su uso en concreto incluye pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tubería, productos de concreto prefabricado y otras aplicaciones donde se usa el cemento tipo I.

❖ Tipo HE

El cemento **tipo HE** proporciona alta resistencia en edades tempranas, usualmente menos de una semana. Este cemento se usa de la misma manera que el cemento portland tipo III.

5.2.1.3 Clasificación de los cementos.

Los principales minerales utilizados en la fabricación del clinker de cemento portland son: cal, sílice, alúmina y óxido de hierro, como se describen en la **tabla 1** y corresponden al 90 % de su masa.

Tabla 1. Compuestos principales del cemento portland.			
Nombre del compuesto	Fórmula	Abreviatura	Contenido
Silicato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₃ S	40% a 50%
Silicato dicálcico	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	C ₂ S	20% a 30%
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	C ₃ A	10% a 15%
Aluminoferrita tetracálcica	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	C ₄ AF	5% a 10%

Fuente: Tecnología del concreto A.M. Neville.

5.2.1.4 Hidratación del cemento.

El cemento por sí mismo no es aglomerante, para que se transforme en un agente de enlace, necesita de adecuadas proporciones de agua para que se produzca una pasta cementante, donde comienzan una serie de reacciones

conocidas como hidratación del cemento, aquí los principales componentes como los silicatos y aluminatos mencionados en la sección anterior, en presencia de agua forman productos de hidratación de dos formas distintas, primeramente se produce una adición directa de algunas moléculas de agua lo cual conduce a una hidratación real, el segundo tipo de reacción es conocida como hidrólisis.

Desde un punto de vista, las características de cada constituyente, influyen (unas más que otras) en gran medida en las propiedades principales del cemento, de los cuales el compuesto activo por excelencia es el silicato tricálcico, ya que, al hidratarse se obtiene una resistencia inicial elevada y un calor de hidratación de igual manera elevado, sin embargo, fragua lentamente, también tiene un endurecimiento bastante rápido y una buena estabilidad química. En los cementos de endurecimiento rápido y en los de alta resistencia aparece en una proporción superior a la habitual. Por el contrario, el silicato dicálcico es el que desarrolla en el cemento la resistencia a largo plazo, es lento en su fraguado y en su endurecimiento. Su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos resistentes a los sulfatos llevan un alto contenido de silicato dicálcico. Gracias a la relación que generan estos componentes se asegura el incremento de la resistencia mecánica en el tiempo.

El aluminato tricálcico es el compuesto que gobierna el fraguado y las resistencias a corto plazo. Su estabilidad química es buena frente al agua de mar, pero muy débil a los sulfatos. Al objeto de frenar la rápida reacción del aluminato tricálcico con el agua y regular el tiempo de fraguado del cemento se añade al clinker, piedra de yeso.

El aluminoferrita tetracálcica no participa en las resistencias mecánicas, por considerarse relativamente inactivo ya que su presencia es necesaria por el aporte de fundentes de hierro en la fabricación del clinker y porque favorece en la hidratación de otros compuestos.

5.2.1.5 Fraguado y endurecimiento.

El fraguado es el cambio del estado físico que sufre la pasta de cemento, desde la condición fluida hasta la rígida, a medida que la temperatura se eleva, de cierta manera la pasta adquiere resistencia. Es importante mencionar que el fraguado y el endurecimiento son dos procedimientos distintos, pues este último es el aumento de resistencia de una pasta de cemento fraguada, esto se logra gracias a la acción endurecedora del silicato tricálcico (C_3S) que ocurre en un período de 24 horas a 7 días, mientras que la del silicato dicálcico (C_2S) es de 7 a 28 días, mientras que el Aluminoferrita tetracálcica (C_4AF) cumple como una función catalizadora y aporta poca resistencia.

Muchas veces la pasta de cemento presenta una rigidez prematura y anormal, inmediatamente después del mezclado y sin ninguna evolución de calor. Este comportamiento se conoce como falso fraguado y ocurre cuando se deshidrata una considerable cantidad de sulfatos en el molino de cemento, debido a una mezcla con el clinker demasiado caliente formando yeso, y que, en el proceso de la hidratación estos compuestos se cristalizan rápidamente en forma de aguja con el yeso secundario. Para romper con estos cristales y reestablecer su plasticidad y fragua normal sin adición de agua, es necesario un mezclado complementario.

Otra posible causa del falso fraguado es la precipitación de etringita, también se ha sugerido que puede deberse a una activación de silicato tricálcico por aireación en humedades relativamente altas. La tendencia a que ocurra un falso fraguado no significa un problema en una mezcla de mortero o concreto para adquirir resistencia.

El fraguado rápido o relámpago, es otra forma prematura y anormal de comportamiento de la pasta de cemento. A diferencia del fraguado falso, este no se puede disipar, ni tampoco se puede recuperar su plasticidad ni fragua normal a través de un mezclado complementario sin adición de agua, debido a una rápida pérdida de trabajabilidad producto de una evolución considerable de calor, como resultado esencialmente de la rápida reacción de los aluminatos. Si las proporciones de sulfato de calcio, no son suficientes para

controlar la hidratación del aluminato de calcio, entonces el endurecimiento será aparente.

5.3 Agua.

Como se mencionó en la sección 5.2.1.3, el agua de amasado asume un rol muy importante, porque interviene tanto en las reacciones de la hidratación del cemento, como en el buen desempeño del concreto endurecido. Además de influenciar directamente en la resistencia del concreto por inferir en la relación a/c, también influye en las características de durabilidad del concreto.



Fig. 2 Contacto entre el agua de amasado y partículas de cemento. Imagen, Boletín técnico N° 43 INCYC.

El solo uso de la misma significa un arma de doble filo, ya que, en abundancia será muy nociva para el concreto, dando como resultado una mezcla más porosa, menos densa, más susceptible a los problemas de contracción térmica y por secado, y la sobrante no intervendrá en la hidratación del cemento, se evaporará y creará huecos. Mientras que una reducción excesiva de agua, originará una mezcla seca y no habrá suficiente para que se formen los productos de hidratación necesarios para producir una buena pasta de cemento, y por consiguiente un concreto poco manejable y muy difícil de colocar en obra.

En otras palabras, una dosificación de agua fuera de lo recomendado, incide notablemente en el comportamiento de las estructuras una vez construidas, por que disminuye la resistencia de las mismas.

El agua empleada en el mezclado del concreto debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el concreto o el refuerzo. **(American Institute Of Concrete, 2005).**

Prácticamente, basta con que el agua sea potable y no presente fuerte sabor u olor para utilizarse en el concreto; sin embargo, se pueden utilizar aguas que no sean potables, de ser así, en estos casos es necesario realizar un análisis completo a la calidad del agua, para asegurarse que esta no contenga impurezas, las cuales no sólo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia del concreto, sino también pueden causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Cuando sea necesario el análisis de aguas para su empleo en el concreto la **ASTM C94** presenta criterios de aceptación para el agua de mezclado.

5.4 Agregados.

Los Agregados, por lo general son materiales inertes, es decir, que no desarrollan reacciones con los demás componentes de las mezclas de concreto, en especial con el cemento ya que no toman parte en el fraguado y endurecimiento de los morteros y los concretos. Dicho esto, no es de extrañarse que su uso en la construcción, más que nada, se dé por razones económicas ya que son más baratos que el cemento, por eso aproximadamente el 80% del volumen del concreto es ocupado por los agregados. Sin embargo, es permitido asumir que los agregados no son del todo inertes, porque son un material de construcción unido a un todo cohesivo por medio de la pasta de cemento, y sus propiedades físicas, térmicas y a veces químicas influyen en el comportamiento del concreto.



Fig. 3 Imagen de la izquierda corresponde al agregado grueso (grava) y la imagen de la derecha al agregado fino (material cero). Imagen, fuente propia.

Los agregados no solo desempeñan un factor determinante en la economía del concreto, sino que también proporcionan al mismo una amplia ventaja técnica, al darle estabilidad volumétrica, más resistencia y más durabilidad que si se utilizara solo una pasta de cemento.

5.4.1 Clasificación de los agregados.

En sí los agregados utilizados en la fabricación de mezclas de concretos, se obtienen directamente de la naturaleza, razón por la cual existe una terminología muy amplia respecto a su clasificación, ya sea por su procedencia, peso específico, la más utilizada es según su tamaño.

5.4.1.1 Clasificación según su tamaño.

De acuerdo a su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: agregados finos y los denominados agregados gruesos, esta es quizás la forma más generalizada de la clasificación de estos materiales; que varía en el rango de unos cuantos milímetros hasta partículas pequeñísimas de decimas de milímetros en sección transversal, a esta distribución de partículas se conoce como granulometría.

Los agregados finos, consisten en partículas naturales o manufacturadas, las (Rivera) (ACI 318S, 2014) cuales tienen un tamaño inferior a 4.76 mm (material que pasa el tamiz N°4) y no menor de 0.074 mm o 74 μ m (material retenido en el tamiz N°200), mientras que los agregados gruesos consisten en gravas o piedras trituradas y son aquellos cuyas partículas tienen un tamaño superior a 4.76 mm (material retenido en el tamiz N°4), como se muestra en la **tabla 2**.



Fig. 4. Tamices estandarizados para ensayos de granulometría en agregados finos y gruesos. Fuente: imagen propia.

Tabla 2. Clasificación de los agregados según el tamaño de sus partículas.			
Tamaño en mm.	Denominación más común.	Clasificación.	Uso como agregados de mezcla.
< 0.002	Arcilla.	Fracción muy fina.	No recomendable.
0.002 - 0.074	Limo.	Fracción fina.	No recomendable.
0.074 - 4.76 # 200 - # 4	Arena.	Agregado fino.	Material apto para mortero o concreto.
4.76 - 19.1 #4 - 3/4"	Gravilla.	Agregado grueso.	Material apto para concreto.
19.1 - 50.8 3/4" - 2"	Grava.		Material apto para concreto.
50.8 - 152.4 2" - 6"	Piedra.		
> 152.4 6"	Rajón, piedra bola.		Concreto ciclópeo.

Fuente: Concreto simple capítulo 2, Gerardo Rivera.

5.4.2 Propiedades químicas.

Tal como se expresó en la sección **5.4**, los agregados no son del todo inertes, por lo que se tiene evidencia que tienen cierta reacción con la pasta de cemento, cuando se emplean en el concreto.

5.4.2.1 Epitaxia.

De todas las reacciones químicas que tiene el agregado, la única favorable es la epitaxia; porque mejora la adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta de cemento a medida que transcurre el tiempo, lo cual influye afortunadamente en el desarrollo de las propiedades del concreto endurecido.

5.4.2.2 Reacción alcali-agregado.

El concreto es un material que tiene un excelente comportamiento ante los esfuerzos de compresión, lastimosamente no podemos decir lo mismo respecto a su comportamiento ante los esfuerzos de tensión, debido a que sus resistencias en las zonas de tensión son muy bajas, del orden del 10% en comparación de su resistencia a la compresión. Una de las posibles causas de que una estructura falle en esas zonas de tensión, es debido a una reacción desfavorable de los agregados con los hidróxidos alcalinos del concreto, esta reactividad puede llegar a ser potencialmente perjudicial solo si se produce una expansión significativa.

Estas reacciones se presentan en dos formas, de las cuales la más común es la que se produce entre los óxidos de sílice (SiO_2) en sus formas inestables y los óxidos alcalinos de la pasta de cemento (Na_2O y K_2O), produciéndose un gel que aumenta de volumen a medida que absorbe agua, lo cual origina presiones internas en el concreto que conducen a la expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento, que se conoce como reacción álcali-sílice, lo cual es muy preocupante por ser una fuente potencial de deterioro en el concreto. También existe otra reacción similar entre algunos tipos de caliza dolomítica y los álcalis del cemento, que se llama reacción álcali- carbonato, que es menos frecuente.

5.4.3 Propiedades físicas.

5.4.3.1 Granulometría.

Granulometría es la diferencia de tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados. Una buena granulometría, implica que un agregado posea granos en tamaños y cantidades tales que cada grupo de ellos está en condiciones de rellenar los espacios vacíos o intersticios dejados por los de tamaño inmediatamente superior. Este acomodamiento de las partículas, permite que se reduzca el porcentaje de vacíos al mínimo; y dicho agregado logrará adquirir una alta densidad y compactación máxima en las mezclas de concreto, que repercute en mejores cualidades estructurales como: una mayor resistencia a los esfuerzos de flexión y compresión, así como también beneficios económicos tales como menos requerimiento de pasta de cemento.

Una mala distribución de las partículas de un agregado, se debe a la falta de dos o más tamaños sucesivos, que puede llegar a producir problemas de segregación en una mezcla de concreto.

5.4.3.1.1 Análisis granulométrico.

Consiste en la sencilla operación de separar una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas, la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría.

5.4.3.1.2 Curvas granulométricas.

Los resultados obtenidos en los análisis granulométricos, por lo general se representan mediante las denominadas curvas granulométricas por que facilitan una mejor comprensión e interpretación de los mismos.

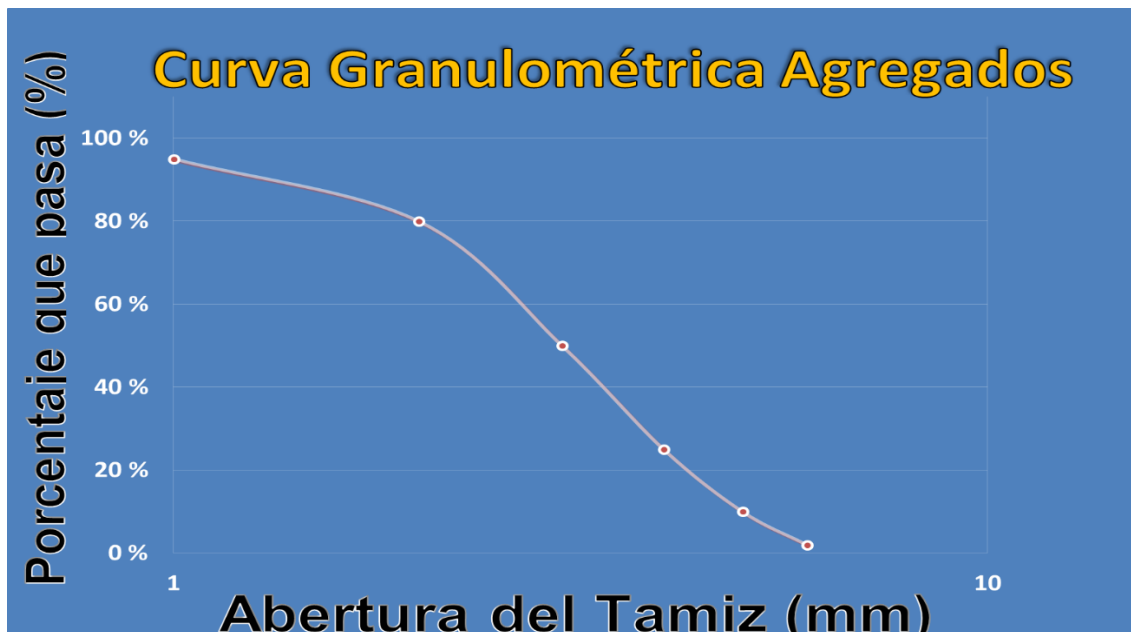


Fig. 5. Curva granulométrica de los agregados. Fuente propia, imagen EXCEL.

Las curvas granulométricas además de ser muy útiles para la composición de los agregados distintos, tienen la ventaja de permitir identificar inmediatamente algunos factores que constituyen una caracterización más de la distribución de los tamaños del agregado.

5.4.3.2 Módulo de finura.

El módulo de finura o módulo granulométrico, es un factor que permite estimar el grosor o finura del agregado. Este se define como la centésima parte del número que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar (nombrados más abajo) y dividiendo la suma entre 100.

Los tamices especificados que deben usarse en la determinación del módulo de finura son:

No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No. 8, No. 4, $\frac{3}{8}$ ".

El módulo de finura se puede calcular a cualquier material y nos da una idea del tamaño del agregado empleado en un concreto, sin embargo, no es índice de granulometría pues pueden existir infinidad de agregados con el mismo módulo de finura que tengan granulometrías totalmente diferentes.

Se recomienda determinar el módulo de finura al agregado fino y según su valor, este agregado se puede clasificar tal como se representa en siguiente tabla:

Tabla 3. Clasificación de los agregados finos según el valor del módulo de finura.	
Módulo de finura	Agregado fino
Menor que 2.00	Muy fino o extrafino
2.00 - 2.30	Fino
2.30 - 2.60	Ligeramente fino
2.60 - 2.90	Mediano
2.90 - 3.20	Ligeramente grueso
3.20 - 3.50	Grueso
Mayor que 3.50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: Concreto simple capítulo 2, Gerardo Rivera.

5.4.3.3 Tamaño máximo.

La malla del tamiz más pequeño por donde pasa la muestra entera del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material.

5.4.3.4 Tamaño máximo nominal del agregado.

Es la abertura más pequeña del tamiz por la cual es permitido que pase la cantidad del agregado.

Se define por **ASTM C125** y **ACI 116** como el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% al 15% de la masa dependiendo del número del tamaño.

A diferencia del tamaño máximo, el tamaño máximo nominal indica de mejor manera el promedio de la fracción gruesa y ambos se determinan exclusivamente al agregado grueso.

5.4.3.5 Densidad.

Puesto que las partículas del agregado suelen contener poros, los cuales se comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables y vacíos que no se comunican con la superficie, es decir que quedan en el interior del agregado llamados impermeables o no saturables, es necesario hacer una distinción en cuanto al término peso específico. De acuerdo a lo anterior tenemos tres densidades diferentes:

Densidad real: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado excluyendo sus permeables o saturables y los no saturables o impermeables.

Densidad nominal: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado excluyendo únicamente los poros sus permeables o saturables.

Densidad aparente: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros no saturables o impermeables.

Por lo general, para calcular mezclas de concreto se emplea la densidad aparente o mejor conocida como densidad absoluta, estos cálculos se basan sobre agregados en condiciones de saturados y superficialmente secos, debido a que el agua que está contenida en todos los poros no toma parte en la reacción química del cemento y, por lo tanto, se puede considerar como parte del agregado.

5.4.3.6 Porosidad, absorción y humedad.

En el inciso anterior se mencionó la presencia de poros internos en los agregados, cuyas características son de mucha importancia en el estudio de sus propiedades. El término porosidad de un agregado se define como la relación de su volumen de vacíos entre su volumen total, incluyendo los vacíos y se expresa como porcentaje de volumen.

La absorción es el porcentaje de agua necesaria para saturar los agregados o concreto, y es expresada con respecto a la masa de los materiales secos, mientras que la humedad es la cantidad de agua presente en el agregado y se

expresa en porcentaje del peso seco de su fase sólida, la **figura 6** representa esquemáticamente las diversas etapas.

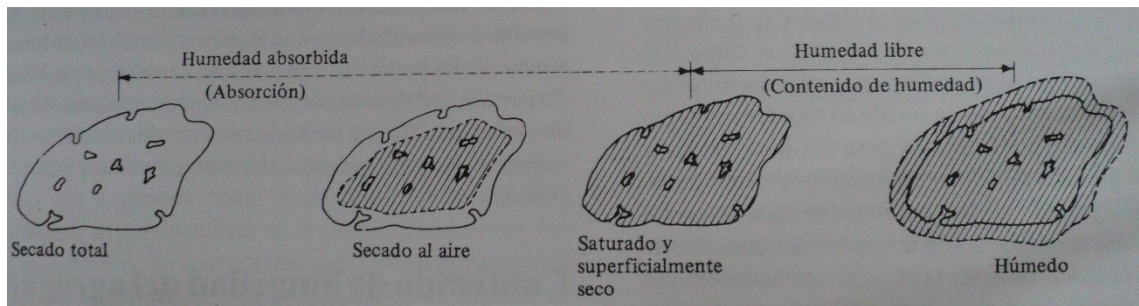


Fig. 6. Etapas del contenido de humedad en los agregados. Imagen, tecnología del concreto A.M. Neville.

La porosidad de los agregados, su permeabilidad y absorción influyen en las propiedades de los agregados tales como la adherencia entre este y la pasta de cemento hidratada, y en la resistencia a la abrasión entre otras.

5.4.3.7 Masa unitaria de los agregados.

La masa unitaria de un agregado (árido) es la relación entre masa de una determinada cantidad de este material y el volumen ocupado por el mismo. En la masa unitaria además del volumen de las partículas del agregado se tiene en cuenta los vacíos que hay entre partículas.

La masa unitaria puede determinarse compactada o suelta, la primera es de suma importancia puesto que se emplea en algunos métodos de dosificación de mezclas de concreto y la segunda se emplea para estimar la cantidad de agregados a comprar si estos se venden por volumen (volumen suelto).

5.4.3.8 Sanidad.

Este es el término que se da a la capacidad del agregado para resistir los cambios excesivos en volumen como resultado de los cambios en las condiciones físicas. Por lo tanto, la falta de sanidad es distinta de la expansión causada por las reacciones químicas entre el agregado y los álcalis del cemento. **(Neville, 1999)**

5.4.3.9 Resistencia mecánica.

La resistencia a la compresión del concreto no puede exceder de la mayor parte de los agregados que contiene, por lo que, la resistencia del concreto endurecido depende más de la resistencia de pasta de cemento y de su adherencia con los agregados, aunque no es difícil establecer cuál es la resistencia de las partículas individuales.

5.4.3.10 Resistencia a la abrasión.

La resistencia al desgaste de un agregado se usa con frecuencia como indicador general de la calidad del mismo, y en particular de su capacidad para producir concretos durables como en el caso de los pavimentos rígidos. Una baja resistencia de un agregado, significa que puede aumentar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y como consecuencia se requerirán ajustes en la relación agua-cemento, debido al aumento de la demanda de agua de amasado.

5.5 Aditivos para Concreto.

Los **aditivos** son sustancias químicas con componentes de naturaleza orgánica (resinas) o inorgánica, generalmente dosificados por debajo del 5 % de la masa del cemento, y se agregan al concreto o mortero durante el proceso de mezclado. Dicha inclusión tiene como objeto modificar las propiedades físicas de los materiales conglomerados en estado fresco, para que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o a las necesidades del constructor. Se suelen presentar en forma de polvo o de líquido, como emulsiones.

Las características más deseables del concreto son: la trabajabilidad, fácil acabado, que sea fuerte, durable y resistente al desgaste. Dichas cualidades se logran fácilmente y económicamente con una buena selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos. Salvo el uso de los aditivos inclusores de aire cuando sea necesario.

Las principales razones para el uso de aditivos en las mezclas de concreto o mortero:

1. Reducción de los costos de construcción de concreto.
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras.
3. Mantenimiento de la calidad del concreto durante las etapas de mezclado, transporte, colado (colocación) y curado en condiciones de clima adverso.
4. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado

A pesar de estas condiciones, se debe observar que ningún aditivo de cualquier tipo o en cualquier cantidad se lo puede considerar como un sustituto de las buenas prácticas de la construcción. **(PCA, 2004)**

Para una mejor efectividad de un aditivo, se deben de considerar todos los factores tales como: tipo marca y cantidad del material cementante, contenido de agua, forma, granulometría y proporción de los agregados, tiempo de mezclado y temperatura del concreto.

Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, por las normas **ASTM**.

5.5.1 Clasificación de los aditivos según la norma ASTM C 494:

5.5.1.1 Reductor de agua o Tipo A:

Los aditivos reductores de agua se usan para disminuir la cantidad de agua de mezcla necesaria para la producción de un concreto con un revenimiento (asentamiento) específico, para reducir la relación agua-cemento, para disminuir el contenido de cemento y para aumentar el revenimiento. Los reductores de agua típicos disminuyen el contenido de agua aproximadamente del 5% al 10%. La adición al concreto del aditivo reductor de agua sin la reducción del contenido de agua puede producir una mezcla con mayor revenimiento. Sin embargo, la tasa de pérdida de revenimiento no se disminuye y en algunos casos se aumenta. La pérdida rápida de

revenimiento resulta en reducción de la trabajabilidad y en menos tiempo para la colocación del concreto.

5.5.1.2 Retardante o Tipo B:

Aquellos que retrasan el tiempo de fraguado (principio y final) del cemento, que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.

5.5.1.3 Acelerante o Tipo C:

Cuya función principal es reducir o adelantar el tiempo de fraguado del cemento (principio y final), que se encuentra en el hormigón, mortero o pasta.

5.5.1.4 Reductor de agua y retardante o Tipo D.

Realiza una acción fisicoquímica con el cemento, favoreciendo la hidratación de las partículas de este, reduciendo el agua de la mezcla y plastificando la masa del concreto o mortero. El uso del aditivo reductor de agua y retardante, provee al mortero de una plasticidad y fluidez adecuada, mejorando las características del mortero tanto en estado plástico como endurecido.

5.5.1.5 Reductor de agua y acelerante o Tipo E.

Resulta de la combinación de compuestos acelerantes y reductores de agua. Mejora las propiedades plásticas y de endurecimiento del mortero, tales como la trabajabilidad y resistencia a la compresión.

5.5.1.6 Reductor de agua de alto rango o tipo F y Reductor de agua de alto rango y retardante o tipo G.

Los aditivos reductores de agua de alto rango se pueden usar para conferir al mortero las mismas propiedades obtenidas por los aditivos reductores de agua normales, pero con mayor eficiencia. En la norma ASTM C-494, corresponden a los Tipos F (reductores de agua) y G (reductor de agua y retardador de fraguado). Estos aditivos pueden reducir grandemente la demanda de agua y el contenido de cemento y pueden producir concretos con

baja relación agua-cemento, alta resistencia y trabajabilidad normal o alta. Esta reducción de la demanda de agua está entre el 12% y 30%, lo que permite producir morteros con:

1. Desarrollo mayor de las resistencias tempranas.
2. Resistencia última mayor de 3000 psi.

Los aditivos reductores de agua de alto rango normalmente son más eficientes en la mejora de la trabajabilidad del concreto que los aditivos reductores de agua regulares.

5.5.2 Clasificación de los aditivos según la norma ASTM C 1017:

5.5.2.1 Plastificante o Tipo I:

Definidos como aquellos cuya función principal es volver más fluida la mezcla de concreto al momento de su incorporación, para una trabajabilidad dada, aumentar la trabajabilidad para un mismo contenido de agua sin producir segregación u obtener ambos efectos simultáneamente.

5.5.2.2 Plastificante y retardante o Tipo II:

Desde un punto de vista teórico, la cantidad de agua a añadir para la obtención de un concreto determinado coincidirá con la estrictamente necesaria para hidratar las partículas de cemento portland (**ver sección 5.2.1.3**), donde el agua de amasado reaccionar con dichas partículas transformándose en un sólido de casi nula porosidad y, consecuentemente, de alta resistencia.

La situación real difiere sensiblemente del supuesto anterior y para entender mejor el funcionamiento de estos aditivos se hace preciso recordar el comportamiento agua-cemento en el proceso de mezclado y fraguado del concreto. Primero se forma la pasta aglutinante producto de la lubricación de las partículas de cemento y de árido tras la adsorción del agua, y luego esta pasta se vuelve cementante producto de la reacción química que se lleva a cabo entre ambas al iniciarse el fraguado.

En la primera de estas etapas es cuando se produce la mezcla de los componentes y las primeras reacciones electroquímicas entre el agua y el cemento, apareciendo las características del hormigón fresco como trabajabilidad, docilidad, consistencia, etc. Estas características están gobernadas principalmente por las reacciones electroquímicas producidas entre las moléculas de agua y los granos de cemento, los cuales poseen un gran número de iones en disolución en su superficie. Estos iones tienden a formar, debido a una afinidad electrostática, flóculos o capas de solvatación al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado, **ver figura 7.**

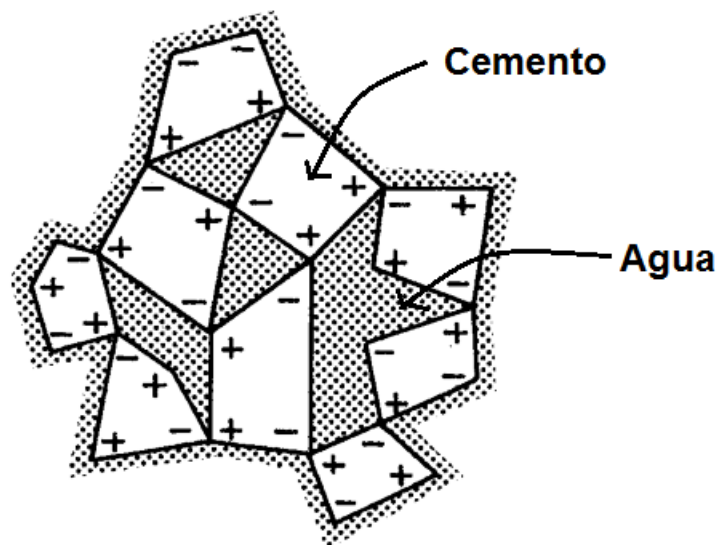


Fig. 7. Floculación de los granos de cemento en presencia de agua. Imagen: Artículo aditivos fluidificantes.

El agua retenida no es utilizable para lubricar la masa de hormigón ni para contribuir a la hidratación de los granos de cemento, lo que implica la necesidad de incorporar una cantidad adicional sustitutoria. Esta agua adicionada, al no poder reaccionar con los granos de cemento anhidro, origina al evaporarse un incremento de la porosidad de la pasta de cemento que implica una cierta pérdida de resistencia del hormigón endurecido y un aumento de su permeabilidad.

Dado que la relación Agua - Cemento de un concreto tiene una importancia trascendental en las características del mismo, especialmente en sus resistencias mecánicas, interesa que en los concretos esta relación sea lo más baja posible, pero esto conlleva ciertas dificultades como son un sistema de mezclado muy eficaz para conseguir una mezcla homogénea y el disponer de medios de compactación muy enérgicos. Con el empleo de estos aditivos pueden eliminarse estos inconvenientes sin necesidad de aumentar la cantidad de agua de amasado.

Los efectos nocivos de la floculación de las partículas de cemento pueden ser contrarrestados, al menos parcialmente, mediante la incorporación a la masa de concreto de determinados aditivos, tales como los reductores de agua o fluidificantes. Estos productos añadidos a los morteros o a los concretos, en el momento del amasado, aumentan la docilidad de los mismos, permitiendo colocar en obra masas de concreto que de otra forma sería muy difícil o bien, reducen el agua necesaria para el amasado en beneficio de las resistencias mecánicas y de la durabilidad.

Los fluidificantes o reductores de agua son productos químicos de naturaleza orgánica formados por macromoléculas tensoactivas capaces de neutralizar las cargas eléctricas de los granos de cemento y, por consiguiente, su capacidad de floculación.

Dichas macromoléculas tensoactivas tienen un extremo de su cadena hidrófilo con afinidad por el agua y otro hidrófobo repulsor del agua (Grupos polares aniónicos), con lo cual quedan adsorbidas y orientadas en la superficie de los granos del cemento. Como resultado de la capa de dipolos de agua fijada se impide la reunión o coalescencia de los granos del cemento actuando como un lubricante y obteniéndose un sistema bien dispersado. Así mismo, liberan el agua atrapada entre los flóculos del cemento que queda disponible para aumentar la fluidez del concreto, **ver figura 8.**

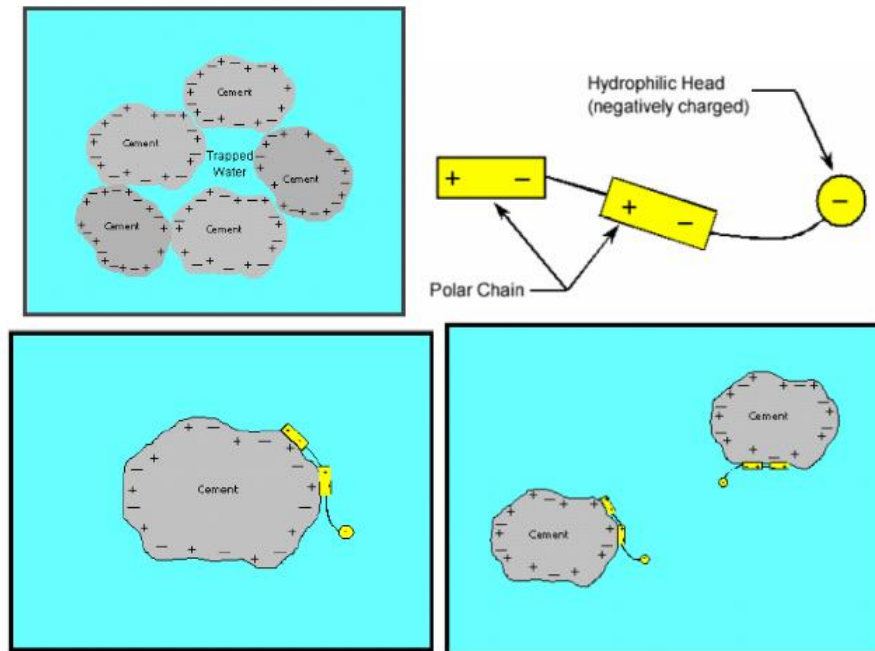


Fig. 8. Modo de actuación de los fluidificantes. Imagen: Artículo aditivos fluidificantes.

Los fluidificantes son, en general:

- 1.- Lignosulfonatos extraídos de los desechos de pasta de papel.
- 2.- Ácidos hidroxicarboxílicos y sales. Por ejemplo, Ácido cítrico y Ácido glucónico
- 3.- Hidratos de carbono: polisacáridos y azúcares.

Debido al carácter dispersante de estos compuestos se obtienen mezclas de menor viscosidad que si se emplea la misma cantidad de agua o bien, mezclas en las que se puede reducir la cantidad de agua a igualdad de viscosidad. La máxima capacidad de reducción de agua de un fluidificante puede llegar a ser del 15 %, dependiendo del tipo de éste.

Las moléculas de los fluidificantes son adsorbidas con mayor intensidad por el C₃A y C₄AF de los cementos portland y por esta razón, tienden a disminuir la velocidad de hidratación del cemento ocasionando un cierto retraso en su fraguado, especialmente al frenar la formación de cristales de C₃A hidratado.

Las funciones principales que estos aditivos comunican a los morteros y concretos son:

- 1.- Aumentar la docilidad sin incrementar la cantidad de agua de amasado,
- 2.- Reducir la relación Agua-Cemento a igualdad de docilidad

Y las secundarias:

- 1.- Reducir la tendencia a segregar del concreto durante el transporte y disminuir la exudación
- 2.- Mejorar la adherencia a las armaduras
- 3.- Incrementar la resistencia a compresión (10-20 % a los 28 días), al permitir reducir el agua de amasado.
- 4.- Aumentar la durabilidad y resistencia a la abrasión
- 5.- Retardar el fraguado tanto inicial como final.

Los efectos secundarios son:

- 1.- Posible aumento de la retracción.
- 2.- Inclusión de aire, sobre todo por los Lignosulfonatos.

Además de otros como:

Inclusores de aire, generadores de gas, generadores de espuma, desaireantes o antiespumantes, generadores de expansión, aditivos para bombeo, aditivos para concretos y morteros proyectados, aditivos para inyecciones, colorantes, inhibidores de corrosión y modificadores de la reacción álcali-áridos.

5.6 Concreto fresco.

Una de las razones por las que el concreto es un material muy utilizado en la construcción, es su facilidad de ser moldeado cuando está recién mezclado ya que, presenta una consistencia semifluida. Al ser un material de fácil moldeo, igualmente es fácil de colocarse en las cimbras (encofrado).



Fig. 9. Concreto recién mezclado. Imagen: Fuente propia.

Dependiendo el tipo de estructura (elementos muy delgados y fuertemente armados) se requerirán diferentes niveles de trabajabilidad en mezclas de concreto, para facilitar su colocación.

5.6.1 Trabajabilidad.

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo. **(PCA, 2004)**

Los métodos de colocación, consolidación y tipo de concreto son factores que influyen en la trabajabilidad del mismo, igualmente el conocimiento de las características y buen proporcionamiento de los agregados, así como del material cementante tendrán una considerable influencia en la trabajabilidad.

5.6.2 Sangrado y asentamiento.

El sangrado, también conocido como exudación, es el desarrollo de una película de agua en la superficie del concreto recién colocado. La capacidad que tienen las partículas sólidas (del concreto) de sedimentarse (asentamiento) y sumado a la subida del agua hacia la superficie, son una de las principales causas de exudación. Sin embargo, es un comportamiento normal del concreto y no debería de disminuir su calidad si este es adecuadamente colocado, acabado y curado.

Si se hace un acabado prematuro sobre la superficie del concreto, se formará una capa superficial débil y con poca durabilidad. El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado.

5.6.3 Consolidación.

Para un mejor acomodamiento de las partículas del concreto recién mezclado, es necesaria una vibración (manual o mecánica), ya que el rozamiento entre ellas se reduce y les da movilidad de un fluido denso. Los factores que influyen en una buena consolidación son: agregados con granulometrías

óptimas, la proporción de los agregados, el tamaño máximo del agregado. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad, lo que se traduce a bajas resistencias a la compresión y en el caso del concreto reforzado resultará en una temprana corrosión de su armadura.

La vibración mecánica tiene muchas ventajas. Los vibradores permiten una colocación económicamente viable de mezclas que no se pueden consolidar manualmente bajo muchas condiciones mientras que para una consolidación con varilla (vara) manual, sería necesaria una consistencia bastante más húmeda.



Fig. 10. En la imagen de la izquierda se observa la probeta bien consolidada y homogénea, mientras que en la probeta de la derecha se observa un mal acomodamiento de las partículas producto de una mala consolidación al momento de confeccionar el espécimen. Imagen: Fuente propia.

5.7 Concreto endurecido.



Las características físicas de un concreto endurecido, no solo dependen de la propia naturaleza de este, sino también de su edad y de las condiciones de humedad y temperatura a la que haya estado sometido.

Fig. 11. Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava basáltica triturada. Imagen: Fuente propia.

5.7.1 Curado del concreto.

Uno de los procesos finales en la fabricación del concreto es el curado. Este paso es muy importante, ya que en esencia se realiza para conservar la humedad original en el concreto (humedades relativas arriba del 80%), porque garantiza que las reacciones químicas que se dan entre el agua y el material cementante sean continuas, para que den lugar a la formación de productos de hidratación y sumado a esto, las condiciones de temperatura favorables maximizan el aumento de la resistencia mecánica a través del tiempo.

Otro requisito para un adecuado curado es la incorporación de cal, al agua de curado, ya que se busca subirle el PH hasta un rango de 13 o 14 para que no le quite cal al concreto (evita lixiviación).



Fig. 12. Curado húmedo de especímenes de concreto. Imagen: Fuente propia.

Un curado pobre significa, permitir que la superficie del concreto se seque durante el periodo del curado, el conocimiento de la velocidad de desecación es útil para el entendimiento de las propiedades físicas, por eso es importante que en el periodo de curado el concreto se hidrate lo suficiente para lograr las propiedades deseadas.

Cuando el concreto se vuelve a saturar después del proceso de desecación, la hidratación empieza de nuevo y esto puede repercutir en agrietamientos en forma de mapeo debido a la contracción que sufre el concreto, y la ganancia de resistencia se interrumpe.

5.7.2 Densidad.

Un concreto convencional, normalmente es usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, debido a que es un material que está compuesto por otros materiales (**ver sección 5.1**) y su densidad está definida como la relación existente entre su masa y el volumen que ocupa, la cual varía entre 2200 Kg/m³ hasta 2400 Kg/m³ y depende de la cantidad y densidad propiamente del agregado, del aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento.

El tamaño máximo (que es un factor obtenido directamente del análisis granulométrico), es otra característica de los agregados que influye en las cantidades de agua y de cemento, lo cual significa que si se aumenta la cantidad de agregado se reduce la cantidad de pasta y por ende se aumenta

la masa volumétrica. Por otro lado, con una buena compactación se obtendrá una mezcla de concreto más homogénea y como resultado su densidad será más alta.

En la **tabla 4**, se detallan los tipos de concretos que se pueden obtener según el agregado que contengan y según su densidad, y estos pueden ser desde concretos de peso específico ligero, normal y pesado.

Tabla 4. Clasificación de los agregados según su peso específico.

Tipo de concreto.	Peso específico apróx. Del concreto Kg/m ³	Peso específico del agregado Kg/m ³	Ejemplo de utilización.	Ejemplo de agregado.
Ultraligero.	500 - 800.		Concreto para aislamiento	Piedra pómez ag.ultraligero.
Ligero.	950 - 1350 1450 - 1950.	480 - 1040.	Rellenos y mampostería no estructural, concreto estructural.	Perlita ag. Ultraligero.
Normal.	2250 - 2450	1300 -1600	Concreto estructural y no estructural.	Agregado de río o triturado.
Pesado.	3000 - 5600.	3400 - 7500.	Concreto para proteger de radiación gamma o X, y contrapesos.	Hematita, barita, coridón, magnetita.

Fuente: Concreto simple capítulo 2, Gerardo Rivera.

5.7.3 Propiedades mecánicas.

La propiedad más conocida del concreto es sin duda alguna su resistencia. De hecho, es la propiedad a la cual se hace referencia la mayoría de las veces para determinar la aceptación o rechazo de una mezcla de concreto. (INCYC, La resistencia del concreto, 2015)

La resistencia a la compresión se puede definir como los resultados obtenidos de los ensayos de ruptura por carga axial sobre probetas estandarizadas (**ver sección .2.1.6**) de concreto a edades de 28 días de curado. En este trabajo monográfico los resultados a compresión se expresarán, en unidades de libras por pulgadas cuadradas (lb/pulg² o psi).

Los resultados de resistencia a la compresión se usan principalmente para evaluar el cumplimiento del concreto suministrado con la resistencia especificada $f'c$, para los cuales se evalúan un promedio de tres probetas para los ensayos a diferentes edades de curado, estos resultados son aceptables siempre y cuando se establezcan relaciones entre la resistencia a los 28 días y la resistencia a otras edades como se muestra en la siguiente **tabla 6.**

Tabla 6. Relación de la resistencia a 28 días respecto a otras edades.	
Edad de ruptura (Días)	f_c respecto al $f'c$
1	20%
3	50%
7	75%
14	90%
28	100%

El concreto es un material que presenta una resistencia a la tensión (tracción) baja, aproximadamente de 8 a 12 % respecto a la resistencia a la compresión. La resistencia a la flexión o módulo de ruptura (rotura), se usa para diseño de pavimentos u otras losas de concreto, esta característica del concreto es muy importante especialmente cuando se requiere conocer su comportamiento frente a la fisuración, que es consecuencia de del agotamiento del concreto frente a la tracción cuando está sometido a esfuerzos de flexotracción o de cortantes debidos a sollicitaciones mecánicas.

5.7.4 Permeabilidad y estanquidad.

La permeabilidad de un concreto, es la facilidad que este presenta a ser penetrado por un fluido, y es consecuencia de la porosidad de la pasta hidratada, la porosidad y granulometría de los agregados, la calidad de la pasta y la zona de transición del agregado y la proporción relativa de pasta y agregado. También la relación agua-cemento, un buen curado (húmedo y continuo) y la exudación influyen en que tan permeable sea el concreto.

La estanquidad es normalmente conocida, como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible y está relacionada con la permeabilidad; ya que entre menos permeable sea el concreto más estanco será.

Las estructuras de retención de agua o expuestas a las inclemencias del tiempo y del ambiente requieren de concretos casi impermeables o estancas.

5.7.5 Variaciones de volumen.

El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de humedad, tensiones y temperatura donde este último hace que el concreto presente cambios volumétricos similares a los del acero.

Como se mencionó en la **sección 5.7.1**, el concreto debe de permanecer continuamente en condiciones húmedas, y como resultado de ello, este sufrirá una expansión ligera, de lo contrario se retraerá (disminuirá su volumen), como consecuencia de la evaporación del agua incorporada en la masa del concreto y su importancia depende de la proporción de los agregados, la cantidad de material cementante y la cantidad de agua empleada. También es importante mencionar otras diversas variables que influyen en este fenómeno tales como: las propiedades del agregado, el tamaño y la forma del elemento de concreto, la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente, el método de curado, el grado de hidratación y el tiempo transcurrido desde la ejecución de la obra.

El entumecimiento del concreto se define como el aumento del volumen del mismo, que puede deberse a materiales expansivos incluidos en la masa. Las más conocidas expansiones son las producidas por la reacción alcali-agregado (**ver sección 5.4.2.2**) que destruyen velozmente la estructura; y otras más lentas como el ataque por sulfato, la oxidación del acero de refuerzo o elementos férricos empotrados en la masa del concreto y los efectos de congelación y descongelación.

Cuando al concreto se les somete a esfuerzos de tensión, este se deforma instantáneamente, y si estos esfuerzos se mantienen ocurre una deformación adicional llamada fluencia (conjunto de deformaciones diferidas). La tasa de la fluencia (deformación por unidad de tiempo) disminuye con el tiempo.

VI. Análisis preliminar

6.1 Pruebas para determinar las propiedades de los materiales componentes del concreto.

Una de las razones principales de conocer las propiedades de los materiales es la combinación perfecta de estos. Los fabricantes deben garantizar unos requisitos mínimos en sus productos, que se detallan en hojas de especificaciones y dichos materiales de construcción están regulados por una serie de códigos y normativas que definen las características que deben cumplir, así como su ámbito de aplicación ya que permite a los arquitectos e ingenieros conocer de forma más precisa el comportamiento y características de los materiales empleados y garantiza unos estándares de calidad mínimos en la construcción.

6.1.1 Cemento.

6.1.1.1 Determinación y análisis de la consistencia normal del cemento.

En este ensayo se realizaron las pruebas para determinar la penetración de la pasta mediante el aparato de Vicat, siguiendo el procedimiento a como se indica en la norma **ASTM C 187**, en la cual se pesaron aproximadamente 650 gramos de cemento, variando el porcentaje de agua en cada caso de ensayo.



Fig. 13. Materiales y equipos usados en los ensayos de determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico y tiempos de fraguado. Imagen: Fuente Propia.

A continuación, se mostrarán los resultados de los ensayos de la determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico para cementos tipo HE y tipo GU.

Tabla 7. Resultados de la consistencia normal del cemento hidráulico tipo HE						
Prueba	Peso del cemento	Agua (ml)	Agua (%)	Penetración (mm)	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
1	650.00	195.00	30.00	14.00	24.90	65.30
2	650.00	182.00	28.00	5.00	24.50	55.50
3	650.05	188.51	29.00	9.50	24.60	55.60
4	650.01	193.70	29.80	13.50	24.70	55.50
5	650.03	192.41	29.60	10.50	24.50	60.30

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Tabla 8. Resultados de la consistencia normal del cemento hidráulico tipo GU				
Prueba	Peso del cemento	Agua (ml)	Agua (%)	Penetración (mm)
1	650.00	188.50	29.00	19.50
2	650.00	175.50	27.00	13.00
3	650.05	169.01	26.00	8.00
4	650.01	174.20	26.80	11.00
5	650.03	170.96	26.30	10.50

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Cabe mencionar que los ensayos para determinar la consistencia normal en cementos tipo HE se realizaron en un laboratorio de control de calidad del cemento CEMEX- plantel San Rafael del Sur cuyas condiciones permitieron controlar variables como la temperatura y humedad relativa como lo especifica la norma, mientras que para los experimentos con cementos tipo GU, debido a las condiciones del laboratorio de materiales y suelo de la UNI-RUPAP , las variables ambientales no se podían controlar y podrían afectar los resultados para determinar la consistencia normal del cemento.



Fig. 14. Ensayo de consistencia normal del cemento hidráulico ASTM C 187. Imagen: Fuente propia.

Considerando los resultados, en base a 5 muestras que se tomaron para cada tipo de cemento, para determinar la consistencia normal del cemento (penetración del aparato de Vicat de 10 mm) y mediante una interpolación de los mismos, se necesita un **29.30 %** de agua para la consistencia normal de cementos tipo HE y un **26.45 %** de agua para cementos tipo GU; lograr el resultado indicado y que se encuentran dentro un rango aceptable como indica la norma de 26% a 32%.

6.1.1.2 Determinación y análisis del tiempo de fraguado del cemento.

El tiempo de fraguado inicial y final del cemento hidráulico, se determina a través de la aguja de Vicat de 1 mm de diámetro según los procedimientos de la norma **ASTM C 131**.

El tiempo de fraguado inicial determina el período de tiempo, desde el amasado de la pasta, en el cual esta se encuentra en un estado que permite ser moldeada con relativa facilidad sin que se alteren considerablemente sus propiedades físicas y químicas.

El tiempo de fraguado final es el período de tiempo, medido desde el amasado de la pasta, hasta el momento en que debido a las reacciones de hidratación esta tiene la consistencia de un material rígido.

A continuación, se mostrarán los resultados de la determinación del fraguado inicial desde que el contacto entre el agua y el cemento hasta que la aguja de Vicat marque 25 mm y el tiempo de fraguado final hasta que la aguja marque en un rango de 0 a 3 mm (consistencia del agua según los resultados obtenidos en la sección anterior).

Tabla 9. Resultados Tiempo de fraguado cementos tipo HE				
Tiempo de Inicio de Amasado		9:00:00 a.m.	9:20:00 a. m.	9:13:00 a. m.
Lectura Nº	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Penetración (mm)	Penetración (mm)
1	30	40.00	40.00	40.50
2	45	40.00	40.00	40.00
3	60	40.00	39.00	39.00
4	75	38.00	38.00	37.00
5	90	35.00	33.00	33.00
6	105	31.00	29.00	29.00
7	120	29.00	27.00	25.50
8	135	27.00	22.00	24.00
9	150	21.00	18.00	17.00
10	165	16.00	9.00	11.00
11	180	3.00	3.00	5.00
12	195	0.00	0.00	0.00
Fraguado inicial (min.)		140	126	125
Fraguado final (hrs.)		03:15	03:15	03:15

Como indica la **tabla 9**, el tiempo de fraguado inicial corresponde a **130.33 minutos (2 hrs y 10 min.)** y el tiempo de fraguado final equivale a **3 horas con 15 minutos**; estos valores para los tiempos de fraguado son como resultado de 3 ensayos consecutivos; con una consistencia normal de cemento del **29.30 %**. Cabe destacar que durante los experimentos no se obtuvieron los valores exactos para el tiempo de fraguado inicial, por esa razón los valores para fraguados inicial se obtuvieron mediante una interpolaron.

Tiempo de Inicio de Amasado		10:48:00 a.m.	10:37:00 a.m.	10:40:00 a.m.
Lectura Nº	Tiempo (min)	Penetración (mm)	Penetración (mm)	Penetración (mm)
1	30	40.00	41.00	40.00
2	45	40.00	40.00	40.00
3	60	39.00	40.00	39.00
4	75	33.00	38.00	33.00
5	90	27.00	34.00	26.00
6	105	26.00	33.00	22.00
7	120	25.50	29.00	19.00
8	135	23.00	24.00	16.00
9	150	21.00	22.00	13.00
10	165	12.00	18.00	10.00
11	180	6.00	11.00	7.00
12	195	5.00	10.00	5.00
13	210	1.00	6.00	3.00
14	225	0.50	3.00	1.00
15	240	0.00	1.00	0.50
16	255	0.00	0.00	0.00
Fraguado inicial (min.)		123	123	101.25
Fraguado final (hrs.)		4:00	4:15	4:15

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

La **tabla 10** muestra los valores para el tiempo de fraguado inicial, correspondiente a 115.75 minutos y el tiempo de fraguado final equivale a 4 horas con 16 minutos; estos valores para los tiempos de fraguado son como resultado de 3 ensayos consecutivos; con una consistencia normal de cemento del **26.45 %**. Cabe destacar que durante los experimentos no se

obtuvieron los valores exactos para el tiempo de fraguado inicial, por esa razón los valores para fraguados inicial se obtuvieron mediante una interpolaron.

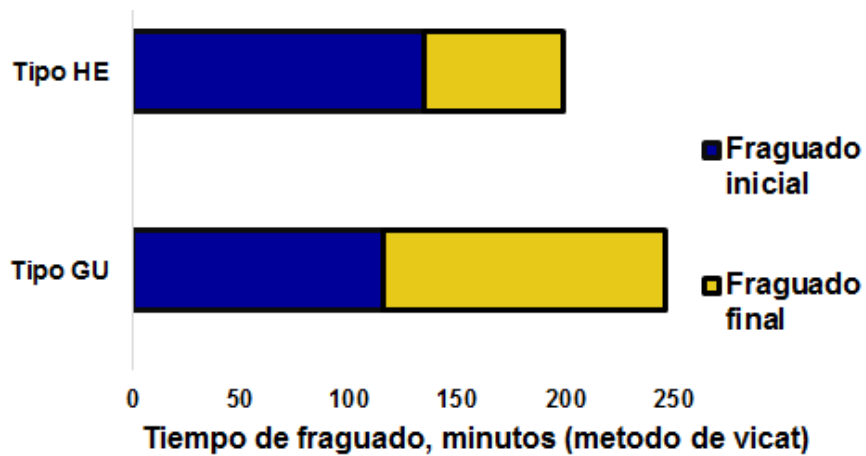


Ilustración 1. En la gráfica, se observan los resultados obtenidos en este trabajo monográfico para los experimentos sin aditivo. Fuente propia, Imagen EXCEL.

En la **ilustración 1** se observa que el comportamiento tanto del cemento tipo HE como del cemento tipo GU, mientras que en la **ilustración 2** se aprecia el comportamiento tanto del cemento tipo GU como del cemento tipo HE para los ensayos de tiempo del fraguado (método de la aguja de Vicat) .

Cabe destacar que el cemento tipo HE es un cemento especial, usado para obtener resistencias a edades tempranas y la razón de que sus tiempos de fraguado sean menores que los tiempos de los cementos tipos GU es porque los componentes que hacen que el cemento adquiera resistencia a edades tempranas se encuentran en mayores proporciones en el cemento tipo HE que en el cemento tipo GU.

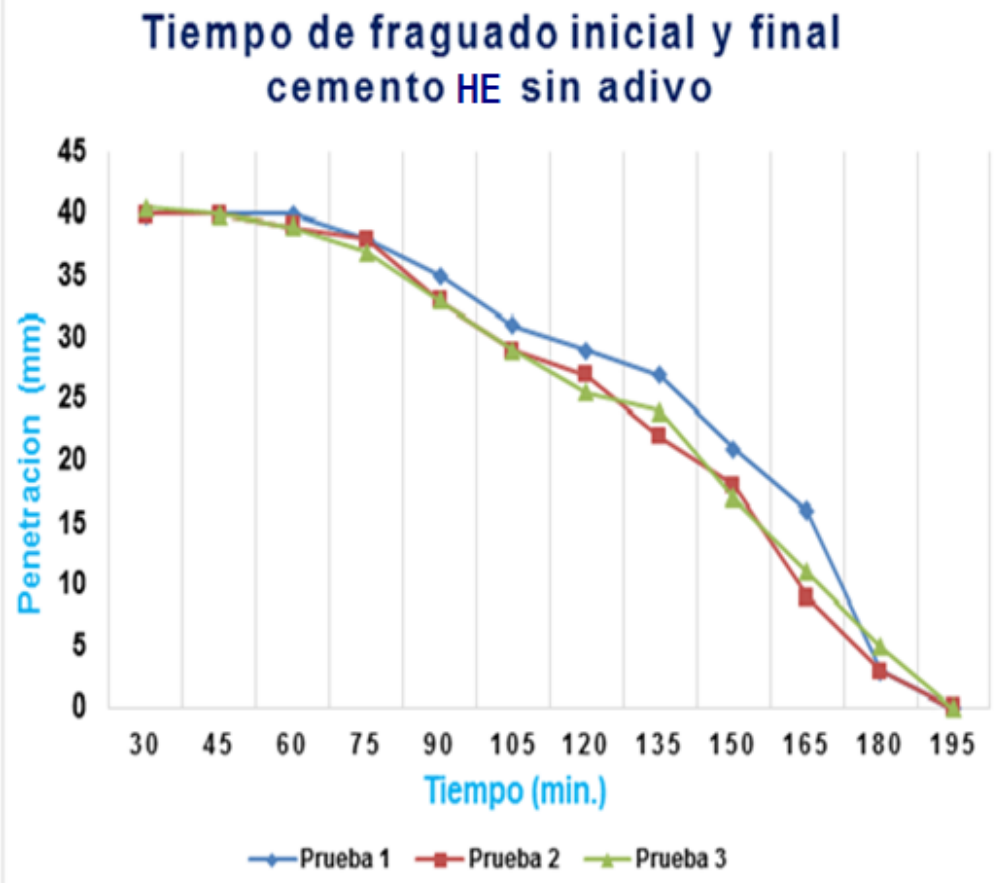
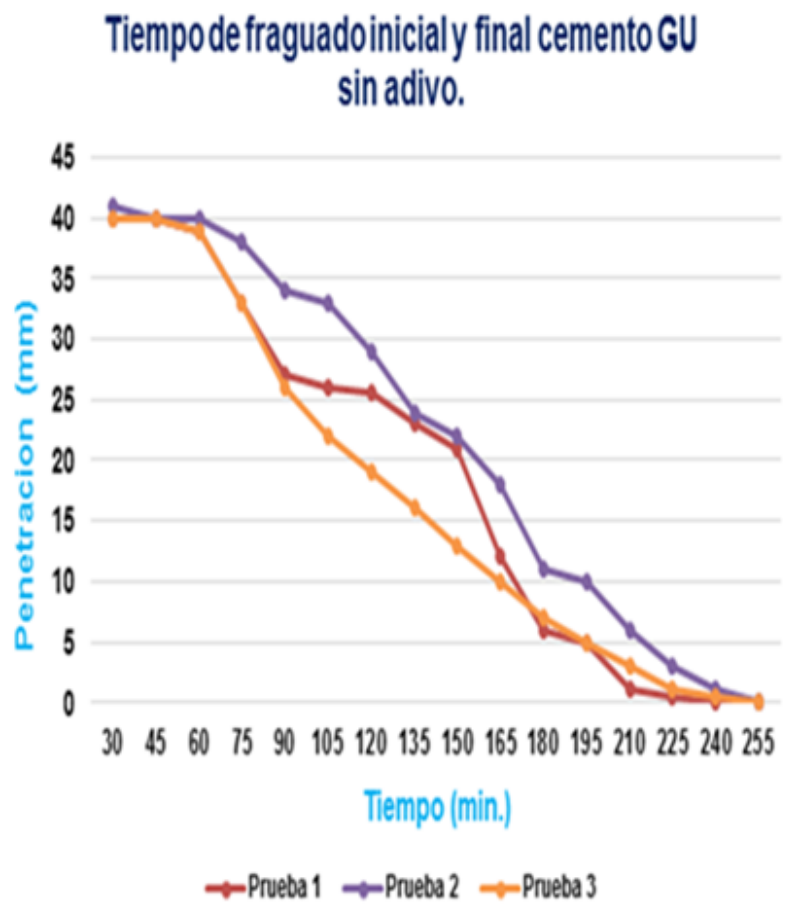


Ilustración 2. Graficas de penetración (mm) VS Tiempo (minutos.) para ensayos de tiempo de fraguado (Aguja de Vicat). En la gráfica de la izquierda, ensayos para cementos tipo GU y la de la derecha para cementos HE. Fuente propia, Imagen EXCEL.

6.1.1.3 Determinación y análisis del tiempo de fraguado del cemento con aditivo RMIX S30.

A continuación, se mostrarán los resultados de tiempos de fraguado con los dos tipos de cemento tanto HE como GU, pero con uso de aditivo en las diferentes dosificaciones recomendadas por el fabricante de 50 ml a 150 ml.

En la **ilustración 3** se puede observar el comportamiento de los ensayos de tiempo de fraguado del cemento tipo HE con aditivo RMIX S30, en primera instancia se aprecia que no se da un retardo de fraguado cuando se prueba la dosis de 50 ml del aditivo, pero a medida que se van aumentando las dosis, también se va aumentando los tiempos de fraguado tanto inicial como final.

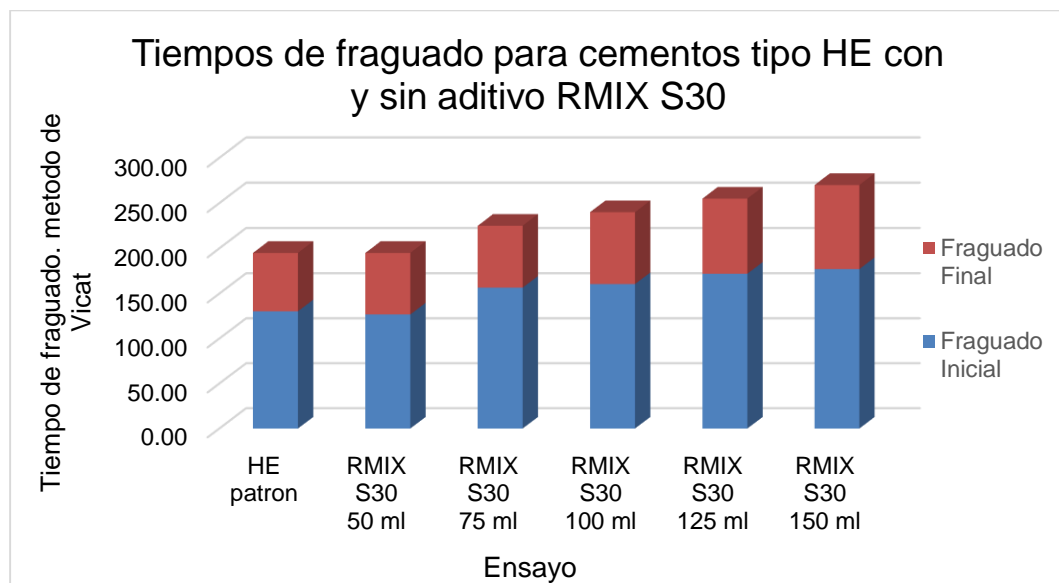


Ilustración 3. Comparación de los tiempos de fraguado sin aditivo VS uso de aditivo RMIX S30. Fuente propia, Imagen EXCEL.

En la **ilustración 4** se puede observar el comportamiento de los ensayos de tiempo de fraguado del cemento tipo GU con aditivo RMIX S30, y se aprecia que la tendencia de los resultados es siempre ascendente, lo que significa que el uso del aditivo aumenta el tiempo de fraguado tanto inicial como final para todas las dosificaciones ensayadas.

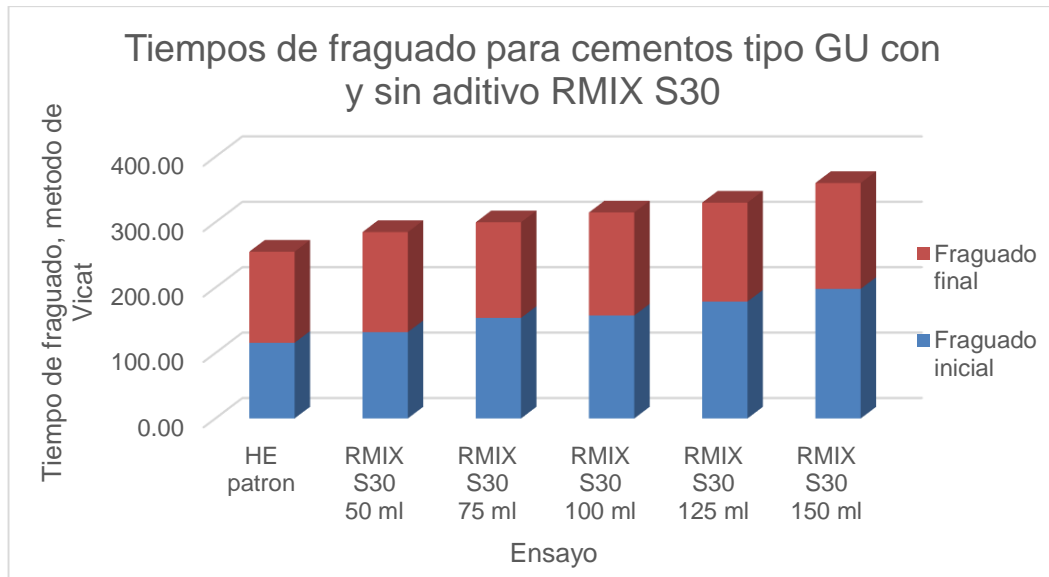


Ilustración 4. Comparación de los tiempos de fraguado sin aditivo VS uso de aditivo RMIX S30. Fuente propia, Imagen EXCEL.

6.1.1.4 Determinación y análisis de la gravedad específica del cemento hidráulico.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad del cemento hidráulico. Su utilidad particular está en conexión con el diseño y control de mezclas de concreto. Tabla 11. Resultados para la determinación de la gravedad específica del cemento hidráulico.

El peso específico del cemento no es una indicación de la calidad del cemento, su principal uso es en los cálculos de proporción del diseño de mortero. Esta prueba está basada bajo la designación de la norma **ASTM C 188**, ésta muestra la manera correcta de elaborar el ensayo.

Tabla 11. Resultados para la determinación de la gravedad específica del cemento hidráulico.

Tipo de Cemento	GE Cemento
Tipo HE	3.17
Tipo GU	3.15

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

6.1.2 Agregados.

Para estos resultados se utilizaron arenas procedentes del plantel de agregados y concretos **San Cristóbal-CEMEX** y del plantel de agregados **Agrenic**. Cabe mencionar que en estos ensayos no se consideraron sobretamaños (eliminadas todas las partículas mayores de 4.76mm).

6.1.2.1.1 Determinación y análisis de los pesos volumétricos.

En este ensayo se realizaron 3 pruebas consecutivas para la determinación el peso volumétrico seco suelto (**PVSS**) y peso volumétrico seco compacto (**PVSC**), siguiendo el procedimiento a como se indica en la norma **ASTM C29**. El cual consiste en depositar el material en un recipiente a una altura constante y debidamente enrasado, pesar el material contenido para determinar el PVSS y depositar en tres capas el material a una altura constante y aplicando 25 golpes con la ayuda de una varilla punta de bala de 5/8" ϕ a cada capa para determinar el PVSC.

PVSS material cero (San Cristóbal): 1,753.50 Kg/m³

PVSS material cero (Agrenic): 1,790.97 Kg/m³

PVSC material cero (San Cristóbal): 1917.16 Kg/m³

PVSC material cero (Agrenic): 2028.36 Kg/m³

PVSS Grava 3/4" (San Cristóbal): 1,426.18 Kg/m³

PVSS Grava 3/4" (Agrenic): 1,486.67 Kg/m³

PVSC Grava 3/4" (San Cristóbal): 1,580.49 Kg/m³

PVSC Grava 3/4" (Agrenic): 1,637.91 Kg/m³

Según los resultados obtenidos en los ensayos para la determinación de los pesos unitarios de los agregados, solo los resultados de los agregados gruesos están dentro de los rangos permitidos en la **tabla 4** de la **sección 5.7.2** que establece que un agregado de peso normal debe de estar en un intervalo entre 1,300 a 1,600 Kg/m³ sin embargo el material cero presenta un peso mayor entre 1,700 a 1820 Kg/m³.

6.1.3 Determinación y análisis del contenido de humedad y absorción.

En la **sección 5.4.3.6** se habla con más detalle acerca de estas dos propiedades de los agregados tanto finos como gruesos, los cuales se determinan con las normas **ASTM C566-84, ASTM C128, ASTM C70 y ASTM C 127** y su uso es fundamental para corrección por humedad y absorción en mezclas de concreto y morteros.

ABSORCION (Material Cero -San Cristóbal): **1.39 %**

ABSORCION (Material Cero - Agrenic): **1.20 %**

ABSORCION (Grava-San Cristóbal): **1.78 %**

ABSORCION (Grava- Agrenic): **2.03 %**

Estos resultados son necesarios para el control del contenido neto de agua en la mezcla de concreto y la obtención de los pesos correctos de cada mezcla. A como se puede apreciar en los valores de los % de absorción estos no varían mucho ya que son materiales que, aunque provienen de bancos diferentes el origen de la roca es el mismo.

Como se indicó en los resultados, el porcentaje de absorción para el agregado fino y el agregado grueso del banco San Cristóbal y del banco AGRENIC, significa que, para un metro cúbico de agregado en una mezcla de concreto, se requieren de 13.9 kg,12 kg,17.8 kg y 20.3 kg más de agua adicional al agua de mezcla, respectivamente.

6.1.3.1 Determinación y análisis de la gravedad específica

Antes de proceder con este ensayo los agregados tanto finos como gruesos, se sumergieron en agua durante 24 horas para obtener resultados en condiciones saturadas superficialmente secas (**S.S. S**). Ver figura 6 **sección 5.4.3.6**.

Esta propiedad se halla según los procedimientos que indican la norma **ASTM C128** para el agregado fino en el cual hay que tomar cierta cantidad del material en condiciones S.S.S, se coloca en un matraz aforado y se determina su masa; luego se pone a secar hasta registrar una masa constante.

Tabla 12. Resultados Gravedad específica agregados finos		
Propiedad	Material cero banco San Cristóbal	Material cero banco Agrenic
Gravedad específica (SH)	2.82	2.81
Gravedad específica (SSS)	2.86	2.85
Gravedad específica (Aparente)	2.94	2.90

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

La norma **ASTM C127** indica los procedimientos para determinar la gravedad específica de los agregados gruesos, la cual consiste en tomar una muestra de agregado en estado S.S.S, se determina su masa al aire y sumergido en el agua, luego se pone a secar hasta registrar una masa constante.

Tabla 13. Resultados Gravedad específica agregados gruesos.		
Propiedad	Grava $\frac{3}{4}$ " banco San Cristóbal	Grava $\frac{3}{4}$ " banco Agrenic
Gravedad específica (SH)	2.74	2.76
Gravedad específica (SSS)	2.79	2.81
Gravedad específica (Aparente)	2.88	2.90

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Los pesos específicos tanto de los agregados finos como gruesos están dentro de los parámetros de 2.4 a 2.9 (PCA, 2004).

6.1.3.2 Determinación y análisis de la granulometría.

Para la determinación del análisis granulométrico tanto de los agregados finos como los gruesos, se emplean una serie de tamices, los cuales tienen aberturas cuadradas que obedecen a especificaciones estandarizadas. El tamizado se efectúa según los procedimientos de la norma **ASTM C136** y los resultados pueden expresarse en forma tabulada como se muestra en la tabla 16, cuya interpretación se representa gráficamente a través de curvas granulométricas.



Fig. 15. Ensayo del análisis granulométrico grava $\frac{3}{4}$ ", ASTM C136. Imagen: fuente propia.

Tabla 14. Resultados granulometría agregados finos				
	Arena banco San Cristóbal	Arena banco Agrenic	ASTM C 33	
Malla N°	% que pasa	% que pasa	Límite Inferior %	Limite Superior %
1/2"	0	0	100.00	100.00
3/8"	0	0	100.00	100.00
N°4	97.69	100.00	95.00	100.00
N°8	73.06	73.46	80.00	100.00
N°16	48.78	52.37	50.00	85.00
N°30	32.10	35.78	25.00	60.00
N°50	22.66	25.89	10.00	30.00
N°100	16.22	18.39	2.00	10.00
N°200	10.54	12.42	0.00	0.00
Fondo	0.00	0.00	0.00	0.00
MF	3.10	2.94		

Fuente: propia, imagen EXCEL.

En la **tabla 14** y en la **ilustración 5** y **6**, se presentan los resultados del análisis granulométrico para el material cero del banco San Cristóbal y el banco AGRENIC, estos no se ajustan a la norma. En el cuadro citado (**tabla 3, sección 5.4.3.2**) se puede observar los valores del módulo de finura, según estos datos están dentro del parámetro establecido, el cual clasifica al material cero como “**agregado fino ligeramente grueso**” por presentar un módulo de finura entre **2.9** a **3.2**

Curva granulométrica agregado fino banco AGRENIC

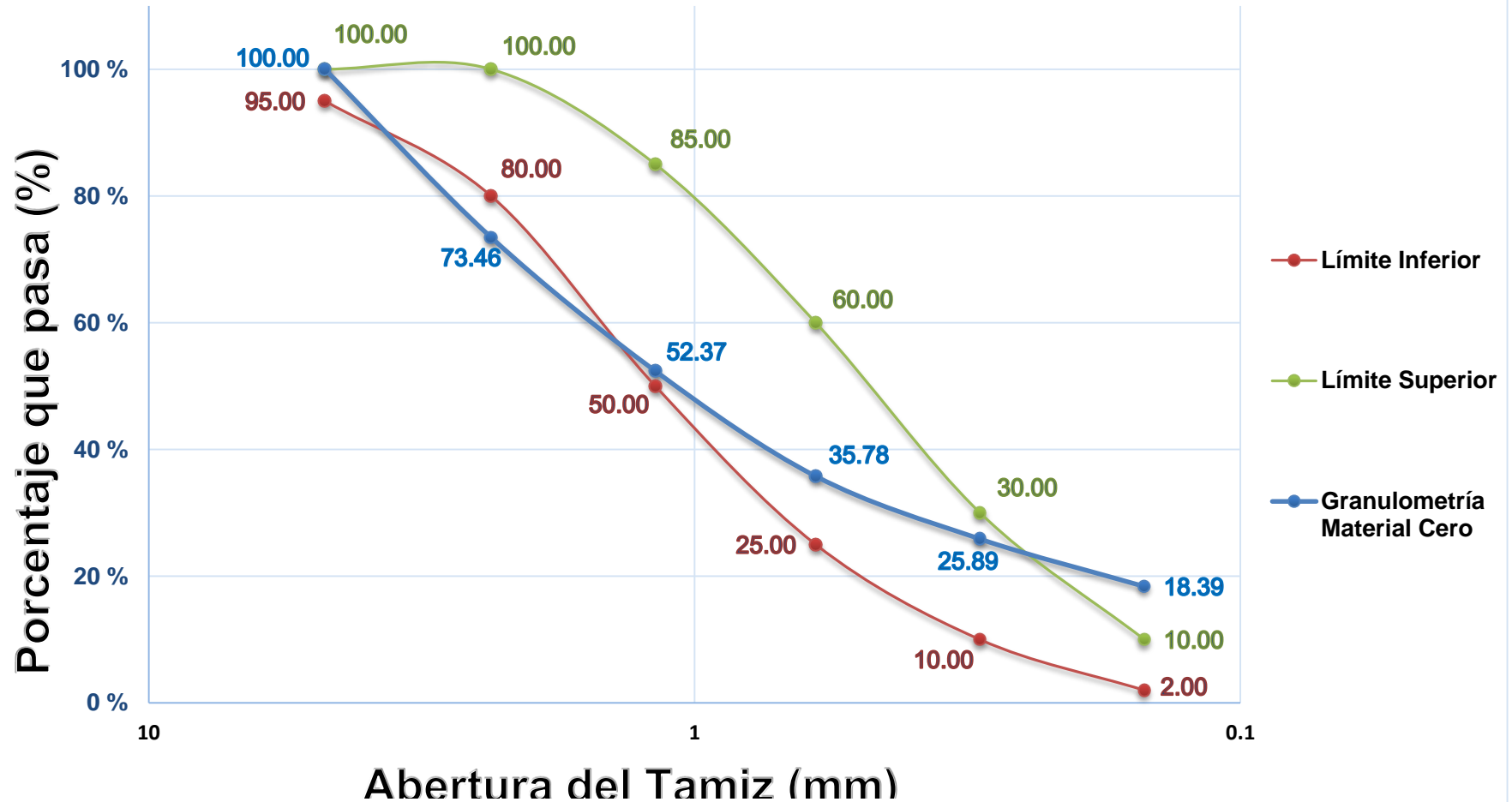


Ilustración 5. Curva granulométrica agregado fino banco AGRENIC comparada con la norma ASTM C 136. (Fuente propia, imagen EXCEL).

Curva granulométrica agregado fino banco San Cristobal

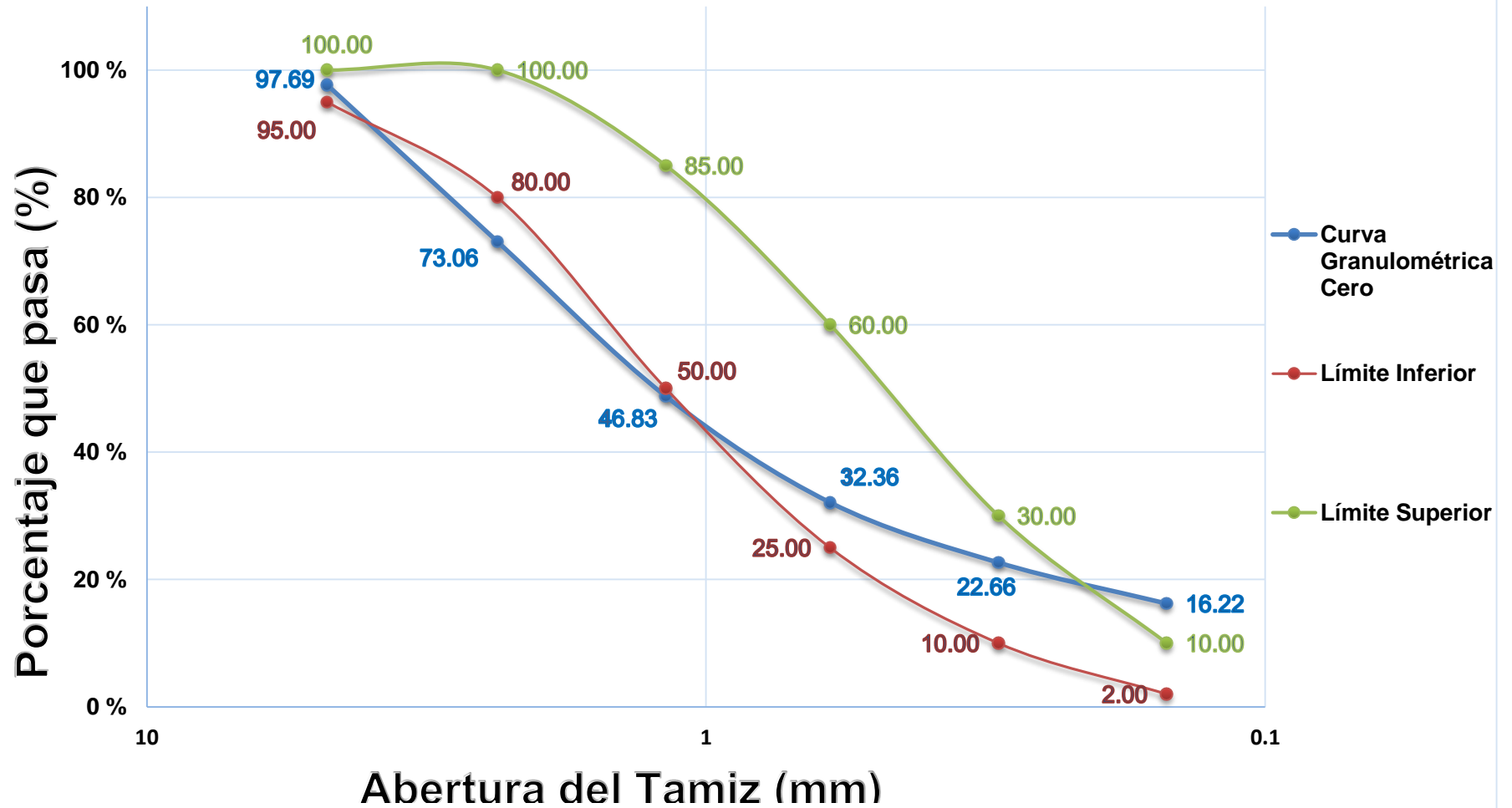


Ilustración 6. Curva granulométrica agregado fino banco San Cristóbal comparada con la norma ASTM C 136. (Fuente propia , imagen EXCEL).

Tabla 15. Resultados granulometría agregados gruesos.				
	Grava ¾" banco San Cristóbal	Grava ¾" banco Agrenic	ASTM C 33	
Malla N°	% que pasa	% que pasa	Límite Inferior	Limite Superior
1 1/2"	100.00	100.00	100.00	100.00
1"	100.00	100.00	100.00	100.00
¾"	94.18	92.75	90.00	100.00
½"	47.19	48.94	-	-
3/8"	24.57	27.34	20.00	55.00
N°4	4.60	6.55	0.00	10.00
N°8	2.36	3.26	0.00	5.00
N°200	0.67	0.63	0.00	0.00
Fondo	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Como se puede observar en la **tabla 15** y en las **ilustraciones 7 y 8**, el agregado grueso tanto del banco San Cristóbal como del banco AGRENIC, cumplen satisfactoriamente con los requisitos establecidos en las normas, en el que se clasifican como agregados de tamaño 19,05 mm a 4,75 mm (¾" a N° 4). A partir de la **tabla 14** se deduce que el tamaño máximo nominal del agregado es 19,05 mm (¾") ya que en este tamiz se encuentra retenido entre el 5 al 10% del material (ver **sección 5.4.3.4**), que para este caso es de un **5.82 %** para el agregado del banco San Cristóbal y **7.25 %** para el agregado del banco AGRENIC.

De las **ilustraciones 7 y 8** se puede apreciar que el agregado tiende a acercarse más al rango del límite inferior, lo que significa que el agregado es de una tendencia un poco gruesa, a excepción del tamiz 4,75 mm (N° 4) en la granulometría del agregado del banco AGRENIC, aquí el agregado se acerca más al límite superior, por lo que en este punto el material es más fino. Se puede notar también que las curvas son suaves.

Curva granulométrica agregado grueso banco San Cristobal

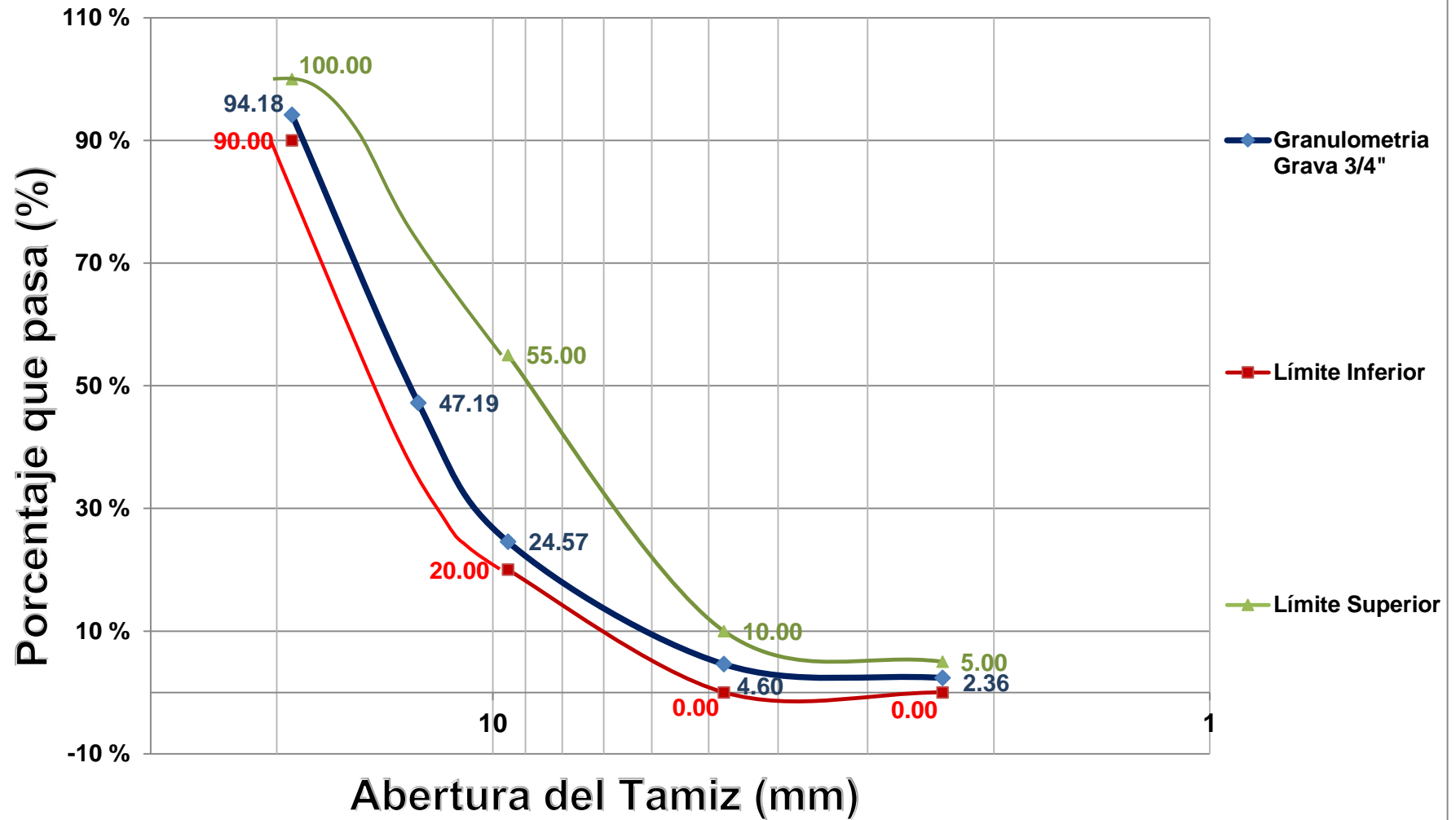


Ilustración 7. Curva granulométrica agregado grueso banco San Cristóbal comparada con la norma ASTM C 33. (Fuente propia , imagen EXCEL).

Curva Granulométrica Agregado Grueso Banco AGRENIC

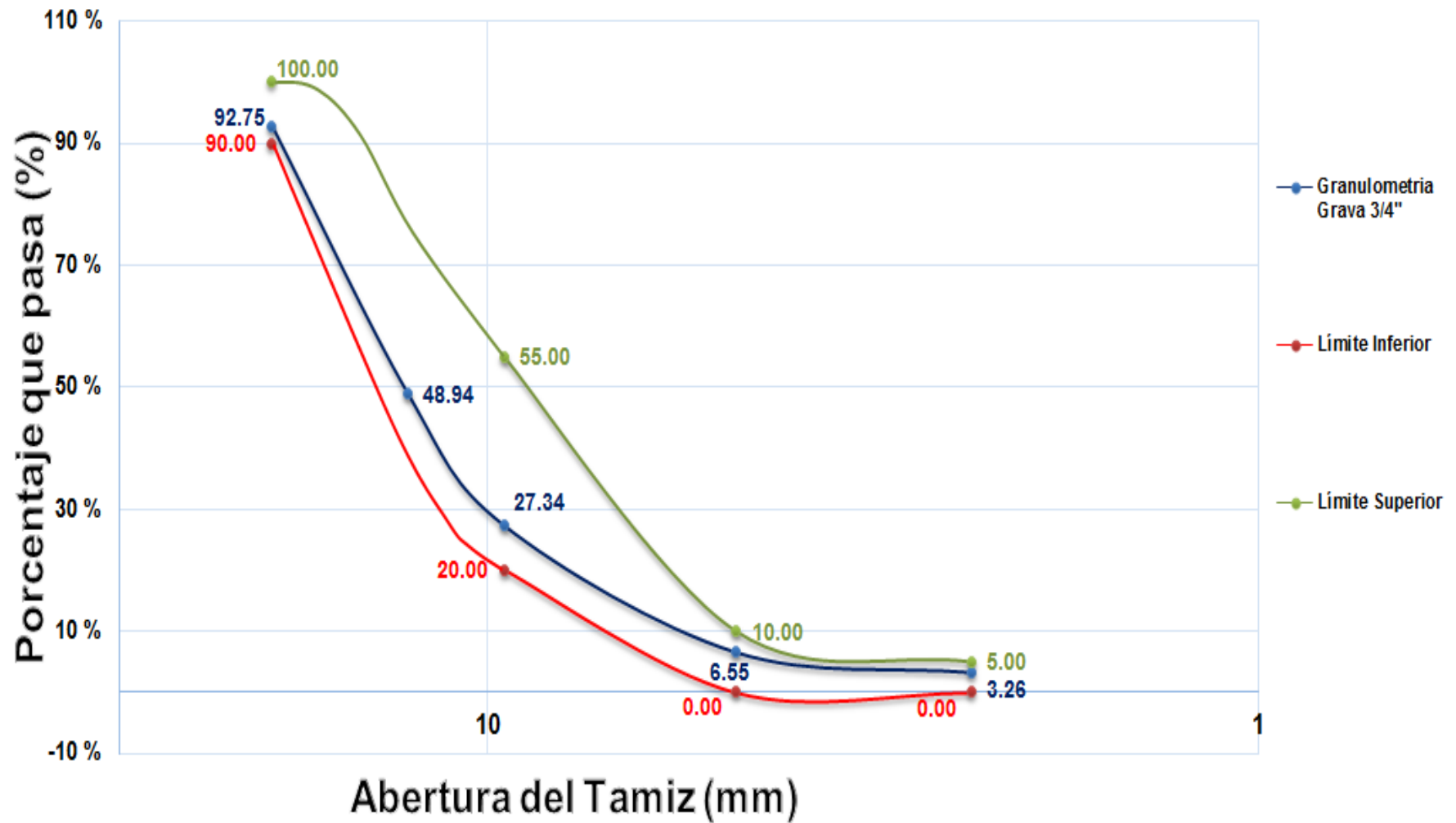


Ilustración 8. Curva granulométrica agregado grueso banco AGRENIC comparada con la norma ASTM C 33. (Fuente propia , imagen EXCEL)

6.1.3.3 Determinación y análisis de colorimetría.

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

Normalmente esas impurezas se evitan por completo por medio del despejado adecuado del depósito, para eliminar por completo la tierra vegetal, y un enérgico lavado en del agregado fino. La detección del alto contenido orgánico en el agregado, se lleva a cabo con facilidad por medio de la prueba colorimétrica con hidróxido de sodio, que detalla la norma **ASTM C- 40**.



Fig. 16. Ensayo de colorimetría para material cero. Imagen: Fuente propia.

Al realizar la prueba de impurezas orgánicas, el color obtenido de la muestra es más claro que el color patrón 1 (**figura 16**), por lo que la concentración de impurezas orgánicas es mínima y el empleo de este material, no será perjudicial para mezclas de concreto.

6.1.3.4 Determinación y análisis del desgaste para el agregado grueso (Grava).

Uno de los métodos más comunes para medir la resistencia al desgaste de los agregados gruesos es el de la máquina de los ángeles, según los procedimientos de la norma **ASTM C131**, se debe de colocar una determinada cantidad de material (**ver tablas 16 y 17**) con la carga abrasiva dentro de un cilindro metálico que se pondrá a rotar un cierto número de revoluciones, el cual depende de la granulometría del agregado, luego el material ya destruido (por las cargas abrasivas) se lava sobre el tamiz No. 12 y el material retenido se pone a secar hasta registrar una masa constante.

Tamices		Tabla 16. Cantidades de cada fracción de tamaño de acuerdo con el grado de la muestra(gramos)						
Pasa por	Retiene en	A	B	C	D	E	F	G
3"	2.5"					2500±50		
2.5"	2"					2500±50		
2"	1.5"					5000±50	5000±50	
1.5"	1"	1250±25					5000±50	5000±50
1"	¾"	1250±25						5000±50
¾"	½"	1250±10	2500±10					
½"	3/8"	1250±10	2500±10					
3/8"	¼"			2500±10				
¼"	No. 4			2500±10				
No. 4	No. 8				5000±10			
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±50	1000±50	10000±50

Fuente: Guías de laboratorio, UNI-RUPAP.

Tabla 17. Cantidad de esferas según grado de muestra.		
Grado de la Muestra	Número de esferas	Peso de carga gramos
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±20
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Fuente: Guías de laboratorio, UNI-RUPAP.

Tabla 18. Resultados resistencia al desgaste de los agregados gruesos.

Propiedad	Grava $\frac{3}{4}$ " banco San Cristóbal	Grava $\frac{3}{4}$ " banco Agrenic
% de desgaste.	34.54	33.1

Fuente: Propia, imagen EXCEL.



Fig. 17. Ensayo de resistencia al desgaste de los agregados gruesos, método máquina de los ángeles; laboratorio de materiales y suelos UNI-RUPAP. Imagen: Fuente propia.

Según los resultados que se pueden observar en la **tabla 28** el porcentaje al desgaste tanto del agregado grueso del banco san Cristóbal como del banco agrenic es menos del 50% (límite máximo que establece la norma **ASTM C131**).

VII. METODOLOGIA.

7.1 Diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto de peso normal.

7.1.1 Selección de las características.

En el diseño de mezclas de concreto, intervienen muchas características que determinan su comportamiento en servicio, dichas características pueden incluir desde las propiedades del comportamiento del concreto en estado fresco; como sus propiedades mecánicas en estado endurecido, así como la inclusión, exclusión o límites de ingredientes específicos.

Solo la selección adecuada de los materiales puede garantizar variables importantes como la resistencia, trabajabilidad, la durabilidad, economía y la apariencia uniforme del concreto endurecido.

El instituto americano del concreto (**ACI**) presentó, como resultado de extensas investigaciones y fundamentándose en los trabajos experimentales de Abrams, Richard y Talbot, Goldbeck y Gray, un método con resultados aceptables y con requisitos de resistencia menores de 42 Mpa. Este método es conocido como **ACI 211.1** y se utiliza para diseño y proporción de concretos de peso normal.

El método para dosificar una mezcla de concreto puede ser cualquiera que optimice o garantice la calidad, resistencia y durabilidad de la mezcla que se esté dosificando. Desde métodos volumétricos arbitrarios (1:2:3 - cemento, arena, grava) hasta métodos actuales como los utilizados en este trabajo monográfico que corresponde al método de volúmenes absolutos y tablas adaptadas del **ACI 211.1**.

Para la proporción de mezclas de concreto, primero se deben seleccionar sus características considerando el tipo de estructura, los materiales, los registros estadísticos con mezclas similares y deben reflejar las necesidades de la estructura y se deben especificar los métodos de ensayo adecuado.

7.1.1.1 Resistencia a la compresión media requerida.

Cuando los registros de los ensayos de resistencia no cumplen con los requisitos para establecer una desviación estándar, la resistencia a la compresión media requerida (f'_{cr}) se puede obtener de la tabla 1— ACI 211.1 (adaptadas por la asociación de cemento portland (PCA) del **ACI 211.1**).

Tabla 1 - ACI 211.1 Resistencia a Compresión Media Requerida Cuando no hay Datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar	
Resistencia a Compresión especificada, f'_c, Kg/cm²	Resistencia a Compresión Media Requerida, f'_{cr}, psi
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Más de 350	$1.10f'_c + 50$

Fuente: PCA,2004

Para el diseño de las mezclas de concreto, se contaban con 0 registros de ensayos consecutivos, debido a esto, de la tabla anterior se tomó como valor para la resistencia a la compresión requerida de **294 Kg/cm²** (4200 psi), a partir de aquí se diseñaran las mezclas patrón tanto para cementos tipo HE como cementos tipo GU; y luego los datos obtenidos se compararán con mezclas similares pero con aditivo RMIX S30 (aditivo en estudio) para estudiar su efecto en estado fresco y endurecido de dichos diseños.

7.1.1.2 Relación entre la resistencia y relación agua-cemento (A/C).

En la **sección 6.7.3** se detallan los principales aspectos de la resistencia mecánica del concreto, ya sea por compresión o flexión, esta brinda información directa de su capacidad de resistir cargas en aplicaciones estructurales, y es un indicador de su calidad.

La característica principal que existe entre la resistencia y la relación agua-cemento, es que son inversamente proporcionales y la diferencia en la resistencia del concreto, para una dada relación agua-cemento puede depender mayormente de cambios del tamaño, granulometría, textura superficial, forma, resistencia y rigidez propiamente del agregado, diferencias en los tipos y fuentes de material cementante, el grado de hidratación,

contenido de aire incluido (incorporado), la presencia de aditivos y duración del curado.

Hoy en día otras propiedades, tales como la permeabilidad, la resistencia al desgaste y la durabilidad se reconocen de igual importancia que la resistencia mecánica. Cuando en el diseño de la mezcla de concreto los factores como la durabilidad no gobiernan la elección de la relación agua – cemento, este se debe basar en los requisitos de la resistencia a la compresión.

La proporción de los materiales componentes del concreto y la elección de la relación agua - cemento, se deben de basar en datos de campo adecuados o pruebas de laboratorios de control de calidad del concreto. De lo contrario se pueden utilizar tablas para elegir la relación agua cemento con base al promedio requerido de la resistencia f'_{cr} .

La **tabla 2— ACI 211.1**, presenta valores entre la relación agua cemento y la resistencia a la compresión del concreto, para agregados con un tamaño máximo nominal, de $\frac{3}{4}$ " (19mm) a 1" (25mm) y cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días según **ASTM C 31**.

Tabla 2 - ACI 211.1 Dependencia entre la Relación agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto		
Resistencia a Compresión a los 28 Días, psi	Concreto sin Aire Incluido	Concreto con Aire Incluido
450	0.38	0.31
400	0.43	0.34
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
294	0.55	0.47
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.72

Fuente: PCA,2004

De la tabla anterior podemos decir que, para los concretos estudiados en este trabajo monográfico se trabajarán única y exclusivamente con concretos de

3000 psi (como resistencia mínima), que equivalen a 210 Kg/cm² y como resultado de la tabla 2 - ACI 211.1 se tomará como relación agua – cemento el valor de 0.55 para la resistencia requerida de 4200 psi que equivalen a 294 Kg/cm².

7.1.1.3 Volúmenes de agregado para concreto.

En la sección 6.4 se explica con detalle por que los agregados juegan un papel muy importante (tanto técnico como económico), en la dosificación de mezclas de concreto, ya que afectan enormemente en la trabajabilidad cuando el concreto se encuentra en estado fresco.

La naturaleza propia de las partículas, ofrece propiedades muy importantes como: la forma, porosidad y textura superficial, pero la más importante es sin duda alguna la granulometría, ya que se logra gran economía en la mezcla, pues afecta la cantidad de concreto que se producir para una cantidad dada de agua y cemento.

Características importantes (obtenidas a partir del análisis granulométrico), tales como el tamaño máximo del agregado grueso, indican que este debe ser el mayor posible para las condiciones de la obra; y su uso depende de factores tales como la forma del elemento de concreto que se va a fundir, la cantidad y la distribución del acero de refuerzo (armadura) en el elemento y el espesor de la losa.

El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados, formaleta), ni tampoco, tres cuartos la distancia libre entre las varillas o cables de refuerzo individual, paquetes de varillas o tendones o ductos de presfuerzo (pretensado, presforzado, precomprimido). También es una buena práctica limitar el tamaño del agregado para que no supere tres cuartos del espacio libre entre el refuerzo y la cimbra. En losas sobre el terreno sin refuerzo, el tamaño máximo del agregado no debería exceder un tercio del espesor de la losa. Se pueden usar tamaños menores cuando la disponibilidad o alguna consideración económica lo requieran. **(PCA, 2004).**

Otro factor del análisis granulométrico que influye en el aumento de la economía en mezclas de concreto es el módulo de finura del agregado fino, mientras mayor sea el módulo de finura se obtendrán mezclas más ricas. Por otro lado, los concretos con agregados finos con granulometría fina, requieren de una mayor demanda de agua y como consecuencia se obtienen mezclas muy pobres, pero con buena trabajabilidad.

El volumen de agregado grueso se puede determinar a través de la **Tabla 3 – ACI 211.1**. Estos volúmenes se basan en agregados en la condición varillados (compactados) en seco, conforme se describe en ASTM C 29. Se los eligen a través de relaciones empíricas a fin de que se produzca un concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para la construcción de concreto reforzado (armado) en general.

Tabla 3 – ACI 211.1 Volumen de Agregado grueso por volumen Unitario de Concreto						
TMN del Agregado, mm (in)	Volumen del Agregado Grueso Varillado (Compactado) en seco por volumen unitario de concreto para diferentes Módulos de finura de Agregado fino					
	2.40	2.60	2.80	2.94	3.00	3.1
9.5 (?)	0.50	0.48	0.46	0.45	0.44	0.43
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.54	0.53	0.52
19 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.61	0.60	0.59
25 (1)	0.71	0.69	0.67	0.66	0.65	0.64
37.5 (1 ½)	0.75	0.73	0.71	0.70	0.69	0.68
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.73	0.72	0.71
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.77	0.76	0.75
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.82	0.81	0.80

Fuente: PCA,2004

De los resultados del análisis granulométrico para las arenas utilizadas en estos diseños (ver sección 6.1.2.4), la arena proveniente del banco San Cristóbal presenta un módulo de finura de 3.10, por lo tanto, el volumen de agregado grueso para un metro cubico de concreto es de 0.59; mientras que la arena proveniente del banco Agrenic presenta un módulo de finura de 2.94 por lo que se necesita un volumen de agregado grueso para un metro cubico de concreto es de **0.61**.

7.1.2 Revenimiento y contenido de agua.

El revenimiento es un indicador de que tan trabajable es la mezcla de concreto, y la facilidad o dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto. Dependiendo de la cantidad de agua contenida en la mezcla, esta será plástica o rígida; Si se usa más agregado en el concreto si se adiciona menos agua, la mezcla se vuelve más rígida (menos plástica y menos trabajable) y difícil de moldearse. Ni las mezclas muy secas y desmoronables, ni las muy aguadas y fluidas se pueden considerar plásticas.

En la tabla 4 – ACI 211.1 se muestran los requisitos aproximados de agua de mezcla y contenido de Aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado, la cual nos indica que para el agregado de 19 mm equivalentes a $\frac{3}{4}$ " usado en el diseño de mezclas de concreto, se necesitan 205 Kg/m³ y como se trata de mezclas de concreto sin aire incluido, solo se considerará el aire atrapado naturalmente y según la tabla es de 2 %.

Tabla 3 – ACI 211.1. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para Diferentes Revenimientos y TMN del Agregado Grueso								
Slump (mm)	agua, Kilogramos por metros cúbicos de Concreto, para los tamaños de agregados indicados							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
	Concreto sin Aire Incluido							
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad Aproximada de Aire Atrapado en un Concreto sin Aire Incluido, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
	Concreto con Aire Incluido							
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	-
Promedio del Contenido de Aire Total Recomendado, para el nivel de exposición, %								
Exposición Leve	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición Moderada	6	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición Severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: PCA,2004

En la siguiente tabla se muestran los revenimientos recomendados para varios tipos de concreto.

Tabla – 5 ACI 211.1 Revenimientos recomendados para varios tipos de concreto.		
Construcción de concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas.	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

Fuente: PCA,2004

7.2 Determinación y análisis de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, con y sin aditivo RMIX S30.

7.2.1 Diseño de mezclas de Concreto sin aditivos.

A continuación, se muestran los resultados de los primeros diseños de mezclas de concreto, para la resistencia a la compresión en estudio de 3000 psi como resistencia mínima; denominadas pruebas patrón (pruebas sin aditivo), realizados a partir de los datos obtenidos en las pruebas preliminares de los componentes del concreto, aplicando lo estipulado en el método **ACI comité 211.1** (Practica estándar de elección de las proporciones para el concreto normal, de densidad elevada y masivo).

En la tabla 21 se presentan los cálculos de volúmenes absolutos para un m³ de concreto, y a partir de estos resultados se presentarán en tablas de resumen los datos obtenidos de la prueba patrón 1 para agregados del banco San Cristóbal y cemento tipo HE (Ver clasificación de los cementos **sección 6.2.1.4**) y prueba patrón 3 para agregados del banco agrenic y cemento tipo GU. Los agregados utilizados se encontraron con los poros permeables

parcialmente llenos, por lo que se procedió a determinar el contenido de humedad, seguido de procesos de corrección por humedad y absorción.

También se presentan los datos de requerimiento de agua y cemento para el volumen determinado de concreto, del cual se procedió a la fabricación de cilindros según los procedimientos de la norma **ASTM C31**; para ser ensayados a compresión a las edades de 1, 3, 7, 14, y 28 días para la prueba patrón 1 y 7, 14 y 28 días para la prueba patrón 3, con un promedio de 3 cilindros por ensayo para todos los casos.

Tabla 21. Resumen de los pesos de los materiales para mezclas de pruebas de patrón.			
Descripción	U/M	Banco	
		San Cristóbal (Patrón 1) Cemento HE	Agrenic (Patrón 3) Cemento GU
Cemento :	Kg	18.30	24.00
Agua :	lts	10.25	13.40
Aire :	Kg	-	-
Grava :	Kg	46.62	59.55
Arena :	Kg	49.12	49.95
Volumen de batida	m ³	0.05	0.05
Peso Unitario Teórico	Kg/m ³	2,485.87	2,448.39
f'c	psi	3000	210
f'cr	psi	4200	4200

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3 Pruebas para determinar las propiedades de las mezclas de concreto.

7.3.1 Concreto fresco.

Para determinar las características del concreto en estado fresco, se deben llevar a cabo procedimientos normalizados por la **ASTM C172-04**, para toma de muestras en mezclas de concreto.

A continuación, se detallarán los resultados e interpretación de los mismos, obtenidos a partir de la toma de muestras representativas del concreto en estado fresco.

7.3.1.1 Toma de temperatura del concreto fresco.

En la norma **ASTM C1064**, se describen los procedimientos para determinar la temperatura en el concreto fresco, este ensayo es empleado principalmente para verificar el cumplimiento de requisitos especificados de temperatura.

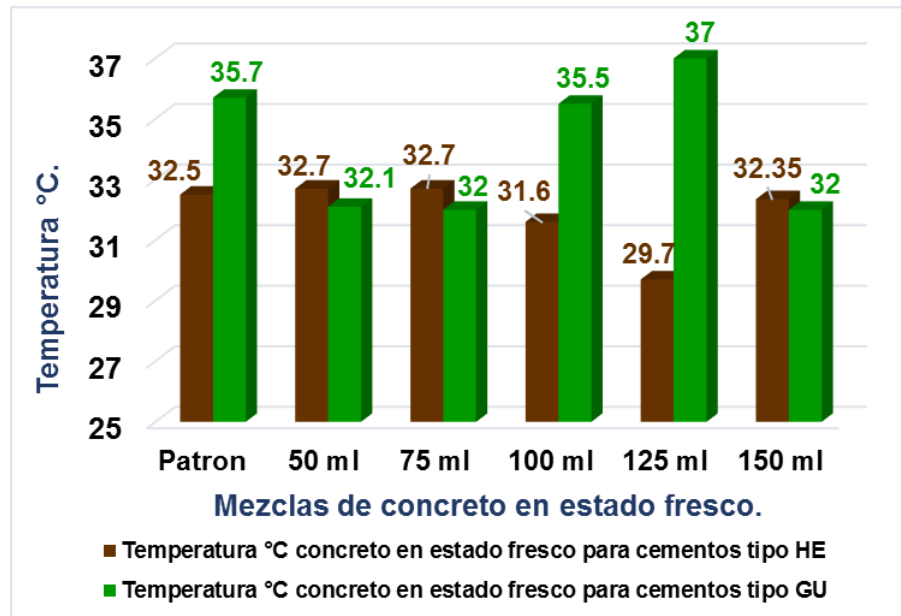


Ilustración 9. Temperaturas registradas en mezclas de concreto en estado fresco para cementos tipo HE y GU con y sin aditivo RMIX S 30. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.1.2 Determinación del revenimiento (SLUMP).

Este ensayo se usa para medir la consistencia del concreto, y es un indicador de la trabajabilidad con respecto al grado de fluidez cuando se evalúan en mezclas similares.

Los procedimientos se siguieron según lo establecido en la norma **ASTM C-143** aplicables a valores de revenimientos entre 2 a 20 cm, el cual consiste en colocar verticalmente un cono húmedo sobre una superficie plana, rígida y no absorbente, se debe de llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales y aplicar a cada capa 25 golpes, enrasar la última capa y levantar lentamente el cono en 5 ± 2 segundos.

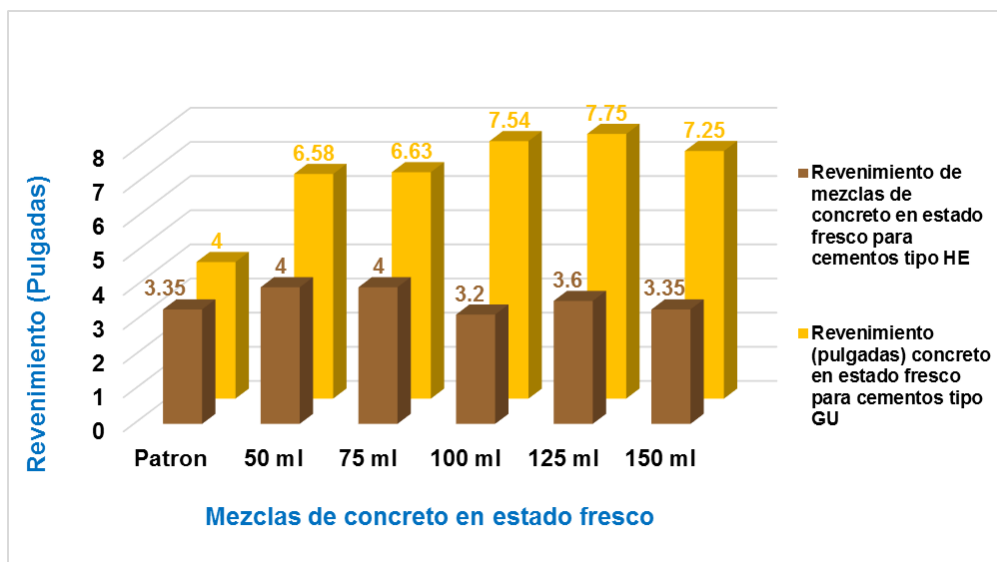


Ilustración 10. Valores de revenimiento para mezclas de concreto con cementos tipo HE y GU con y sin aditivo RMIX S30. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **ilustración 6** se puede apreciar el comportamiento del aditivo RMIX S30 con los dos tipos de cemento, y se observa claramente que en mezclas de concreto con cemento tipo GU se obtuvieron mezclas más fluidas, al registrar valores de revenimiento de casi el doble de lo esperado; mientras que los experimentos con cemento tipo HE se obtuvieron mezclas más rígidas, pero con valores dentro de los valores esperados (entre 3 y 4 pulgadas)

7.3.1.3 Determinación de la masa volumétrica.

La masa volumétrica del concreto se determina según lo establecido en la norma **ASTM C 138**, estos resultados se expresan en kilogramos por metro cubico.

El tamaño del recipiente para determinar la masa volumétrica y el rendimiento, varía según el tamaño del agregado, este debe de estar húmedo y se debe de llenar en tres capas de volúmenes aproximadamente iguales y aplicar a cada capa 25 golpes, enrasar la última capa y pesar en una balanza con precisión de 0.3 %.

En la **tabla 22** se puede observar que al agregar aditivo RMIX S30, la masa volumétrica disminuye respecto a la mezcla sin aditivo lo que significa que hay un aumento del volumen de vacíos, tal y como se muestra **sección 7.3.1.4** en los ensayos de contenido de aire.

Tipo de cemento	Patrón	50 ml	75 ml	100 ml	125 ml	150 ml
HE	2454.90	2356.70	2370.73	2356.70	2342.68	2314.62
GU	2521.24	2273.97	2279.48	2235.81	2151.93	21595.82

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.1.4 Determinación del contenido de aire.

Uno de los métodos más utilizados para medir el contenido de aire del concreto fresco, es el del método de presión establecido en la norma **ASTM C 231**.

Cementos tipo	Patrón 1	50 ml	75 ml	100 ml	125 ml	150 ml
HE	2.5	4	6	8.5	8.7	9

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En **la tabla 23** se puede observar que el porcentaje de aire contenido en las mezclas de concreto sin aditivo o prueba patrón1, están dentro del rango de aceptación a como se especifica en las tablas de selección de características para diseño de mezclas de concreto de peso normal de la norma ACI 211.1.

Algunos aditivos retardantes y aditivos reductores de agua pueden aumentar el contenido de aire de 1/2 % a 1%. Al observar los resultados (**ver tabla 23**) de porcentaje de aire contenido en los concretos con aditivo RMIX S30, vemos que van aumentando considerablemente a medida que va aumentando la dosificación del aditivo, y que estos no están dentro de los valores esperados según **la tabla 3 – ACI 211.1** en la **sección 7.1.2**.

7.3.1.5 Preparación y curado de especímenes de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión.

Procedimientos según norma **ASTM C 31** para la fabricación de especímenes moldeados en el laboratorio para los ensayos de resistencia a la compresión.

La probeta estándar para los ensayos de la resistencia a la compresión consta de un cilindro de 6 pulgadas de diámetro y por 12 pulgadas de altura, la cual se utilizó para los ensayos para concretos con y sin aditivo y cemento tipo GU; para cada edad se ensayaron 3 cilindros y se trabajó con el valor promedio.

Ultimamente se están utilizando cilindros de 4 de diámetro y 8 pulgadas de altura, principalmente para concretos de alta resistencia que contengan agregados de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ ", ya que son más fácil de moldear, requieren menos mezcla, y ocupan menos espacio para los procesos de curado y requieren de una máquina para ensayos de compresión de menor capacidad, para el caso de los cilindros de 4 x 8 pulgadas se utilizaron para los ensayos de concretos con y sin aditivo y cemento tipo HE; para cada edad se ensayaron 3 cilindros y se trabajó con el valor promedio.

Antes de llenar cada cilindro con mezcla de concreto, primero se deben aceitar las paredes del molde para lograr una buena compactación; la cual para efectos de este trabajo monográfico se realizó con varilla (punta de bala) o método apisonado (**ver figura 18**).

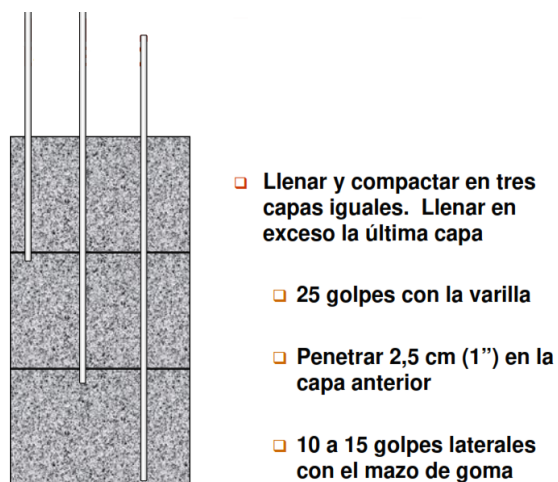


Fig. 18. Procedimiento para la elaboración de probetas de concreto. Fuente: Imagen, Control de calidad de mezclas de concreto

Los cilindros ensayados a compresión de 6 x 12 pulgadas fueron cabeceados con mortero de azufre según la norma **ASTM C 617**, mientras que para los cilindros de 4 x 8 se utilizaron almohadillas de neopreno según la norma **ASTM C 1231**.



Fig. 19. Cabeceo de cilindros (mortero de azufre y almohadillas de neopreno). Fuente: Imagen propia.

7.3.2 Concreto endurecido.

7.3.2.1 Ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin aditivo y cemento tipo HE

Para determinar la resistencia a la compresión del concreto se deben de cumplir los procedimientos descritos en las normas **ASTM C39**. En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos de las rupturas por compresión de cilindros de concreto a diferentes edades y dichos resultados se mostrarán gráficamente de los cual se tomaron los valores promedios de resistencia de tres probetas, para describir las curvas de desarrollo de resistencia.

Tabla 24. Resistencia a la compresión obtenida para diseño de concreto elaborado con cemento tipo HE					
Diseño Patrón 1 para resistencia a la compresión de 3000 psi	Edad de Ruptura	Testigo	Resistencia a Compresión		
			psi	% Esperado	% Obtenido
	1 Día	1	1489.04	20.00	49.63
		2	1713.54	20.00	57.12
		3	1776.68	20.00	59.22
		Promedio	1659.75	20.00	55.33
	3 Días	1	2816.73	50.00	93.89
		2	2637.83	50.00	87.93
		3	2820.23	50.00	94.01
		Promedio	2758.26	50.00	91.94
7 Días	1	3195.56	75.00	106.52	
	2	3304.30	75.00	110.14	
	3	3446.37	75.00	114.88	
	Promedio	3315.41	75.00	110.51	
14 Días	1	4074.25	90.00	135.81	
	2	3949.73	90.00	131.66	
	3	3826.96	90.00	127.57	
	Promedio	3950.31	90.00	131.68	
28 Días	1	4421.52	100.00	147.38	
	2	4474.14	100.00	149.14	
	3	4307.52	100.00	143.58	
	Promedio	4401.06	100.00	146.70	

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **tabla 24** se muestran los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los cilindros ensayados a las diferentes edades de curado, se puede apreciar que los valores obtenidos superan los valores esperados. Para el diseño patrón 1 los especímenes ensayados a un día registraron una resistencia (promedio de tres probetas) de 1659.75 psi y supera 1059.75 psi la resistencia esperada, a los 3 días de curado la resistencia promedio es 1258.26 psi arriba de lo esperado, a los 7 días de curado ya se obtuvieron valores 3315.1 psi, 1065.41 psi arriba de lo esperado y se puede apreciar que ya se alcanzó la resistencia especificada de 3000 psi como resistencia mínima; a los 14 días se ve un incremento menos significativo de los resultados, sin embargo, esta 1250.31 psi por encima de la resistencia esperada y para los 28 días de curado los especímenes ensayados indican

una resistencia de 4401.06 como valor promedio, el cual supera en 1401.06 el valor de diseño.

En la **ilustración 11** se presenta gráficamente la evolución de la resistencia requerida de 3000 PSI según el método **ACI 211.1** para la prueba patrón 1, donde se compara con la proyección teórica de la resistencia. Se observa que la curva real supera los resultados de la curva programada, logrando a los 28 días de curado un valor de hasta un 50 % por encima de lo esperado, lo que significa que a los 7 días ya se superaron la resistencia especificada f_c de 3000 psi.

Evolución de las Resist. a Compresión Obtenidas Para Diseño

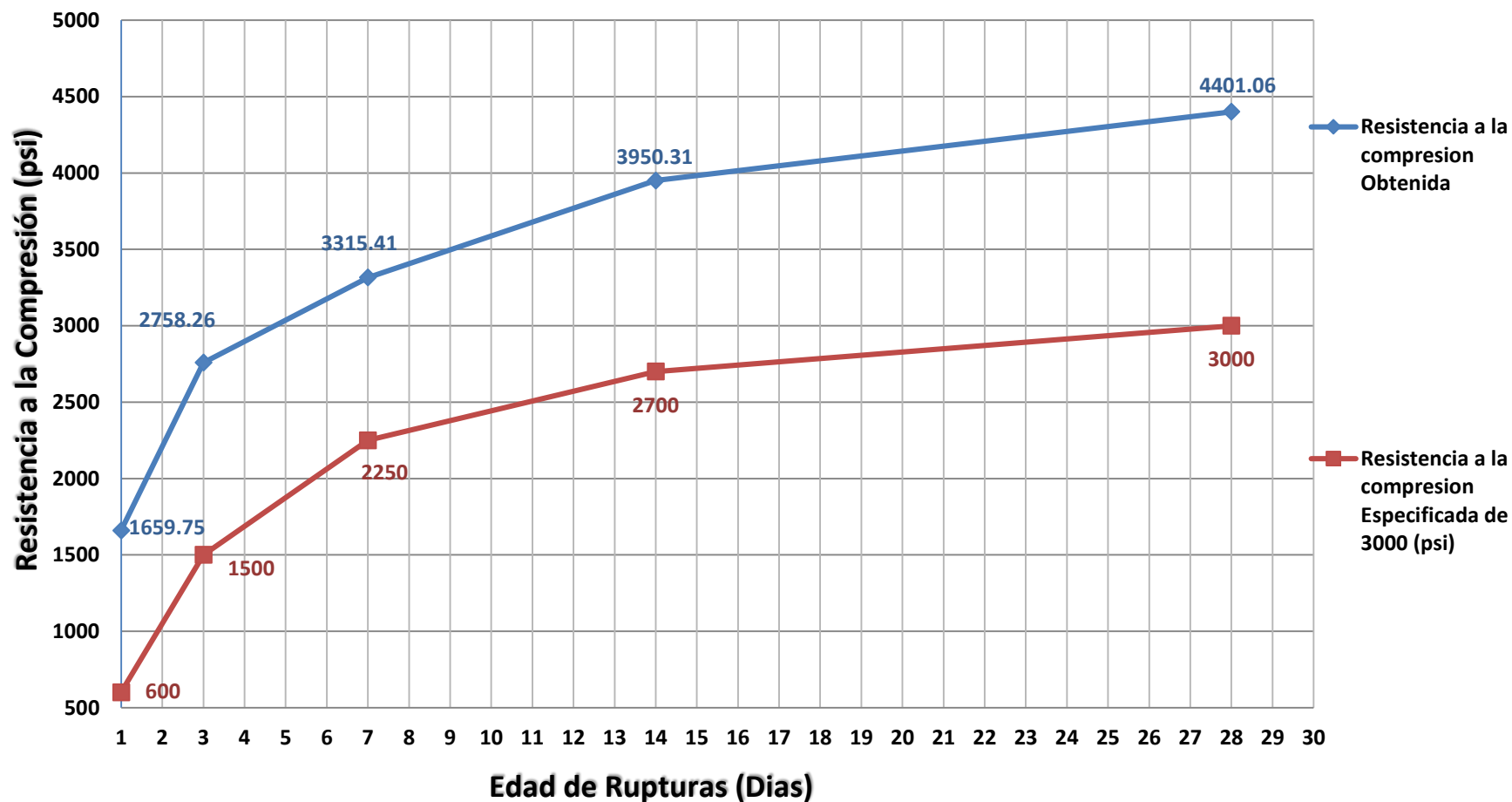


Ilustración 11. Evolución de resistencias, resistencia obtenida para prueba patrón 1 con cemento tipo HE VS resistencia esperada de 3000 psi a los 28 días.
Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.2.2 Ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin aditivo y cemento tipo GU

Tabla 25. Resistencia a la compresión obtenida para diseño de concreto elaborado con cemento tipo GU					
Diseño Patrón 1 para resistencia a la compresión de 3000 PSI	Edad de Ruptura	Testigo	Resistencia a Compresión		
			PSI	% Esperado	% Obtenido
	7 Días	1	2475.74	75.00	82.52
		2	2829.42	75.00	94.31
		3	2917.84	75.00	97.26
		Promedio	2741.00	75.00	91.37
	14 Días	1	2935.52	90.00	97.85
		2	3077.00	90.00	102.57
		3	2758.69	90.00	91.96
		Promedio	2923.74	90.00	97.46
	28 Días	1	3589.83	100.00	119.66
		2	3412.99	100.00	113.77
		3	3342.25	100.00	111.41
		Promedio	3448.36	100.00	114.95

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Con respecto al diseño patrón 3, se presentan los resultados en la **tabla 25** para los especímenes ensayados, con valores un tanto similares a los esperados aunque siempre por encima de ellos, a 7 días de curado registraron en promedio 2741 PSI , con lo que se supera en 491 PSI el valor esperado, a los 14 días se ve un incremento menos significativo de los resultados, sin embargo, está 223.74 PSI por encima de la resistencia esperada y para los 28 días de curado los especímenes ensayados indican una resistencia de 3448.36 PSI como valor promedio, el cual supera 448.36 PSI el valor de la resistencia requerida.

En la **ilustración 12** para la prueba **patrón 3**. En la curva se aprecia al igual que la tabla de resultados, que los valores de las curvas reales superan los valores de las curvas proyectadas teóricamente logrando a los 28 días de curado un valor de hasta un 15% arriba de lo esperado para mezclas de concreto con cementos tipo GU.

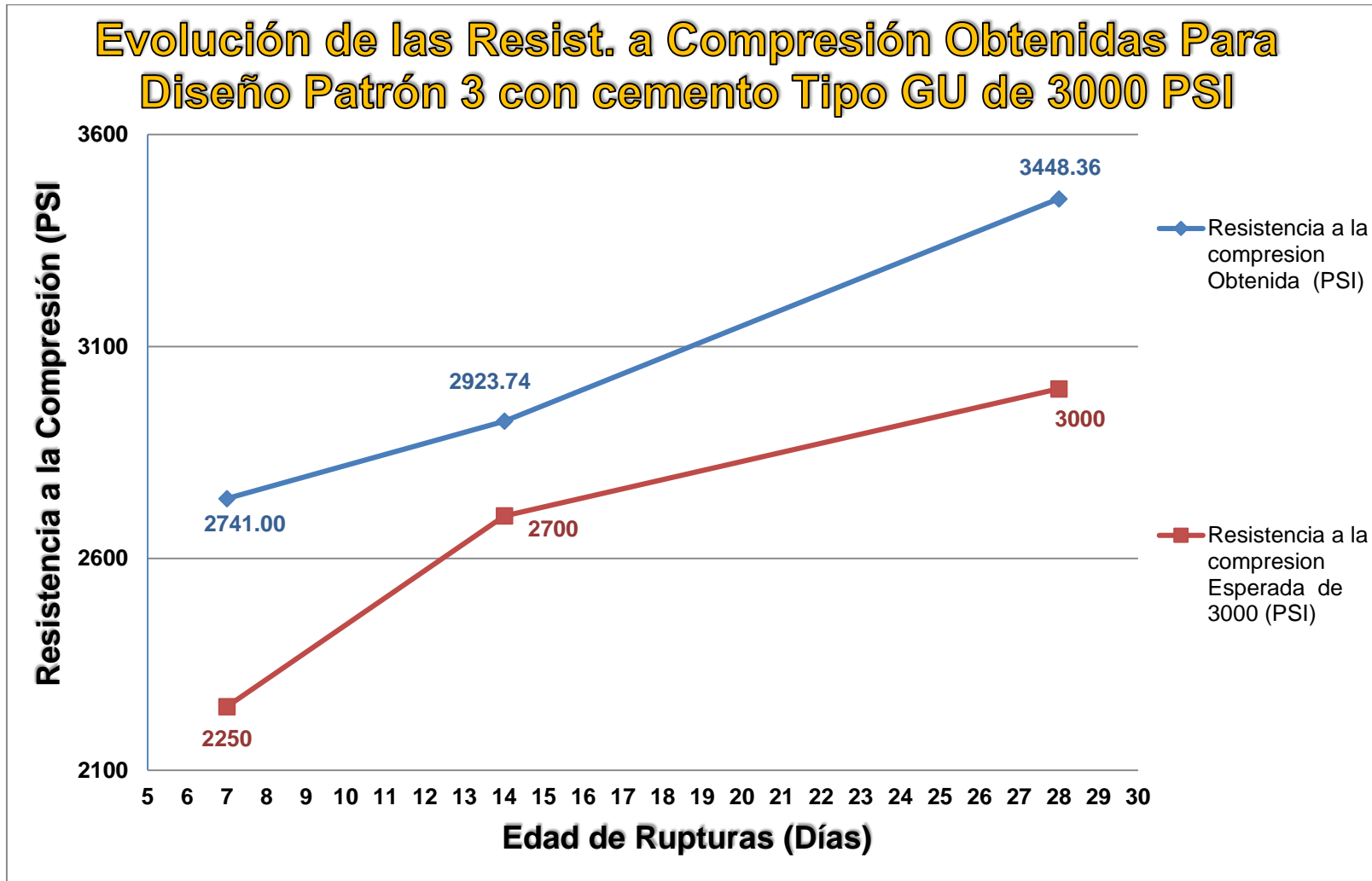


Ilustración 12. Evolución de resistencias, resistencia obtenida para prueba patrón 3 con cemento tipo GU VS resistencia esperada de 3000 psi a los 28 días. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.2.3 Ensayos de resistencia a la compresión del concreto con aditivo RMIX S30.

Los resultados tanto del diseño patrón 1 como del diseño patrón 3 descritos en la sección anterior se utilizaron como concretos de referencia con los resultados obtenidos de mezclas de concreto con aditivo RMIX S30 en sus diferentes dosificaciones de 50 ml, 75 ml, 100 ml, 125 ml y 150 ml.

Tabla 26. Resultados de ensayos a la compresión con aditivo RMIX S30 y cemento HE						
Edad de Ruptura Días	Obtenida (psi)					
	Patrón 1	RMIX S30 50 ml	RMIX S30 75 ml	RMIX S30 100 ml	RMIX S30 125ml	RMIX S30 150 ml
1	1659.8	1232.98	1263.96	1206.7	975.3	979.4
3	2758.3	2302.25	2752.42	2253.6	1892.7	1706.8
7	3315.4	2921.96	3431.75	2604.8	2370.7	2293.5
14	3950.3	3921.61	3968.44	2962.9	2957.4	2667.6
28	4401.1	4268.35	4666.48	3571.9	3036.0	2923.7

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **tabla 26** podemos apreciar la comparación de los valores obtenidos de los ensayos de la resistencia a compresión de los cilindros a diferentes edades empleando diferentes dosificaciones de aditivo como nuevo componente del concreto, con el objetivo de analizar en qué medida, su aplicación afecta el desarrollo de la resistencia mecánica de cada mezcla.

En el caso de la dosificación de 50 ml de RMIX S30 por bolsa de cemento, podemos observar que los resultados de la resistencia están por encima de la resistencia requerida, también podemos enfatizar que entre los 7 y 14 días hay un incremento importante en la resistencia a la compresión, sin embargo, al compararlos con la prueba patrón 1, estos no logran superarlos.

Cuando se aumenta la dosificación de RMIX S30 a 75 ml por bolsa de cemento, se puede notar que la resistencia va aumentando muy

significativamente en comparación a los resultados de la dosificación anterior, logrando superar la resistencia requerida, y al compararlos con resultados los de la prueba patrón 1 se puede observar que hay un ligero retraso en la evolución de la resistencia en los ensayos de 1 y 3 días de curado en comparación con los resultados de la prueba patrón 1, a partir de aquí se registra un comportamiento similar a de la prueba patrón 1 aunque siempre por encima de ella con valores de hasta 116.35 psi para las probetas ensayadas a 7 días de curado, 18.14 psi para las ensayadas a 14 días y 265.38 psi para los ensayos a 28 días de curado. Al aumentar la dosis de RMIX S30 a 100 ml por bolsa de cemento, se puede estimar que los registros de las resistencias de los ensayos a compresión decaen en comparación a los resultados de la dosis de RMIX 75 ml, no logrando superar así los resultados de la pruebas sin aditivo y a partir de aquí se fueron presentando comportamientos similares a medida que se fue aumentando la dosificación de aditivo RMIX S30 para 125 ml y 150 ml respectivamente, a como se puede observar en la **tabla 26**, sin embargo se logra superar para todos los casos la resistencia requerida de 3000 psi.

En la **ilustración 13**, se compara gráficamente la evolución de la resistencia mecánica entre la prueba patrón 1 y las diferentes dosificaciones de aditivo RMIX S30 para mezclas de concreto. En ella se puede apreciar que solo la curva de la dosificación de 75 ml para RMIX S30, tiene como resultado final la mayor resistencia adquirida aun por encima de la prueba patrón 1, aunque, cabe destacar que en las edades tempranas se queda un poco rezagada. También se observa que se obtuvo un incremento de la resistencia a la compresión de **6.03%**, respecto a los resultados sin aditivo.

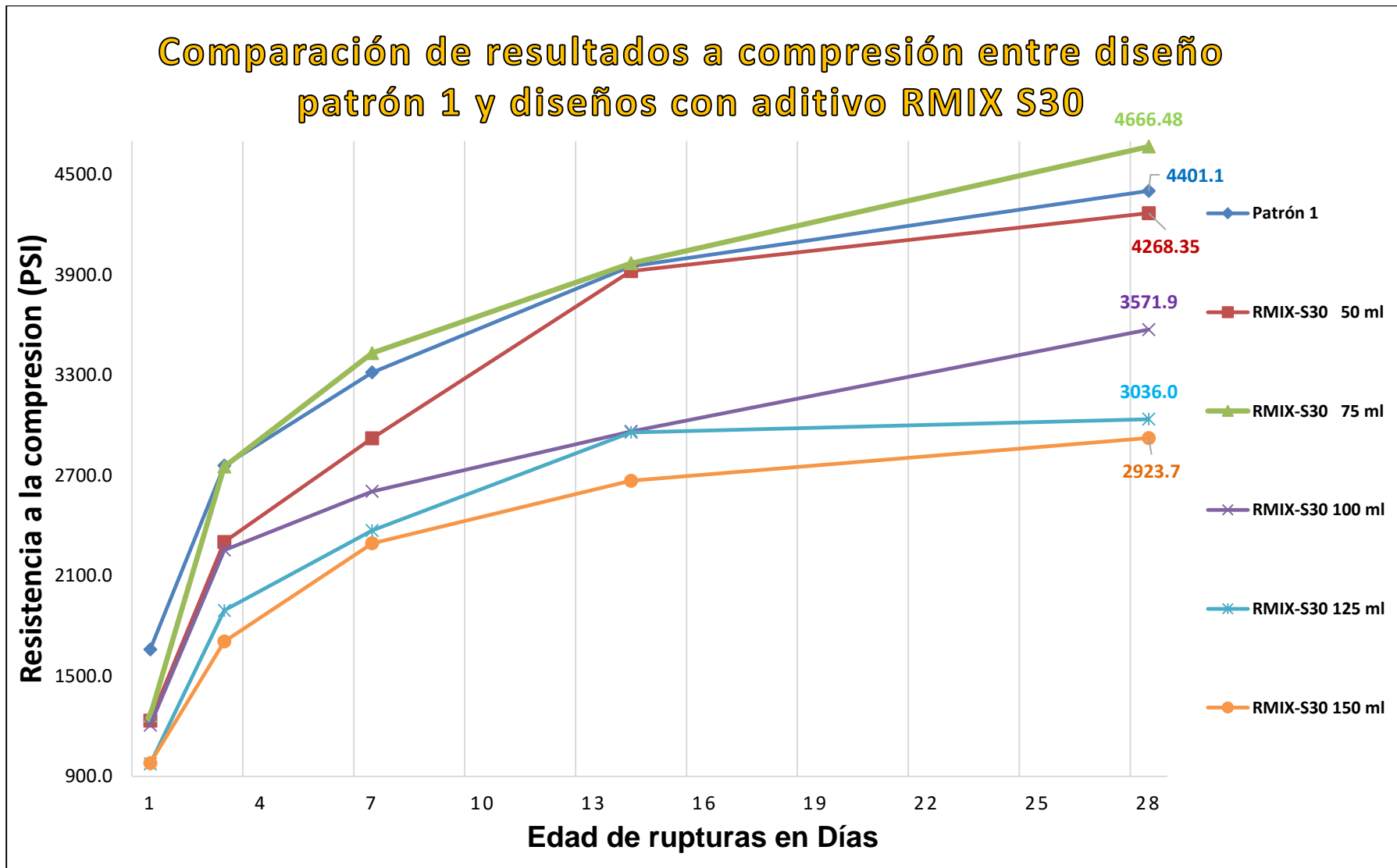


Ilustración 13. Evolución de la resistencia prueba patrón Vs Pruebas con aditivo RMIX S30. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

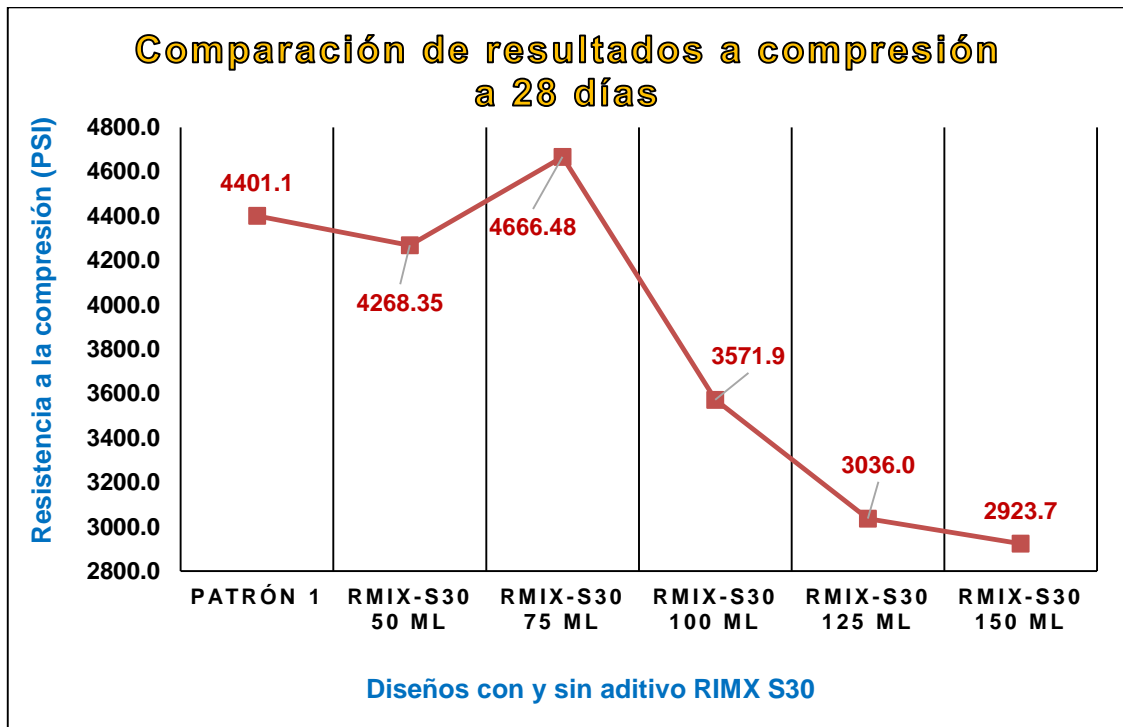


Ilustración 14. Comparación de resultados a 28 días de curado con y sin aditivo para cemento tipo HE. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **ilustración 14**, se observan claramente cada uno de los resultados finales de cada diseño, con y sin aditivo a 28 días de curado. Al observar las dos primeras dosificaciones con aditivo **RIMIX S30**, estas siguen una tendencia ascendente, por lo cual se esperaba que a medida que se fuera aumentando la dosificación de aditivo estos presentarían resultados a la compresión cada vez más altos, sin embargo, a partir de la dosificación de 100 ml de RIMIX S30 se presenta un comportamiento, justamente contrario a lo que se esperaba, por lo que, es importante recalcar que la dosis de 75 ml de aditivo es la que presenta resultados más altos y por encima del diseño de referencia.

Tabla27. Resultados de ensayos a la compresión con aditivo RMIXS30 y cemento GU						
Edad de Ruptura Días	Obtenida (PSI)					
	Patrón 3	RMIX S30 50 ml.	RMIX S30 75 ml.	RMIX S30 100 ml.	RMIX S30 125 ml.	RMIX S30 150 ml.
7	2741.00	1119.98	1514.92	801.67	565.88	476.9
14	2923.73	1326.29	1933.44	1102.30	715.61	591.5
28	3448.36	1892.18	2100.00	1567.97	900	811.3

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **tabla 27**, se puede Observar que la evolución de la resistencia en todos los casos, están muy por debajo de los valores esperados en comparación con los resultados de la prueba patrón 3. Los valores más cercanos a la resistencia esperada son los de la dosis de 75 ml del aditivo RMIX S30; con estos resultados apenas se logra un **60.90 %** de la resistencia final a los 28 días de curado, respecto a los resultados de las pruebas sin aditivo.

En la **ilustración 15** se compara gráficamente la evolución de la resistencia mecánica entre la prueba patrón 3 y las diferentes dosificaciones de aditivo RMIX S30 para mezclas de concreto, donde claramente se observan todas las curvas de los resultados con aditivo RMIX S30, muy por debajo de la curva registrada por las pruebas sin aditivo.

Comparación de resultados a compresión entre diseño patrón 3 y diseños con aditivo RMIX S30

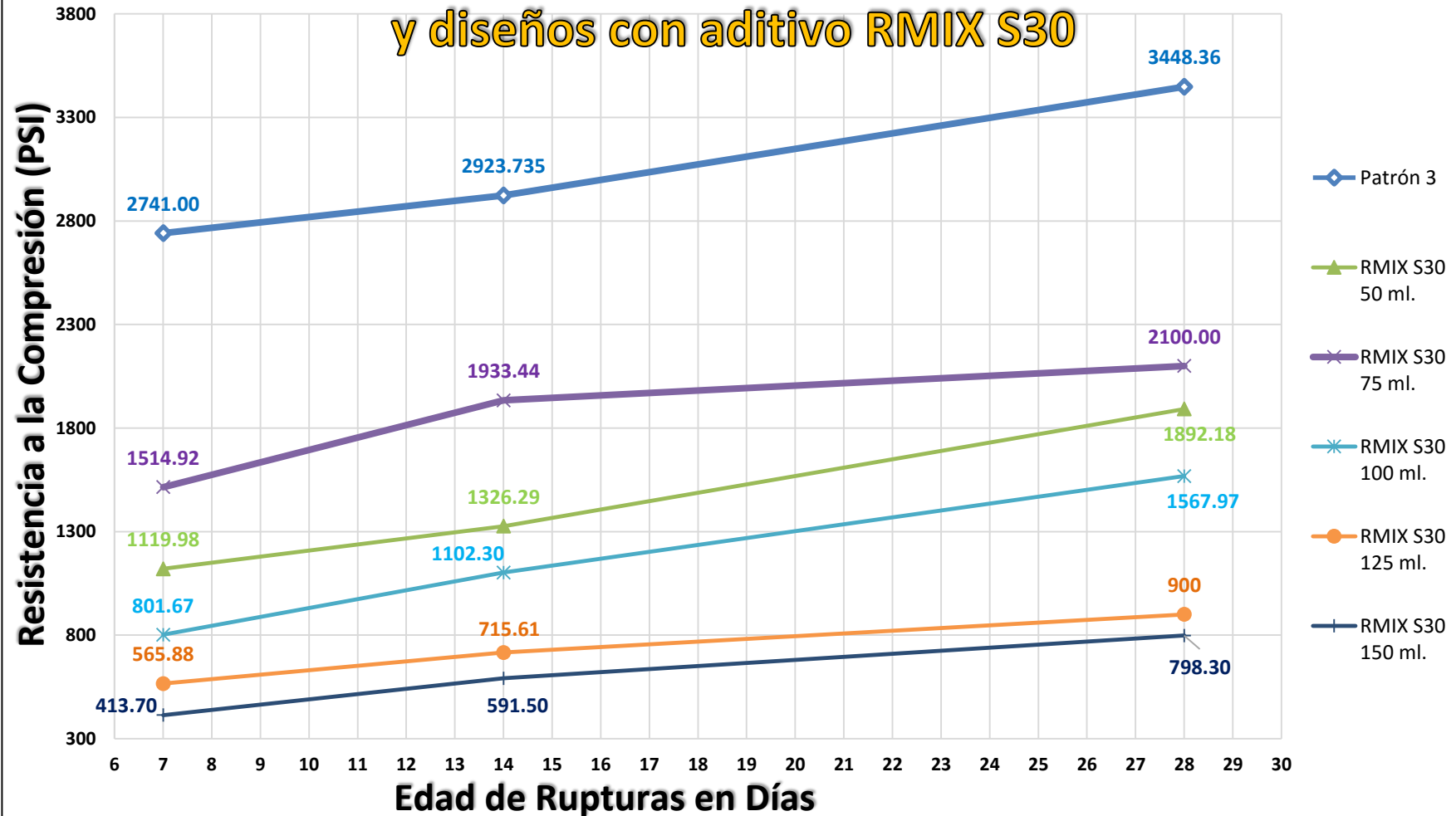


Ilustración 15. Evolución de la resistencia prueba patrón Vs pruebas con aditivo. Fuente: Propia, imagen EXCEL.

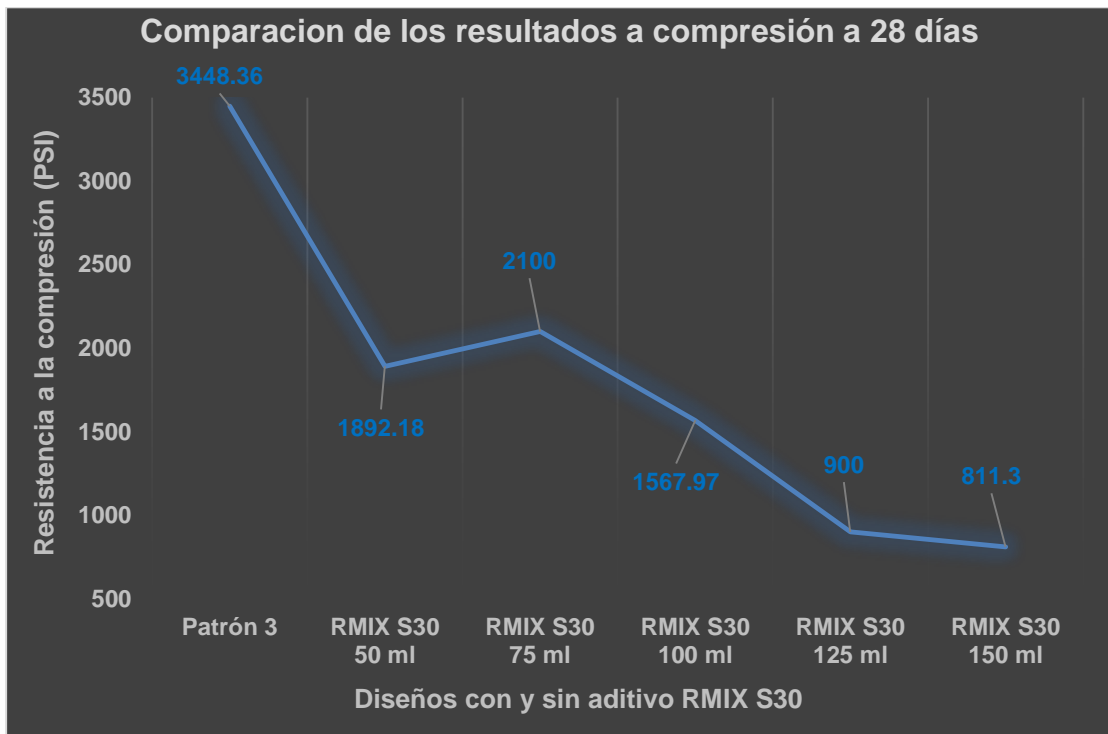


Ilustración 16. Comparación de resultados a 28 días de curado con y sin aditivo para cemento tipo GU Fuente: Propia, imagen EXCEL.

En la **ilustración 16**, se aprecian cada uno de los resultados finales de cada diseño, con y sin aditivo a 28 días de curado. Al observar las dos primeras dosificaciones con aditivo **RMIX S30**, estas siguen una tendencia ascendente, por lo cual se esperaba que a medida que se fuera aumentando la dosificación de aditivo estos presentarían resultados a la compresión cada vez más altos, sin embargo, a partir de la dosificación de 100 ml de RMIX S30 se presenta un comportamiento, justamente contrario a lo que se esperaba, por lo que, es imperante mencionar que la dosis de 75 ml de aditivo es la que presenta resultados más altos, aunque ninguno de los diseños con aditivo logran superar los resultados del diseño de referencia.

En la **ilustración 17**, se comparan los resultados finales a los 28 días con y sin aditivo, la gráfica de la izquierda corresponde a los resultados finales para concretos fabricados con cemento tipo HE y en la derecha se utilizó cemento TIPO GU, en ambas gráficas se puede apreciar que tienen la misma tendencia descendente siendo la dosificación de 75 ml de RMIX S30 el resultado más alto en ambos casos.

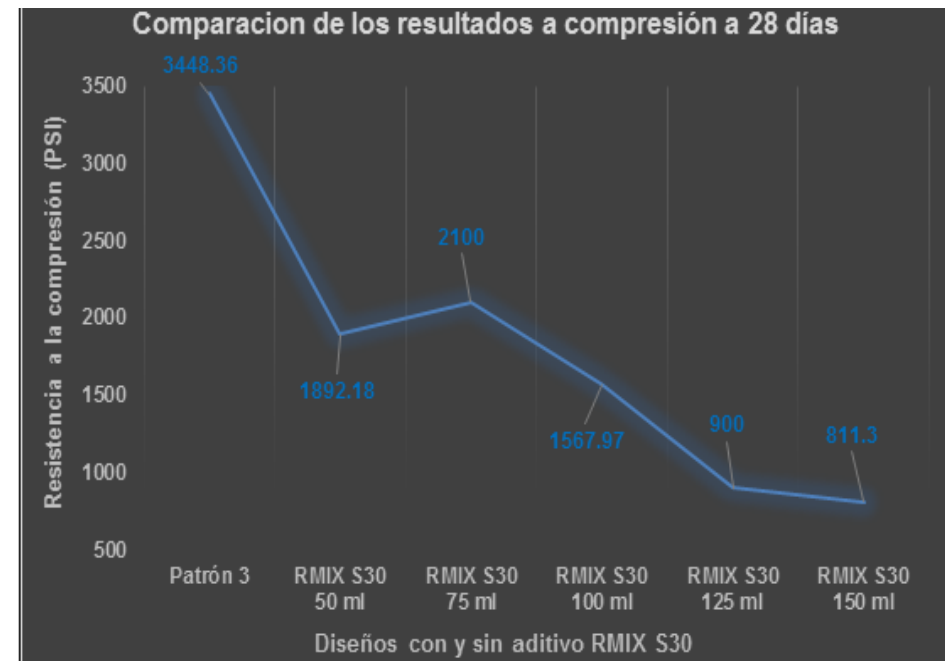
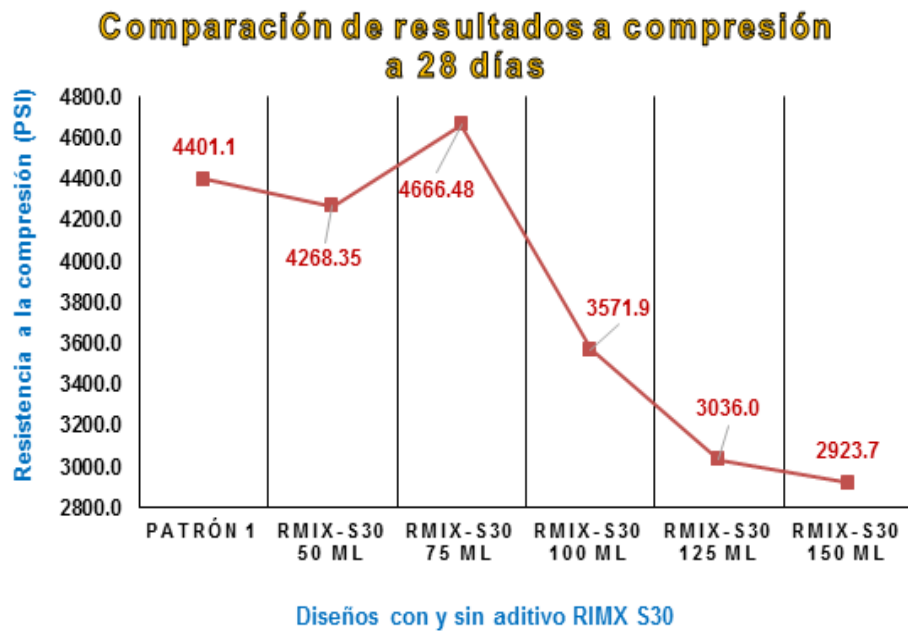


Ilustración 17. Comparación de resultados a 28 días de curado con y sin aditivo para cemento tipo HE (Izquierda) VS tipo GU (Derecha). Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.2.4 Ensayos de resistencia a la compresión del concreto con aditivo RMIX S30 y agua reducida.

Uno de los aspectos más importantes del concreto como producto final es que, su capacidad de adquirir resistencia mecánica está íntimamente relacionada la relación agua-cemento, de eso depende la manejabilidad que se obtenga al producir mezclas de concreto (ver **sección 7.1.1.2**), al comparar los resultados de la sección anterior con los resultados de las pruebas de revenimiento en la sección **9.2.1.2** vemos que los concretos producidos con cementos tipos HE y aditivo RMIX S30 presentan una consistencia más rígida o asentamiento bajo pero con resistencias a la compresión más altas que los concretos producidos con cementos tipo GU y aditivo RMIX S30 cuya consistencia es más fluida pero con comportamientos mecánicos muy por debajo de lo esperado.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de las propiedades del concreto usando aditivo y agua reducida. La dosificación de RMIX S30 de 75 ml por bolsa de cemento fue la única que presentó mejor comportamiento en los ensayos de las mezclas de concreto tanto en estado fresco como endurecido, por lo tanto, será la única dosificación que usará para determinar las propiedades del concreto con aditivo y agua reducida.

Tabla28.Resultados de pruebas para concreto en estado fresco.				
Diseño con cementos tipo GU	Slump Pulgadas		Temperatura °C	Peso unitario
	Esperado	Obtenido		
Patrón 3	3 a 4	4	35.7	2521.24
RMIX S30 75 ml sin reducción de agua		6.63	32.7	2279.48
RMIX S30 75 ml Con agua reducida al 5%		6.50	36	2177.54
RMIX S30 75 ml Con agua reducida al 10%		6.00	36.3	2251.53
RMIX S30 75 ml Con agua reducida al 15%		4.50	32.1	2177.47

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

La **tabla 28** refleja los resultados de los experimentos del concreto en estado fresco, donde se observa que al reducir el agua de amasado no se presentaron variaciones en el asentamiento al reducir en un 5 % y 10 %, al reducir el 15 % de agua de amasado en la mezcla de concreto, se registró una disminución del asentamiento, con valores aproximados a los de la mezcla sin aditivo, sin embargo no hubo mucha variación en los resultados de los pesos unitarios.

Tabla 29. Resistencia a la compresión (PSI) Promedio de 3 Probetas					
Edad de Ruptura Días	Obtenida (psi) para patrón 3 y RMIX S30 75 ml				
	Patrón 3	Sin agua reducida.	Agua reducida al 5%.	Agua reducida al 10%.	Agua reducida al 15%.
7	2741.00	1514.92	1384.85	1432.39	509.30
14	2923.73	1933.44	1772.21	1851.26	1193.66
28	3448.36	2100.00	1987.49	2074.68	1712.83

Fuente: Propia, imagen EXCEL.

Se redujo el agua de amasado con el objetivo de obtener un asentamiento igual o aproximado al que se obtuvo con el diseño sin aditivo (diseño patrón 3), el cual se obtuvo al reducir el agua en un 15 %, por lo tanto, al reducir agua en la mezcla de concreto se esperaba que aumentara la resistencia a la compresión, sin embargo, no se logra lo esperado y se registran resistencias muy por debajo de los resultados sin aditivo, incluso aún más bajas que los resultados con aditivo RMIX S30 75 ml.

En la **ilustración 17**, se comparan los resultados del diseño sin aditivo versus el diseños con aditivo RMIX S30 75 ml versus los diseños con aditivo RMIX S30 75 ml con agua reducida, donde se observan los resultados gráficamente y que estos están por debajo de los resultados del diseño de referencia.

COMPARACION DE LOS RESULTADOS A COMPRESION ENTRE DISEÑO PATRON 3 Y DISEÑO RMIX S30 75 ML Y AGUA REDUCIDA

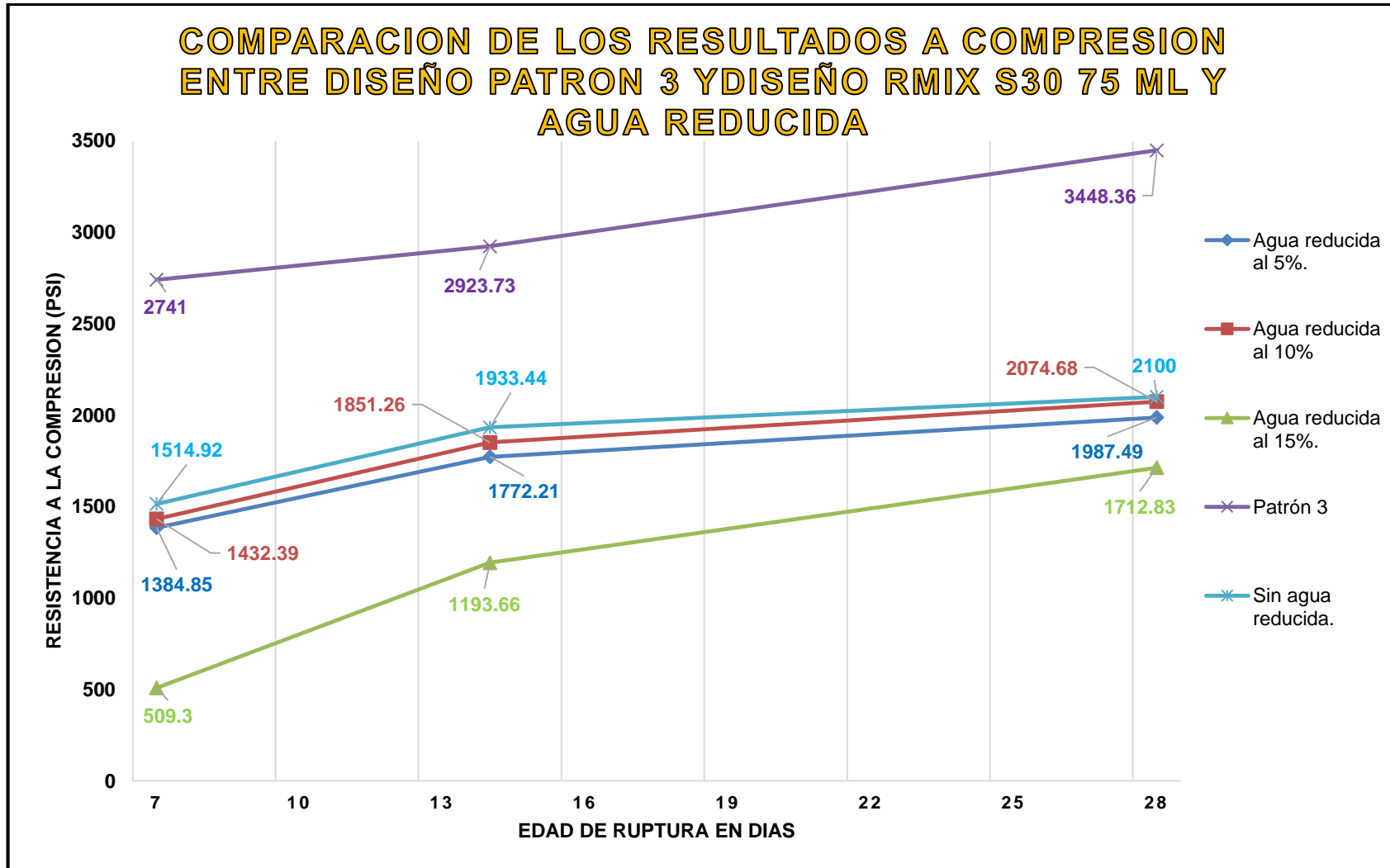


Ilustración 18. Evolución de la resistencia prueba patrón Vs Pruebas con aditivo Fuente: Propia, imagen EXCEL.

7.3.3 Clasificación del aditivo RMIX S30 según normas ASTM.

7.3.3.1 Clasificación de aditivos normas ASTM C 494.

La norma **ASTM C 494**, establece una serie de requisitos físicos que el aditivo debe de cumplir, definidos en la **tabla 30**.

Tabla 30. Requisitos físicos ASTM C 494							
	Tipo A Reductor de Agua	Tipo B Retardante	Tipo C Acelerante	Tipo D Reductor de Agua y Retardante	Tipo E Reductor de Agua y Acelerante	Tipo F Reductor de Agua de Alto Rango	Tipo G Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante
Contenido de agua, máx., % de control	95	-	-	95	95	88	88
Tiempo de ajuste, control de desviación permitida, h:min:							
Inicial: Al menos	-	1:00 después	1:00 antes	3:30 después	1:00 antes	-	1:00 después
No más de	1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después	3:30 antes	3:30 después	3:30 antes	1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después
Final: Al menos	-	-	1:00 antes	-	1:00 antes	-	-
No más de	1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después	-	3:30 después	-	1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después
Resistencia a la compresión, mín, % de control:							
1 día	-	-	-	-	-	140	125
3 días	110	90	125	110	125	125	125
7 días	110	90	100	110	110	115	115
28 días	110	90	100	110	110	110	110
6 meses	100	90	90	100	100	100	100
1 año	10	90	90	100	100	100	100
Resistencia a la flexión, mín., % de control:							
3 días	100	90	110	100	110	110	110
7 días	100	90	100	100	100	100	100
28 días	100	90	90	100	100	100	100
Cambio de longitud, máx. Contracción (requisitos alternativos)							
Porcentaje de Control	135	135	135	135	135	135	135
Aumento sobre el control	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010	0.010
Factor de duración relativa, mín.	80	80	80	80	80	80	80

Fuente: ASTM C 494.

Tabla 31. Requisitos físicos que RMIX S30 debe de cumplir según ASTM C 494.							
		Tipo B Retardante	RMIX S30 50 ml y cemento HE	RMIX S30 75 ml y cemento HE	RMIX S30 100 ml y cemento HE	RMIX S30 125 ml y cemento HE	RMIX S30 150 ml y cemento HE
Contenido de agua, máx., % de control		-	-	-	-	-	-
Tiempo de ajuste, control de desviación permitida, h:min:							
Inicial: Al menos		1:00 después	00:00 después	00:27 después	00:31 después	00:42 después	00:47 después
No más de		3:30 después	-	-	-	-	-
Final: Al menos		-	-	-	-	-	-
No más de		3:30 después	00:00 después	00:30 después	00:45 después	01:00 después	01:15 después
Resistencia a la compresión, min, % de control:							
1 día		-	74.28	76.15	72.7	58.76	59
3 días		90	83.47	99.79	81.7	68.62	61.88
7 días		90	88.13	103.51	78.57	71.51	69.18
28 días		90	96.98	106.03	81.16	68.98	66.43

Fuente: ASTM C 494.

A continuación, en la **tabla 31**, se comparan los resultados obtenidos en las mezclas de concreto con aditivo **RMIXS30 y cemento tipo HE**, con los parámetros que este debe de cumplir, para clasificarlo como aditivo **tipo B o Retardante**.

Al analizar el efecto que tiene **RMIX S30**, en mezclas de concreto respecto a la mezcla de referencia, se estima que este no cumple con los requisitos de fraguado tanto inicial como final, establecidos por la norma en la **tabla 30**. Sin embargo, al observar los resultados de la dosificación de **75 ml** de **RMIX S30**; se observa que es la única dosificación que cumple con las resistencias a la compresión mínima que exige la norma. Por lo tanto, por el efecto que tiene el aditivo RMIX S30 sobre mezclas de concreto con cementos tipo HE, no es posible clasificarlo como una aditivo **tipo B** o cualquiera de las otras clasificaciones que establece la norma **ASTM C 494**, ya que la misma exige que se cumplan todos los parámetros establecidos.

Tabla 32. Requisitos físicos que RMIX S30 debe de cumplir según ASTM C 494.							
		Tipo B Retardante	RMIX S30 50 ml y cemento GU	RMIX S30 75 ml y cemento GU	RMIX S30 100 ml y cemento GU	RMIX S30 125 ml y cemento GU	RMIX S30 150 ml y cemento GU
Contenido de agua, máx., % de control		-	-	-	-	-	-
Tiempo de ajuste, control de desviación permitida, h:min:							
Inicial: Al menos		1:00 después	00:16 después	00:38 después	00:41 después	-	-
No más de		3:30 después	-	-	-	01:02 después	01:22 después
Final: Al menos		-	-	-	-	-	-
No más de		3:30 después	00:24 después	00:34 después	00:54 después	01:09 después	01:39 después
Resistencia a la compresión, min, % de control:							
1 día		-	-	-	-	-	-
3 días		90	-	-	-	-	-
7 días		90	40.86	55.27	29.25	20.65	17.4
28 días		90	54.87	60.9	45.47	26.1	23.53

Fuente: ASTM C 494.

En la **tabla 32**, se comparan los resultados obtenidos en las mezclas de concreto con aditivo **RMIXS30 y cemento tipo GU**, con los parámetros que este debe de cumplir, para clasificarlo como aditivo **tipo B o Retardante**.

Al analizar el efecto que tiene **RMIX S30**, en mezclas de concreto respecto a la mezcla de referencia, se estima que con las dosificaciones de 125 y 150 ml, se logra un retardo tanto del fraguado inicial como del final permitido por la norma (ver **tabla 30**) como para clasificar al aditivo RMIX S30 como un aditivo tipo B. Sin embargo, no cumple con los requisitos de resistencias a la compresión mínima que exige. Por lo tanto, por el efecto que tiene el aditivo RMIX S30 sobre mezclas de concreto con cementos tipo GU, no es posible clasificarlo como una aditivo **tipo B** o cualquiera de las otras clasificaciones que establece la norma **ASTM C 494**.

Tabla 33. Requisitos físicos que RMIX S30 debe de cumplir según ASTM C 494.								
		Tipo A Reductor de Agua	Tipo D Reductor de Agua y Retardante	Tipo F Reductor de Agua de Alto Rango	Tipo G Reductor de Agua de Alto Rango y Retardante	RMIX S30 75 ml y cemento GU 5 %	RMIX S30 75 ml y cemento GU 10 %	RMIX S30 75 ml y cemento GU 15 %
Contenido de agua, máx., % de control		95	95	88	88	95	90	85
Tiempo de ajuste, control de desviación permitida, h:min:								
Inicial: Al menos		-	3:30 después	-	1:00 después	-	-	-
No más de		1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después	1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después	00:38 después	00:38 después	00:38 después
Final: Al menos		-	-	-	-	-	-	-
No más de		1:00 antes ni 1:30 después	3:30 después	1.00 antes ni 1:30 después	3:30 después	00:34 después	00:34 después	00:34 después
Resistencia a la compresión, min, % de control:								
1 día		-	-	140	125	-	-	-
3 días		90	110	125	125	-	-	-
7 días		90	110	115	115	50.52	52.26	18.58
28 días		90	110	110	110	57.54	60.16	49.67

Fuente: ASTM C 494.

En la **tabla 33**, se comparan los resultados obtenidos en las mezclas de concreto con aditivo RMIX S30 y cemento tipo GU, con los parámetros que este debe de cumplir, para clasificarlo según la norma **ASTM C 494**.

Al analizar el efecto que tiene RMIX S30, en mezclas de concreto respecto a la mezcla de referencia. Para una reducción de agua de amasado del 5 % y 10 %, en el diseño con aditivo RMIX S30 75 ml, se observa que estos cumplen con los requisitos de contenido de agua máximos permitidos por la norma para la clasificación tipo A y tipo D; de igual forma cumplen con los requisitos de tiempos de fraguado, sin embargo, no cumplen con los parámetros de resistencias a la compresión mínima que exige la norma, según la norma ASTM C 494. Por lo tanto, por el efecto que tiene el aditivo RMIX S30 sobre mezclas de concreto con cementos tipo GU, no es posible clasificarlo como un aditivo **tipo A** o **reductor de agua**, ni **tipo D** o **reductor de agua y retardante**.

Al analizar los resultados que se obtuvieron en los ensayos con aditivo RMIX S30, en mezclas de concreto respecto a la mezcla de referencia. Para una reducción de agua de amasado del 15 %, en el diseño con aditivo RMIX S30 75 ml, se observa que estos cumplen con los requisitos de contenido de agua máximos permitidos por la norma para la clasificación tipo F y tipo G; de igual forma cumplen con los requisitos de tiempos de fraguado, sin embargo, no cumplen con los parámetros de resistencias a la compresión mínima que exige la norma, según la norma ASTM C 494. Por lo tanto, por el efecto que tiene el aditivo RMIX S30 sobre mezclas de concreto con cementos tipo GU, no es posible clasificarlo como un aditivo **tipo F** o **reductor de agua de alto rango**, ni **tipo G** o **reductor de agua de alto rango y retardante**.

7.3.3.2 Clasificación de aditivos normas ASTM C 1017.

La norma **ASTM C 1017**, establece una serie de requisitos físicos que el aditivo debe de cumplir, definidos en la tabla 34.

Tabla 34. Requisitos físicos que RMIX S30 debe de cumplir según ASTM C 1017.		
	Tipo I Plastificante	Tipo II Plastificante y Retardante
Tiempo de fraguado, desviación permisible de referencia, h		
Inicial: al menos	-	1 después
No más que	1 antes ni 1 ½ después	3 ½ después
Final: al menos	-	-
No más que	1 antes ni 1 ½ después	3 ½ después
Incremento en Revenimiento, min	90mm (3.5 pulg)	90mm (3.5 pulg)
Resistencia a Compresión, min, % de Referencia		
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
6 meses	90	90
1 año	90	90
Resistencia a Flexión, min, % de Referencia		
3 días	90	90
7 días	90	90
28 días	90	90
Cambio de Longitud luego de 14 días de secado, máx. contracción (requisitos alternativos):		
% de Referencia	135	135
Aumente sobre la referencia, pulg.	0.010	0.010
Factor de durabilidad relativo, minuto.	80	80

Fuente: ASTM C 1017.

Tabla 35. Requisitos físicos que RMIX S30 debe de cumplir según ASTM C 1017.

	Tipo I Plastificante	Tipo II Plastificante y Retardante	RMIX S30 50 ml y cemento GU	RMIX S30 75 ml y cemento GU	RMIX S30 100 ml y cemento GU	RMIX S30 125 ml y cemento GU	RMIX S30 150 ml y cemento GU
Tiempo de fraguado, desviación permisible de referencia, h							
Inicial: al menos	-	1 después	00:16 después	00:38 después	00:41 después		
No más que	1 antes ni 1 ½ después	3 ½ después	-	-	-	01:02 después	01:22 después
Final: al menos	-	-	-	-	-	-	-
No más que	1 antes ni 1 ½ después	3 ½ después	00:24 después	00:34 después	00:54 después	01:09 después	01:39 después
Incremento en Revenimiento, min	90 mm (3.5 pulg)	90 mm (3.5 pulg)	65.53 mm (2.58 pulg)	66.80 mm (2.63 pulg)	89.92 mm (3.54 pulg)	95.25 mm (3.75 pulg)	82.55 mm (3.25 pulg)
Resistencia a Compresión, min, % de Referencia							
3 días	90	90	-	-	-	-	-
7 días	90	90	40.86	55.27	29.25	20.65	17.4
28 días	90	90	54.87	60.9	45.47	26.1	23.53

Fuente: ASTM C 1017.

En la **tabla 35**, se comparan los resultados obtenidos en las mezclas de concreto con aditivo **RMIXS30** y cemento tipo **GU**, con los parámetros que este debe de cumplir, para clasificarlo como aditivo **tipo I** (Plastificante) o **tipo II** (Plastificante y retardante).

La norma **ASTM 1017**, especifica que para clasificar un aditivo como plastificante, este debe de incrementar el revenimiento de la mezcla de concreto como mínimo **3.5 pulgadas** (90mm) respecto a la mezcla de referencia. Al analizar el efecto que tiene RMIX S30, en mezclas de concreto, se determinó que cada una de las dosificaciones de dicho aditivo incrementa el revenimiento en un rango 2.5 a 3.75 pulgadas, sin embargo, las únicas dosificaciones que cumplen con el rango mínimo establecido por la norma, son las dosis de 100 y 125 ml, también se logra un retardo tanto del fraguado inicial como del final permitido por la norma (ver tabla 34) en los ensayos con todas las dosificaciones del aditivo en estudio. Al observar los resultados a compresión, estos no cumplen con los requisitos de resistencias a la compresión mínima que exige la norma ya que el objetivo de este límite. Por lo tanto, por los resultados obtenidos con el aditivo RMIX S30 sobre mezclas de concreto con cementos tipo GU, no es posible clasificarlo según la norma **ASTM C 1017**.

CONCLUSIONES.

Una vez expuestos los resultados de este estudio monográfico, con los cuales se logran los objetivos sobre el aditivo en estudio **RMIX S30**, se llega a las siguientes conclusiones:

Por las características propias de los agregados (finos y gruesos), tanto del banco San Cristóbal como del banco AGRENIC, estos pueden ser clasificados como agregados de peso normal.

Las pruebas realizadas tanto al material cero como a la grava, demuestran que son aptos para su empleo como agregados en mezclas de concreto, salvo algunos inconvenientes en cuanto a la granulometría del material cero ya que no cumple con lo especificado en la ASTM C 33 para agregados finos, sin embargo, el comité ACI 318-14 en el capítulo 26 indica lo siguiente:

“Aquellos materiales que no cumplen con las normas pueden permitirse, mediante una aprobación especial, cuando se presente evidencia aceptable de comportamiento satisfactorio. Debe observarse, sin embargo, que el comportamiento satisfactorio en el pasado no garantiza buen comportamiento en otras condiciones y en otros lugares. Siempre que sea posible, deben utilizarse agregados que cumplan con las normas establecidas.” **(ACI 318S, 2014)**

Los ensayos realizados para los cementos tipo HE y GU, revelan que presentan valores normales de consistencia y tiempos de fraguado (inicial y final) y gravedades específicas dentro de los parámetros esperados. Cabe recalcar que la diferencia entre ambos valores se debe a que se trata de dos tipos de cemento diferente.

Se presentó un retardo de fraguado tanto inicial como final, en los ensayos con aditivo RMIX S30 para los dos tipos de cemento, siendo los resultados con el cemento tipo GU los que presentaron mayor retraso en los tiempos de fraguado.

Las mezclas preparadas con cemento tipo GU y aditivo RMIX S30 son más trabajables que las preparadas con cemento tipo HE, sin embargo, se logró

mejorar la fluidez en las mezclas de concreto para ambos tipos de cemento con el aditivo en estudio.

Los valores de cilindros sometidos a ruptura a compresión, revelan que la dosificación de 75 ml por bolsa de cemento para RMIX S30 es la más óptima, ya que, con dosificaciones menores o mayores a 75 ml se registra una disminución en la resistencia a la compresión.

Por el comportamiento de las mezclas de concreto con los dos tipos de cemento y el aditivo RMIX S30 se aprecia que existe una variación en cuanto a los tiempos de fraguado y revenimientos, también se registraron variaciones en el contenido de aire y solo con el cemento HE se logra garantizar la resistencia a la compresión, mientras que con el cemento GU se obtuvieron resistencias bajas para todos los casos de dosificación de aditivo, sin embargo, al comparar los resultados obtenidos en los ensayos de mezclas de concreto con y sin aditivo, respecto a los parámetros establecidos por la norma ASTM C 494 y ASTM C 1017 para clasificar el aditivo en estudio; se encontró que no es posible clasificar el aditivo RMIX S30, debido a que la norma exige el cumplimiento de cada uno de los requisitos físicos (ver **tabla 30** y **tabla 34** de la **sección 7.3.3**)

RECOMENDACIONES.

Los agregados finos y gruesos ensayados del banco San Cristóbal y AGRENIC, pueden ser utilizados en mezclas de mortero y mezclas de concreto.

Debido a que todos los ensayos con el material cero se realizaron sin considerar el sobre tamaño, antes de utilizarlo en mezclas de concreto o mortero se deberá tamizar por la malla N°4 (eliminar las partículas de tamaños mayores de 4.75 mm).

Debido a que los resultados de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido para diseños de pruebas patrón con ambos tipos de cemento superan los valores esperados planteados en la norma **ACI 211.1**, se recomienda estos diseños de concreto para obras civiles.

Los diseños de mezcla patrón presentados en este documento monográfico se recomiendan para los tipos de construcción de concreto mostrados en la **Tabla – 5 ACI 211.1** de la **sección 7.1.1.4**, ya presentan revenimientos dentro de los parámetros esperados de 3 a 4 pulgadas.

Se recomienda realizar un análisis a nivel químico del aditivo **RMIX S30**, para garantizar las resistencias mecánicas en las mezclas de concreto, debido que su uso no es factible porque tiene un efecto negativo en las propiedades del concreto endurecido.

GLOSARIO

Aditivos: son sustancias químicas, generalmente dosificadas por debajo del 5% del peso del cemento, distinta del agua, los agregados, el cemento y los refuerzos de fibra, que se emplean como ingredientes en el concreto y en el mortero, y se agrega al diseño antes o durante el proceso de mezclado, con el fin de modificar alguna o algunas de sus propiedades, de tal manera que el material se adapte de una mejor forma a las características de la obra o las necesidades del constructor.

Adherencia: Unión de un objeto a otro mediante una sustancia que las aglutina.

Fluidez: es una medida de la consistencia de la pasta del cemento expresada en términos del incremento del diámetro de un espécimen moldeado por un medio cono, después de sacudir un número específico de veces.

Mortero: El mortero es una mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos, agua, y posibles aditivos que sirven para pegar elementos de construcción tales como ladrillos, piedras, bloques de hormigón, etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para el repello de paredes de mampostería.

Relación Agua- Cemento (R A/C): La relación agua-cemento, también conocida como razón agua/cemento, a/c , es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del hormigón y/o mortero, pues influye grandemente en la resistencia final del mismo.

Reológico: El termino reológico consiste en la variación de las propiedades físicas y mecánicas de un material bajo la influencia de cargas u otras causas.

Superfluidificantes: Aditivos reductores de agua.

Trabajabilidad: Se considera como aquella propiedad del hormigón mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser terminado sin segregación dañina alguna.

Áridos: material granulado que se utiliza como materia prima en la construcción, principalmente. El árido se diferencia de otros materiales por su estabilidad química y su resistencia mecánica, y se caracteriza por su tamaño.

Conglomerante: Se denomina conglomerante al material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas concretos y morteros.

Dosificación: implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen al concreto y/o mortero, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado correcto.

ASTM: es un organismo de normalización de los Estados Unidos de América. Con su sigla en inglés “American Society for Testing Materials.”

ACI: AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Es una organización que publica un gran número de libros sobre tecnología de concreto, incluso 3 revistas de valor extraordinario: 1) ACI Journal (bimensual), 2) Concrete international (mensual), 3) Concrete abstracts (bimensual).

Bibliografía

ACI 318S. (2014). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*. Michigan, USA.

American Institute Of Concrete. (2005). *Requisitos de Reglamento Para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318S-05)*. Estados Unidos.

Blanco Rodriguez Marvin, M. L. (s.f.). *Guía de Laboratorio de Materiales de construcción, Universidad Nacional de Ingeniería (UNI_RUPAP)*. Managua.

Cuevas, O. M. (2005). *Aspectos Fundamentales de Concreto Reforzado*. México: Limusa.

Félix Orus Asso. (1974). *Materiales de construcción*. México.

INCYC, I. N. (2014). *Control de calidad del concreto en obra*. Managua.

INCYC, I. N. (2015). *La resistencia del concreto*. Managua.

Instituto Nicaraguense del Concreto y del Cemento. (s.f.). *Guía Básica para el Control de Calidad del Concreto en Obra*. Managua.

Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto*. Mexico.

Oscar Gonzales Cuevas. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. México: Limusa.

PCA, P. C. (2004). *Design and Control of concrete Mixtures*.

Rivera, G. A. (s.f.). *Concreto Simple*.

www.google.com.

www.wikipedia.com.

ANEXOS.

Anexos A.

Este anexo contiene una serie de tablas sobre las pruebas realizadas para determinar el análisis granulométrico en los agregados tanto fino como grueso, del banco San Cristóbal y del banco AGRENIC.

Evaluacion de las Propiedades del Agregado Fino (Arena)		
Fecha de estudio:	19/08/2014	
Hora:	02:00:00 p. m.	
Lugar:	Planta San Cristobal	
Banco:	Planta San Cristobal	
Origen:	Basalto	
Nomenclatura:	Arena Basáltica	
Referencia:	ASTM C33	
Peso Inicial Seco (gr)	500	
Peso despues de lavado (gr)	492.6	
% pérdida por lavado	1.48	
Fondo Charola	51.9	

Malla N°	Abertura en mm	Peso Retenido en cada Tamíz (gr)	% Retenido		% que pasa	Limite Inferior %	Limite Superior %
			Parcial	Acumulado			
1/2"	12.7	0	0	0	0	100.00	100.00
3/8"	9.525	0	0	0	0	100.00	100.00
N°4	4.76	11.4	2.31	2.31	97.69	95.00	100.00
N°8	2.36	121.3	24.62	26.94	73.06	80.00	100.00
N°16	1.18	119.6	24.28	51.22	48.78	50.00	85.00
N°30	0.6	82.2	16.69	67.90	32.10	25.00	60.00
N°50	0.3	46.5	9.44	77.34	22.66	10.00	30.00
N°100	0.15	31.7	6.44	83.78	16.22	2.00	10.00
N°200	0.075	28.0	5.68	89.46	10.54	0.00	0.00
Fondo		51.9	10.54	100.00	0.00		
Σ		492.6					
MF	3.10						

Evaluacion de las Propiedades del Agregado Grueso (Grava 3/4")			
Fecha de estudio:	30/06/2014		
Hora:	10:21:00 a. m.		
Lugar:	Planta San Cristobal		
Banco:	Planta San Cristobal		
Origen:	Basalto		
Nomenclatura:	Grava Basáltica		
Referencia:	ASTM C136		

Malla N°		Peso Retenido en cada Tamíz (gr)	% Retenido		% que pasa	Limite Inferior	Limite Superior
			Parcial	Acumulado			
1 1/2"	30.1	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.05	356.7	5.82	5.82	94.18	90.00	100.00
1/2"	12.7	2879.3	46.99	52.81	47.19		
3/8"	9.525	1386.1	22.62	75.43	24.57	20.00	55.00
N°4	4.76	1223.4	19.97	95.40	4.60	0.00	10.00
N°8	2.36	137.1	2.24	97.64	2.36	0.00	5.00
N°200	0.075	103.5	1.69	99.33	0.67	0.00	0.00
Fondo		41.3	0.67	100.00	0.00		
Σ		6127.4					

Evaluacion de las Propiedades del Agregado Fino (Arena)		
Fecha de estudio:	24/02/2015	
Hora:	09:00:00 a. m.	
Lugar:	Lab. De materiales UNI - RUPAP	
Banco:	Agrenic	
Origen:	Basalto	
Nomenclatura:	Arena Basáltica	
Norma de referencia:	ASTM C33	
Peso Inicial Seco (gr)	500	gr
Peso despues de lavado (gr)	436.2	gr
% pérdida por lavado	12.76	
Fondo Charola	63.8	gr

Malla N°	Abertura en mm	Peso Retenido en cada Tamíz (gr)	% Retenido		% que pasa	Limite Inferior %	Limite Superior %
			Parcial	Acumulado			
1/2"	12.7	0	0	0	0	100.00	100.00
3/8"	9.525	0	0	0	0	100.00	100.00
N°4	4.76	0	0.00	0.00	100.00	95.00	100.00
N°8	2.36	132.7	26.54	26.54	73.46	80.00	100.00
N°16	1.18	105.45	21.09	47.63	52.37	50.00	85.00
N°30	0.6	82.95	16.59	64.22	35.78	25.00	60.00
N°50	0.3	49.45	9.89	74.11	25.89	10.00	30.00
N°100	0.15	37.5	7.50	81.61	18.39	2.00	10.00
N°200	0.075	29.85	5.97	87.58	12.42	0.00	0.00
Fondo		62.1	12.42	100.00	0.00		
Σ		500.0					
MF	2.94						

Evaluacion de las Propiedades del Agregado Grueso (Grava 3/4")			
Fecha de estudio:	23/02/2015		
Hora:	08:00:00 a. m.		
Lugar:	Lab. De Materiales UNI - RUPAP		
Banco:	Agrenic		
Origen:	Basalto		
Nomenclatura:	Grava Basáltica		
Referencia:	ASTM C136		

Malla N°		Peso Retenido en cada Tamíz (gr)	% Retenido		% que pasa	Limite Inferior	Limite Superior
			Parcial	Acumulado			
1 1/2"	30.1	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1"	25.4	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.05	517	7.25	7.25	92.75	90.00	100.00
1/2"	12.7	3123.1	43.81	51.06	48.94		
3/8"	9.525	1539.9	21.60	72.66	27.34	20.00	55.00
N°4	4.76	1482.0	20.79	93.45	6.55	0.00	10.00
N°8	2.36	234.5	3.29	96.74	3.26	0.00	5.00
N°200	0.075	187.3	2.63	99.37	0.63	0.00	0.00
Fondo		45.0	0.63	100.00	0.00		
Σ		7128.8					

Anexo B

Este anexo presenta una serie de tablas donde se puede ver el tiempo de fraguado inicial y final de cada una de las muestras.

Tiempo de fraguado cementos tipo GU Patron					
Tiempo de Inicio de Amasado		10:48:00 a.m.	10:37:00 a. m.	10:40:00 a. m.	
LECTURA Nº	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	41.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	39.00	40.00	39.00	
4	75	33.00	38.00	33.00	
5	90	27.00	34.00	26.00	
6	105	26.00	33.00	22.00	
7	120	25.50	29.00	19.00	
8	135	23.00	24.00	16.00	
9	150	21.00	22.00	13.00	
10	165	12.00	18.00	10.00	
11	180	6.00	11.00	7.00	
12	195	5.00	10.00	5.00	
13	210	1.00	6.00	3.00	
14	225	0.50	3.00	1.00	
15	240	0.00	1.00	0.50	
16	255	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		123	123	101.25	115.75
Fraguado final (hrs.)		04:00	04:25	04:25	04:16

Tiempo de fraguado cementos tipo GU RMIX S30 50 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		10:48:00 a.m.	10:37:00 a. m.	10:40:00 a. m.	
LECTURA Nº	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	41.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	40.00	39.00	39.00	
4	75	39.00	38.00	38.00	
5	90	38.00	38.00	37.00	
6	105	33.00	31.00	35.00	
7	120	27.00	26.00	29.00	
8	135	24.00	22.00	26.00	
9	150	22.00	20.00	24.00	
10	165	17.00	18.00	20.00	
11	180	9.00	11.00	12.00	
12	195	6.00	8.00	10.00	
13	210	3.00	6.00	5.00	
14	225	2.00	3.00	2.00	
15	240	1.50	2.00	1.50	
16	255	1.00	1.00	1.00	
17	270	0.50	0.50	0.00	
18	285	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		130	123.75	142.5	132.08
Fraguado final (hrs.)		04:45	04:45	04:30	04:40

Tiempo de fraguado cementos tipo GU RMX S30 75 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		10:48:00 a.m.	10:37:00 a. m.	10:40:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	39.50	40.00	
2	45	39.50	39.50	39.50	
3	60	39.50	38.00	39.50	
4	75	39.00	38.00	39.00	
5	90	38.50	38.00	38.50	
6	105	37.00	37.00	38.00	
7	120	36.00	36.00	35.50	
8	135	32.00	32.00	29.00	
9	150	27.00	29.50	23.50	
10	165	20.00	24.00	20.00	
11	180	15.00	20.50	16.00	
12	195	9.50	15.50	9.00	
13	210	5.00	9.00	5.00	
14	225	3.00	7.00	3.00	
15	240	1.50	4.50	1.50	
16	255	1.50	3.00	1.00	
17	270	1.00	1.00	0.50	
18	285	0.50	0.50	0.00	
19	300	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		154.29	162.27	145	Promedio
Fraguado final (hrs.)		05:00	05:00	04:30	04:50

Tiempo de fraguado cementos tipo GU RMX S30 100 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:25:00 a. m.	10:37:00 a. m.	11:45:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	39.50	40.00	
2	45	40.00	39.50	40.00	
3	60	39.00	38.00	39.00	
4	75	39.00	38.00	39.00	
5	90	39.00	38.00	38.50	
6	105	37.00	37.00	36.00	
7	120	34.50	36.00	33.50	
8	135	31.00	32.00	31.00	
9	150	27.00	26.00	26.00	
10	165	24.00	24.00	23.00	
11	180	19.50	20.00	16.00	
12	195	13.00	11.00	9.00	
13	210	7.00	5.00	5.00	
14	225	3.00	3.00	3.00	
15	240	2.00	2.00	2.50	
16	255	1.00	1.00	1.50	
17	270	0.50	0.50	1.00	
18	285	0.50	0.50	0.50	
19	300	0.20	0.30	0.00	
20	315	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		160	157.5	155	Promedio
Fraguado final (hrs.)		05:15	05:15	05:00	05:10

Tiempo de fraguado cementos tipo GU RMIX S30 125 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:00:00 a. m.	10:58:00 a. m.	11:40:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	41.00	40.50	40.00	
2	45	41.00	41.00	40.00	
3	60	40.00	40.00	39.00	
4	75	39.00	40.00	39.00	
5	90	39.00	38.00	38.50	
6	105	38.00	38.00	38.00	
7	120	36.00	37.00	36.00	
8	135	33.00	33.00	34.00	
9	150	29.00	28.00	29.00	
10	165	26.00	27.00	27.00	
11	180	25.50	24.00	25.00	
12	195	20.00	20.00	18.00	
13	210	16.00	11.00	7.00	
14	225	9.00	9.00	5.00	
15	240	3.00	5.00	3.50	
16	255	1.50	2.00	2.00	
17	270	1.00	1.50	1.50	
18	285	0.50	1.00	1.00	
19	300	0.50	0.50	0.50	
20	315	0.30	0.20	0.00	
21	330	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		181.36	175	180	Promedio
Fraguado final (hrs.)		05:30	05:30	05:15	05:25

Tiempo de fraguado cementos tipo GU RMIX S30 150 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:30:00 a. m.	10:30:00 a. m.	11:00:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	40.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	40.00	40.00	40.00	
4	75	39.50	40.00	40.00	
5	90	39.50	39.50	39.50	
6	105	39.50	39.50	39.50	
7	120	39.00	39.50	39.50	
8	135	37.00	39.00	39.00	
9	150	33.00	38.00	38.00	
10	165	26.00	37.50	37.50	
11	180	25.50	32.00	32.00	
12	195	25.00	27.50	26.00	
13	210	12.50	20.00	23.00	
14	225	7.00	14.00	21.00	
15	240	4.00	12.00	17.50	
16	255	3.00	7.00	12.50	
17	270	1.50	4.00	7.00	
18	285	1.00	1.00	4.00	
19	300	0.50	0.80	3.00	
20	315	0.20	0.50	1.00	
21	330	0.20	0.00	0.50	
23	345	0.00	0.00	0.50	
24	360	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		195	199.29	200	Promedio
Fraguado final (hrs.)		06:00	06:00	05:45	05:55

Tiempo de fraguado cementos tipo HE RMIX S30 50 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		10:00:00 a. m.	10:35:00 a. m.	11:05:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	41.00	40.50	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	39.00	40.00	38.00	
4	75	38.00	38.00	35.00	
5	90	36.00	32.00	33.00	
6	105	29.00	29.00	29.00	
7	120	27.00	26.00	26.00	
8	135	24.00	21.00	24.00	
9	150	18.00	15.00	17.00	
10	165	7.00	5.00	11.00	
11	180	1.00	0.50	1.00	
12	195	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		130	123	127.5	Promedio
Fraguado final (hrs.)		03:15	03:15	03:15	03:15

Tiempo de fraguado cementos tipo HE RMIX S30 75 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:15:00 a. m.	10:00:00 a. m.	10:40:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	41.00	40.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	39.00	40.00	40.00	
4	75	39.00	38.00	39.00	
5	90	38.00	32.00	39.00	
6	105	36.00	29.00	35.00	
7	120	29.00	26.00	29.00	
8	135	27.00	21.00	28.00	
9	150	25.50	26.00	25.50	
10	165	23.00	25.00	21.00	
11	180	16.00	19.00	18.00	
12	195	8.00	7.00	7.00	
13	210	3.00	1.00	2.00	
14	225	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		153	165	151.67	Promedio
Fraguado final (hrs.)		03:45	03:45	03:45	03:45

Tiempo de fraguado cementos tipo HE RMIX S30 100 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:00:00 a. m.	10:15:00 a. m.	11:00:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	40.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	40.00	40.00	40.00	
4	75	39.00	38.00	39.00	
5	90	36.00	38.00	39.00	
6	105	31.00	32.00	35.00	
7	120	29.00	29.00	29.00	
8	135	27.00	27.00	28.00	
9	150	26.00	26.00	25.50	
10	165	25.00	25.00	21.00	
11	180	16.00	19.00	18.00	
12	195	8.00	7.00	7.00	
13	210	3.00	2.00	2.00	
14	225	1.00	1.50	1.00	
15	240	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		165	165	151.67	Promedio
Fraguado final (hrs.)		04:00	04:00	04:00	04:00

Tiempo de fraguado cementos tipo HE RMIX S30 125 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:45:00 a. m.	10:23:00 a. m.	11:12:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	40.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	40.00	40.00	40.00	
4	75	39.00	38.00	39.00	
5	90	38.00	38.00	39.00	
6	105	36.00	32.00	35.00	
7	120	33.00	29.00	29.00	
8	135	29.00	27.00	28.00	
9	150	27.00	26.00	26.00	
10	165	25.50	25.50	25.50	
11	180	24.00	25.00	18.00	
12	195	11.00	18.00	7.00	
13	210	5.00	2.00	2.00	
14	225	3.00	1.50	1.00	
15	240	1.00	0.00	0.50	
16	255	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		170	180	166	Promedio
Fraguado final (hrs.)		04:15	04:15	04:15	04:15

Tiempo de fraguado cementos tipo HE RMIX S30 150 ml					
Tiempo de Inicio de Amasado		09:00:00 a. m.	10:37:00 a. m.	11:00:00 a. m.	
LECTURA N°	TIEMPO (min)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	PENETRACION (mm)	
1	30	40.00	40.00	40.00	
2	45	40.00	40.00	40.00	
3	60	40.00	40.00	39.00	
4	75	39.00	39.00	39.00	
5	90	39.00	38.00	38.50	
6	105	36.00	36.00	38.00	
7	120	35.00	33.00	36.00	
8	135	29.00	29.00	34.00	
9	150	28.00	27.00	29.00	
10	165	26.00	25.50	27.00	
11	180	25.50	24.00	25.00	
12	195	20.00	11.00	18.00	
13	210	11.00	5.00	7.00	
14	225	3.00	3.00	5.00	
15	240	1.00	1.00	3.50	
16	255	0.20	0.50	1.00	
17	270	0.00	0.00	0.00	
Fraguado inicial (min.)		181.36	170	180	Promedio 177.12
Fraguado final (hrs.)		04:30	04:30	04:30	04:30

ANEXO C

Este anexo contiene tablas que se usaron para calcular los pesos de los componentes del concreto, así como la corrección por humedad y absorción de los agregados.

Cálculo de materiales para volumen de concreto con cemento tipo HE						
Cálculos de los Volúmenes Absolutos Para 1 m ³ de Concreto			Pesos de los Materiales Para 1 m ³ de Concreto		Pesos de los Materiales Para 0.05 m ³ de Concreto	
Cemento :	0.115	m ³	366.07	Kg/m ³	18.30	Kg
Agua :	0.205	m ³	205	lts/m ³	10.25	lts
Aire :	0.02	m ³	0	Kg/m ³	0.00	Kg
Grava :	0.324	m ³	932.49	Kg/m ³	46.62	Kg
Σ :	0.665	m ³				
Arena :	0.335	m ³	982.31	Kg/m ³	49.12	Kg
Peso teórico del concreto			2485.87			

Corrección por Humedad para Agregados de Concreto									
Material	Contenido de Humedad (%)	Peso Humedo (Kg/m ³)	Humedad Superficial (%)	Aporte de Humedad (lts/m ³)	Agua Efectiva (lts/m ³)	A/C (Efectiva)	Peso Humedo para 0.050 m ³ de Concreto	Aporte de Humedad (lts/0.05m ³)	Agua Efectiva (lts/m ³)
Grava	1.55	946.94	-0.23	-2.14	182.88	0.50	47.35	-0.11	9.14
Arena	3.86	1020.23	2.47	24.26			51.01	1.21	
				Σ	22.12			Σ	1.11

Cálculo de materiales para volumen de concreto con cemento tipo GU						
Cálculos de los Volúmenes Absolutos Para 1 m ³ de Concreto			Pesos de los Materiales Para 1 m ³ de Concreto		Pesos de los Materiales Para 0.05 m ³ de Concreto	
Cemento :	0.127	m ³	400.00	Kg/m ³	24.00	Kg
Agua :	0.22336	m ³	223.36	lts/m ³	13.40	lts
Aire :	0.02	m ³	0	Kg/m ³	0.00	Kg
Grava :	0.343	m ³	992.57	Kg/m ³	59.55	Kg
Σ :	0.713	m ³				
Arena :	0.287	m ³	832.46	Kg/m ³	49.95	Kg
Peso teórico del concreto			2448.39			

Corrección por Humedad para Agregados de Concreto									
Material	Contenido de Humedad (%)	Peso Humedo (Kg/m ³)	Humedad Superficial (%)	Aporte de Humedad (lts/m ³)	Agua Efectiva (lts/m ³)	A/C (Efectiva)	Peso Humedo para 0.050 m ³ de Concreto	Aporte de Humedad (lts/0.05m ³)	Agua Efectiva (lts/m ³)
Grava	1.04	1002.90	-0.98742993	-9.80	240.49	0.60	60.17	-0.59	14.43
Arena	0.32	835.12	-0.88091755	-7.33			50.11	-0.44	
				Σ	-17.13			Σ	-1.03

Anexo D

Este anexo contiene las tablas resumen de las propiedades en estado fresco y endurecido de las mezclas de concreto con y sin aditivo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
 FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
 MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-plantel San Cristobal

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento HE

Diseño	Resistencia de Diseño	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				PSI	% Esperado	% Obtenido
Patron 1	3000	1 Dia	3 a 4	3.35	32.5	20.9	2	2.5	1	18,717	5	1489.04	20.00	49.63
									2	21,539	4	1713.54	20.00	57.12
									3	22,333	2	1776.68	20.00	59.22
									Promedio	20,863.08		1659.75	20.00	55.33
Patron 1	3000	3 Dias	3 a 4	3.35	32.5	20.9	2	2.5	1	35,406	5	2816.73	50.00	93.89
									2	33,158	5	2637.83	50.00	87.93
									3	35,450	4	2820.23	50.00	94.01
									Promedio	34,671.36		2758.26	50.00	91.94
Patron 1	3000	7 Dias	3 a 4	3.35	32.5	20.9	2	2.5	1	40,168	5	3195.56	75.00	106.52
									2	41,535	1	3304.30	75.00	110.14
									3	43,321	4	3446.37	75.00	114.88
									Promedio	41,674.71		3315.41	75.00	110.51
Patron 1	3000	14 Dias	3 a 4	3.35	32.5	20.9	2	2.5	1	51,213	1	4074.25	90.00	135.81
									2	49,648	5	3949.73	90.00	131.66
									3	48,105	5	3826.96	90.00	127.57
									Promedio	49,655.45		3950.31	90.00	131.68
Patron 1	3000	28 Dias	3 a 4	3.35	32.5	20.9	2	2.5	1	55,579	5	4421.52	100.00	147.38
									2	56,240	4	4474.14	100.00	149.14
									3	54,146	5	4307.52	100.00	143.58
									Promedio	55,321.33		4401.06	100.00	146.70

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento tipo HE

Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 50 ml	3000	1 Dia	3 a 4	4	32.7	20.2	2	6	1	15,543	5	1236.48	20.00	41.22
									2	16,028	3	1275.07	20.00	42.50
									3	14,925	5	1187.37	20.00	39.58
									Promedio	15,498.50		1232.98	20.00	41.10
RMIX-S30 50 ml	3000	3 Dias	3 a 4	4	32.7	20.2	2	6	1	27,712	5	2204.62	50.00	73.49
									2	28,969	5	2304.59	50.00	76.82
									3	30,137	4	2397.55	50.00	79.92
									Promedio	28939.34		2302.25	50.00	76.74
RMIX-S30 50 ml	3000	7 Dias	3 a 4	4	32.7	20.2	2	6	1	36,795	4	2927.22	75.00	97.57
									2	37,324	5	2969.31	75.00	98.98
									3	36,068	4	2869.34	75.00	95.64
									Promedio	36,729.01		2921.96	75.00	97.40
RMIX-S30 50 ml	3000	14 Dias	3 a 4	4	32.7	20.2	2	6	1	47,302	6	3763.12	90.00	125.44
									2	52,552	4	4180.71	90.00	139.36
									3	48,030	4	3820.99	90.00	127.37
									Promedio	49,294.62		3921.61	90.00	130.72
RMIX-S30 50 ml	3000	28 Dias	3 a 4	4	32.7	20.2	2	6	1	53,661	6	4268.93	100.00	142.30
									2	54,785	5	4358.38	100.00	145.28
									3	52,514	6	4177.73	100.00	139.26
									Promedio	53,653.16		4268.35	100.00	142.28

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento HE

Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (Ibf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 75 ml	3000	1 Dia	3 a 4	4	32.7	20.3	2	4	1	16,116	5	1282.08	20.00	42.74
									2	17,372	5	1382.05	20.00	46.07
									3	14,176	5	1127.74	20.00	37.59
									Promedio	15,887.98		1263.96	20.00	42.13
RMIX-S30 75 ml	3000	3 Dias	3 a 4	4	32.7	20.3	2	4	1	34,414	5	2737.80	50.00	91.26
									2	36,464	4	2900.91	50.00	96.70
									3	32,915	1	2618.54	50.00	87.28
									Promedio	34,597.88		2752.42	50.00	91.75
RMIX-S30 75 ml	3000	7 Dias	3 a 4	4	32.7	20.3	2	4	1	41,888	4	3332.36	75.00	111.08
									2	44,489	5	3539.32	75.00	117.98
									3	43,034	5	3423.57	75.00	114.12
									Promedio	43,137.11		3431.75	75.00	114.39
RMIX-S30 75 ml	3000	14 Dias	3 a 4	4	32.7	20.3	2	4	1	50,949	5	4053.21	90.00	135.11
									2	49,758	6	3958.50	90.00	131.95
									3	48,943	6	3893.61	90.00	129.79
									Promedio	49,883.26		3968.44	90.00	132.28
RMIX-S30 75 ml	3000	28 Dias	3 a 4	4	32.7	20.3	2	4	1	58,114	6	4623.22	100.00	154.11
									2	59,459	4	4730.20	100.00	157.67
									3	58,400	4	4646.02	100.00	154.87
									Promedio	58,657.66		4666.48	100.00	155.55

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.**

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento tipo HE

Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 100 ml	3000	1 Dia	3 a 4	3.2	31.6	20.2	2	8.5	1	15,194	2	1208.77	20.00	40.29
									2	15,179	4	1207.54	20.00	40.25
									3	15,133	2	1203.86	20.00	40.13
									Promedio	15,168.54		1206.73	20.00	40.22
RMIX-S30 100 ml	3000	3 Dias	3 a 4	3.2	31.6	20.2	2	8.5	1	28,640	5	2278.46	50.00	75.95
									2	28,135	5	2238.30	50.00	74.61
									3	28,208	4	2244.08	50.00	74.80
									Promedio	28,327.93		2253.61	50.00	75.12
RMIX-S30 100 ml	3000	7 Dias	3 a 4	3.2	31.6	20.2	2	8.5	1	32,165	5	2558.91	75.00	85.30
									2	34,055	5	2709.21	75.00	90.31
									3	32,007	4	2546.28	75.00	84.88
									Promedio	32,742.32		2604.80	75.00	86.83
RMIX-S30 100 ml	3000	14 Dias	3 a 4	3.2	31.6	20.2	2	8.5	1	39,000	4	3102.61	90.00	103.42
									2	35,289	5	2807.43	90.00	93.58
									3	37,443	4	2978.78	90.00	99.29
									Promedio	37,244.16		2962.94	90.00	98.76
RMIX-S30 100 ml	3000	28 Dias	3 a 4	3.2	31.6	20.2	2	8.5	1	44,467	4	3537.57	100.00	117.92
									2	44,935	5	3574.75	100.00	119.16
									3	45,294	5	3603.34	100.00	120.11
									Promedio	44,898.61		3571.89	100.00	119.06

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento tipo HE

Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (Kgf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 125 ml	3000	1 Dia	3 a 4	3.6	29.7	20.1	2	6.9	1	11,420	5	908.51	20.00	30.28
									2	12,478	5	992.69	20.00	33.09
									3	12,879	5	1024.61	20.00	34.15
									Promedio	12,259.17		975.27	20.00	32.51
RMIX-S30 125 ml	3000	3 Dias	3 a 4	3.6	29.7	20.1	2	6.9	1	24,220	5	1926.81	50.00	64.23
									2	24,002	5	1909.45	50.00	63.65
									3	23,151	5	1841.75	50.00	61.39
									Promedio	23,790.82		1892.67	50.00	63.09
RMIX-S30 125 ml	3000	7 Dias	3 a 4	3.6	29.7	20.1	2	6.9	1	29,892	5	2378.08	75.00	79.27
									2	29,478	5	2345.11	75.00	78.17
									3	30,027	5	2388.78	75.00	79.63
									Promedio	29,799.15		2370.66	75.00	79.02
RMIX-S30 125 ml	3000	14 Dias	3 a 4	3.6	29.7	20.1	2	6.9	1	37,386	5	2974.22	90.00	99.14
									2	37,073	5	2949.32	90.00	98.31
									3	37,066	5	2948.79	90.00	98.29
									Promedio	37,175.08		2957.44	90.00	98.58
RMIX-S30 125 ml	3000	28 Dias	3 a 4	3.6	29.7	20.1	2	6.9	1	37,434	2	2978.08	100.00	99.27
									2	39,599	4	3150.31	100.00	105.01
									3	37,454	4	2979.66	100.00	99.32
									Promedio	38,162.75		3036.02	100.00	101.20

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento HE

Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Slump pulgadas		Temperatura °C	Masa unitaria	Aire %		Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
			Esperado	Obtenido			Esperado	Obtenido				psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 150 ml	3000	1 Dia	3 a 4	3.35	32	19.9	2	9	1	12,370	5	984.10	20.00	32.80
									2	11,960	5	951.48	20.00	31.72
									3	12,604	5	1002.69	20.00	33.42
									Promedio	12,311.35		979.42	20.00	32.65
RMIX-S30 150 ml	3000	3 Dias	3 a 4	3.35	32	19.9	2	9	1	22,485	5	1788.78	50.00	59.63
									2	20,933	4	1665.31	50.00	55.51
									3	20,944	5	1666.18	50.00	55.54
									Promedio	21,453.92		1706.76	50.00	56.89
RMIX-S30 150 ml	3000	7 Dias	3 a 4	3.35	32	19.9	2	9	1	27,183	5	2162.53	75.00	72.08
									2	28,947	4	2302.84	75.00	76.76
									3	30,358	5	2415.09	75.00	80.50
									Promedio	28,829.11		2293.49	75.00	76.45
RMIX-S30 150 ml	3000	14 Dias	3 a 4	3.35	32	19.9	2	9	1	33,510	4	2665.89	90.00	88.86
									2	34,745	4	2764.11	90.00	92.14
									3	32,342	5	2572.94	90.00	85.76
									Promedio	33,532.31		2667.65	90.00	88.92
RMIX-S30 150 ml	3000	28 Dias	3 a 4	3.35	32	19.9	2	9	1	35,693	5	2839.53	100.00	94.65
									2	37,942	4	3018.42	100.00	100.61
									3	36,619	4	2913.19	100.00	97.11
									Promedio	36,751.06		2923.71	100.00	97.46

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.**

LABORATORIO IMS

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento tipo GU												
Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Peso (grs)	Peso (Kg/m³)	Resistencia a Compresion		
										PSI	% Esperado	% Obtenido
Patron 3 Tipo GU	3000	13/07/2015	20/07/2015	7 Dias	1	70,000	4	13,920.00	2,625.70	2,475.74	75.00	82.52
					2	80,000	4	13,990.00	2,638.91	2,829.42	75.00	94.31
					3	82,500	5	14,500.00	2,735.11	2,917.84	75.00	97.26
					Promedio	77500.00		14,136.67	2,666.57	2,741.00	75.00	91.37
Patron 3 Tipo GU	3000	13/07/2015	27/07/2015	14 Dias	1	83,000	1	14,124.00	2,664.18	2,935.52	90.00	97.85
					2	87,000	4	14,211.00	2,680.59	3,077.00	90.00	102.57
					3	78,000	4	13,987.00	2,638.34	2,758.69	90.00	91.96
					Promedio	82666.67		14,107.33	2,661.04	2,923.74	90.00	97.46
Patron 3 Tipo GU	3000	13/07/2015	10/08/2015	28 Dias	1	101,500	5	14,278.00	2,693.23	3,589.83	100.00	119.66
					2	96,500	5	14,395.00	2,715.30	3,412.99	100.00	113.77
					3	94,500	5	14,070.00	2,654.00	3,342.25	100.00	111.41
					Promedio	97500.00		14,247.67	2,687.51	3,448.36	100.00	114.95

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO IMS**

Evaluacion de las propiedades del concreto										
Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
								PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 50 ML	3000	03/03/2015	10/03/2015	7 Dias	1	35,000	1	1237.87	75.00	41.26
					2	25,000	3	884.19	75.00	29.47
					3	35,000	4	1237.87	75.00	41.26
					Promedio	31666.67		1119.98	75.00	37.33
RMIX S30 50 ML	3000	03/03/2015	17/03/2015	14 Dias	1	37,500	4	1326.29	90.00	44.21
					2	37,500	5	1326.29	90.00	44.21
					3	37,500	4	1326.29	90.00	44.21
					Promedio	37500.00		1326.29	90.00	44.21
RMIX S30 50 ML	3000	03/03/2015	24/03/2015	28 Dias	1	53,500	4	1892.18	100.00	63.07
					2	52,000	3	1839.12	100.00	61.30
					3	55,000	4	1945.23	100.00	64.84
					Promedio	53500.00		1892.18	100.00	63.07

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO IMS**

Evaluacion de las propiedades del concreto										
Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
								PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 75 ML	3000	03/03/2015	10/03/2015	7 Dias	1	36,500	3	1290.92	75.00	43.03
					2	47,000	5	1662.28	75.00	55.41
					3	45,000	5	1591.55	75.00	53.05
					Promedio	42833.33		1514.92	75.00	50.50
RMIX S30 75 ML	3000	03/03/2015	17/03/2015	14 Dias	1	57,500	4	2033.65	90.00	67.79
					2	55,500	5	1962.91	90.00	65.43
					3	51,000	5	1803.76	90.00	60.13
					Promedio	54666.67		1933.44	90.00	64.45
RMIX S30 75 ML	3000	03/03/2015	24/03/2015	28 Dias	1	60,098	4	2125.54	100.00	70.85
					2	59,457	4	2102.85	100.00	70.10
					3	58,573	5	2071.60	100.00	69.05
					Promedio	59376.04		2100.00	100.00	70.00

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO IMS**

Evaluacion de las propiedades del concreto										
Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
								PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 100 ML	3000	03/03/2015	10/03/2015	7 Dias	1	22,000	6	778.09	75.00	25.94
					2	23,000	1	813.46	75.00	27.12
					3	23,000	5	813.46	75.00	27.12
					Promedio	22666.67		801.67	75.00	26.72
RMIX S30 100 ML	3000	03/03/2015	17/03/2015	14 Dias	1	30,500	4	1078.72	90.00	35.96
					2	30,000	6	1061.03	90.00	35.37
					3	33,000	4	1167.14	90.00	38.90
					Promedio	31166.67		1102.30	90.00	36.74
RMIX S30 100 ML	3000	03/03/2015	24/03/2015	28 Dias	1	42,500	5	1503.13	100.00	50.10
					2	45,000	5	1591.55	100.00	53.05
					3	45,500	5	1609.23	100.00	53.64
					Promedio	44333.33		1567.97	100.00	52.27

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO IMS**

Evaluacion de las propiedades del concreto										
Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
								PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 125 ml	3000	03/03/2015	10/03/2015	7 Dias	1	16,000	3	565.88	75.00	18.86
					2	16,000	4	565.88	75.00	18.86
					3	16,000	4	565.88	75.00	18.86
					Promedio	16000.00		565.88	75.00	18.86
RMIX S30 125 ml	3000	03/03/2015	17/03/2015	14 Dias	1	20,000	4	707.36	90.00	23.58
					2	20,500	4	725.04	90.00	24.17
					3	20,200	1	714.43	90.00	23.81
					Promedio	20233.33		715.61	90.00	23.85
RMIX S30 125 ml	3000	03/03/2015	24/03/2015	28 Dias	1	25,798		912.42	100.00	30.41
					2	24,628		871.04	100.00	29.03
					3	25,915		916.56	100.00	30.55
					Promedio	25447.00		900.00	100.00	30.00

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO DEL MTI**

Evaluacion de las propiedades del concreto Con cemento tipo GU y reduccion de agua al 5%

Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Slump Pulgadas		Temperatura °C	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
					Esperado	Obtenido					PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 75 ml	3000	23/11/2015	30/11/2015	7 Dias	3 a 4	7.25	36	1	39,879.32	5	1410.44	75.00	47.01
								2	37,909.65	4	1340.78	75.00	44.69
								3	39,678.34	2	1403.33	75.00	46.78
								Promedio	39155.77		1384.85	75.00	46.16
RMIX S30 75 ml	3000	23/11/2015	07/12/2015	14 Dias	3 a 4	7.25	36	1	48,978	4	1732.25	90.00	57.74
								2	50,346	1	1780.62	90.00	59.35
								3	51,000	5	1803.76	90.00	60.13
								Promedio	50108.04		1772.21	90.00	59.07
RMIX S30 75 ml	3000	23/11/2015	21/12/2015	28 Dias	3 a 4	7.25	36	1	54,349	4	1922.19	100.00	64.07
								2	57,345	4	2028.18	100.00	67.61
								3	56,890	4	2012.08	100.00	67.07
								Promedio	56194.82		1987.49	100.00	66.25

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
LABORATORIO DEL MTI**

Evaluacion de las propiedades del concreto 10% reduccion de agua y aditivo RMIX S30 75 ml por bolsa de cemento.

Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Slump Pulgadas		T °C	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
					Esperado	Obtenido					PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S 30 75 ml	3000	23/11/2015	30/11/2015	7 Dias	3 a 4	6.5	36.3	1	40,456.23	2	1430.85	75.00	47.69
								2	41,567.17	5	1470.14	75.00	49.00
								3	39,476.45	4	1396.19	75.00	46.54
								Promedio	40,499.95		1432.39	75.00	47.75
RMIX S 30 75 ml	3000	23/11/2015	07/12/2015	14 Dias	3 a 4	6.5	36.3	1	52,965	4	1873.25	90.00	62.44
								2	51,504	4	1821.57	90.00	60.72
								3	52,560	5	1858.94	90.00	61.96
								Promedio	52343.01		1851.26	90.00	61.71
RMIX S 30 75 ml	3000	23/11/2015	21/12/2015	28 Dias	3 a 4	6.5	36.3	1	57,394	1	2029.89	100.00	67.66
								2	59,597	5	2107.81	100.00	70.26
								3	58,990	5	2086.34	100.00	69.54
								Promedio	58660.14		2074.68	100.00	69.16

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
 RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
 FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
 MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.
 LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS Ing. Julio Padilla.

Evaluacion de las propiedades del concreto

Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Fecha de Elaboracion de Cilindros.	Fecha de Ruptura de Cilindros	Edad de Ruptura	Slump Pulgadas		Temperatura °C	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
					Esperado	Obtenido					PSI	% Esperado	% Obtenido
RMIX S30 75ml	3000	09/12/2015	16/12/2015	7 Dias	3 a 4	4.5	32.1	1	17,120	5	605.50	75.00	20.18
								2	13,540	4	478.88	75.00	15.96
								3	12,540	4	443.51	75.00	14.78
								Promedio	14,400.00		509.30	75.00	16.98
RMIX S30 75ml	3000	09/12/2015	23/12/2015	14 Dias	3 a 4	4.5	32.1	1	32,789	1	1159.67	90.00	38.66
								2	35,678	5	1261.86	90.00	42.06
								3	32,783	4	1159.46	90.00	38.65
								Promedio	33,750.08		1193.66	90.00	39.79
RMIX S30 75ml	3000	09/12/2015	06/01/2016	28 Dias	3 a 4	4.5	32.1	1	46,789	5	1654.82	100.00	55.16
								2	48,734	4	1723.61	100.00	57.45
								3	49,764	4	1760.04	100.00	58.67
								Promedio	48,429.00		1712.83	100.00	57.09

ANEXO E

Este anexo contiene resultados del diseño patrón 1 y cemento tipo HE, con aditivo polyheed con dosificación de 6 ml por kilogramo de cemento portland, por lo cual se decidió utilizar la misma dosificación para RMIX S30 de 6 ml por kilogramo de cemento, cabe destacar que las dosificaciones utilizadas fueron de un rango de 50 a 150 ml por bolsa de cemento.

También se encuentran en este anexo los resultados de la prueba patrón 2 con cemento tipo GU, sin embargo solo se obtuvieron los resultados de resistencia a la compresión de 7 días de curado, debido que durante esta etapa de este trabajo investigativo se dañó la máquina de compresión del laboratorio de la UNI.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION MONOGRAFIA BRENDA ARAGON. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL								
Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento HE								
Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
						psi	% Esperado	% Obtenido
Polyheed	3000	1 Dia	1	20,459	1	1627.60	20.00	54.25
			2	19,026	4	1513.60	20.00	50.45
			3	19,731	4	1569.72	20.00	52.32
			Promedio	19,738.72		1570.30	20.00	52.34
Polyheed	3000	3 Dias	1	40,389	4	3213.10	50.00	107.10
			2	40,036	4	3185.04	50.00	106.17
			3	40,940	5	3256.95	50.00	108.56
			Promedio	40,454.82		3218.36	50.00	107.28
Polyheed	3000	7 Dias	1	52,161	4	4149.67	75.00	138.32
			2	51,875	4	4126.87	75.00	137.56
			3	56,262	5	4475.89	75.00	149.20
			Promedio	53,432.70		4250.81	75.00	141.69
Polyheed	3000	14 Dias	1	60,958	3	4849.47	90.00	161.65
			2	66,183	2	5265.14	90.00	175.50
			3	57,342	1	4561.83	90.00	152.06
			Promedio	61,494.27		4892.15	90.00	163.07
Polyheed	3000	28 Dias	1	65,080	5	5177.44	100.00	172.58
			2	68,035	5	5412.46	100.00	180.42
			3	69,291	5	5512.43	100.00	183.75
			Promedio	67,468.80		5367.45	100.00	178.91

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION MONOGRAFIA BRENDA ARAGON. LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DEL CONCRETO CEMEX-PLANTEL SAN CRISTOBAL								
Evaluacion de las propiedades del concreto con cemeto tipo HE								
Diseño	Resistencia de Diseño (psi)	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (lbf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
						psi	% Esperado	% Obtenido
RMIX-S30 6 ml	3000	1 Dia	1	18,254	5	1452.21	20.00	48.41
			2	18,453	5	1467.99	20.00	48.93
			3	18,872	5	1501.32	20.00	50.04
			Promedio	18,526.18		1473.84	20.00	49.13
RMIX-S30 6 ml	3000	3 Dias	1	30,247	5	2406.32	50.00	80.21
			2	27,822	4	2213.39	50.00	73.78
			3	27,029	4	2150.25	50.00	71.68
			Promedio	28,366.14		2256.65	50.00	75.22
RMIX-S30 6 ml	3000	7 Dias	1	34,767	4	2765.86	75.00	92.20
			2	34,326	5	2730.79	75.00	91.03
			3	37,434	4	2978.08	75.00	99.27
			Promedio	35,509.12		2824.91	75.00	94.16
RMIX-S30 6 ml	3000	14 Dias	1	40,389		3213.10	90.00	107.10
			2	40,234		3200.82	90.00	106.69
			3	41,689		3316.58	90.00	110.55
			Promedio	40,770.82		3243.50	90.00	108.12
RMIX-S30 6 ml	3000	28 Dias	1	47,554	4	3783.11	100.00	126.10
			2	48,237	5	3837.48	100.00	127.92
			3	53,175	5	4230.35	100.00	141.01
			Promedio	49,655.45		3950.31	100.00	131.68

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
RECINTO UNIVERSITARIO PEDRO ARAUZ PALACIOS
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONTRUCCION
LABORATORIO DE MATERIALES Y SUELOS Ing. Julio Padilla.
MONOGRAFIA BRENDA ARAGON.

Evaluacion de las propiedades del concreto con cemento tipo GU

Diseño	Resistencia de Diseño (PSI)	Edad de Ruptura	Testigo	Carga a Compresión (Lbsf)	Caso de Ruptura	Resistencia a Compresion		
						PSI	% Esperado	% Obtenido
Patron 2 Tipo GU	3000	7 Dias	1	69,345	4	2,452.58	75.00	81.75
			2	70,688	4	2,500.08	75.00	83.34
			3	70,421	5	2,490.63	75.00	83.02
			Promedio	70151.33		2,481.10	75.00	82.70
Patron 2 Tipo GU	3000	14 Dias	1			-	90.00	0.00
			2			-	90.00	0.00
			3			-	90.00	0.00
			Promedio			-	90.00	0.00
Patron 2 Tipo GU	3000	28 Dias	1			-	100.00	0.00
			2			-	100.00	0.00
			3			-	100.00	0.00
			Promedio			-	100.00	0.00

ANEXO F

Este anexo contiene las imágenes tomadas durante la realización de las pruebas para este trabajo monográfico.



Imagen 1. Especímenes de concreto listos para introducirse en la pila de curado. Fotografía: Fuente propia.

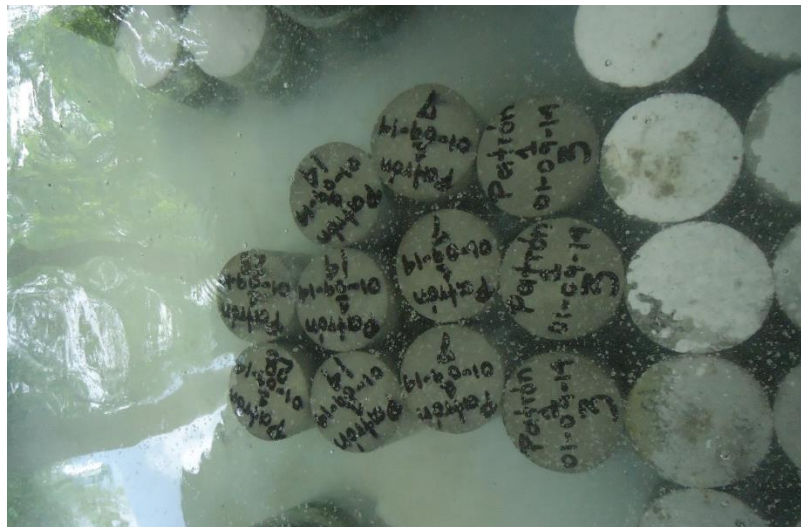


Imagen 2. Especímenes de concreto listos en la pila de curado. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 3. Ensayo de toma de temperatura concreto recién mezclado. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 4.Maquina de compresión de cilindros, marca FORNEY. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 5. Ensayo de compresión de cilindro de 4 x 8 pulgadas. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 6. Cilindro de 4 x 8 pulgadas sometido a falla por ruptura. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 7. Ensayo de cabeceo de cilindro de concreto de 6 x 12 pulgadas, con mortero de azufre. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 8. Cilindros refrentados con mortero de azufre. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 9. Mezcladora de concreto. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 10. Toma de muestra de concreto recién mezclado. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 11. Ensayo de Peso unitario concreto recién mezclado. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 12.Ensayo de revenimiento con cono de Abrams. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 13.Cilindros de concreto cubiertos para evitar contaminación . Fotografía: Fuente propia.



Imagen 14. Cilindros listas para desencofrarse. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 15. Ensayo de determinación de contenido de aire. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 16. Concreto recién mezclado. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 17. Ensayo de resistencia a la compresión cilindros de 6 x 8 pulgadas. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 18. Ensayo de determinación de la gravedad específica del cemento. Fotografía: Fuente propia.



Imagen 19. Aditivo RMIXS30. Fotografía: Fuente propia.

Contenido

I. INTRODUCCION	1
II. ANTECEDENTES	3
III. JUSTIFICACION	5
IV. OBJETIVO.....	7
4.1 Objetivo General:.....	7
4.2 Objetivos Específicos:.....	7
V. MARCO TEORICO.....	8
5.1 Definición de Concreto.....	8
5.1.1 Tipos de concreto.	8
5.2 Materiales componentes para mezclas de concreto:.....	9
5.2.1 Cementos:.....	9
5.2.1.1 Elección y especificación de cementos.	10
5.2.1.2 Clasificación de los cementos	10
5.2.1.2.1 ASTM C 1157: Cementos utilizados para ensayos de concretos con y sin aditivo RMIXS30.	11
5.2.1.3 Clasificación de los cementos.....	11
5.2.1.4 Hidratación del cemento.....	11
5.2.1.5 Fraguado y endurecimiento.	13
5.3 Agua.....	14
5.4 Agregados.....	15
5.4.1 Clasificación de los agregados.....	16
5.4.1.1 Clasificación según su tamaño.....	16
5.4.2 Propiedades químicas.	18
5.4.2.1 Epitaxia.....	18
5.4.2.2 Reacción alcali-agregado.....	18
5.4.3 Propiedades físicas.....	19
5.4.3.1 Granulometría.	19
5.4.3.1.1 Análisis granulométrico.	19
5.4.3.1.2 Curvas granulométricas.....	19
5.4.3.2 Módulo de finura.....	20
5.4.3.3 Tamaño máximo.	21
5.4.3.4 Tamaño máximo nominal del agregado.....	21
5.4.3.5 Densidad.	22
5.4.3.6 Porosidad, absorción y humedad.....	22
5.4.3.7 Masa unitaria de los agregados.....	23

5.4.3.8	Sanidad.....	23
5.4.3.9	Resistencia mecánica.....	24
5.4.3.10	Resistencia a la abrasión.	24
5.5	Aditivos para Concreto.....	24
5.5.1	Clasificación de los aditivos según la norma ASTM C 494:.....	25
5.5.1.1	Reductor de agua o Tipo A:	25
5.5.1.2	Retardante o Tipo B:.....	26
5.5.1.3	Acelerante o Tipo C:.....	26
5.5.1.4	Reductor de agua y retardante o Tipo D.	26
5.5.1.5	Reductor de agua y acelerante o Tipo E.	26
5.5.2	Clasificación de los aditivos según la norma ASTM C 1017:.....	27
5.5.2.1	Plastificante o Tipo I:.....	27
5.5.2.2	Plastificante y retardante o Tipo II:.....	27
5.6	Concreto fresco.	31
5.6.1	Trabajabilidad.....	32
5.6.2	Sangrado y asentamiento.....	32
5.6.3	Consolidación.....	32
5.7	Concreto endurecido.....	34
5.7.1	Curado del concreto.....	34
5.7.2	Densidad.....	35
5.7.4	Permeabilidad y estanquidad.....	38
5.7.5	Variaciones de volumen.	38
VI.	Análisis preliminar.....	39
6.1	Pruebas para determinar las propiedades de los materiales componentes del concreto.....	39
6.1.1	Cemento.....	40
6.1.1.1	Determinación y análisis de la consistencia normal del cemento.....	40
6.1.1.2	Determinación y análisis del tiempo de fraguado del cemento.	42
6.1.1.3	Determinación y análisis del tiempo de fraguado del cemento con aditivo RMIX S30.....	46
6.1.1.4	Determinación y análisis de la gravedad específica del cemento hidráulico.....	47
6.1.2	Agregados.	48
6.1.2.1.1	Determinación y análisis de los pesos volumétricos.....	48
6.1.3	Determinación y análisis del contenido de humedad y absorción.....	49
6.1.3.1	Determinación y análisis de la gravedad específica.....	50

6.1.3.2	Determinación y análisis de la granulometría.....	51
6.1.3.3	Determinación y análisis de colorimetría.....	58
6.1.3.4	Determinación y análisis del desgaste para el agregado grueso (Grava). 59	
VII.	METODOLOGIA.....	61
7.1	Diseño y proporcionamiento de mezclas de concreto de peso normal....	61
7.1.1	Selección de las características.....	61
7.1.1.1	Resistencia a la compresión media requerida.....	62
7.1.1.2	Relación entre la resistencia y relación agua-cemento (A/C).....	62
7.1.1.3	Volúmenes de agregado para concreto.	64
7.1.2	Revenimiento y contenido de agua.....	66
7.2	Determinación y análisis de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, con y sin aditivo RMIX S30.....	68
7.2.1	Diseño de mezclas de Concreto sin aditivos.	68
7.3	Pruebas para determinar las propiedades de las mezclas de concreto. ..	69
7.3.1	Concreto fresco.....	69
7.3.1.1	Toma de temperatura del concreto fresco.....	70
7.3.1.2	Determinación del revenimiento (SLUMP).	70
7.3.1.3	Determinación de la masa volumétrica.	71
7.3.1.4	Determinación del contenido de aire.....	72
7.3.1.5	Preparación y curado de especímenes de concreto para los ensayos de resistencia a la compresión.....	73
7.3.2	Concreto endurecido.	74
7.3.2.1	Ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin aditivo y cemento tipo HE.....	74
7.3.2.2	Ensayos de resistencia a la compresión del concreto sin aditivo y cemento tipo GU.....	78
7.3.2.3	Ensayos de resistencia a la compresión del concreto con aditivo RMIX S30.	80
7.3.2.4	Ensayos de resistencia a la compresión del concreto con aditivo RMIX S30 y agua reducida.	88
7.3.3	Clasificación del aditivo RMIX S30 según normas ASTM.....	91
7.3.3.1	Clasificación de aditivos normas ASTM C 494.	91
7.3.3.2	Clasificación de aditivos normas ASTM C 1017.	96
	CONCLUSIONES.....	99
	RECOMENDACIONES.	101
	Bibliografía	104

