

1. Antecedentes

1.1. Introducción

Con el fin de mejorar algunas características y propiedades del hormigón, es frecuente incorporar a la mezcla algún tipo de aditivo. En nuestro medio se importan la mayoría de estos materiales, incrementando el costo del hormigón. Este aspecto afecta a la economía de las construcciones elevando su precio.

Una de las características iniciales del hormigón es el **tiempo de fraguado**, tiempo en el cual este es moldeable y trabajable sin sufrir alteraciones en la resistencia, segregación de los materiales componentes y durabilidad de la estructura.

Muchas veces el tiempo entre el proceso de mezclado y hormigonado es considerable, este es el caso de los hormigones premezclados puesto en obra, ya que se transporta largas distancias, este problema también se presenta en casos como: el bombeado en alturas considerables, en ambientes calurosos en donde el proceso de fraguado es más rápido, presentando una serie de inconvenientes en la trabajabilidad y compactación del hormigón, además de provocar pérdida en la resistencia deseada del proyecto. Por tanto se hace necesario prolongar el tiempo de fraguado para lo cual se utiliza un determinado aditivo como retardador.

Los aditivos son materiales orgánicos e inorgánicos que se le añaden al hormigón antes o durante la formación de la pasta, que actúan sobre el cemento modificando algunas de sus características; sus proporciones son pequeñas por lo que no influyen en la dosificación.^[1]

En otros países se realizaron investigaciones sobre el uso del azúcar como retardador de fraguado en hormigones elaborados con cementos propios del lugar, que varían en su composición química con respecto a los cementos bolivianos. El estudio realizado en Cuba por el Dr. Ing. Jorge Acevedo Cata,^[2] dio como resultado incrementos en el tiempo de fraguado y resistencia, por tanto la disminución de la relación agua-cemento.

¹ www.monografias.com/trabajos16/aditivos-contruccion.htm

² Materiales alternativos para la construcción Dr. Ing. Jorge Acevedo Cata

Es por ello que esta investigación pretende estudiar el uso del azúcar como retardador del tiempo de fraguado y resistencia a compresión de hormigones elaborados con cemento “El Puente” en la clase Portland Normal.

1.2. Problemática

Al ser Bolivia un país en vías de desarrollo y con un bajo nivel económico, hace que se dificulte la utilización de aditivos comerciales, por ello es que se hace necesario buscar nuevas alternativas técnicas como económicas factibles que sean de igual o mejor rendimiento. Esta premisa nos impulsa a realizar la investigación sobre el uso del azúcar como aditivo, que es algo innovador en nuestro medio.

Uno de los principales problemas en la actualidad es la elevada temperatura en el fraguado del hormigón, en lugares tropicales, por tal motivo en muchos casos es imprescindible el uso de retardadores de la hidratación del cemento que contribuyan a la lenta formación de los hidratos, evitando el desarrollo de microfisuraciones debidas a los cambios volumétricos bruscos por contracción durante el secado de la mezcla, y la afectación que esto implica en las propiedades mecánicas y de durabilidad a largo plazo.

La investigación abarca el uso del cemento El Puente elaborado en el territorio nacional más específicamente en Tarija, lo cual es producido como materia prima y la cual cuenta con su composición química y sus propiedades físico-mecánicas.

1.3. Justificación

La resistencia y el tiempo de fraguado en el hormigón inducen a la investigación de usar el azúcar en su mezcla. Ya que este método se viene aplicando de hace mucho tiempo sobre todo en lugares tropicales.

Encontrar una solución práctica y efectiva a problemas del campo en cuanto a retardar el tiempo de fraguado del hormigón y poner a disposición la información obtenida de las cantidades y cuidados al tomar el usar el azúcar como retardador.

Comprender que el azúcar como retardador puede ser una solución eficaz a problemas inesperados a la hora de trabajar con el hormigón.

Determinado el tipo de azúcar a usar sabremos qué tan útil puede ser el conocimiento de las propiedades de este retardador natural en el campo de la Ingeniería Civil.

En la actualidad la industria de la construcción se utiliza hormigones de resistencias normales tales como el H-21 y el H-25 es por este motivo que se desarrolla el estudio de este tipo de alternativa para delimitar la influencia del azúcar en la obtención de hormigones de una resistencia normal de H-25.

El estudio de este tipo de hormigones con adición de **azúcar** se desarrolla con la finalidad de precisar el porcentaje de adición adecuada de azúcar y su influencia en las propiedades mecánicas de los hormigones.

El estudio de este tipo de hormigón con adición se efectúa para saber si el producto orgánico ayudara a alcanzar mayores resistencias a compresión en el hormigón y retardar su fraguado, para utilizarlo en el transporte a largas distancias, en ambientes calurosos en donde el proceso de fraguado es más rápido.

Mediante la elaboración de este trabajo se pretende llegar a conocer si el fraguado llega a retardarse y si la resistencia de las probetas a romper, llegan a tener cambios en su resistencia a compresión, aplicada a diferentes porcentajes de **azúcar**.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Estudiar el uso del azúcar como un aditivo retardador de fraguado en el hormigón, elaborado con el cemento de la Fábrica Soboce tipo IP-30, y analizar las variaciones existentes en las propiedades características del hormigón.

1.4.2. Objetivos específicos

✓ Determinar el efecto del azúcar refinada (blanca) y sin refinar (morena), sobre las resistencias a compresión de las mezclas de hormigón, elaboradas con el cemento de la Fabrica Soboce.

✓ Evaluar, el tiempo de fraguado con los porcentajes de azúcar propuestos, del cemento de la Fabrica Soboce.

✓ Determinar el efecto del azúcar sobre el asentamiento, de las mezclas elaboradas con el cemento de la Fabrica Soboce.

✓ Analizar las ventajas y desventajas del uso del azúcar refinada y azúcar sin refinar como retardador de fraguado, con el cemento de la Fabrica Soboce.

1.5. Hipótesis

“Con la adición de azúcar blanca y morena, se incrementará el tiempo de fraguado y la resistencia a la compresión de un hormigón convencional, agregando un porcentaje en peso de azúcar con relación al peso del cemento de mezcla.

Identificación de variables:

El presente estudio partió de variables bien definidas, que son:

Variables dependientes: Tiempo de fraguado, asentamiento, resistencia a la compresión

Variables independientes: Tipo de azúcar, dosis de azúcar, edad del hormigón

1.6. Alcances

✓ La investigación abarca al tipo de cemento: Portland normal IP-30, elaboración en la Fabrica boliviana Soboce.

✓ Obtener de la variación de la resistencia a compresión del hormigón, con las diferentes concentraciones de azúcar propuestas.

✓ El trabajo de investigación es de “Verificar la Influencia del azúcar en el tiempo de fraguado y la resistencia de probetas de hormigón a compresión, para la aplicación en obras civiles”.

- ✓ Los agregados que se utilizaran serán los empleados en nuestro medio.
- ✓ Realizar el control de la elaboración del hormigón en sus diferentes etapas desde la provisión de los materiales (Componentes del hormigón), y seguir paso a paso la elaboración y la correspondiente verificación de las propiedades mecánicas del hormigón.
- ✓ Realizar los ensayos a diferentes porcentajes de azúcar en el hormigón, para verificar el tiempo de fraguado y las diferentes resistencias a compresión.
- ✓ Se romperá 3 probetas a los 3 días por cada porcentaje, lo cual se hace 21 probetas, a los 7 días 21 probetas y 12 probetas a los 28 días lo cual hace 84 probetas, lo cual se hace un total de 126 probetas para análisis a compresión y de cada mezcla a cada porcentaje se obtendrá una muestra de hormigón para controlar el tiempo de fraguado, según la norma ASTM C-403.
- ✓ Para cuantificar el efecto de la incorporación de azúcar al hormigón, se efectuarán ensayos comparativos entre un “hormigón patrón” (sin azúcar) y hormigones con distinto porcentaje de azúcar adicionado. La azúcar usada será la blanca y la morena.
- ✓ Verificar y analizar los resultados conseguidos de los ensayos elaborados en el laboratorio.
- ✓ Efectuar las conclusiones y recomendaciones, basada en los resultados obtenidos en el trabajo de investigación ejecutado.
- ✓ Se utilizará un hormigón de una calidad nominal, medida como resistencia a la compresión, de 250 kgf/cm² a los 28 días ya que es una de las más utilizadas en el campo de la construcción.
- ✓ Llegar a obtener resultados de las probetas a los 3, 7 y 28 días para su respectivo análisis en cuanto a la variación del comportamiento mecánico del hormigón que se presenten en función del hormigón patrón.
- ✓ A través de un diseño de mezcla basado en los ensayos de la norma ASTM C-33. Para una resistencia de diseño de f'_{cr} de 250 kg/cm², siendo el punto de partida para adicionar a la mezcla de hormigón el retardador orgánico en estudio (azúcar blanca y

morena), de manera que el producto alternativo simule como un aditivo retardador de fraguado, en ese caso dichas variaciones se presentarán en porcentaje. Los que tendrán variaciones aleatorias es decir valores del rango (0, 0.05, 0.10, 0.15) % de peso de cemento.

✓ Los productos utilizados como aditivo, fueron los azúcares blanca y morena, elaborados por una fábrica boliviana “INDUSTRIAS AGRÍCOLAS DE BERMEJO S.A.” La azúcar blanca cuenta con una densidad de 0.72 gr/cm^3 en tanto que el azúcar morena cuenta con una densidad de 0.85 gr/cm^3

2. Marco teórico.

2.1. Introducción.

Los aditivos retardadores de fraguado del hormigón, tienen como objetivo incrementar el tiempo de vida normal del estado fresco hasta el inicio del endurecimiento, con miras a disponer de un mayor periodo de plasticidad que asegure que el hormigón se transportará, colocará y compactará adecuadamente durante el proceso constructivo.^[3]

Se conoce que, a medida que pasa el tiempo desaparece la acción del aditivo y continúa el proceso de hidratación del cemento.^[4]

El tiempo de fraguado es un periodo en el cual mediante reacciones químicas del cemento y el agua conducen a un proceso, que mediante diferentes velocidades de reacción, generan calor y dan origen a nuevos compuestos, estos en la pasta de cemento generan que este endurezca y aglutine al agregado de la mezcla de hormigón, y se ponga fuerte y denso, adquiriendo de este modo una cierta resistencia, este tiempo es de suma importancia debido a que nos permite colocar y acabar el hormigón.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del hormigonado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el hormigón fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente, colocado y compactado, el fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del hormigonado, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad. El fraguado inicial y el fraguado final se determinan arbitrariamente por el ensayo de resistencia a la penetración.

Los principales factores a tener en cuenta son temperatura/clima, relación agua-cemento (a/c), tipo de cemento, dosis del aditivo, tiempo de adición de los aditivos, mezclado, dosificación.

³ www.proyectosfindecarrea.com/articulos.htm

⁴ www.ucn.cl/facultadesInstitutos/laboratorio/tecnologia.htm

2.2. Principales aplicaciones del azúcar como aditivo retardador de fraguado del hormigón.

- Vaciado en clima cálido, por que se incrementa la velocidad de endurecimiento de las mezclas convencionales y reduce la vida útil del estado fresco del hormigón.
- Bombeo de hormigón a largas distancias; para prevenir atoros.
- Transporte de hormigón pre-mezclado a largas distancias en camiones mezcladores.
- Mantener el hormigón plástico en situaciones de emergencia que obligan a interrumpir temporalmente los vaciados, como fallas en equipos o retraso en el suministro del hormigón.
- Desfasajes entre los períodos de mayor temperatura ambiente y la producción de calor por hidratación (hormigonado de grandes estructuras en climas calurosos).
- Supresión de juntas de trabajo en caso de pausas de trabajo programadas por el transporte de hormigón (ninguna discontinuidad entre las etapas de trabajo).
- Posibilidad de interrupción de hormigonado mientras se reparan equipos descompuestos y se producen cortes de energía eléctrica.
- Adaptación del hormigón fresco a las deformaciones de los encofrados en estructuras de grandes luces.

Figura 2.1. Transporte del hormigón con aditivo retardador



Fuente: Concreto Simple. Cap. 11. Ing. Gerardo A. Rivera L.

2.3. Influencia en el transporte del hormigón.^[5]

A. Influencia de los agregados naturales y triturados en el transporte de hormigones.

La influencia que tienen los agregados naturales y chancados en el transporte de los hormigones es la siguiente:

En los agregados chancados triturados, se ve enormemente la influencia de su superficie específica, ya que tienen una mayor área superficial y por consiguiente una mayor absorción de humedad, lo que conduce a una mayor pérdida de agua en el lapso del transporte, por lo que las mezclas a diseñarse con este tipo de agregado deben tener mayor cantidad de agua comparadas con las mezclas con áridos redondeados.

Por otro lado están los agregados de río redondeados que no poseen mucho material lajeado y por su menor área superficial se los considera como los mejores para el transporte de hormigones.

B. Influencia del tamaño del árido empleado en el transporte de hormigones.

La influencia que tiene el tamaño máximo del árido transportado es de gran importancia, ya que al usarse tamaños más grandes se reduce enormemente la cantidad de agua de consumo para la mezcla, y al bajar el agua de diseño, el exceso puede ser utilizado, para mantener a las mezclas más trabajables y dóciles por espacios de tiempos prolongados.

Resumiendo, se puede decir que no existe límite en el tamaño del agregado transportado, ya que se puede transportar agregados de cualquier tamaño siempre que se encuadre dentro de especificaciones técnicas de los dispositivos usados para el transporte.

C. Influencia de la cantidad de agua de amasado en el transporte de hormigón.

La relación A/C es uno de los factores clave que tienen influencia sobre el conjunto de propiedades del hormigón transportado. Describiendo las propiedades que debe tener el hormigón, el ingeniero fija a menudo la relación A/C. De todos modos en la práctica es

⁵ www.ingenieriarural.com

relativamente difícil medir con precisión el contenido de agua en el hormigón de su transporte. Es por esto que muchas veces, en el momento de la descarga, se hace referencia a la medida de consistencia. Como la consistencia está en estrecha relación con el contenido de agua, resulta más simple determinar las variaciones en el contenido de agua de un hormigón a través de los cambios en su consistencia. Con cierta experiencia, este método ofrece una precisión aceptable.

D. Influencia de los aditivos en el transporte del hormigón.

La influencia que tienen los aditivos sobre el transporte del hormigón es de vital importancia, porque no se podría transportar hormigón sin el empleo de éstos.

Los aditivos vienen a modificar delimitadas características del hormigón fresco y luego del endurecido, como el fraguado, la trabajabilidad, el endurecimiento y principalmente permiten mantener por más tiempo las características de un hormigón para su transporte en tiempos prolongados.

El uso de los aditivos se justifica por razones tanto técnicas como económicas otorgadas por sus innumerables cualidades para mantener por tiempos prolongados el hormigón transportado.

D1. Influencia de los retardadores del fraguado.

Estos aditivos retardan el inicio del fraguado de la pasta de cemento y prolongan el intervalo que se dispone hasta su uso, están especialmente diseñados para el transporte en tiempos prolongados de hormigón.

Dado que el efecto deseado depende fuertemente del tipo de retardante, el tiempo de transporte del hormigón, como del cemento utilizado y la temperatura ambiental, es absolutamente indispensable la ejecución de exámenes preliminares a diversas temperaturas.

En caso de una dosificación en exceso, el efecto de los Retardadores, puede llegar a inhibir el fraguado o, por el contrario, ser invertido, transformándolos en acelerantes.

E. Influencia de la temperatura ambiente en el transporte del hormigón.

E1. Altas temperaturas en el transporte del hormigón.

En lo que respecta al transporte del hormigón en tiempo caluroso, si no existe otra alternativa se deberán tomar en cuenta la influencia que tienen las altas temperaturas en el transporte del hormigón, para ello es recomendable el uso de un superfluidificante cuya función es la de reemplazar aquella docilidad perdida por la evaporación del agua.

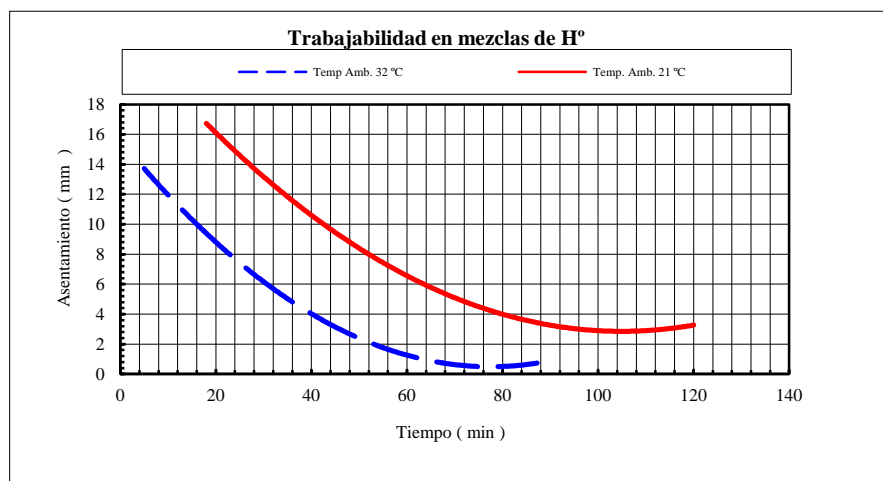
El mejoramiento de la consistencia no debería nunca ser realizado mediante el posterior agregado de agua.

E2. Influencia de la trabajabilidad conforme se transporta un hormigón con el tiempo.

Es inevitable que la mezcla se vaya rigidizando conforme se transporta hormigón, hecho éste que se traduce en el empeoramiento de la trabajabilidad (Fig. 2.2). Nótese al respecto que el valor nominal utilizado puede referirse al de finalización del mezclado o también al momento de abastecimiento en obra.

A continuación se expone en una figura como baja la trabajabilidad conforme se transporta un hormigón:

Figura 2.2. Influencia de la temperatura en la trabajabilidad de un hormigón



Fuente: www.ingenieriarural.com

2.4. Fundamentos del hormigón.

2.4.1. Definición de hormigón.

El hormigón es una roca artificial utilizada como material de construcción bastante resistente, que inicialmente tiene una estructura plástica y moldeable, por lo que puede adoptar casi cualquier forma; y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes. Al hormigón también se le conoce en otros países con el nombre de concreto. Hormigón procede del término formicō, palabra latina que alude a la cualidad de «moldeable» o «dar forma». El término concreto también es originario del latín: concretus, que significa «crecer unidos», o «unir».

2.4.2. Componentes del hormigón.

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento Portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Es de importancia la calidad de los materiales que constituyen el hormigón para poder obtener una resistencia estable, una durabilidad óptima y bajos costo en los proyectos de construcción; el buen trabajo de la matriz cementante con los agregados, dependerá entonces de diversos factores de los que podríamos mencionar las características físicas y químicas del cementante, la composición mineralógica y petrográfica de las rocas que constituyen los agregados, la forma tamaño máximo y textura superficial de estos.

2.5. Cemento.

2.5.1. Definición de cemento.

Es un polvo químico seco, que al mezclarse con el agua adquiere propiedades aglutinantes, tanto adhesivas como cohesivas, las cuales le dan la capacidad de aglutinar fragmentos minerales para formar un todo compacto.

Los cementantes hidráulicos que se utilizan para la fabricación del hormigón, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, a esta reacción se le conoce

como hidratación, la cual a medida que se desarrolla vuelve al concreto más duro y resistente.^[6]

2.5.2. Composición química.

Las características y propiedades del cemento Pórtland están íntimamente ligadas a su composición química, la cual se determina por análisis en laboratorio y viene expresada en forma de óxidos. Una composición química típica del Clinker de un cemento Pórtland se presenta en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Compuestos químicos del cemento

COMPONENTE QUÍMICO	NOMENCLATURA	PORCENTAJE
Cal combinada	Ca O	62 – 67
Sílice	Si O ₂	19 – 25
Alúmina	Al ₂ O ₃	2 – 9
Hierro	Fe ₂ O ₃	1 – 5
Azufre	S O ₃	1 – 3
Magnesia	Mg O	0 – 3
Perdidas al fuego	P.F	2
Residuo Insoluble	R.I.	1
Álcalis	K ₂ O + Na ₂ O	0,2 – 1,3

Fuente: Hormigón Armado. 14º Edición Jiménez Montoya, García Meseguer y Moran Cabré

Los cuatro componentes principales son la cal, sílice, hierro y alúmina, los cuales no se encuentran libres en el cemento sino combinados formando silicatos, aluminatos y ferritos cálcicos, que son los constituyentes hidráulicos.

De acuerdo a la tabla 2.1, se puede señalar que los principales constituyentes del cemento Pórtland son:

- Silicato Tricálcico (C₃S)
- Silicato Bicálcico (C₂S)
- Aluminato Tricálcico (C₃A)
- Ferroaluminato Tetracálcico (C₄AF)

⁶ Hormigón Armado. 14º Edición. Jimenes Montoya, Garcia Meseguer y Moran Cabré

El *silicato tricálcico* es el compuesto activo del cemento Pórtland artificial, por que desarrolla una resistencia inicial y un calor de hidratación bastante elevado. Visto al microscopio se encuentra bajo el aspecto de cristales poligonales cuyo tamaño medio es de 50 μ ; en el clinker se lo encuentra bajo la forma de alita (C_3S con impurezas en suspensión) cuyas propiedades son un tanto diferentes de las del C_3S puro.^[7]

La alita más allá de 1900 °C se disocia para formar silicato bicálcico pero si se lo va enfriando y se lo mantiene a 1100 °C se divide en C_2S y CaO .

El *silicato bicálcico* es el compuesto que contribuye a aumentar la resistencia a largo plazo, al ser lento su fraguado y endurecimiento. Su calor de hidratación es el más bajo de los cuatro y su estabilidad química es mayor que la del silicato tricálcico, por ello los cementos con alto contenido en silicato bicálcico son más resistentes a los sulfatos que los de menor contenido.

El *aluminato tricálcico* incide en el fraguado haciéndolo más rápido produciendo un calor de hidratación más elevado; los cristales formados tienen un aspecto variable según el modo de enfriamiento del clinker, pero en general son pequeños y están mal formados si el enfriamiento es rápido, en caso contrario son grandes y rectangulares.

El *ferroaluminato tetracálcico* prácticamente no contribuye a la resistencia. Se encuentra en la fase intersticial neta del clinker.

2.5.3. Etapas de la hidratación del cemento Pórtland.^[8]

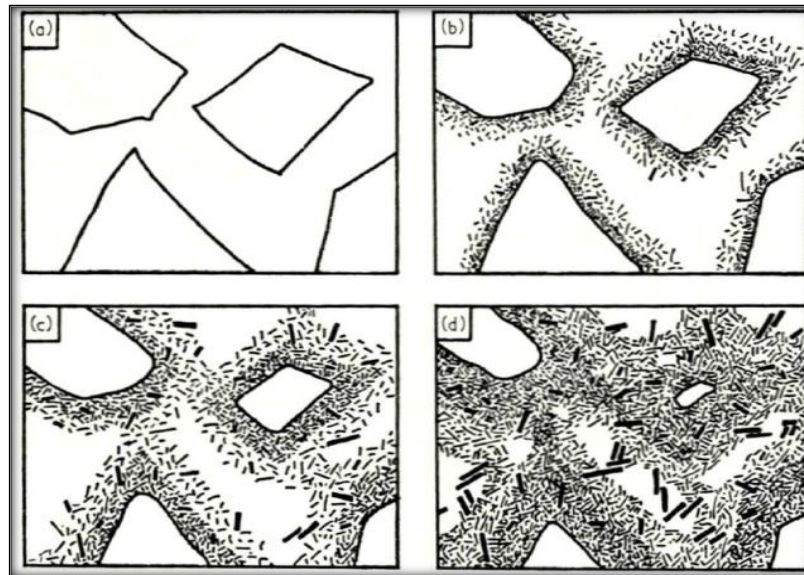
La hidratación del cemento Pórtland puede ser analizada como la suma de todas las reacciones de los compuestos individuales del cemento, interactuando simultáneamente entre sí.

La reacción de hidratación es exotérmica, es decir, libera calor y cada componente del cemento libera una cantidad diferente. Por otra parte, el calor total liberado viene condicionado por diversos factores, como la finura del cemento o la mayor o menor presencia de los productos químicos que forman el clinker.

⁷ Hormigón Armado. 14ª Edición. Jimenes Montoya, Garcia Meseguer y Moran Cabré

⁸ www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html

Figura 2.3. Etapas de la hidratación del cemento Pórtland



Fuente: www.arqhys.com/construccion/concreto-fraguado.html

Las cuatro fases en el fraguado y endurecimiento del cemento Pórtland:

- (a) Dispersión de los granos de clínker sin reaccionar en el agua,
- (b) Después de unos minutos, los productos de hidratación crecen hacia dentro y hacia fuera de la superficie de cada grano.
- (c) Después de unas horas, interaccionan las capas que recubren los diferentes granos de clínker, volviéndose así el conjunto un gel continuo (fraguado).
- (d) Después de unos días ha surgido una masificación del gel (endurecimiento)

2.5.4. Propiedades físicas del cemento Pórtland.

Las especificaciones de cemento presentan límites para las propiedades físicas y para la composición química, es por ello que la comprensión de la importancia de las propiedades físicas es útil para la interpretación de los resultados de los ensayos (pruebas) de los cementos, las propiedades del cemento a utilizar se encuentra en el anexo 1.

2.5.5. Producción y disponibilidad de cementos en Tarija.

En el mercado local (Tarija) la disponibilidad de cementos se reduce a los siguientes: Cemento El PUENTE, Cemento FANCESA y otros cementos de procedencia Argentina (LOMA NEGRA).

Para el presente trabajo de investigación, el cemento que se utilizará para el efecto será el Cemento El PUENTE, debido a la calidad y disponibilidad de información acerca de las características del mismo.

2.6. Agregados para el hormigón.

2.6.1. Definición de agregados.

Los agregados ocupan en la mezcla de concreto aproximadamente del 60% al 75% de su volumen (70% a 85% en peso), por lo que las características y propiedades de éstos influyen notablemente en: 1) las proporciones de la mezcla, 2) la economía, 3) las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido. ^[9]

La razón principal para utilizar agregados dentro del hormigón, es que éstos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla. Los agregados se dividen en:

A. Agregado grueso (grava).

El agregado grueso (grava) consiste en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado (Ver Figura 2.4), cuyas partículas sean predominantemente mayores que 4.75 mm (malla N° 4) y generalmente, entre 9.50 mm (malla de $\frac{3}{8}$ de pulgada) y 37.50 mm (malla de 1 $\frac{1}{2}$ pulgada).

Figura 2.4. Acopio de grava para el hormigón



Fuente: Elaboración propia

⁹ Introducción al diseño de mezclas de hormigón. Ing. Fernando M. Cerruto A.

- **Requisitos de uso.**

- ✓ El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi - angular, duras o compactas, resistentes y de textura con preferencia rugosa.
- ✓ Las partículas deben de estar libres de tierra, polvo, limo, humos, escamas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- ✓ Se recomienda que las sustancias dañinas no excedan los porcentajes máximos siguientes: 1° partículas deleznableles :5% 2° material mas fino que la malla N°200 : 1% 3° carbón y lignito = 0.5 %

B. Agregado fino (arena).

El agregado fino (arena) comúnmente consiste en arena natural o piedra triturada (Ver Figura 2.5), siendo la mayoría de sus partículas menores de 4.75 mm (malla N°4), pero mayores de 0.075 mm (malla N° 200).

Figura 2.5. Acopio de arena para el hormigón



Fuente: Elaboración propia

- **Requisitos de uso.**

- ✓ El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- ✓ El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica u otras sustancias perjudiciales.
- ✓ Debe cumplir las normas sobre su granulometría.

2.6.2. Características de los agregados.

Las características más importantes de los agregados para hormigón son las siguientes:

A. Granulometría.

La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, la distribución de las partículas por tamaño tiene un notable efecto en la cantidad de agua necesaria para un hormigón hecho con un determinado agregado y por lo tanto influye en todas las propiedades del concreto relacionadas con su contenido de agua.

El análisis granulométrico mide la distribución de los diferentes tamaños que componen una muestra de agregados por medio de tamizado (ASTM C-136) y nos ayuda a determinar la uniformidad, capacidad de bombeo, las relaciones de porosidad en la masa de concreto y así como su trabajabilidad para un mejor manejo y compactación del mismo.

A1. Granulometría agregado fino (límites según la ASTM).

El análisis granulométrico de la arena se complementa calculando su módulo de finura, que es igual a la centésima parte de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas de la serie estándar. Comúnmente se considera que la arena presenta un módulo de finura adecuado para la fabricación de concreto convencional, si no es menor de 2.30 ni mayor de 3.10, donde un valor menor que 2 indica una arena fina, 2.5 una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa.

Los requerimientos en cuanto a granulometría que debe cumplir la arena de acuerdo a la norma ASTM C-136 es el que se da en la siguiente tabla:

Tabla 2.2. Límites de granulometría para la arena

MALLA		Porcentaje acumulado que pasa	
$\frac{3}{8}''$	9.5 mm	-	100
Nº4	4.75 mm	95	100
Nº8	2.36 mm	80	100
Nº16	1.18 mm	50	85
Nº30	600 μ m	25	60
Nº50	300 μ m	10	30
Nº100	150 μ m	2	10

Fuente: Norma ASTM C-136

A2. Granulometría agregado grueso (límites según la ASTM).

Al igual que en el caso de la arena es deseable que el agregado grueso en conjunto posea continuidad de tamaños en su composición granulométrica, también los efectos que la granulometría de la grava produce sobre la manejabilidad de las mezclas de concreto no son tan notables como los que produce la arena. Lo cual concede ciertas libertades para integrar la curva granulométrica de la grava total, incluso fuera de los límites granulométricos establecidos, cuando existen deficiencias de tamaños, difíciles de subsanar.

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la norma ASTM C-33, los cuales están indicados en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Requerimientos de granulometría del agregado grueso

ASTM N°	Tamaño Nominal	% que pasa por los tamices normalizados												
		100mm 4"	90 mm 3½"	75 mm 3"	63 mm 2½"	50mm 2"	37.5mm 1½"	25mm 1"	19mm ¾"	12.5mm ½"	9.5mm ¾"	4.75mm N°4	2.36mm N°8	1.18mm N°16
1	90 a 37.5 mm 3½" a 1½"	100	90-100		25-60		0-15		0-5					
2	63 a 37.5 mm 2½" a 1½"			100	90-100	35-70	0-15		0-5					
3	50 a 25.0 mm 2" a 1"				100	90-100	35-70	0-15		0-5				
357	50 a 4.75 mm 2" a N°4				100	95-100		35-70		10-30		0-5		
4	37.5 a 19mm 1½" a ¾"					100	90-100	20-55	0-15		0-5			
467	37.5 a 4.75mm 1½" a N°4					100	95-100		35-70		10-30	0-5		
5	25 a 12.5 mm 1" a ½"						100	90-100	20-55	0-10	0-5			
56	25 a 9.5 mm 1" a ¾"						100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
57	25 a 4.75 mm 1" a N°4						100	95-100		25-60		0-10	0-5	
6	19 a 9.5 mm ¾" a ¾"							100	90-100	20-55	0-15	0-5		
67	19 a 4.75 mm ¾" a N°4							100	90-100		20-55	0-10	0-5	
7	12.5 a 4.75mm ½" a N°4								100	90-100	40-70	0-15	0-5	
8	9.5 a 2.36mm ¾" a N°8									100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: Norma ASTM C-33

B. Forma y textura superficial de las partículas.

La forma y la textura superficial de las partículas de un agregado (ASTM D-3398) influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las

partículas con textura áspera, angulares o elongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos.

C. Peso unitario y vacíos.

El peso volumétrico aproximado del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³ (75 a 110 lb/ft³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla.

D. Peso específico (gravedad específica).

El peso específico (gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. La mayoría de los agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³ (150 y 181 lb/ft³). En nuestro país se utiliza la norma ASTM C-128 y ASTM C-127 para encontrar la gravedad específica de la arena y de la grava respectivamente.

E. Absorción de los agregados.

La absorción se define como el incremento en la masa de un cuerpo sólido poroso, como resultado de la penetración de un líquido dentro de sus poros permeables. En el caso de los agregados, la absorción se determina después de un periodo de inmersión de 24 horas en agua, conforme al método ASTM C127 y C128, cuyo procedimiento indicaremos en la parte práctica del presente trabajo.

No obstante, solamente a título informativo puede decirse, que la absorción no debe exceder de 3% en el agregado grueso ni de 5% en el agregado fino.

2.6.3. Clasificación de agregados de peso normal.

Los agregados de peso normal comúnmente proceden de la desintegración, por causas naturales o medios artificiales, de rocas con gravedad específica entre 2.4 y 2.8,

aproximadamente; de manera que al utilizarlos se obtienen concretos con peso volumétrico, en estado fresco, en el intervalo aproximado de 2,240 kg/m³ a 2,400 kg/m³; a estos concretos se les conoce como concretos de peso normal. ^[10]

2.7. Agua de amasado.

El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón, por un lado participa en las reacciones de hidratación del cemento y por otro le confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. ^[11]

En un metro cubico de hormigón; porque cada litro de agua de amasado añadido en exceso, equivale a una disminución de dos kilogramos de cemento.

El agua de amasado debe reunir ciertas condiciones para desempeñar eficazmente su función; en general las normas obligan a analizar las aguas solamente cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda, las limitaciones se presentan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4. Limitaciones para el agua

COMPONENTE	CONTROL
Exponente de hidrógeno pH	≥ 5
Sustancias disueltas	≤ 15 gramos por litro (15.-000 p.p.-m)
Sulfatos, expresados en SO ₄ , excepto para el cemento SR en que se eleva este limite a 5 gr por litro (5.000 p.p.m)	≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)
Ión cloruro, Cl	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Para hormigón pretensado ○ Para hormigón armado o hormigón en masa que contenga armaduras para reducir la fisuración 	<p>≤ 1 gramo por litro (1.000 p.p.m)</p> <p>≤ 3 gramos por litro (3.000 p.p.m)</p>
Hidratos de carbono	0
Sustancias orgánicas solubles en éter	≤ 15 gramos por litro (15.-000 p.p.-m)

Fuente: Norma Boliviana del Hormigón Armado CBH-87

¹⁰ Manual de Tecnología del Concreto, Sección 1. Comisión Federal De Electricidad (CFE)

¹¹ Hormigón Armado. 14° Edición. Jimenes Montoya, Garcia Meseguer y Moran Cabré

2.7.1. Agua utilizada en el presente trabajo.

El agua utilizada en este trabajo de investigación, tanto en la preparación de especímenes y en su respectivo curado, fue agua potable, procedente de la red de agua potable de la ciudad de Tarija, las mismas que corresponden a la información proporcionada por el departamento técnico de COSAALT. (Ver anexo 2)

2.8. Aditivos retardadores de fraguado.

Los retardadores pueden actuar de dos formas distintas según su naturaleza; una es favoreciendo la solubilidad del estudio cálcico que de por si es retardador de fraguado y la otra formando sales cálcicas que son absorbidas por las partículas de cemento, retrasando de esta forma su hidratación.^[12]

Se ha comprobado que los retardadores de fraguado influyen en el tamaño de los cristales de portlandita, ettringita, etc., productos de la hidratación del cemento.

Al cesar el retardo en el fraguado e iniciarse la hidratación normal, en general las resistencias a compresión a muy tempranas edades suelen verse disminuidas, pero las resistencias finales se ven incrementadas debido a una mayor dispersión de las partículas del cemento, siendo recomendable en estos casos proteger al hormigón evitando que pierda humedad y temperatura hasta que se inicie el endurecimiento normal, no someténdolo a esfuerzos mecánicos.

La mayoría de retardadores comerciales utilizan materiales como el azúcar, carbohidratos o sales derivadas de estos, originando una variedad de comportamiento en cuanto al retardo, así los retardadores sobre la base de productos orgánicos tienen una acción muy fuerte y no siempre fácil de controlar, pues para pequeñas dosificaciones pueden producir retardas hasta de varios días en el endurecimiento.

Por otro lado, requieren el uso de agentes antibacterianos para contrarrestar la fermentación en introducción de aire en las mezclas de hormigón. Los retardadores inorgánicos son más estables y obviamente más caros, por lo que es importante saber

¹² Aditivos. Escuela Ingeniería en Construcción. UCV

diferenciarlos y medir sus limitaciones en las mezclas de prueba para evitar sorpresas en los resultados y en el costo-beneficio.

2.8.1. PLASTIMENT® H.E.R. Aditivo plastificante retardador

Descripción:

Apariencia y color: Líquido color café

Densidad: 1.15 kg/dm³.

Plastiment H.E.R. es un aditivo para ser usado en hormigones y morteros de efecto plastificante y retardador. No contiene cloruros.

Presentación:

Tineta 20 kg a 480 Bs

Cumplimientos de normas y certificaciones:

- Norma Americana ASTM C-403 – Tiempo de fraguado, resistencia a la penetración (20°C) .
- Norma Americana ASTM C-494 Type D.
- Certificado LA 289 – Dickerhoff – Widmann – Alemania.

Datos técnicos:

- Al utilizar **Plastiment H.E.R.** como plastificante, es decir, con la misma relación A/C que el patrón, se verifica un fuerte aumento en la docilidad del hormigón, sin afectar las resistencias mecánicas.

- **Plastiment H.E.R.** como reductor de agua permite disminuir la cantidad de agua de amasado entre un 7 y 12%, sin modificar la trabajabilidad del hormigón patrón, obteniéndose fuertes incrementos en las resistencias mecánicas e impermeabilidad.

- El efecto retardador del aditivo no afecta el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales.

Ventajas:

Plastiment H.E.R. es un aditivo de uso universal que le confiere al hormigón las siguientes características.

- Retarda el fraguado del hormigón, aumentando el límite de colocación.
- Aumenta considerablemente las resistencias mecánicas al permitir reducir la cantidad de agua de amasado.
- Aumento de la impermeabilidad.
- Mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco.
- Permite revibrar la mezcla.
- Disminución de las fisuras por contracción del secado.
- Aumenta la adherencia del hormigón a la armadura.
- No incorpora aire.
- Incrementa la resistencia de diseño.
- Aumenta la densidad del hormigón endurecido.

Campos de aplicación:

- Hormigonado en tiempo caluroso.
- Hormigonado en grandes masas.
- Para evitar juntas de Hormigonado en faenas continuas.
- En hormigón premezclado, especialmente en tiempo caluroso.
- Transporte de hormigón a largas distancias
- Hormigón bombeado.
- Hormigón a la vista.

Modo de empleo:

Plastiment H.E.R. Se utiliza diluido en el agua de amasado del hormigón en dosis de 0.3 a 0.5% referido al peso del cemento.

Al no disponer de aparatos para dosificar el aditivo, deberá utilizarse un recipiente con la medida exacta para cada amasada. No es recomendable confeccionar diluciones de antemano con **Plastiment H.E.R.** y agua a menos de mantener en constante agitación.

2.8.2. Hidratos de carbono o carbohidratos.

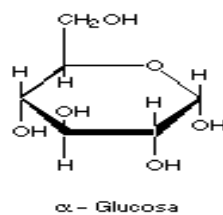
Forman un grupo de compuestos que contienen carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). Son los compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza. Uno de los glúcidos más sencillos son los *monosacáridos*, el más importante es la glucosa. Dos monosacáridos unidos producen un “*disacárido*”, cuyos ejemplos más importantes son: la sacarosa, la lactosa y la maltosa. Los *polisacáridos* son enormes moléculas formadas por uno o varios tipos de unidades de monosacáridos.^[13]

a) Monosacáridos.

Estos azúcares se caracterizan por poseer grupos hidroxilos (OH) y un grupo aldehído o cetona. Se describen con la fórmula $(CH_2O)_n$, donde n es un número entero no menor de tres y no mayor de ocho ($3 < n < 8$). Estas proporciones dieron origen al término carbohidratos o hidratos de carbono para los azúcares y para aquellas moléculas constituidas por subunidades de azúcar.

Glucosa: sólido cristalino de color blanco, algo menos dulce que el azúcar destinado al consumo. Este azúcar monosacárido de seis carbonos, de fórmula $C_6H_{12}O_6$, se caracteriza por tener una función hidroxilo (OH) (característica de los alcoholes) en cada uno de los carbonos, excepto en el primero donde presenta una función aldehído. Se encuentra en la miel y en el jugo de numerosas frutas. Se produce en la hidrólisis de numerosos glucósidos naturales.

Figura 2.6. Molécula glucosa

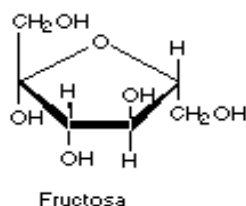


Fuente: www.azucares.htm

¹³ www.azucares.htm

Fructosa: También denominada levulosa, es un monosacárido cuya fórmula química es $C_6H_{12}O_6$. Se produce junto con la glucosa durante la degradación de la sacarosa, y también como consecuencia de la hidrólisis de distintos hidratos de carbono, pero la mejor manera de obtener esta molécula consiste en tratar la inulina con un ácido diluido.

Figura 2.7. Molécula fructosa



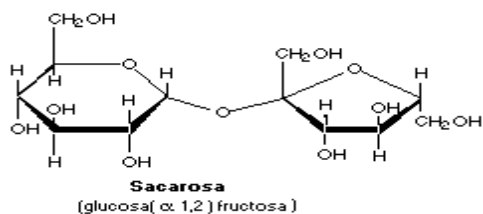
Fuente: www.azucares.htm

La fructosa cristaliza con dificultad y los cristales se funden en un rango de temperatura que varía entre los 102 °C y los 104 °C

b) Disacáridos.

Estos compuestos están constituidos por la unión de dos monosacáridos. Por ejemplo: la sacarosa (ver figura 2,8; azúcar común) la cual está formada por una glucosa y una fructosa, de fórmula $C_{12}H_{22}O_{11}$. Es soluble en agua y ligeramente soluble en alcohol y éter, cristaliza en forma de agujas largas y delgadas. Por hidrólisis (separación por medio de agua ya que se necesita una molécula de agua para que queden completos ambos monosacáridos) rinde una mezcla de glucosa y fructosa, que resulta levógira, por lo que esta mezcla se conoce como "azúcar invertido". [14]

Figura 2.8. Molécula sacarosa



Fuente: www.azucares.htm

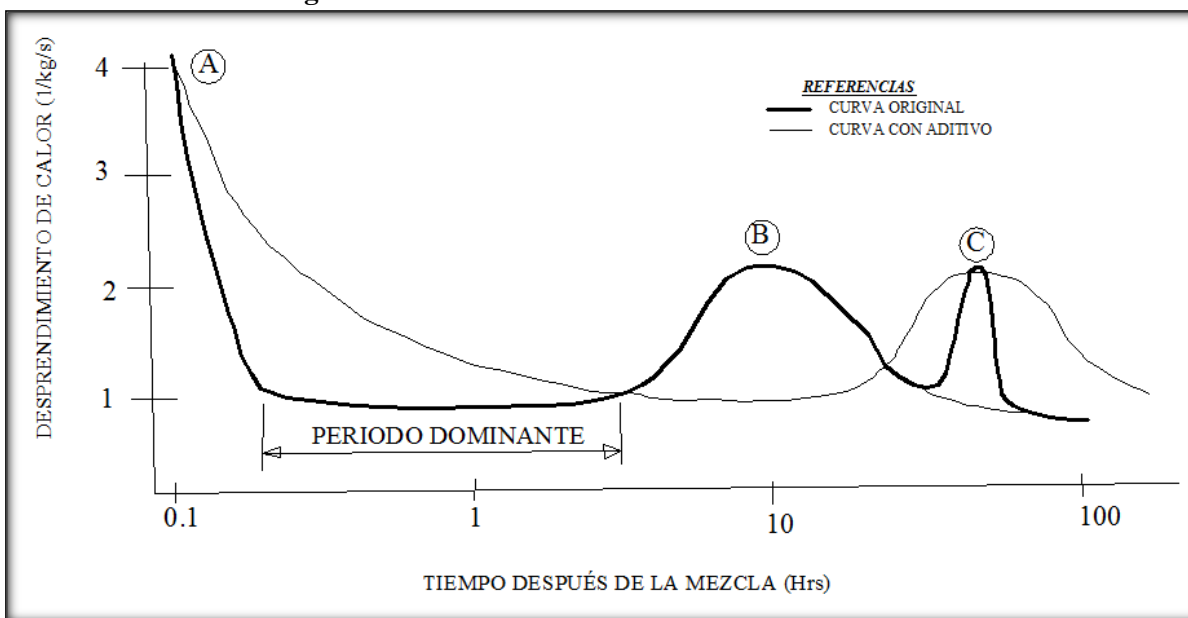
¹⁴ Materiales alternativos para la construcción Dr. Ing. Jorge Acevedo Cata

2.9. Efectos de la adición de azúcar (sacarosa) en el hormigón.

Los estudios realizados por Robert y Dodson, determinaron que en la fase líquida de la pasta de cemento, con la adición de sacarosa, se produce un incremento en la concentración de cal y sulfato en la solución. En adiciones altas se mantienen estos incrementos a edades avanzadas y en adiciones pequeñas, las concentraciones de cal y sulfato se igualan a las del cemento sin adición a edades de siete días.^[15]

Para analizar el efecto de la sacarosa sobre el tiempo de fraguado y el endurecimiento inicial del cemento, es necesario discutir inicialmente la reacción que tiene el aluminato tricíclico y el silicato tricálcico con el agua, por ser estos los compuestos responsables de estos procesos.^[16]

Figura 2.9. Curva calorimétrica de la hidratación del cemento



Fuente: Estudio calorímetro del cemento Portland. Actas de la II jornada. V. Rahhal

A/ El periodo de duración es de algunos minutos, es debido a la hidratación inicial de la superficie de las partículas.

¹⁵ Materiales alternativos para la construcción Dr. Ing. Jorge Acevedo Cata

¹⁶ www.aula4.html

Periodo durmiente/ Varía de 2 a 3 horas (periodo de fraguado).

B/ Inicio de endurecimiento (reacción máxima de hidratación).

C/ Puede ocurrir de 1 a 2 días después de B.

El aluminato tricálcico, reacciona con el agua de forma rápida y altamente exotérmica, en presencia del yeso esta reacción se retarda, debido a la formación de una capa de ettringita.

El silicato tricálcico, presenta una curva calorimétrica de menor intensidad debido a una transformación a hidratos, donde el periodo de reacción es menor.

La sacarosa retasa fuertemente la hidratación del aluminato tricálcico a todas las edades y actúa como agente reductor de agua, evidentemente mayor exudación de las pastas con adición.^[17]

La adición de azúcar, tiende a desplazar parte de gráfico de la figura 2.9 hacia la derecha siendo la ettringita el principal producto de hidratación formado.

2.10. Aspectos teóricos respecto al azúcar^[18]

A. Azúcar.

Se denomina azúcar a la sacarosa, cuya fórmula química es $C_{12}H_{22}O_{11}$, también llamado azúcar común o azúcar de mesa. La sacarosa es un disacárido formado por una molécula de glucosa y una de fructosa, que se obtiene principalmente de la caña de azúcar o de la remolacha azucarera. En ámbitos industriales se usa la palabra azúcar o azúcares para designar los diferentes monosacáridos y disacáridos, que generalmente tienen sabor dulce, aunque por extensión se refiere a todos los hidratos de carbono.

Calidad del azúcar

El azúcar blanco es sometido a un proceso de purificación químico, haciendo pasar a través del jugo de caña, gas SO_2 , que proviene de la combustión del azufre. Hay una

¹⁷ Materiales alternativos para la construcción Dr. Ing. Jorge Acebedo Cata

¹⁸ Seminario de Investigación Dr. Roberto Avalos

creencia arraigada de que el azúcar de tono más oscuro es más saludable, pero esto no es totalmente cierto. La película de miel que rodea al cristal de azúcar morena o rubia contiene sustancias como minerales y vitaminas. Estas sustancias se les llama en el argot azucarero: impurezas. Cabe aclarar que durante el proceso a todas las sustancias que no son sacarosa, se les denomina impurezas, pero son inofensivas para la salud. Son éstas las que le otorgan el color y sabor particular, pero se encuentran en ínfimas cantidades que, desde el punto de vista nutricional, no tienen importancia, ya que serían necesarios consumos desmesurados de azúcar de este tipo para que estos otros componentes se ingirieran en cantidades relevantes.

Cada día es mucho más frecuente en platos y dulces preparados, encontrarse otros azúcares diferentes, sólo glucosa, sólo fructosa, básicamente de la planta de maíz (por su asimilación más lenta) o combinados con edulcorantes artificiales. Un grano de azúcar es un 70% más pequeño que el grano de arroz.

Tipos de azúcar

El azúcar se puede clasificar por su origen (de caña de azúcar o remolacha), pero también por su grado de refinación. Normalmente, la refinación se expresa visualmente a través del color (azúcar moreno, azúcar rubio, blanco), que está dado principalmente por el porcentaje de sacarosa que contienen los cristales.

- Azúcar prieta, (igualmente llamado "moreno", "negro" o "crudo") se obtiene del jugo de caña de azúcar y no se somete a refinación, sólo cristalizado y centrifugado. Este producto integral, debe su color a una película de melaza que envuelve cada cristal. Normalmente tiene entre 96 y 98 grados de sacarosa. Su contenido de mineral es ligeramente superior al azúcar blanco, pero muy inferior al de la melaza.

- Azúcar rubia, es menos oscuro que el azúcar moreno o crudo y con un mayor porcentaje de sacarosa.

- Azúcar blanco, con 99,5% de sacarosa. Asimismo denominado azúcar sulfitado.

- Azúcar refinado o extrablancos es altamente puro, es decir, entre 99,8 y 99,9 % de sacarosa. El azúcar rubio se disuelve, se le aplican reactivos como fosfatos, carbonatos, cal para extraer la mayor cantidad de impurezas, hasta lograr su máxima pureza. En el proceso

de refinamiento se desechan algunos de sus nutrientes complementarios, como minerales y vitaminas.

B. Azúcares

Se entiende técnicamente por azúcares a los diferentes monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, que generalmente tienen sabor dulce, aunque a veces se usa incorrectamente para referirse a todos los glúcidos.

En cambio, se denomina coloquialmente azúcar a la sacarosa, también llamado azúcar común o azúcar de mesa

Los hidratos de carbono son elementos primordiales, y están compuestos solamente por carbono, oxígeno e hidrógeno.

Clasificación

Los azúcares se clasifican según el número de unidades de los que están formados:

✓ *Monosacáridos*

Formados sólo por una unidad, también se llaman azúcares simples. Los más presentes en la naturaleza son los siguientes:

- Glucosa, Tractosa, Fructosa, Galactosa, Ribosa, Manosa

✓ *Disacáridos*

Formados por dos monosacáridos, iguales o diferentes, además se llaman azúcares dobles. Los más presentes en la naturaleza son los siguientes:

- Maltosa, Lactosa, Sacarosa, Isomaltosa, Trehalosa

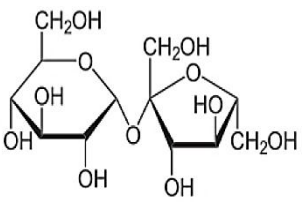
✓ *Trisacáridos*

Formados por tres monosacáridos, iguales o diferentes, igualmente se llaman azúcares triples. Los más presentes en la naturaleza son los siguientes:

- Maltotriosa, Rafinosa

C. Sacarosa (enfoque químico)

Tabla 2.5. Enfoque Químico de la Sacarosa

<p>Sacarosa</p> 
<p>Nombre (IUPAC) sistemático</p> <p>n/d</p>
<p>General</p> <p>Fórmula semidesarrollada β-D-fructofuranosil-(2->1)-α-D-glucopiranosido</p> <p>Fórmula molecular C₁₂H₂₂O₁₁</p>
<p>Identificadores</p> <p>Número CAS 57-50-1</p>
<p>Propiedades físicas</p> <p>Estado de agregación sólido</p> <p>Apariencia cristales blancos</p> <p>Densidad 1587 kg/m³; 1.587 g/cm³</p> <p>Masa molar 342,29648 g/mol g/mol</p> <p>Punto de fusión 459 K (185,85 °C)</p> <p>Punto de descomposición 459 K (°C)</p>
<p>Propiedades químicas</p> <p>Acidez (pKa) 12,62</p> <p>Solubilidad en agua 203,9 g/100 ml (293K)</p> <p>Valores en el SI y en condiciones normales (0 °C y 1 atm), salvo que se indique lo contrario. Exenciones y referencias</p>

Fuente: Seminario de Investigación. Dr. Roberto Avalos

La sacarosa o azúcar común es un disacárido formado por alfa-glucopiranososa y beta-fructofuranosa.

Su nombre químico es:

beta-D-fructofuranosil-(2->1)-alfa-D-glucopiranosido.

Su fórmula química es:(C₁₂H₂₂O₁₁)

Es un disacárido que no tiene poder reductor sobre el reactivo de Fehling y el reactivo de Tollens.

El azúcar de mesa es el edulcorante más utilizado para endulzar los alimentos y suele ser sacarosa. En la naturaleza se encuentra en un 20% del peso en la caña de azúcar y en un 15% del peso de la remolacha azucarera, de la que se obtiene el azúcar de mesa. La miel también es un fluido que contiene gran cantidad de sacarosa parcialmente hidrolizada.

Estructura y función

La sacarosa (el azúcar de mesa) es un disacárido de glucosa y fructosa. Se sintetiza en plantas, pero no en animales superiores. No contiene ningún átomo de carbono anomérico libre, puesto que los carbonos anoméricos de sus dos unidades monosacáridos constituyentes se hallan unidos entre sí, covalentemente mediante un enlace O-glucosídico. Por esta razón, la sacarosa no es un azúcar reductor y tampoco posee un extremo reductor.

Su nombre abreviado puede escribirse como Glc(a -1à 2)Fru o como Fru(b 2à 1)Glc. La sacarosa es un producto intermedio principal de la fotosíntesis, en muchas plantas constituye la forma principal de transporte de azúcar desde las hojas a otras partes de la planta. En las semillas germinadas de plantas, las grasas y proteínas almacenadas se convierten en sacarosa para su transporte a partir de la planta en desarrollo.

Una curiosidad de la sacarosa es que es triboluminiscente, que produce luz mediante una acción mecánica.

Características del enlace

El enlace que une los dos monosacáridos es de tipo O-glucosídico. Además, dicho enlace es dicarbonílico ya que son los dos carbonos reductores de ambos monosacáridos los que forman el enlace alfa(1-2) de alfa-D-glucosa y beta-D-fructosa

La enzima encargada de hidrolizar este enlace es la sacarasa, asimismo conocida como invertasa, ya que la sacarosa hidrolizada es llamada también azúcar invertido.

2.11. Hormigón fresco.

El hormigón recién mezclado debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de hormigón muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse (colocarse) en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de "plástico". En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes.^[19]

En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de hormigón y fuertemente armados (reforzados) requieren mezclas trabajables para facilitar su colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación.

A. Mezclado.

En el mezclado de los componentes básicos del hormigón son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un hormigón de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución (rotación).

B. Trabajabilidad.

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

Los factores que influyen en la trabajabilidad del hormigón son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes;

¹⁹ Introducción al diseño de mezclas de hormigón. Ing. Fernando M. Cerruto A.

(3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos. La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad.

B1. Consistencia del hormigón.

La consistencia es una medida indirecta de la trabajabilidad de una mezcla de hormigón y se mide por medio del ensayo de asentamiento. De acuerdo a esto el hormigón se puede clasificar por su trabajabilidad tal como lo muestra la tabla 2.6.

En ningún procedimiento para determinación de la consistencia del hormigón deben usarse tamaños de árido superiores a 40 mm. en cuyo caso es necesario cribar previamente por el cedazo de dicha abertura y prescindir del material retenido.

Tabla 2.6. Clasificación del hormigón por su consistencia

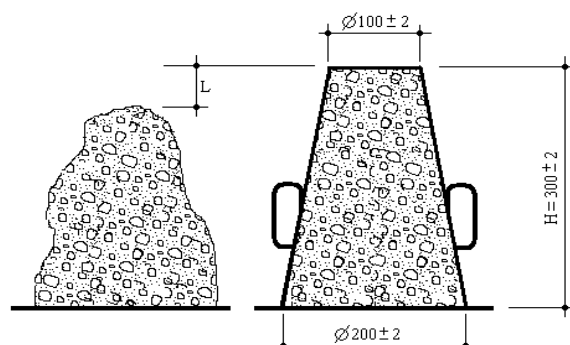
ASENTA- MIENTO (cm)	CONSISTENCIA TIPO DE CONCRETO	GRADO DE TRABAJABILIDAD	TIPO DE ESTRUCTURA Y CONDICIONES DE COLOCACION
0 - 2,0	Muy seca	Muy pequeño	Vigas de pilotes de alta resistencia con vibradores de encofrados.
2,0 - 3,5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados y construidos con máquina extrusora, Construcción en masas voluminosas.
3,5 - 5,0	Semi-seca	Pequeño	Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5,0 - 10,0	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración.
10,0 - 15,0	Fluida	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimientos de túneles. No recomendable para compactarlo demasiado.

Fuente: Norma ASTM C-143

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo el cono de Abrams uno de los más usados y prácticos:

El cono de Abrams es un molde troncocónico de 30 cm. de altura (Fig. 2.10) que se rellena con el hormigón a ensayar. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Figura 2.10. Prueba de Asentamiento con el cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos, como se indica en la tabla 2.7. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado.

Tabla 2.7. Consistencia de los hormigones

Consistencia		Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca	(S)	0 a 2
Plástica	(P)	3 a 5
Blanda	(B)	6 a 9
Fluida	(F)	10 a 15
Líquida	(L)	≥ 16

Fuente: Norma ASTM C-143

C. Sangrado.

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del hormigón adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la

fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente.

D. Consolidación.

La vibración mueve las partículas del hormigón recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios. El hormigón con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un hormigón poroso y débil con poca durabilidad.

2.12. Etapas de fraguado del hormigón.

Durante la fabricación del hormigón interesa que el fraguado no ocurra demasiado rápido, de tal suerte que se tenga suficiente tiempo para mezclarlo, transportarlo y acomodarlo en moldes. Tampoco conviene que el fraguado resulte demasiado lento porque las operaciones subsecuentes de desmolde y puesta en servicio en la obra sufriría retrasos. El proceso de fraguado es muy susceptible de cambiar con las variaciones de temperatura ambiente, con algunas limitaciones pueden suponerse que las temperaturas bajas retardan el fraguado y las altas lo aceleran.

Resumiendo podemos decir que antes de su endurecimiento, la mezcla del hormigón experimenta dos etapas dentro de su proceso general que son el fraguado inicial y el fraguado final.

A. Fraguado inicial.

Típicamente, el fraguado inicial ocurre entre dos y cuatro horas después del colado, y nos define el límite de manejo, o sea el tiempo por el cual el hormigón fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente. El fraguado inicial indica el momento en el que la masa ha adquirido tanta rigidez que no puede ser vibrado sin dañar su estructura interna.

B. Fraguado final.

El fraguado final ocurre entre cuatro y ocho horas después del colado, y está definido por el desarrollo de la resistencia, que se genera con gran velocidad.

2.13. Norma americana ASTM C 403.

La Norma Americana ASTM C 403 adoptó el de la resistencia a la penetración. Esta prueba es similar a la efectuada con la aguja vicat, y consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado a través de la malla de 4,76 mm. (Nº 4) de una porción de concreto fresco. Se somete a penetración durante un período de varias horas a una profundidad de 25mm con agujas de punta plana cuyas áreas varían entre 16 y 645 mm². Con la fuerza de penetración, el área de la aguja y el tiempo en el que se hace la medición y se dibuja una curva.

De dicha curva, se toma como tiempo de fraguado inicial aquel cuya resistencia a la penetración es de 35 Kg/cm² y como tiempo de fraguado final aquel que alcanza un valor de 280 Kg/cm². Una vez que se obtiene el fraguado final, se dice que comienza el endurecimiento.

2.14. Factores que afectan el tiempo de fraguado del hormigón. ^[20]

Los factores más importantes son:

Temperatura/ clima.- El aumento de la temperatura reduce el tiempo de fraguado. La disminución de la temperatura acrecienta el tiempo de fraguado.

²⁰ www.ingenieriarural.com

La hidratación parará cuando la temperatura esté cerca de 0°C. La exposición a la luz del sol y las condiciones ventosas también influyen en el fraguado, especialmente en la superficie, en gran parte debido a los efectos de calor y refrigeración por evaporación.

Relación agua - cemento (A/C).- Una relación a/c más baja reduce el tiempo de fraguado.

Contenido de cemento/adiciones.-El aumento del contenido de cemento reduce el tiempo de fraguado.

Tipo de cemento.- La química del cemento afectará fuertemente el tiempo de fraguado

Aditivos químicos.- Los aditivos aceleradores y retardadores se utilizan deliberadamente para controlar el tiempo de fraguado. La sobredosis de algunos reductores de agua puede dar lugar al retraso del fraguado

Tiempo de adición de los aditivos.- La adición retrasada de algunos reductores de agua puede evitar la rigidización temprana o el retraso.

Mezclado.- La mejora del mezclado influye en la hidratación mejorando la homogeneidad y la dispersión de los reactivos y, así, también acelera el fraguado.

2.14.1. Influencia de la temperatura en el fraguado del hormigón.

El hormigón puede ser considerado como un sistema de tres fases, agua, partículas sólidas y aire. Justo después de mezclar el agua con el cemento, las partículas sólidas se encuentran desconectadas o conectadas por fuerzas de Van der Waals, con lo que el hormigón se comporta como un líquido viscoplastico cuya resistencia última depende de la fracción de volumen de sólidos. Conforme la hidratación tiene lugar, las partículas de cemento construyen puentes entre ellas (percolan), incrementando gradualmente la fracción volumétrica de sólidos e interrumpiendo la porosidad capilar, que se encuentra rellena de agua. Estos puentes generados por los productos de hidratación son mucho más fuertes que las fuerzas interparticulares de Van der Waals, que hacen que floculen existiendo un momento en el que la resistencia de la masa crece más rápidamente que la fracción

volumétrica de sólidos, formando de esta manera el esqueleto sólido del hormigón. El fraguado inicial indica el momento en el cual la masa ya no puede ser vibrada debido a que ha adquirido la resistencia suficiente en la cual puede dañar la estructura interna.

Es bien conocido que la temperatura es uno de los parámetros que más influencia tienen en el desarrollo de resistencias del hormigón: un incremento de la temperatura hará que la mezcla madure más rápidamente que cuando ésta permanece constante. Esto se debe a una aceleración de la reacción de hidratación, que es térmicamente activada. Además, la temperatura puede provocar efectos adversos en el hormigón:

- ✓ Una temperatura del hormigón demasiado elevada al inicio de la
- ✓ hidratación puede conducir a una pérdida permanente de resistencia.
- ✓ Grandes variaciones de temperatura pueden generar la fisuración del hormigón.
- ✓ Las heladas antes de que el hormigón haya alcanzado suficientes resistencias pueden causar pérdidas de resistencia permanentes.

Para prevenir estos daños y asegurar un funcionamiento adecuado del hormigón será necesario un conocimiento previo de los efectos de la temperatura en el fraguado de la masa.

2.15. Concreto endurecido.

A. Curado.

El curado es el proceso por el cual se busca mantener saturado el concreto hasta que los espacios de cemento fresco, originalmente llenos de agua sean reemplazados por los productos de la hidratación del cemento.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo.

B. Resistencia del hormigón.

Desde el punto de vista de la resistencia a la compresión a los 28 días, el hormigón se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 2.8. Clasificación por su resistencia a compresión

Tipo de Concreto	Resistencia Kg/cm²
Concreto normal	140 a 350
Concreto de alta resistencia	350 a 1000
Concreto de ultra alta resistencia	superior a 1000

Fuente: Ordenanza General o Internacional

Tabla 2.9. Clasificación del hormigón por su resistencia a compresión

Grado	Resistencia kg/cm²
H 5	50
H 10	100
H 15	150
H 20	200
H 25	250
H 30	300
H 35	350
H 40	400
H 45	450
H 50	500

Fuente: Ordenanza General de Urbanismo y Construcción INN - NCh 170

2.16. Método ACI 211.1 de dosificación del hormigón.

El método proporcionado por el Comité ACI 211.1, ha sido utilizado para el diseño de mezclas de "concreto de peso normal" (2,240 a 2,400 kg/m³) en general, alcanzando su máxima optimización con el uso de la relación agua/cemento (A/C).

Se puede apreciar que para el diseño de mezclas se recurre tanto a datos reales como a datos empíricos o de experiencias previas, y que con la ayuda de tablas, gráficas y ábacos, se obtiene una guía para alcanzar combinaciones óptimas de materiales.

Frecuentemente, los proporcionamientos existentes que no contienen aditivos y/o otros materiales diferentes al cemento hidráulico, son llevados a cabo para incluirles dichos materiales. El funcionamiento de los reproporcionamientos del hormigón deben verificarse a través de mezclas de prueba en laboratorio o en el campo.

2.17. Efectos de la temperatura en el hormigón.^[21]

A. Hormigonado en tiempo frío.

Está perfectamente demostrado que el hormigón no adquiere la resistencia necesaria cuando su fraguado y primer endurecimiento tienen lugar en tiempo de heladas, debido a la acción expansiva del agua intersticial, que impide la evolución normal de estos procesos.

Por esta causa, lo mejor es suspender el hormigonado cuando se prevean bajas temperaturas siendo lo deseable que la temperatura de la superficie más expuesta del hormigón no baje de 5° C durante las 72 primeras horas después del hormigonado.

Las precauciones que pueden adoptarse, caso de que sea imprescindible continuar el hormigonado, son las siguientes:

- ✓ Calentar el agua de amasado a unos 40° C, o más, excepcionalmente, cuidando de que no se formen grumos en la hormigonera. Para ello conviene verter una parte de los áridos antes que el cemento.
- ✓ Calentar los áridos.
- ✓ Proteger las superficies hormigonadas, mediante sacos, hojas de plástico (polietileno), balas de paja, tejadillos con lana de vidrio, etc.
- ✓ Prolongar el curado durante el mayor tiempo posible.
- ✓ Retrasar el desencofrado de las piezas, incluidos costeros, cuando el encofrado actúe como aislante (caso de la madera).

El peligro de que se hiele el hormigón fresco, es tanto mayor cuanto más agua lleve éste. Por ello se recomienda emplear, en estos casos, hormigones tan secos como sea posible.

B. Hormigonado en tiempo caluroso.

Cuando el hormigonado se efectúe en tiempo caluroso, deben adoptarse medidas para impedir la evaporación del agua de amasado, especialmente durante el transporte del hormigón, y para reducir, en su caso, la temperatura de la masa. No hay que olvidar que el calor, la sequedad y el viento provocan una evaporación rápida del agua, también de la del

²¹ www.ingenieriarural.com

hormigón ya compactado lo que trae consigo pérdidas de resistencia, fisuras por aumento de la retracción en las primeras edades.

Para reducir la temperatura de la masa puede recurrirse al empleo de agua fría, con escamas o trozos de hielo en su masa. A ser posible, los áridos deben almacenarse protegidos del soleamiento.

Una vez colocado el hormigón, se protegerá del sol y del viento mediante algún procedimiento que le conserve su humedad propia o le aporte nueva humedad. A tal efecto pueden emplearse:

- ✓ Hojas de plástico, que pueden colocarse directamente sobre el hormigón, aunque pueden marcarse los pliegues en su superficie.
- ✓ Capas de arena permanentemente húmedas (pueden manchar el hormigón).
- ✓ Bolsas de agua directamente aplicadas sobre el hormigón, o regado continuo de su superficie, no antes de que el hormigón haya endurecido lo suficiente para no arrastrar la pasta de cemento.

Como norma general y a pesar de las protecciones, no debe hormigonarse por encima de los 40° C, o por encima de los 35° C si se trata de elementos de mucha superficie (pavimentos, losas, soleras, etc.). En las proximidades de estas temperaturas conviene regar continuamente, al menos durante 10 días, los encofrados y superficies expuestas de hormigón.

2.18. Análisis estadístico.

Al realizar las mediciones de forma aleatoria en la selección de las muestras, es posible de que exista un valor anómalo o atípico, el cual si no está dentro del rango de grado de confianza predeterminado no es considerado en el análisis de resultados. Al ser una muestra mínima (tres y doce datos), se determinó los valores anómalos mediante el método de “Teoría de las pequeñas muestras o T-estudent”, dichos fundamentos de análisis se los puede encontrar en la bibliografía especializada. ^[22]

²² Metodología de la Investigación y Diseño Estadístico de Experimentos. I.E.M.

Por otra parte, los principios básicos del diseño experimental son:

Repetición o replicación.

Se entiende por repetición o replicación del experimento a la realización repetida del hecho que se estudia, bajo las condiciones que las caracterizan. La repetición del experimento es una necesidad en la estimación del error experimental con la que se puede estudiar cualquier efecto con más aproximación.

Aleatorización.

Algunas técnicas usadas en el diseño estadístico de experimentos exigen independencia de las observaciones, la actitud del investigador debe estar encaminada a lograr esta condición y un procedimiento que conduce al logro de este objetivo es la ***aleatorización***, que es la toma al azar de una muestra de una población o asignación, para cada tratamiento.

Control Local.

Se asocia a toda actividad encaminada a lograr la homogeneización de las unidades experimentales, como consecuencia se tendrá una mejor estimación de resultados. Tratando de reducir lo más posible las fuentes de error sistemático que puede influir en los resultados finales.

2.18.1. Prueba de hipótesis estadística utilizando SPSS.

A. Supuesto de normalidad.

Para verificar el supuesto de normalidad se utiliza la prueba de Shapiro-Wilk debido a que es para muestras pequeñas (< 30 datos), esta prueba permite contrastar las hipótesis que los datos muestrales provienen de una distribución normal y por lo tanto se plantea la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).^[23]

H_0 = Los datos provienen de una distribución normal

H_1 = Los NO datos provienen de una distribución normal

²³ Teoría de las pequeñas muestras. Prueba de normalidad

Si se cumple este supuesto de normalidad (H_0) entonces se puede continuar el análisis con la prueba de T –Student.

B. Prueba de t de Student.

Teoría de pequeñas muestras.

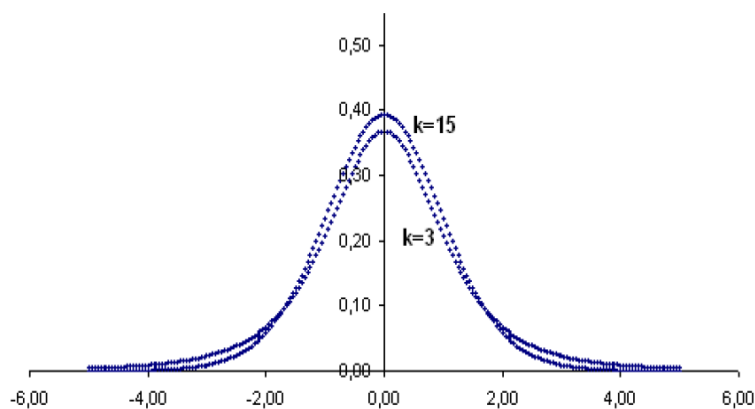
En probabilidad y estadística, la distribución – t o distribución t de Student es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño.^[24]

Distribución de probabilidad t – Student

Una variable aleatoria se distribuye según el modelo de probabilidad t o T de Student con k grados de libertad, donde k es un entero positivo.

La figura 2.11 presenta varias distribuciones t. la apariencia general de la t es similar a la de la distribución normal estándar: Ambas son simétricas y unimodales, y el valor máximo de la ordenada se alcanza en la media $\mu = 0$. Sin embargo, la distribución t tiene colas más amplias que la normal; esto es, la probabilidad de las colas es mayor que en la distribución normal. A medida que el número de grados de libertad tiende a infinito, la forma límite de la distribución t es la distribución normal estándar

Figura 2.11. Distribución de t Student



Fuente: Generalidades sobre la metodología de la investigación, Manuel E. Cortés Cortés

²⁴ Teoría de las pequeñas muestras. Distribución de t Student

3. Desarrollo de la investigación.

3.1. Introducción.

La investigación se desarrolló, tomando como base las normas ASTM para la determinación de las características físico-mecánicas, tanto de los agregados como del hormigón, y la ACI para la dosificación del hormigón patrón.

3.2. Metodología.

Los ensayos realizados en laboratorio fueron:

- Peso unitario de los agregados ASTM C-29.
- Peso específico del agregado grueso ASTM C -127.
- Peso específico del agregado fino ASTM C -128.
- Granulometría de los agregados fino y grueso ASTM C -136.

La dosificación se realizó con el método de la ACI 211.1, adoptándose para ello una relación a/c obtenida en función de la resistencia propuesta de H-25 que es una de las más utilizadas en el campo de la construcción.

Los retardadores de fraguado utilizados fueron: Azúcar blanca y azúcar morena, en los porcentajes siguientes: 0,00 – 0,05 – 0,10 – 0,15 [% en peso del cemento]

Tabla 3.1. Tipos de hormigones a ensayar

Identificador % de Azúcar blanca (B) y morena (M) adicionado	
H0	0.00
H1B	0.05
H1M	0.05
H2B	0.10
H2M	0.10
H3B	0.15
H3M	0.15

Fuente: Elaboración Propia

La consistencia del hormigón se realizó y verificó mediante el método de Cono de Abrams, según la norma ASTM C-143, tomando como rango de asentamiento del hormigón patrón (sin azúcar) 7 ± 1 [cm].

Con la finalidad de obtener la dosificación ideal para cada tipo de hormigón, se realizaron revolturas de probetas siguiendo las especificaciones que establece la norma ACI 211.1, corrigiendo las proporciones mediante el método de rendimiento del hormigón.

Tabla 3.2. Número de probetas por revoltura de prueba

Edad del Hormigón (días)	7	14
Numero de Probetas ensayadas	3	3
TOTAL DE PROBETAS	6	

Fuente: Elaboración Propia

Para la confección y curado de probetas, se siguió el procedimiento de las siguientes normas ASTM C-131, C-192, NB 586.

La evaluación del tiempo de fraguado del hormigón, se realizó según la norma ASTM C-403

El ensayo a compresión de las probetas, fue desarrollado según la norma ASTM C-39, las que fueron ensayadas a diferentes edades, tal como se muestra en la tabla 3.3

Tabla 3.3. Número de probetas ensayadas a compresión por tipo de hormigón.

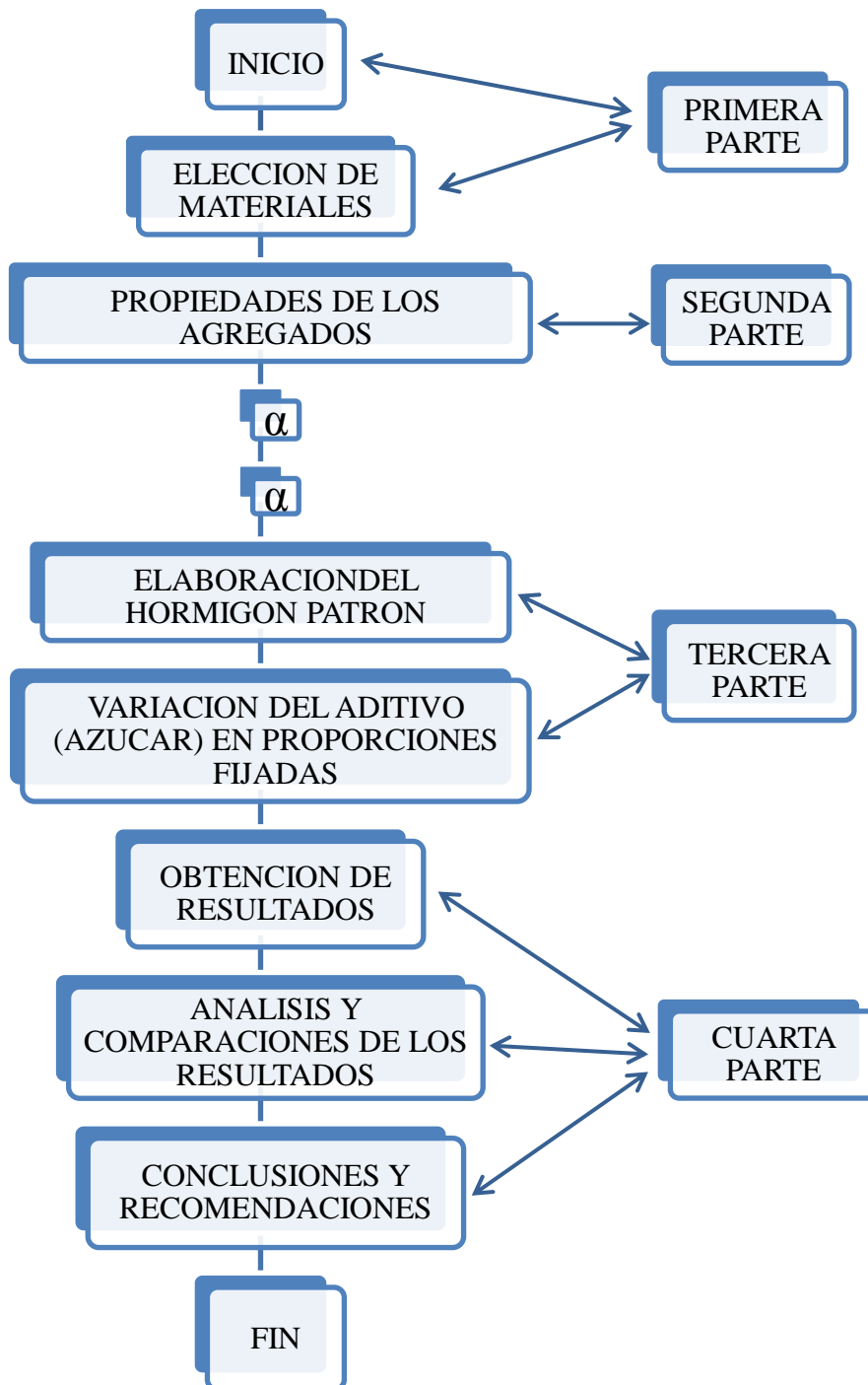
Edad del Hormigón (días)	3	7	28
Número de Probetas ensayadas	3	3	12
Número total de probetas ensayadas	18		

Fuente: Elaboración Propia

NOTA.- Esta cantidad de probetas será aplicada a la dosificación en estudio.

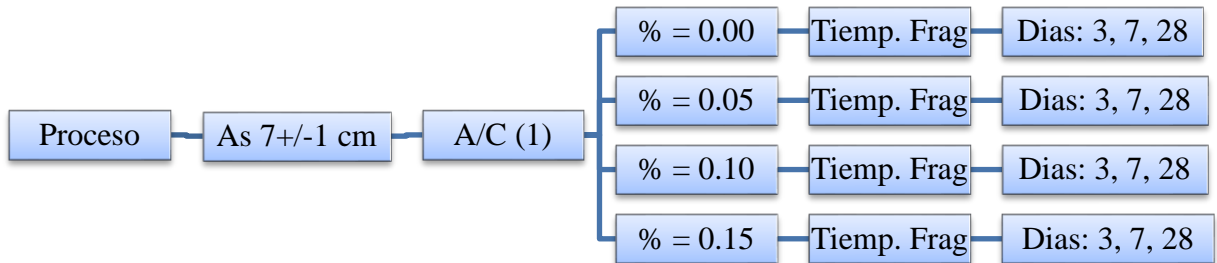
A continuación se presentan flujogramas de la metodología empleada en la investigación.

Diagrama 3.1. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN



Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 3.2. PROCESO EN LABORATORIO



Fuente: Elaboración Propia

Diagrama 3.3. PROCESO DE DESARROLLO POR FÁBRICA



Fuente: Elaboración Propia

3.2.1. Tamaño de la muestra.

Se romperá 3 probetas a los 3 días por cada porcentaje, lo cual se hace 21 probetas, a los 7 días 21 probetas y 12 probetas los 28 días, lo cual hace 84 probetas, lo cual se hace un total de 126 probetas para análisis a compresión y de cada mezcla a cada porcentaje se obtendrá una muestra de hormigón para controlar el tiempo de fraguado, según la norma ASTM C-403.

3.3. Ensayo de laboratorio de la caracterización de los materiales que componen la mezcla de hormigón.

3.3.1. Cemento utilizado.

El cemento utilizado es fabricado por SOBOCE “Sociedad Boliviana de Cemento S.A.” Y su denominación comercial es Cemento el Puente Especial tipo IP 30. Cabe señalar que este cemento, cumple con todas las especificaciones establecidas por la norma NB 011 referente a cementos la cual se encuentra en el anexo 1, por lo cual ha recibido certificación de calidad IBNORCA.

3.3.2. Agregado grueso.

A. Granulometría.

- **Objetivo.-** Este ensayo tiene como principal objetivo el poder determinar el diámetro máximo de partículas y la distribución de tamaños en el agregado grueso, método que abarca un procedimiento de diferenciación de los tamaños, empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

- **Muestra**

La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo. El peso de la muestra para el ensayo deberá estar de acuerdo con el siguiente cuadro:

Tabla 3.4. Especificación de Magnitud de Muestra “Granulometría Grava”

Tamaño máximo de las partículas en pulgadas	Peso mínimo de la muestra en gramos
3/8"	1000
1/2"	2500
3/4"	5000
1"	10000
1 1/2"	15000
2"	20000
2 1/2"	25000
3"	30000
3 1/2"	35000

Fuente: Norma ASTM C-136

▪ Procedimiento

1°.- Una vez pesada la cantidad de muestra requerida para el ensayo, se somete a la misma a la acción de tamizado a través de todo el juego de tamices indicado.

2°.- Si no se cuenta con el vibrador mecánico, el trabajo de tamizado se lo realiza manualmente, agitando el juego de tamices horizontalmente, con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser por lo menos de 15 minutos.

3°.- Terminado el proceso anterior, se quita la tapa y se separan las diferentes mallas, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ellas sobre recipientes limpios; a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de cada malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo de alambre despréndase y agréguese a los recipientes correspondientes.

4°.- Se pesa cuidadosamente las fracciones de muestra depositadas en cada recipiente, las cuales corresponden a los retenidos en las diferentes mallas que componen el juego y se anotan en el registro.

Figura 3.1. Equipo y Procedimiento “Granulometría de la Grava”



Fuente: Elaboración Propia

B. Peso específico y absorción

▪ Objetivo

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

◆ Muestra

La muestra consiste aproximadamente de 5Kg. de material separado por el método de cuarteo y de manera que todo el material quede retenido sobre el tamiz de 3/8”.

◆ Procedimiento

1°.- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra en agua por un período de 24 horas para que ésta se sature.

2°.- Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.

3°.- Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.

4°.- La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.

5°.- Se seca la muestra en un horno a temperatura constante (105° C) y luego se deja enfriar y se pesa.

Figura 3.2. Equipo y Procedimiento “Peso Específico y Absorción



Fuente: Elaboración Propia

C. Peso unitario

◆ Objetivo

Este ensayo tiene como objetivo describir cómo se puede obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso a la temperatura ambiente.

◆ Calibración de los moldes

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7° C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

◆ Muestra

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente, por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno, sino a temperatura ambiente.

◆ Procedimiento

SUELTO:

1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2°.- Se llena el molde con una caída libre del agregado desde una altura de 10cm. a partir del tope del molde hasta que éste sea rebasado y las partículas que quedan en la superficie deben ser enrazadas con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

3°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

COMPACTADO:

1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2°.- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego, por medio de la varilla, se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.

3°.- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrazar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

4°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

Figura 3.3. Equipo y Procedimiento “Peso Unitario de la Grava”



Fuente: Elaboración Propia

D. Agregado grueso a utilizar.

El agregado grueso empleado es una grava de tamaño máximo 19 mm, cuya procedencia es de la seleccionadora de áridos San Blas, por lo que el árido proviene del río Guadalquivir. Las propiedades de la grava se muestran en la Tabla 3.5. La granulometría de la grava se indica en la Tabla 3.6. La cual se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ASTM.

Para determinar las propiedades y granulometría de la grava, tales como peso específico a granel, saturado con superficie seca, aparente, absorción, peso unitario suelto y compactado de la grava, se siguieron los procedimientos establecidos en el apartado 3.3.2. de esta investigación que está basada en la norma ASTM.

Tabla 3.5. Propiedades de la grava

Propiedades	Unidades	Grava
P.E a Granel	gr/cm ³	2.48
P.E. Saturado Superficie Seca	gr/cm ³	2.52
P.E. Aparente	gr/cm ³	2.57
Absorción	%	1.40
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1.46
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1.55

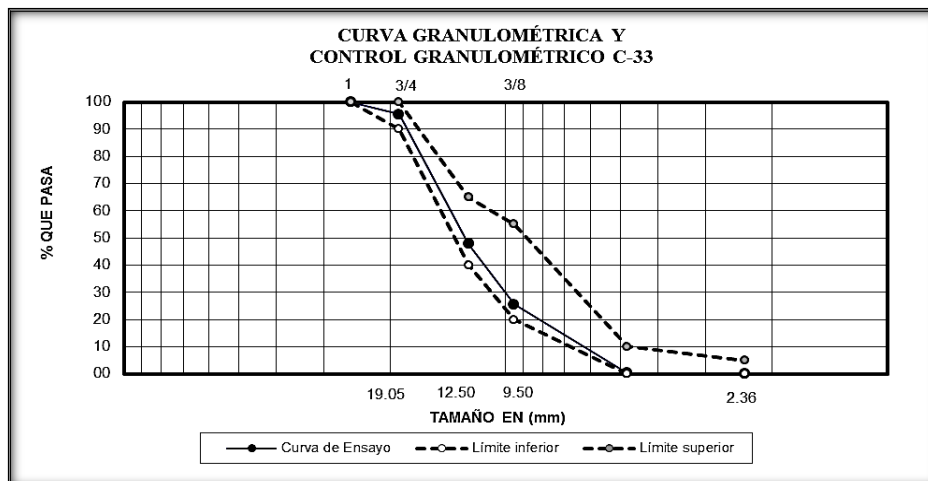
Fuente: Realizado con datos del anexo 3

Tabla 3.6. Granulometría de la grava

Tamices Empleados		Grava
N°	Tamaño (mm)	% Que pasa en peso
1	25.4	100
3/4	19.05	95.484
1/2	12.5	47.766
3/8	9.5	25.572
N°4	4.8	0.304
N°8	2.36	0.006

Fuente: Realizado con datos del anexo 3

Grafico 3.1. Curva granulométrica del agregado grueso



Fuente: Realizado con datos de la tabla 3.6

3.3.3. Agregado fino.

A. Granulometría y módulo de finura.

- **Objetivo**

Este ensayo tiene como principal objetivo el poder determinar la distribución de tamaños de las partículas en el agregado fino, método que abarca un procedimiento de diferenciación de los tamaños, empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicables al empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares. A partir del análisis granulométrico también se determinará el módulo de finura del agregado fino.

- **Muestra**

La muestra debe ser representativa, la cual se obtiene por cuarteo.

El peso de la muestra de agregado fino necesario para el ensayo deberá ser de 500 gr.

- **Procedimiento**

1°.- Una vez pesada la cantidad de muestra requerida para el ensayo, se somete a la misma a la acción de tamizado a través de todo el juego de tamices indicado.

2°.- Si no se cuenta con el vibrador mecánico, el trabajo de tamizado se lo realiza manualmente, agitando el juego de tamices horizontalmente, con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado debe ser por lo menos de 15 minutos.

3°.- Terminado el proceso anterior, se quita la tapa y se separan las diferentes mallas, vaciando la fracción de suelo que haya sido retenida en ellas sobre recipientes limpios; a las partículas que han quedado trancadas entre los hilos de cada malla no hay que forzarlas a pasar a través de ella; inviertase el tamiz y con ayuda de un cepillo de alambre despréndase y agréguese a los recipientes correspondientes.

4°.- Se pesa cuidadosamente las fracciones de muestra depositadas en cada recipiente, las cuales corresponden a los retenidos en las diferentes mallas que componen el juego y se anotan en el registro.

Figura 3.4. Equipo y Procedimiento “Granulometría de la arena”



Fuente: Elaboración Propia

B. Peso específico y absorción.

▪ Objetivo

El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que el porcentaje de absorción del agregado fino después de 24 horas de sumergimiento en agua a temperatura ambiente.

El peso específico a granel en la condición de saturado y superficie seca es el valor que generalmente se aplica en la dosificación de hormigones.

▪ Muestra

Por el método de cuarteo se selecciona aproximadamente 1 Kg. de agregado fino, el cual después de secar al horno hasta peso constante a una temperatura de 100°C a 110°C se colocará en un recipiente lleno de agua y se dejará allí durante 24 horas. Luego la muestra será esparcida sobre una superficie plana, expuesta a una corriente de aire caliente y será

agitada frecuentemente para asegurar un secado uniforme. Se continuará con esta operación hasta que el agregado fino se aproxime a una condición de libre escurrimiento. Luego, el agregado fino se colocará en el molde cónico, se apisonará ligeramente la superficie 25 veces con el apisonador de metal y se levantará el molde verticalmente. Si hay humedad superficial el cono de agregado fino retendrá su forma y se continuará secando con agitación constante haciendo los ensayos a intervalos frecuentes hasta que el cono de agregado fino se desmorone libremente al retirar el molde. Esto indica que el agregado fino ha alcanzado la condición de saturado y superficie seca.

- Procedimiento

1°.- Una muestra de 500 gr. del material preparado de la forma anteriormente descrita, será introducido inmediatamente en el frasco volumétrico y éste será llenado con agua hasta la marca de 500 ml. a una temperatura de 20° C. Luego, el frasco se hará rodar sobre una superficie plana para eliminar las burbujas de aire después de lo cual se colocará en un baño maría de temperatura constante a 20° C. Después de una hora aproximadamente, se llenará con agua hasta la marca de 500 ml. y se determinará el peso total del agua introducida en el frasco con una aproximación de 0.1 gr.

2°.- El agregado fino se sacará del frasco, se secará en el horno hasta peso constante a una temperatura de 100° a 110° C, Se enfriará a la temperatura del ambiente y finalmente se pesará.

Figura 3.5. Equipo y Procedimiento “Peso específico y Absorción”



Fuente: Elaboración Propia

C. Peso unitario

▪ Objetivo

Este ensayo tiene como objetivo describir cómo se puede obtener el peso unitario suelto y compactado del agregado grueso a la temperatura ambiente.

▪ Calibración de los moldes

Los moldes deben ser calibrados con exactitud (se utilizó el molde de 3 litros), determinando el peso del agua a 16,7°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

▪ Muestra

Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente, por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno, sino a temperatura ambiente.

▪ Procedimiento

SUELTO:

1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2°.- Se llena el molde con una caída libre del agregado desde una altura de 10cm. a partir del tope del molde hasta que éste sea rebasado y las partículas que quedan en la superficie deben ser enrazadas con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

3°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

COMPACTADO:

1°.- Primeramente se registra el peso del molde vacío.

2°.- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.

3°.- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrazar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.

4°.- Se pesa el conjunto de molde y agregado.

Figura 3.6. Equipo y Procedimiento “Peso Unitario”



Fuente: Elaboración Propia

D. Arena a utilizar.

La arena empleada es una arena con módulo de fineza 2.65, cuya procedencia es de la seleccionadora de áridos San Blas. Las propiedades de la arena se muestran en la Tabla 3.7. La granulometría de la arena se indica en la Tabla 3.8. Las cuales se encuentran dentro de los límites establecidos en la norma ASTM.

Para determinar las propiedades y granulometría de la arena, tales como peso específico a granel, saturado con superficie seca, aparente, absorción, peso unitario suelto y compactado de la arena, se siguieron los procedimientos establecidos en el apartado 3.3.3 de esta investigación que se encuentran basadas a la norma ASTM.

Tabla 3.7. Propiedades de la arena

Propiedades	Unidades	Arena
P.E a Granel	gr/cm ³	2.53
P.E. Saturado Superficie Seca	gr/cm ³	2.58
P.E. Aparente	gr/cm ³	2.66
Absorción	%	1.89
Peso Unitario Suelto	gr/cm ³	1.648
Peso Unitario Compactado	gr/cm ³	1.763

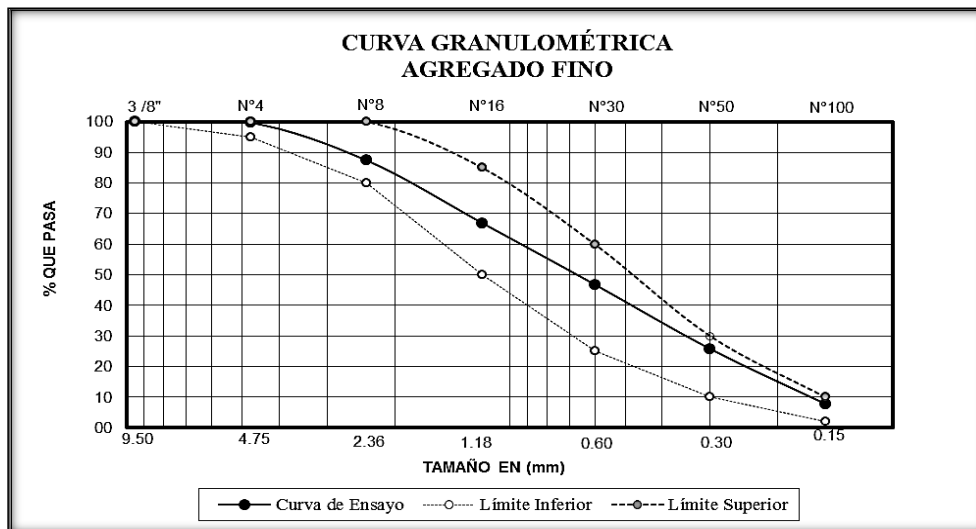
Fuente: Realizado con datos del anexo 3

Tabla 3.8. Granulometría de la grava

Tamices Empleados		Arena
N°	Tamaño (mm)	% Que Pasa En Peso
3/8	9.5	100
N° 4	4.75	99.74
N° 8	2.36	87.38
N° 16	1.18	66.94
N° 30	0.6	46.86
N° 50	0.3	25.8
N° 100	0.15	7.84

Fuente: Realizado con datos del anexo 3

Grafico 3.2. Curva Granulométrica del agregado fino



Fuente: Realizado con datos de la tabla 3.8

E. Agua.

E1. Características del agua

El agua utilizada en el presente trabajo de investigación, tanto en la preparación de las mezclas de hormigón, como en el curado de las probetas de hormigón, procede de la red de agua potable de la ciudad de Tarija. Por lo que los datos que se presentan en el anexo 2 corresponden a la información proporcionada por el departamento técnico de COSAALT. De igual forma, del anexo 2 se presentan los valores físico-químicos admisibles en el agua de mezcla para el hormigón.

Comparando los valores admisibles con los que presenta el agua utilizada, se comprueban las buenas condiciones que ésta presentaba como para ser incluida en la confección de nuestras mezclas.

3.4. Dosificación y confección del hormigón.

3.4.1. Dosificación del hormigón patrón

En primer lugar se procede a dosificar el hormigón H-25 (resistencia a la compresión de 250 kg./cm² a los 28 días y medida en probetas cilíndricas de diámetro 15 cm y 30 cm de altura) se escoge este tipo de hormigón porque es uno de los más utilizados en el campo de la construcción.

Para ello se sigue la metodología indicada por el ACI (American Concrete Institute), tomando como puntos de partida un tamaño máximo del árido de 19 mm y un asentamiento de cono de 7 cm.

Para evaluar la dosificación obtenida, se hace unas probetas de prueba en la cual se mide el asentamiento y se toman muestras para ensayar a compresión a los 7 y 14 días. En base a los resultados de esta prueba se procede a ajustar la dosificación calculada, obteniéndose las cantidades definitivas de materiales a usar para el hormigón. Dicha dosificación se indica en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Datos para la dosificación del hormigón patrón

PROYECTO			
PROPIEDADES DE AGREGADOS			
PROCEDENCIA :	SELECCIONADORA DE ÁRIDOS SAN BLAS		
PESO ESPECÍFICO S.S.S :	FINO 2.58	GRUESO 2.52	
MÓDULO DE FINURA :	FINO 2.65	GRUESO 6.79	
ESPECIFICACIONES			
RESISTENCIA ESPEC. (28 días) kg/cm ² :	250 Kg/cm ²		
TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO:	3/4 pulg.	19.05 mm	
ASENTAMIENTO :	7 cm	70 mm	CONSISTENCIA BLANDA
TIPO DE CEMENTO :	IP - 30 CEMENTO "EL PUENTE"		

Fuente: Realizado con datos del anexo 3

Tabla 3.10. Dosificación y corrección del hormigón patrón

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALORES PARA 1 M3 DE MUESTRA	
		1	2
RELACIÓN A/C		0.50	0.54
% AZÚCAR		0.00	0.00
<u>CORRECCIONES EN VOLUMEN REQUERIDO EN EL AGREGADO FINO</u>			
POR RELACIÓN AGUA- CEMENTO			
POR MÓDULO DE FINESA DEL FINO		-1.35	-1.35
POR MANUFACTURA ANGULAR O FILOSA		-1.30	-1.30
<u>CORRECCIONES</u>			
AGREGADO FINO SOBRE AGREGADO TOTAL REQUERIDO		6.70	6.70
AGREGADO FINO SOBRE AGREGADO TOTAL CORREGIDO		4.05	4.05
AGREGADO GRUESO SOBRE AGREGADO TOTAL		1.25	1.25
<u>CANTIDAD EN VOLUMEN</u>			
AGUA	LTS.	135.31	128.71
CEMENTO (PESO ESPECÍFICO = 3.03 gr/cm ³)	LTS.	205.00	210.00
AIRE	LTS.	390.58	390.58
VOLUMEN AGREGADO FINO	LTS.	249.11	250.71
VOLUMEN AGREGADO GRUESO	LTS.	20.00	20.00
TOTAL	LTS.	1000.00	1000.00
<u>CANTIDAD EN PESO</u>			
AGUA	Kg	205.00	210.00
CEMENTO	Kg	410.00	390.00
AGREGADO FINO	Kg	642.71	647.93
AGREGADO GRUESO	Kg	984.25	984.25
TOTAL	Kg	2241.96	2231.09

Fuente: Realizado con datos del anexo 4

OBSERVACIONES: La dosificación 1 fue anulada porque las resistencia a los 7 y 14 días fueron más altas de lo que se esperaba Se toma entonces la dosificación N°2 para la realización del hormigón patrón, ya que cumple con el asentamiento y la resistencia esperada.

3.5. Elaboración del hormigón patrón y el hormigón con distintos porcentajes de azúcar blanca y morena.

Tabla 3.11. Dosificación en peso seco para 1 m³ de hormigón

<i>Material</i>	H0 Peso [kg]	H1B, H1M Peso [kg]	H2B, H2M Peso [kg]	H3B, H3M Peso [kg]
Cemento	390	390	390	390
Arena	647.93	647.93	647.93	647.93
Grava	984.25	984.25	984.25	984.25
Agua de Amasado	210	210	210	210
Azúcar (% peso de cemento)	0	0.05	0.10	0.15
Relación agua / cemento	0.54	0.54	0.54	0.54

Fuente: Realizado con datos del anexo 4

3.6. Ensayos de laboratorio al hormigón fresco.

Para realizar las revolturas de prueba, tratando de obtener la consistencia requerida y la resistencia de diseño a la edad de veintiocho días. Corregidas y ajustadas las cantidades de la mezcla, se procedió a realizar los hormigones sin la intervención del aditivo retardador en estudio (azúcar blanca y azúcar morena).

En la etapa de las revolturas, se procedió a la toma de datos iniciales del laboratorio (temperatura, humedad ambiente) corrigiendo las cantidades dosificadas, por la medición de humedades en los agregados grueso y fino respectivamente. Luego, se realizó el pesado de las cantidades involucradas en la dosificación, incluyendo el aditivo en estudio.

Un aspecto importante para la inclusión del aditivo, fue que este se disolvió en un tercio del agua de amasado, teniendo el cuidado de que no existan cristales de azúcar sin disolver.

El orden de colocado de cada uno de los componentes en la mezcladora fue el siguiente, se colocó primero el agregado grueso seguido del fino y luego el agua sin aditivo en su totalidad, procediendo a rotar el equipo con estos materiales unos cuantos segundos, luego se añadió el cemento en su totalidad y se procedió a rotar el equipo durante dos

minutos antes el primer minuto se añadió el aditivo en estudio, acabado los dos minutos se hizo reposar la mezcla durante un minuto, acabado este tiempo de reposo se volvió a rotar el equipo durante un minuto haciendo el tiempo de mezclado total de tres minutos y se observa que acabado el tiempo de mezclado se obtuvo una mezcla uniforme.

3.6.1. Asentamiento del hormigón recién mezclado (ASTM C-143)

Se colocó un molde metálico troncocónico de dimensiones normalizadas sobre la plancha de apoyo horizontal, ambos limpios y humedecidos sólo con agua y seguidamente se situó sobre las pisaderas que trae consigo dicho molde para evitar el movimiento del mismo durante el llenado.

Se llenó el molde en tres capas de tal manera que la capa inferior se llenó hasta aproximadamente $1/3$ de la altura total y la capa intermedia hasta aproximadamente $2/3$ de la altura del elemento, cada una apisonada con veinticinco (25) golpes de varilla distribuidas uniformemente. Al apisonar la capa inferior se dieron los primeros golpes con la varilla ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se dieron los golpes de tal modo que la varilla penetrara en la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se mantuvo permanentemente un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde (Figura 3.7).

Inmediatamente después de terminado el llenado, se enrasó la superficie de la capa superior y se limpió el hormigón derramado en la zona adyacente al molde, éste se retiró sujetándolo por las asas dejando las pisaderas libres y se levantó en dirección vertical sin perturbar la masa de mortero en un tiempo de 5 a 12 segundos.

Una vez levantado el molde, se midió inmediatamente la disminución de altura de la masa de hormigón moldeado con respecto a la del molde (asentamiento). La medición se hizo en el eje central del molde en su posición original. De esta manera, la medida del asentamiento permitió determinar principalmente la fluidez para apreciar la consistencia del hormigón.

Los resultados de las pruebas de asentamiento en el hormigón fresco se presentan en el Anexo 6

Figura 3.7. Ensayo de asentamiento en mezcla de hormigón



Fuente: Elaboración Propia

3.6.2. Tiempo de fraguado del hormigón recién mezclado (ASTM C-403)

Para este ensayo, el fraguado se hizo simultáneamente en las siete muestras (las siete hipótesis de porcentajes) tomando porciones de cada una, después de mezclada pasándola por el tamiz # 4 y posteriormente llenando en el molde con las dimensiones mínimas para el ensayo la cual es conservada en el cuarto de curado, en un ambiente húmedo (25°C), para este ensayo dejando 5 cm de espacio hacia abajo. Luego comienza la mezcla su proceso de exudación donde estando plano completamente cada 10 min se levanta a 12° para así retirar el agua que éste va exudando, luego de 3 a 4 horas (tiempo que se prolonga con el retardador en estudio) comienza su proceso de fraguado donde se va penetrando con agujas de diferentes diámetros sometidas a cargas para así medir su grado de endurecimiento a través de la profundidad que vaya alcanzando la aguja (figura 3.8).

El equipo normalizado para el ensayo de tiempo de fraguado, según la norma ASTM C-403, donde se puede apreciar la variación de los diámetros de las agujas de penetración en forma descendente: 1, 1/2, 1/4, 1/10, 1/20, 1/40 [pulg²].

Los resultados de las pruebas del tiempo de fraguado del hormigón fresco se presentan en el Anexo 5.

Figura 3.8. Secuencia del ensayo del tiempo de fraguado del hormigón



Fuente: Elaboración Propia

3.7. Elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de hormigón. (ASTM C-192)

La elaboración de probetas cilíndricas después de realizadas las mezclas, se usaron modelos cilíndricos de acero (de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura), los cuales previamente se limpiaron y se lubricaron con aceite mineral para luego proceder al llenado de los moldes en una secuencia de tres capas de un tercio de la altura del cilindro. Cada capa se consolidó apisonándola con 25 golpes dados con una barra compactadora de dimensiones normalizadas, los cuales fueron distribuidos uniformemente en toda la masa con una penetración que apenas llegó a la capa que se encontraba inmediatamente debajo y un compuesto de goma para eliminar las burbujas de aire,. Después de haber apisonado la capa superior, finalmente se enrasó el hormigón sobrante con una regla metálica. (Figura 3.9). Transcurridas 24 horas desde la elaboración de las probetas cilíndricas se desencofraron y se identificaron previamente para luego introducirlas en la piscina de curado, evitando así la pérdida de agua por evaporación. El agua de la piscina se mantuvo

con una condición de temperatura de $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$. (En el caso de las probetas con retardador de fraguado se desencofraron una vez que termino el tiempo de fraguado final y esperando un cierto periodo para que gane un poco de resistencia).

Figura 3.9. Secuencia de elaboración de especímenes de hormigón.



Fuente: Elaboración Propia

3.8. Ensayos de laboratorio al hormigón endurecido.

Los especímenes premoldeados descritos en la sección anterior (ASTM C-192) se pueden utilizar en las pruebas del hormigón endurecido que se mencionan a continuación:

3.8.1. Esfuerzo de compresión en especímenes cilíndricos del hormigón (ASTM C-39)

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de hormigón a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2) a una edad de 28 días y se le designa con el símbolo f'_{ck} .

El día de ensayo a compresión las probetas son secadas superficialmente y pesadas, para luego proceder a la aplicación de la carga hasta la falla, como se aprecia en la Fig. 3.10

Los resultados de las pruebas de resistencia a la compresión del hormigón endurecido se presentan en el Anexo 6.

Figura 3.10. Ensayo a compresión de especímenes de hormigón



Fuente: Elaboración Propia

4. Resultados y análisis.

4.1. Introducción.

Realizados los ensayos y obtenidos los resultados, se procedió a efectuar un análisis estadístico de los mismos, para la depuración de datos a manera de obtener resultados con un grado de confianza del 95%. Considerando para este análisis la resistencia a compresión del hormigón.

4.2. Resultados Estadísticos.

Se muestra a continuación las tablas de análisis estadístico, del cemento estudiado de la **fábrica Soboce**, evaluando los resultados de laboratorio para los ensayos de la resistencia a compresión realizados en este proyecto, que están detallados en el Anexo 7 en toda su extensión.

4.2.1. Análisis Estadístico para la Resistencia a Compresión a los Veintiocho días.

Para la prueba de normalidad la significación estadística “Pvalor”, utilizada es la de *Shapiro-Wilk* de acuerdo en lo establecido en el capítulo dos apartado 2.18.1

Hipótesis para la Prueba de T Student:

Para el hormigón patrón \longleftrightarrow $H_0: \mu = 250$; $H_1: \mu \neq 250$

Para el hormigón con azúcar (blanca y morena) \longleftrightarrow $H_0: \mu = 263.01$; $H_1: \mu \neq 263.01$

a) Prueba de Normalidad y de T de Student

Criterio para determinar normalidad:

P valor $\geq \alpha$ Aceptar H_0 = Los datos provienen de una distribución **normal**

P valor $< \alpha$ Aceptar H_1 = Los datos **NO** provienen de una distribución **normal**

Criterio para determinar T de Student:

Si la probabilidad obtenida **P valor** $\leq \alpha$ se rechaza H_0 (se acepta H_1)

Si la probabilidad obtenida **P valor** > α no se rechaza H_0 (se acepta H_0)

Tabla 4.1. Prueba de Normalidad y de T de Student

Prueba de Normalidad y de T de Student						
Código	Normalidad			T de Student		
HO	P valor = 0.209	>	α = 0.05	P valor = 0.031	<	α = 0.05
H3B	P valor = 0.666	>	α = 0.05	P valor = 0.000	<	α = 0.05
H3M	P valor = 0.966	>	α = 0.05	P valor = 0.000	<	α = 0.05
H2B	P valor = 0.997	>	α = 0.05	P valor = 0.003	<	α = 0.05
H2M	P valor = 0.184	>	α = 0.05	P valor = 0.000	<	α = 0.05
H1B	P valor = 0.440	>	α = 0.05	P valor = 0.334	>	α = 0.05
H1M	P valor = 0.208	>	α = 0.05	P valor = 0.038	<	α = 0.05

Fuente: Realizado con datos del Anexo 7

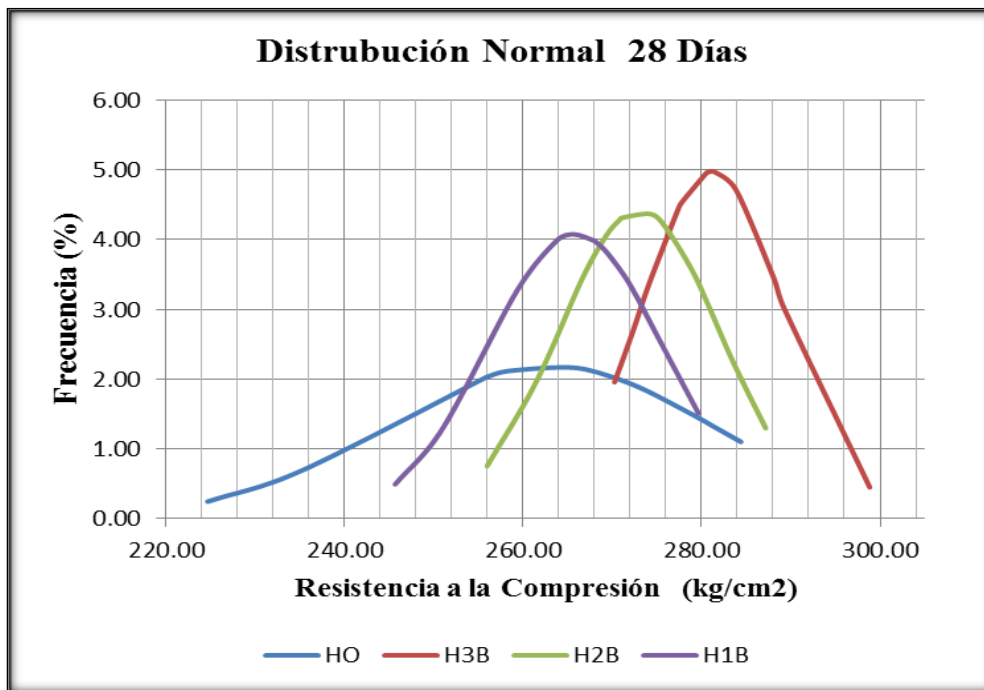
Del análisis se obtuvo las siguientes conclusiones:

De acuerdo a la tabla 4.1, la prueba de normalidad de todos los datos de las resistencias a compresión a los veintiocho días, provienen de una distribución normal.

De acuerdo a la tabla 4.1, en la prueba de T de Student para las dosis (HO, H3B, H3M, H2B, H2M y H1M) la significación estadística “Pvalor” tiende a cero, es decir que la probabilidad que la hipótesis nula sea verdadero tiende a cero y al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), y por lo tanto podemos afirmar que la resistencia a compresión del hormigón con azúcar (blanca y morena), es mayor que el hormigón patrón. Para la dosis de (H1B), en este caso se puede observar que la significación estadística “Pvalor” es mayor que 0.05, en este caso 0.334, la probabilidad que la hipótesis nula (H_0) sea cierta es de un 33.4% y por lo tanto se mantiene la hipótesis nula, es decir no se ha encontrado evidencia para indicar que la resistencia del hormigón con azúcar (H1B) es distinta que la del hormigón patrón.

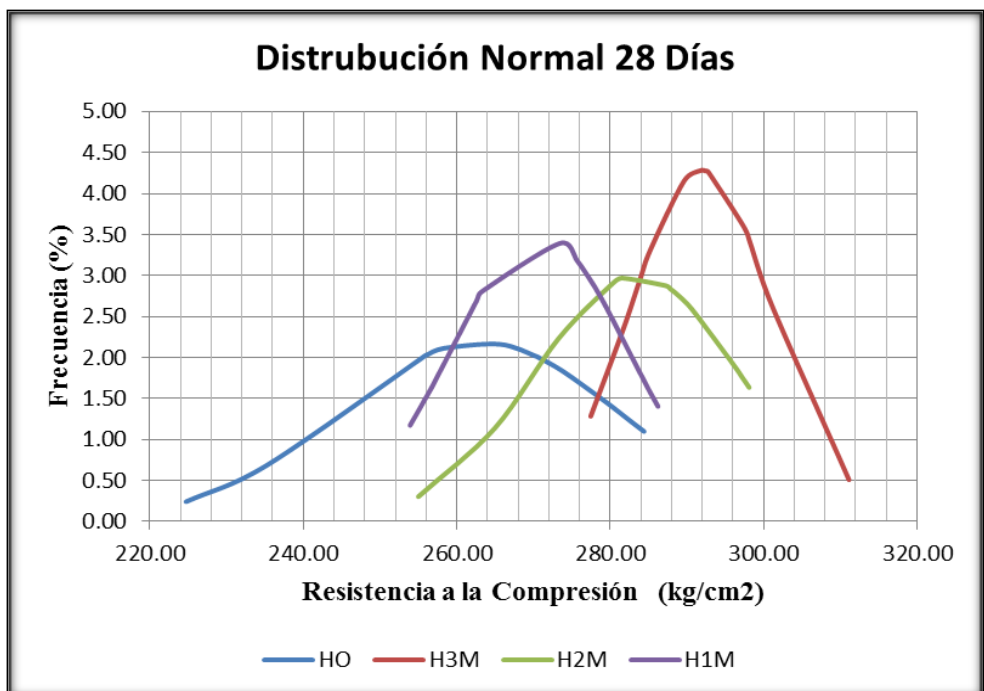
b) **Análisis Estadístico de las probetas a los Veintiocho días.**

Gráfico 4.1. Distribución normal del hormigón con azúcar blanca



Fuente: Realizado con datos del Anexo 6

Gráfico 4.2. Distribución normal del hormigón con azúcar morena



Fuente: Realizado con datos del Anexo 6

Después de realizado las probetas para hormigones de veintiocho días de edad con diferentes porcentajes de adición de azúcar blanca y morena, y curados con agua fresca, los resultados de distribución normal obtenidos, señalan que los cilindros realizados con adición de azúcar de 0.15% (H3B y H3M) son los más representativos, pues los valores de resistencia a la compresión son más altos y los rangos en los que se encuentran es más alto. Estos resultados se aprecian más claramente en los gráficos 4.1 y 4.2

Observando los gráficos 4.1 y 4.2 se puede concluir que el tipo de azúcar no afecta de forma significativa a la resistencia (28 días) en los hormigones, las concentraciones de azúcar afectan de forma significativa, a la resistencia de los hormigones, la interrelación entre el tipo de azúcar, la dosis aplicada, afecta de forma significativa a la resistencia del hormigón.

4.3. Resultados de los ensayos.

4.3.1. Determinación del asentamiento por el método del cono de Abrams, ASTM C-143.

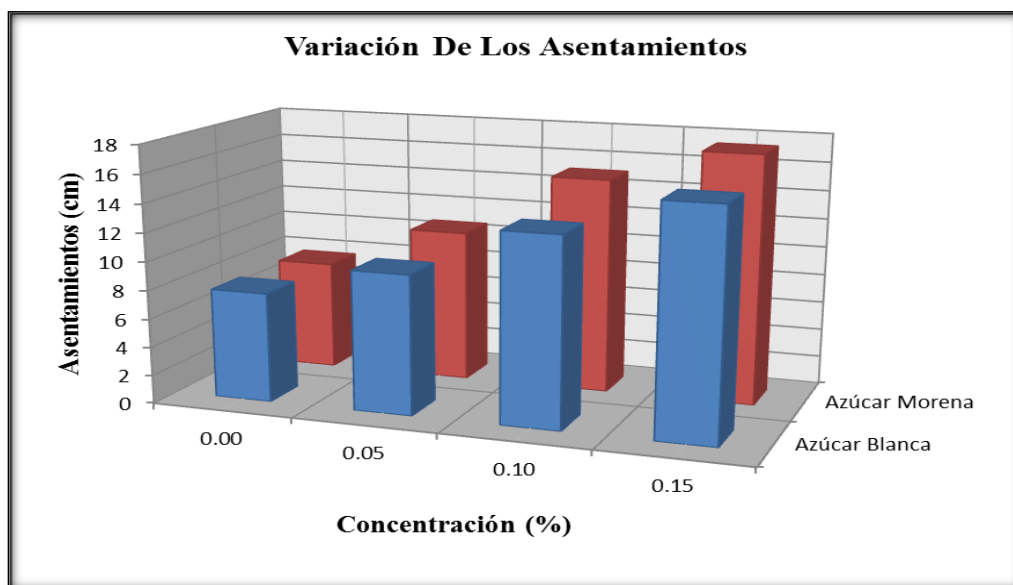
De acuerdo a la metodología expresada en el capítulo tres, el asentamiento de partida en investigación fue de 7 ± 1 (cm). A continuación se presentan los promedios de los resultados obtenidos en laboratorio, tanto de los hormigones patrón, como los que tienen adición de azúcar.

Tabla 4.2. Promedios de Asentamientos [cm]

DOSIS	AZÚCAR	
	BLANCA	MORENA
0.00%	7.70	7.70
0.05%	9.80	10.70
0.10%	13.20	15.10
0.15%	15.80	17.40

Fuente: Realizado con datos del Anexo 6

Gráfico 4.3. Promedios de asentamientos, azúcar blanca y azúcar morena



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.2

4.3.2. Determinación del tiempo de fraguado, ASTM C-403

Para este acápite, se procedió como se indica en la norma ASTM C-403, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 4.3. Tiempo de Fraguado del hormigón con azúcar blanca (Hrs)

<i>DOSIS</i>	<i>AZÚCAR BLANCA</i>		
	<i>T. INICIAL</i>	<i>T. FINAL</i>	<i>INTERVALO</i>
<i>0.00%</i>	06:13	08:39	02:26
<i>0.05%</i>	11:57	16:18	04:21
<i>0.10%</i>	20:00	25:28	05:28
<i>0.15%</i>	31:29	37:24	05:55

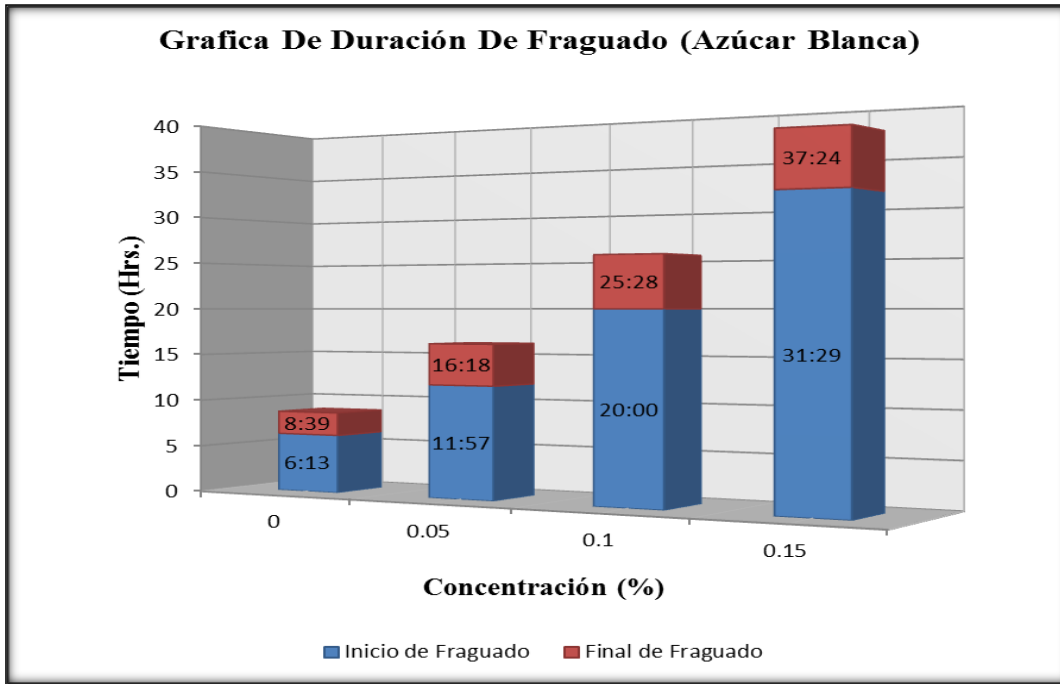
Fuente: Realizado con datos del Anexo 5

Tabla 4.4. Tiempo de Fraguado del hormigón con azúcar morena (Hrs)

<i>DOSIS</i>	<i>AZÚCAR MORENA</i>		
	<i>T. INICIAL</i>	<i>T. FINAL</i>	<i>INTERVALO</i>
<i>0.00%</i>	06:13	08:39	02:26
<i>0.05%</i>	13:40	18:22	04:42
<i>0.10%</i>	23:57	29:45	05:48
<i>0.15%</i>	40:27	47:17	06:50

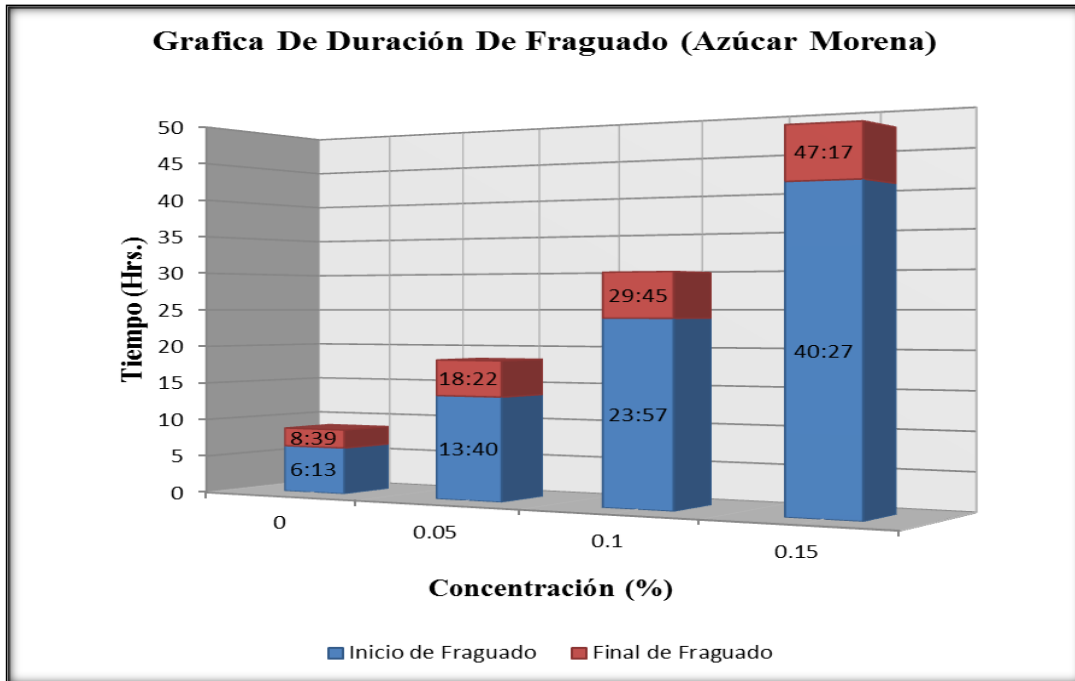
Fuente: Realizado con datos del Anexo 5

Gráfico 4.4. Tiempo de Fraguado del hormigón con azúcar blanca (Hrs)



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.3

Gráfico 4.5. Tiempo de Fraguado del hormigón con azúcar morena (Hrs)



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.4

4.3.3. Ensayo de compresión en probetas de hormigón, ASTM C-39

En este punto se muestran las resistencias características obtenidas en laboratorio, como se expuso en la parte de la metodología; se realizó el ensayo a compresión a las edades de 3, 7 y 28 días.

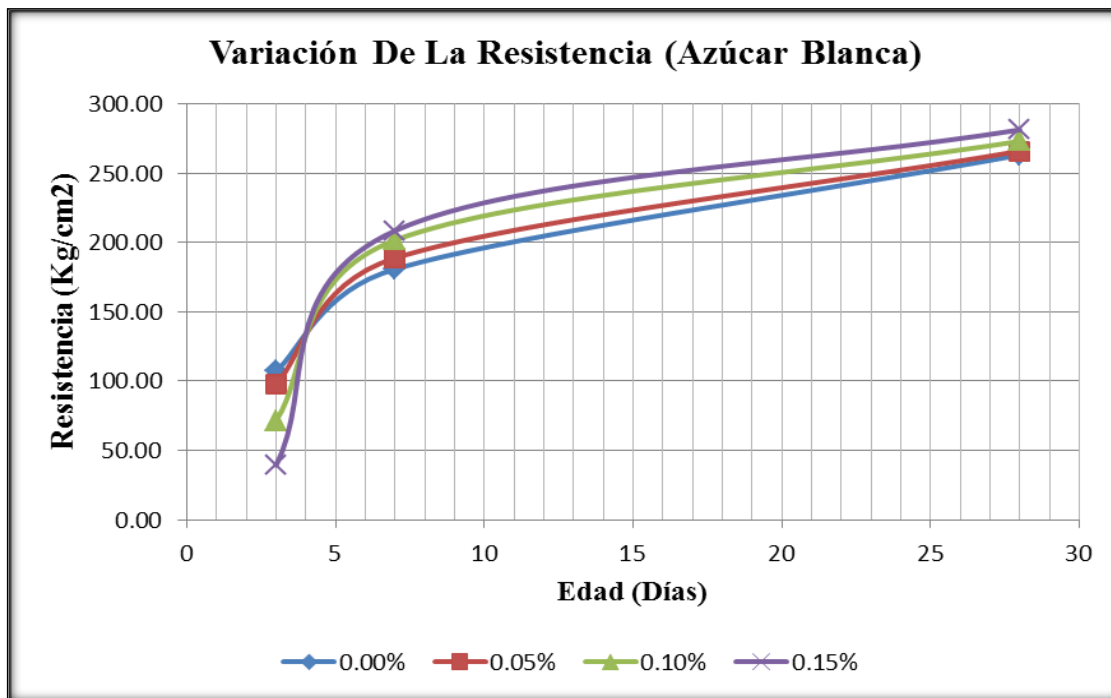
Se presentan el resumen de los datos a continuación:

Tabla 4.5. Promedios de resistencia a compresión [kg/cm²] (Azúcar Blanca)

<i>DÍAS</i>	<i>PATRÓN</i>	<i>AZÚCAR BLANCA</i>		
	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
<i>3</i>	107.10	97.67	71.38	39.31
<i>7</i>	180.74	188.68	201.62	208.40
<i>28</i>	263.01	265.86	273.03	281.23

Fuente: Realizado con datos del Anexo 6

Gráfico 4.6. Promedios de resistencia a compresión [kg/cm²] (Azúcar Blanca)



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.5

$$0.00\% \rightarrow R = 37.426 + 68.778 * \ln(x)$$

$$0.05\% \rightarrow R = 28.103 + 73.378 * \ln(x)$$

$$0.10\% \rightarrow R = -1.8148 + 86.482 * \ln(x)$$

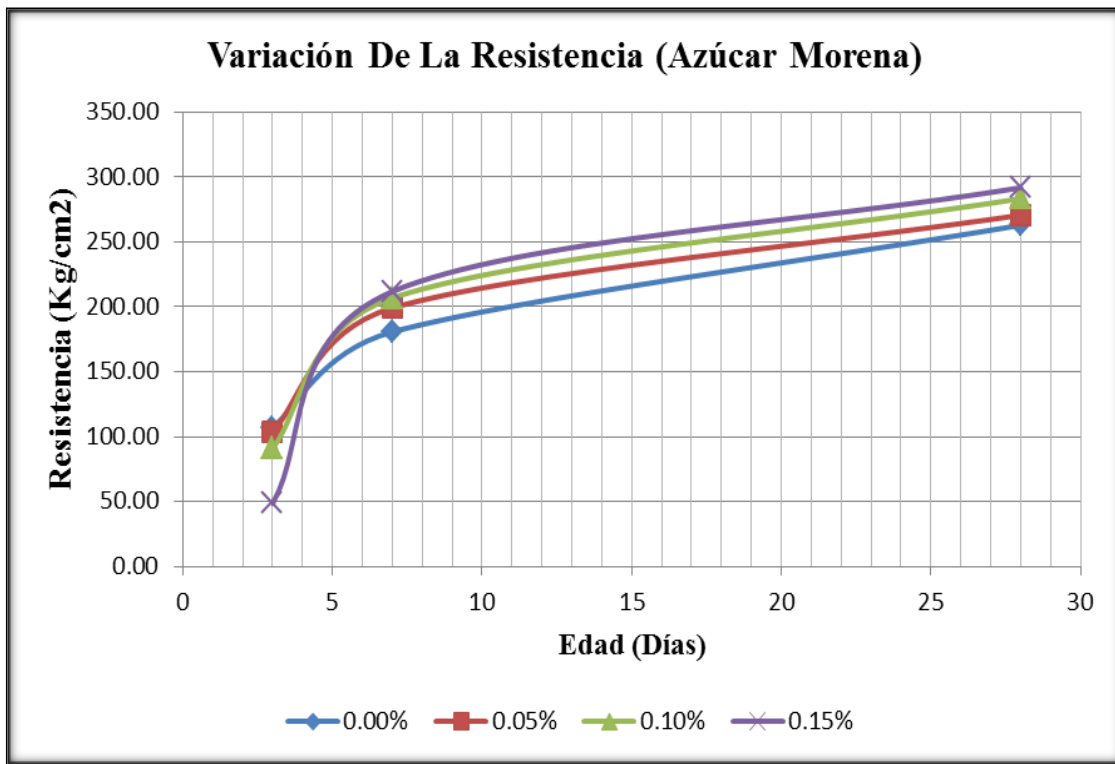
$$0.15\% \rightarrow R = -42.297 + 102.85 * \ln(x)$$

Tabla 4.6. Promedios de resistencia a compresión [kg/cm²] (Azúcar Morena)

<i>DÍAS</i>	<i>PATRÓN</i>	<i>AZÚCAR MORENA</i>		
	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
3	107.10	103.78	91.16	48.59
7	180.74	199.23	206.96	211.89
28	263.01	270.80	283.47	291.91

Fuente: Realizado con datos del Anexo 6

Gráfico 4.7. Promedios de resistencia a compresión [kg/cm²] (Azúcar morena)



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.6

$$0.00\% \rightarrow R = 37.426 + 68.778 * \ln(x)$$

$$0.05\% \rightarrow R = 37.151 + 72.507 * \ln(x)$$

$$0.10\% \rightarrow R = 17.298 + 83.068 * \ln(x)$$

$$0.15\% \rightarrow R = -36.76 + 103.92 * \ln(x)$$

4.4. Análisis y graficas comparativas.

En base a los resultados obtenidos en el acápite anterior se construirá los cuadros y gráficos más representativos de la investigación con su respectivo análisis.

4.4.1. Asentamientos: Norma – Consistencia de hormigón método cono de Abrams ASTM C-143

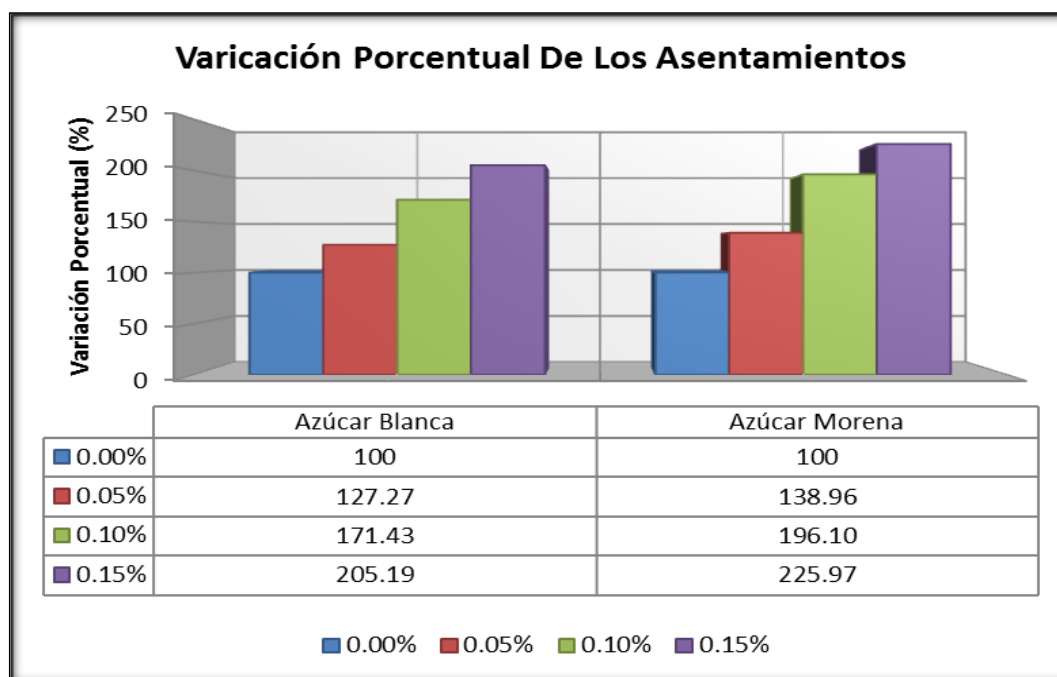
En este punto se observa la variación porcentual de los asentamientos, en función de las concentraciones de azúcar adicionadas al tipo de cemento aplicado.

Tabla 4.7. Variación porcentual de asentamientos

<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
	<i>CÓDIGO</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	100	127.27	171.43	205.19
<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	100	138.96	196.10	225.97

Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.2

Gráfico 4.8. Variación porcentual de asentamientos



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.7

La tabla 4.7 muestra que en un hormigón tipo H-25, el crecimiento de la consistencia es directamente proporcional al crecimiento de la concentración de azúcar, evidenciándose estos en ambos tipos de azúcar.

La parte superior de la tabla muestra que las dosis altas de azúcar refinada (0.10% y 0.15%), ocasionan fuertes incrementos en la consistencia del hormigón, pasando de un estado plástico a un estado fluido.

Para la dosis de 0.05% los incrementos llegan a un 27.27% (H1B); para una concentración de 0.10% se obtiene valores de hasta 71.43% (H2B), en tanto que la concentración más alta (0.15%) eleva estos incrementos hasta un 105.19% (H3B)

Similar comportamiento se produce en la parte inferior de la tabla, apreciándose incrementos fuertes con las dosis más altas de azúcar morena (0.10% y 0.15%)

Para las dosis de 0.05% los incrementos llegan a un 38.96% (H1M); para una concentración de 0.10% se obtiene valores de hasta 96.10% (H2M); en tanto que la concentración más alta (0.15%) eleva estos incrementos hasta un 125.97% (H3M).

4.4.2. Tiempo de Fraguado – Norma tiempo de fraguado de mezclas de hormigón por resistencia a la penetración – ASTM C- 403

De los resultados obtenido en laboratorio, podemos observar crecimientos en el inicio y fin de fraguado, los cuales se muestran en las siguientes tablas y gráficas, que fueron elaborados bajo las normas y procedimientos ya mencionadas anteriormente.

Tabla 4.8. Incremento en el **Inicio de Tiempo de Fraguado** con adición de ambas azúcares en el hormigón

<i>INICIO DE FRAGUADO</i>					
<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
	<i>CÓDIGO</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	06:13	+ 05:44	+ 13:47	+ 25:16
<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	06:13	+ 07:27	+ 17:44	+ 34:14

Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.3, 4.4

Tabla 4.9. Incremento en el **Fin de Tiempo de Fraguado** con adición de ambas azúcares en el hormigón

<i>FIN DE FRAGUADO</i>					
<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
	<i>CÓDIGO</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	08:39	+ 07:39	+ 16:49	+ 28:45
<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	08:39	+ 07:43	+ 21:06	+ 38:38

Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.3, 4.4

Se puede apreciar en la tabla 4.8, como la adición de azúcar refinada retrasa el inicio de fraguado, dando un valores de 5:44 horas, para la concentración de 0.05%, por parte de la concentración de 0.10% ocasiona un incremento de 13:47 horas, finalmente se produce un retraso de 25:16 horas para la concentración 0.15%. Por su parte, el azúcar morena ocasiona retrasos del inicio de fraguado, de 7:27 horas en la concentración de 0.05%; de 17:44 horas para 0.10% y de 34:14 horas en la dosis de 0.15%.

De igual manera, la variación del fin de fraguado es similar, al comentario anteriormente expuesto (ver tabla 4.9).

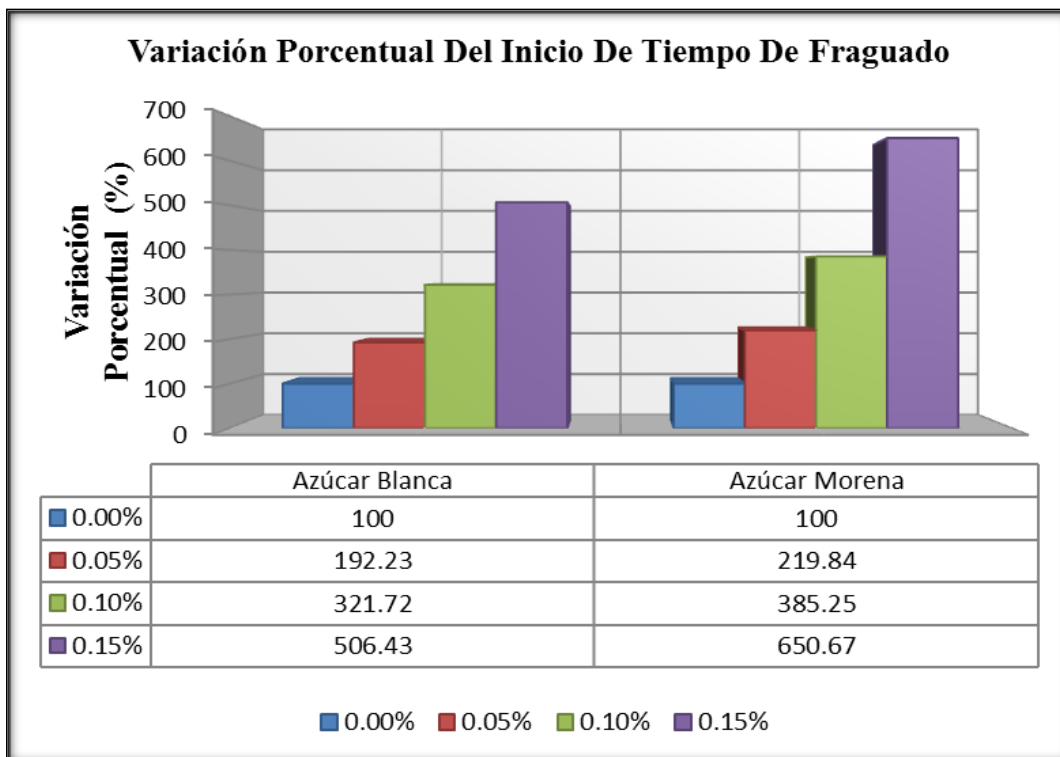
A continuación se presenta la variación porcentual de los inicios y finales de fraguado del hormigón, afectados con las concentraciones de azúcar propuestas.

Tabla 4.10. Variación porcentual del **Inicio del Tiempo de Fraguado** con adición de ambas azúcares en el hormigón

<i>INICIO DE FRAGUADO</i>					
<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
	<i>CÓDIGO</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	100	192.23	321.72	506.43
<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	100	219.84	385.25	650.67

Fuente: Realizado en base a las Tablas 4.3, 4.4

Gráfico 4.9. Variación porcentual del **Inicio del Tiempo de Fraguado** con adición de ambas azúcares en el hormigón



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.10

La tabla 4.10 muestra, el incremento del inicio de fraguado en el hormigón tipo H-25 en función a la concentración de azúcar propuesto; comprobándose esto en ambos tipos de azúcar (blanca y morena).

Para la dosis de 0.05% los incrementos llegan a un 92.23% (H1B); para una concentración de 0.10% se obtiene valores de hasta 221.72% (H2B), en tanto que la concentración más alta (0.15%) eleva estos incrementos hasta un 406.43% (H3B); que son ocasionados las concentraciones del azúcar blanca.

Por su parte: Similar fenómeno se produce en la parte inferior de la tabla, apreciándose incrementos de 119.84%(H1M) para la dosis de 0.05%, en tanto que un incremento del 285.25% (H2M) para la concentración de 0.10%, y del 550.67% (H3M) en la dosis de 0.15%.

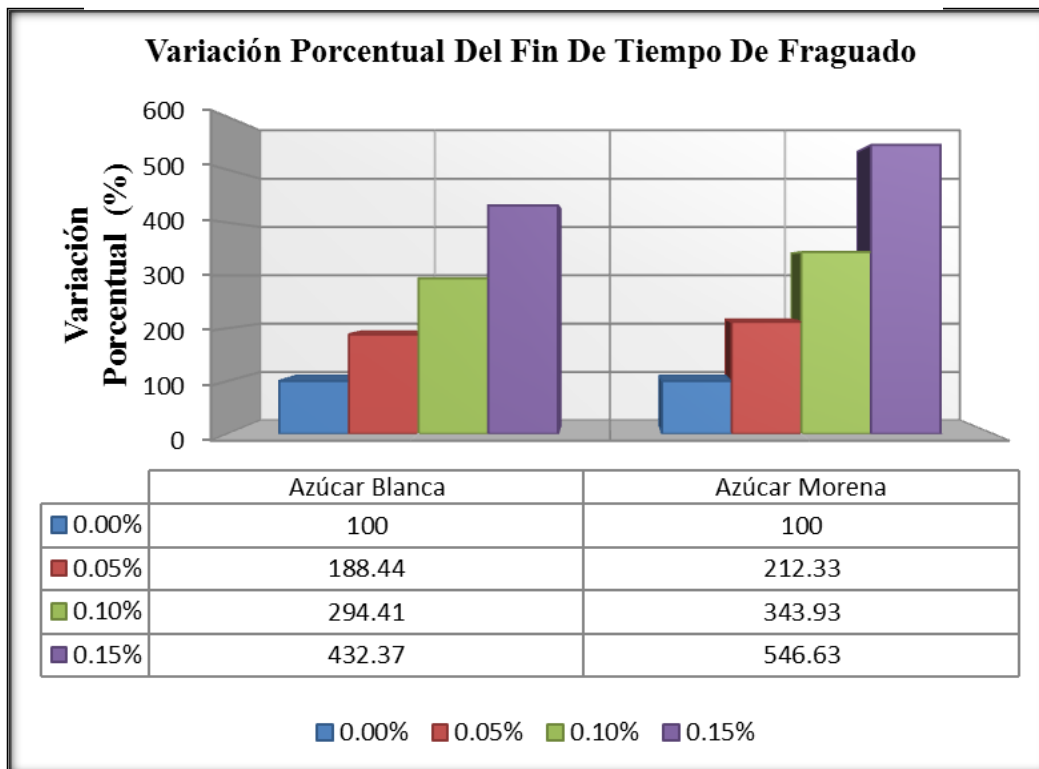
La gráfica 4.9, revela de forma más clara las variaciones expresadas en el comentario anterior.

Tabla 4.11. Variación porcentual del **Fin del Tiempo de Fraguado** con adición de ambos tipos de azúcar en el hormigón

<i>FIN DE FRAGUADO</i>					
<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
	<i>CÓDIGO</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	100	188.44	294.41	432.37
<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	100	212.33	343.93	546.63

Fuente: Realizado en base a las Tablas 4.3, 4.4

Gráfico 4.10. Variación porcentual del **Fin del Tiempo de Fraguado** con adición de ambos tipos de azúcar en el hormigón



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.11

La tabla 4.11 presenta, variaciones más acentuadas en cuanto a los incrementos del fin de fraguado con las concentraciones propuestas, llegando a triplicar su valor inicial (azúcar blanca) y hasta superará ampliamente su valor inicial (azúcar morena) en la concentración más alta destacándose el (H3M).

En el gráfico 4.10, se nota que las primeras concentraciones (0.05%) su variación es relativamente cercana, mientras que en adiciones altas (0.10% y 0.15%) la variación es más alejada, en comparación a un hormigón patrón.

4.4.3. Resistencia a compresión.

A continuación se presenta la variación porcentual de la resistencia a compresión de los resultados obtenidos, con las concentraciones de azúcar propuestas, a las diferentes edades de ensayo.

Tabla 4.12. Variación porcentual de la **Resistencia a Compresión** a diferentes edades. Hormigón, azúcar blanca y morena

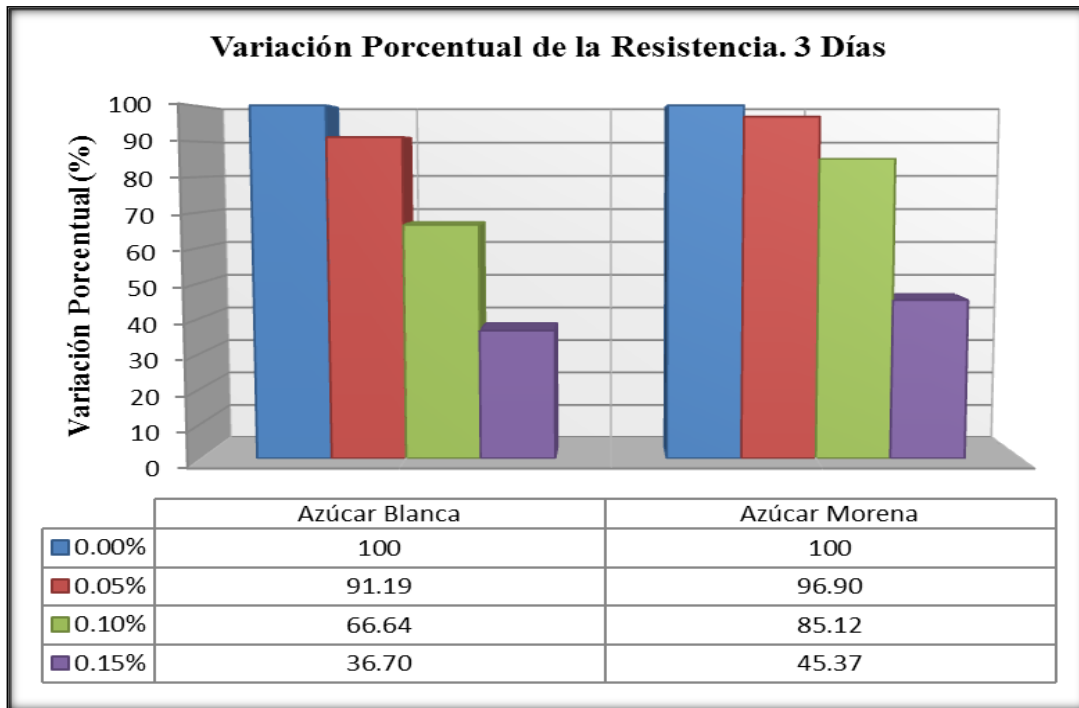
<i>EDAD</i>	<i>TIPO DE AZÚCAR</i>	<i>DOSIS</i>	<i>RESIS</i>	<i>0.00%</i>	<i>0.05%</i>	<i>0.10%</i>	<i>0.15%</i>
		<i>CÓDIGO</i>	<i>kg/cm²</i>	<i>H0</i>	<i>H1</i>	<i>H2</i>	<i>H3</i>
3	<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	107.10	100	91.19	66.64	36.70
	<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	107.10	100	96.90	85.12	45.37
7	<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	180.74	100	104.39	111.55	115.30
	<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	180.74	100	110.23	114.51	117.23
28	<i>BLANCA</i>	<i>(B)</i>	263.01	100	101.08	103.81	106.93
	<i>MORENA</i>	<i>(M)</i>	263.01	100	102.96	107.78	110.99

Fuente: Realizado en base a las Tablas 4.5, 4.6

La tabla 4.12 presenta la variación porcentual de la resistencia a compresión para el hormigón tipo H-25, evaluando a diferentes edades. Mostrando a edades tempranas decrementos en las resistencias; a la edad de siete días incrementos de resistencia, E

incrementos confirmados a la edad de veintiocho días; en los hormigones con adición de azúcar en comparación a un hormigón patrón.

Gráfico 4.11. Variación porcentual de la **Resistencia**. Tres días



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.12

En el gráfico 4.11 muestra la variación a la edad de tres días, observándose que la adición de azúcar blanca produce un decremento no muy considerable con la concentración de 0.05%, mientras que con las concentraciones de 0.10% y 0.15% se produce decrementos considerables de forma inversamente proporcional a la dosis aplicada llegando hasta un 36.70% en (H3B).

El azúcar morena produce un comportamiento similar al anterior análisis, llegando hasta un 45.37% un (H3M).

En el gráfico 4.11, se puede observar el comportamiento de los cilindros después de cumplidos tres días de edad. Los cilindros sin adición de azúcar fueron los que más esfuerzo soportaron, comparados con la concentración del 0.15% de adicción de azúcar cuyo valor sufrió un decremento que alcanzado a 39.31 kg/cm^2 (H3B) y 48.59 kg/cm^2 (H3M). Comprobado así, que para tres días de realizada la mezcla de hormigón, el porcentaje óptimo de adición de azúcar (blanca y morena) es del 0.05%, ya que la

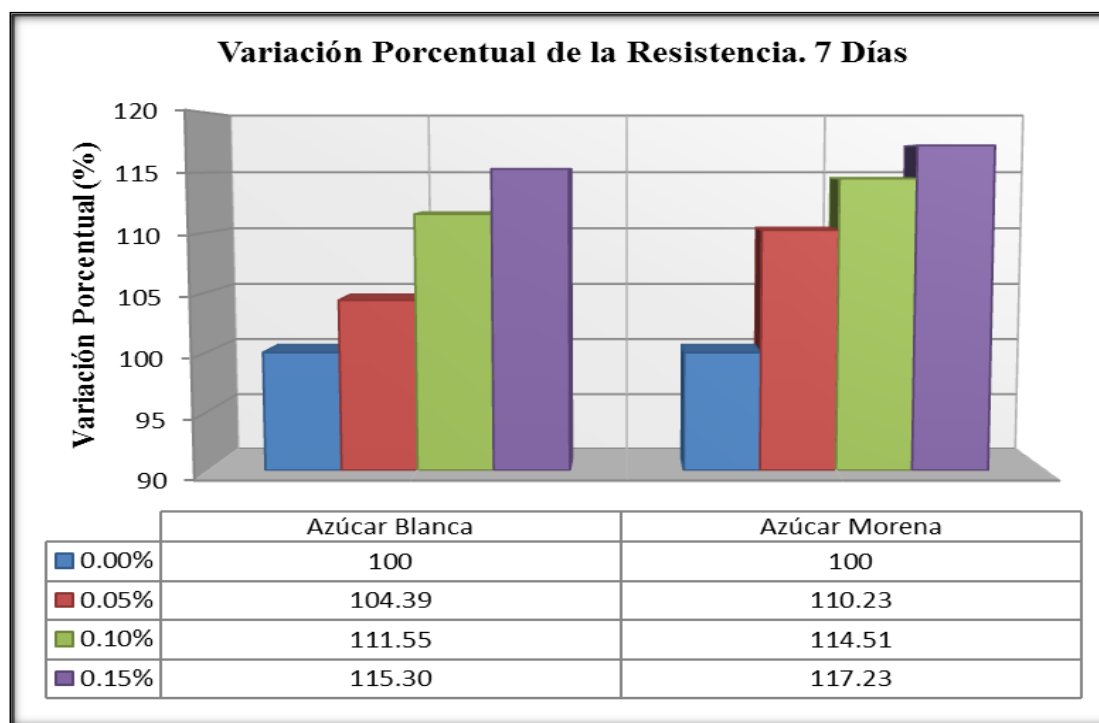
resistencia con este valor estuvo por encima del resto de valores obtenidos con los demás porcentajes.

En el gráfico 4.11 se aprecian la variación porcentual alcanzados en un periodo de tres días después de realizada la mezcla de hormigón, y sumergidos en agua con el fin de lograr un hormigón curado.

El valor máximo de esfuerzo logrado fue de 103.78 kg/cm² con adición de azúcar morena del 0.05% y el mínimo de 39.31 kg/cm² para la azúcar blanca con la adición del 0.15%

En el siguiente gráfico se observan las variaciones de las resistencia de los hormigones con las adiciones de azucares a los siete días, en el cual se advierten variaciones entre el hormigón patrón y el hormigón con adición de ambos azúcares.

Gráfico 4.12. Variación porcentual de la **Resistencia**. Siete días



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.12

En el gráfico 4.12 se aprecia, los incrementos que comienza a producir la adición del azúcar, de forma directamente proporcional a la concentración aplicada, alcanzando un 15.30% en (H3B) y 17.23% en (H3M), mientras que los tipos H1B y H1M se presentan

incrementos que no son nada significativos. También se nota el crecimiento representativo en los esfuerzos soportados por los cilindros con las diferentes adiciones de azúcar, esto debido a que con el tiempo se va incrementando la resistencia del hormigón, estando el valor máximo de esfuerzo de 206.96 kg/cm^2 (H2M).

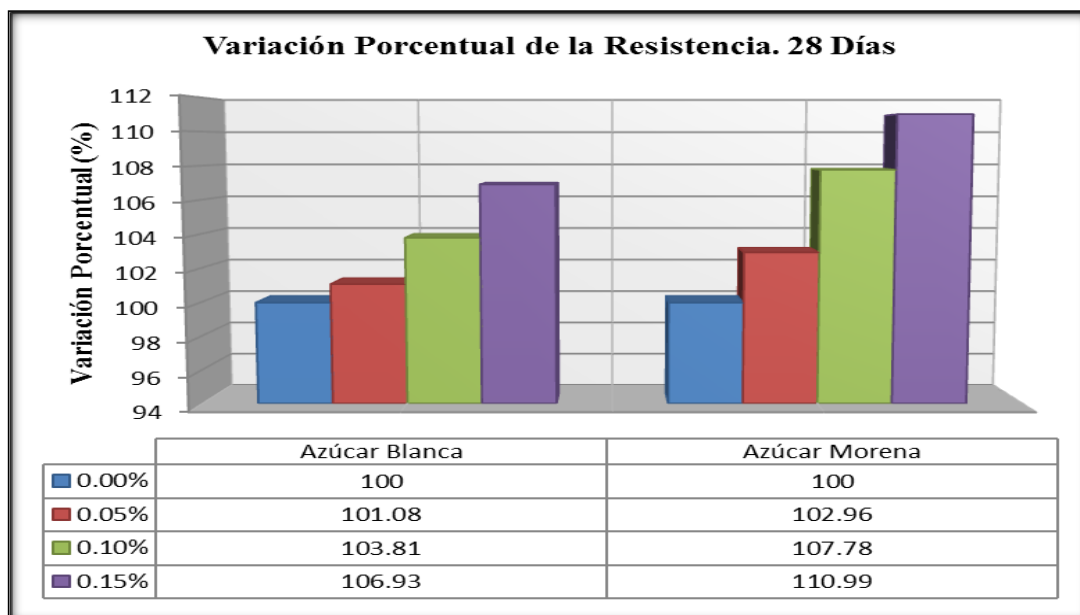
Continuando como valor mínimo de esfuerzo, los alcanzados sin adición de azúcar y los máximos los valores alcanzados con la adición del 0.15% para ambos tipos de azúcar.

Asimismo se observa en el gráfico 4.12 que la adición de azúcar (blanca y morena) del 0.15% es la que mejores resultados arroja, comparados con los obtenidos con el resto de porcentajes de ambos azúcares en una muestra de hormigón, para siete días de realizados los cilindros y sumergidos en agua.

Un valor de cantidad de esfuerzo soportado que se mantiene muy cercano del máximo alcanzado es el de adición de azúcar morena del 0.10%, pero continua siendo mas resistente a la compresión el diseño de mezcla con adición del 0.15% a pesar de pasados siete días.

En el siguiente gráfico se observan las variaciones de las resistencia de los hormigones con las adiciones de azúcares a los veintiocho días, en el cual se advierten variaciones entre el hormigón patrón y el hormigón con adición de ambos azúcares.

Gráfico 4.13. Variación porcentual de la Resistencia. Veintiocho días



Fuente: Realizado en base a la Tabla 4.12

La gráfica 4.13, muestran la variación de la edad más importante del hormigón, observando cómo se incrementa la resistencia en función a la concentración aplicada (en ambos casos)

Advirtiendo en el gráfico 4.13 se puede notar un cambio con el paso del tiempo de los cilindros realizados hace veintiocho días, y sumergidos en agua.

Los cilindros realizados sin adición de azúcar, no han cambiado, pues siguen siendo los que soportan la menor cantidad de carga, es decir los que menor esfuerzo obtienen.

Después de veintiocho días, las pruebas de hormigón con adición de azúcar blanca y morena del 0.05% han prácticamente conservado su capacidad de resistir carga, produciendo un leve aumento de esfuerzo. Contrario a lo que ocurre con los tiempos anteriormente estudiados, incrementaron considerablemente la resistencia.

Resultados que no han tenido ningún tipo de cambios son los obtenidos con adición de azúcar del 0.15%, puesto que siguen siendo los de mayor carga soportada, corroborando así que es el porcentaje óptimo para adición de azúcar en una mezcla de hormigón con respecto a su resistencia.

En el gráfico 4.13 se ve con mayor claridad y más detalladamente los porcentajes máximos y mínimos de esfuerzo obtenidos a los de veintiocho días de realizada la mezcla de hormigón con los diferentes porcentajes de ambos azúcares.

Aquí se contempla que el esfuerzo de la mezcla con una adición de azúcar morena del 0.15% se ha incrementado, alcanzando como valor máximo de esfuerzo 291.91 kg/cm^2 (+11%), contrario a lo que ocurre con los cilindros realizados con adición de azúcar blanca del 0.05% que casi conservaron su capacidad de resistencia alcanzado como valor de esfuerzo de 265.86 kg/cm^2 (+1%), aún más claramente se observa en el gráfico 4.13 como el porcentaje más óptimo de aumento de resistencia se produce con la adición de azúcar morena de 0.15%

Verificación del objetivo y la hipótesis planteada.

De acuerdo a lo examinado en el apartado 4.3 y 4.4 se observó que se cumplió con el objetivo principal de la presente investigación por lo cual se estudió al azúcar como un aditivo retardador de fraguado del hormigón y se analizó las variaciones que se producen en las características del hormigón.

De igual manera se comprobó la hipótesis por lo cual se vio el incremento del tiempo de fraguado con todos los porcentajes de aplicados pero la resistencia a la compresión solo se vio el incremento a las edades de 7 y 28 días, pero a los 3 días las resistencias se vieron disminuidas.

5. Conclusiones y Recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

5.1.1. Resistencias.

- A tempranas edades (tres días), el hormigón patrón presenta mejores resistencias a compresión que cualquier otro, con adición de azúcar. Por ejemplo con un 0.15% de azúcar se presenta un déficit de hasta un 63.30%.

- El azúcar blanca y morena pueden ser empleados como aditivos en el hormigón debido a su acción fluidificante y retardadora de tiempo de fraguado y que ambas producen, hormigón con mejores resistencias a edades tardías (veintiocho días).

- No existe diferencia significativa con el azúcar morena o blanca por lo que los dos pueden usarse en obra.

- El mejor comportamiento de mezcla se obtuvo con la adición de azúcar (blanca y morena) del 0.05% respecto al peso del cemento, aunque los datos de la resistencia a los tres días disminuyeron en un 8.81% y 3.10% respectivamente, mientras que los datos a los siete y veintiocho días, se vieron mejorados con respecto al hormigón patrón.

- A los tres días se pudo observar que las mezclas con la adición de los azúcares blanca y morena, de los porcentajes propuestos presentaron una disminución en su resistencia, muy considerable en caso de los porcentajes altos.

- Se pudo observar en la mayoría de las adiciones que a los siete días es en donde se presenta mayor aumento de resistencia respecto al hormigón patrón, a los veintiocho días, se puede observar que se presenta estable este aumento de resistencia

- La cantidad óptima de azúcar queda determinada mediante los ensayos los elaborados de un 0.05% en relación del peso del cemento cumpliendo con todos los requisitos de las normas ASTM C-494.

- Con los resultados de los ensayos a compresión de los hormigones a los 28 días utilizando 12 espécimen para cada % de azúcar se determina la media de sus resistencias

de los doce y con estos se precisa que los hormigones con azúcar (blanca y morena) sus resistencias son mayores hasta un 11%, con respecto al hormigón patrón, lo cual al no verse afectada la resistencia a la edad más importante del hormigón se puede utilizar los azúcares blanca y morena como un aditivo retardador de fraguado del hormigón.

5.1.2. Tiempos de fraguado.

- El azúcar (blanca y morena), están actuando como un aditivo retardador de fraguado existiendo un incremento más fuerte con el azúcar morena que con la azúcar blanca.
- El hormigón patrón tiene un mínimo de inicio de tiempo de fraguado de 6 a 7 horas con la adición de azúcar este inicio se incrementa hasta 31 y 40 horas de azúcar blanca y morena respectivamente.
- Dosis muy altas de azúcar podrían ocasionar problemas logísticos y de mantenimiento de encofrado por periodos muy altos.
- En la investigación se determinó que un incremento de concentración de azúcar provoca aumento en el inicio y final del tiempo de fraguado comparado con una mezcla normal.
- Se ha comprobado la validez del ensayo a penetración, para conocer los tiempos de fraguado de los hormigones analizando la influencia de los azúcares (blanca y morena) sobre una relación agua/cemento mediante la representación gráfica y analítica de curvas en las cuáles se ponen de manifiesto los tiempos transcurridos en min. y su resistencia a la penetración en lb/pulg².
- El tipo de azúcar influye, de manera significativa, en el inicio de fraguado.
- La dosis de azúcar afecta de forma significativa, al inicio de fraguado.
- El tipo de azúcar y la dosis de azúcar influyen, de forma significativa, al inicio de fraguado.
- Un mejor conocimiento de fraguado del hormigón podría ayudar a los constructores en la planificación de los tiempos y acabar una obra, permitiendo así, tener un ahorro en el aspecto económico.

- De acuerdo a los resultados obtenidos mediante las pruebas de las agujas de penetración con los morteros y las diversas cantidades de azúcar (blanca y morena) especificadas, se puede determinar que el azúcar es efectivamente un retardador natural del fraguado del hormigón cuando se utiliza cemento Portland “EL PUENTE”.

- En la siguiente tabla se observa los plazos mínimos para los hormigones elaborados con los azúcares blanca y morena:

Tabla 5.1. Plazos mínimos de desencofrado en hormigones con azúcar

PLAZOS DE DESENCOFRADO			
TIPO DE AZÚCAR	CÓDIGO	DOSIS	TIEMPO HRS.
AZÚCAR BLANCA	HIB	0.05%	28:18
	H2B	0.10%	37:29
	H3B	0.15%	49:25
AZÚCAR MORENA	HIM	0.05%	30:22
	H2M	0.10%	41:45
	H3M	0.15%	59:17

Fuente: Realizado con datos del anexo 5

5.1.3. Asentamientos.

- Los asentamientos son mayores que el hormigón patrón, por lo que se concluye que ambos tipos de azúcares (blanca y morena) actúan como un aditivo fluidificante.

- Con un 0.15% de azúcar se presenta un incremento de asentamiento de hasta 125.97%.

- El tipo de azúcar no afecta de forma significativa a la consistencia de los hormigones.

- La dosis de azúcar afecta de forma significativa a la consistencia de hormigones.

- No existe alguna interrelación significativa entre el tipo de azúcar y las dosis aplicadas.

- La interrelación, entre el tipo de azúcar y las concentraciones aplicadas; no afecta a la consistencia de Abrams

5.2. Recomendaciones.

- Se recomienda el empleo de azúcar pero las dosis deben ser respaldadas por un estudio específico acorde a la magnitud.

- No deben emplearse dosis de azúcar mayores a 0.10% respecto al peso del cemento.

- Se recomienda estos aditivos azúcar blanca y morena en elaborados en clima cálido para que las resistencias no se vean afectadas por la pérdida de humedad.

- No se recomienda estos aditivos en estructuras que se quieran desencofrar en tres días.

- Si se busca una ampliación de esta investigación algunas de las recomendaciones sería entrar en los problemas y beneficios que trae utilizar azúcar como retardador debido a que para obras grandes sería una muy importante el estudio con el tipo de cemento que se efectuará la obra y lo cual se debería comparar con otros retardadores comerciales.

- También se podría incluir que una investigación futura pueda determinar los efectos que surgen al utilizar otro tipo de resistencia H-21 el cual reduciría la cantidad de cemento y otros tipos de cementos sin adición de puzolana sería una gran tentativa de investigación.

- En el caso de comprar arena en costales, tener en cuenta que no sean en costales que fueron utilizados previamente para almacenar azúcar por lo cual quedan residuos dentro de ellos, estas pequeñas cantidades se mezclan con la arena y después con el hormigón o mortero, lo cual el azúcar provocara que los tiempos de fraguado no sean normales.

- Si se va utilizar azúcar en un porcentaje superior al 0.15% de peso de cemento se debe hacer un estudio previo, porque puede ocasionar un fraguado rápido y una reducción sustancial de la Resistencia a los 28 días.

- Al observar los resultados en las resistencias de la mezcla de hormigón con la adición de ambos tipos de azúcar se puede sugerir un análisis al comportamiento de la azúcar refinada ya que este producto al ser tratado, en algunos casos puede llegar menos refinado, por lo que puede cambiar tanto el fraguado como también la resistencia a edades tempranas.

- Se pudo observar que en la resistencia a los veintiocho días se vio un aumento, por lo cual se considera que se debe evaluar en un tiempo más largo la resistencia a la compresión de los cilindros de hormigón.

- El desencofrado se debe coordinar con el tiempo de fraguado del hormigón. Se lo debe empezar tan pronto en cuanto el hormigón se haya endurecido suficientemente para prevenir que los agregados se desplacen (normalmente entre 4 y 12 horas después del endurecimiento del hormigón). El desencofrado se debe completar antes que los esfuerzos debidos a contracción por secado se vuelvan suficientemente grandes para producir fisuración.

5.3. Comparación del retardador de fraguado orgánico estudiado, con un retardador comercial.

Los retardadores de fraguado orgánicos estudiados, se compararán con un retardador comercial de iguales características a los resultados obtenidos con los retardadores orgánicos.

El retardador comercial a comparar será el **Plastiment H.E.R.** es un aditivo para ser usado en hormigones y morteros de efecto plastificante y retardador, no contiene cloruros, toda la información sobre el aditivo se encuentra en el apartado 2.8.1 del capítulo dos de esta investigación.

Datos técnicos del Plastiment H.E.R :

- Al utilizar **Plastiment H.E.R.** como plastificante, es decir, con la misma relación Agua/Cemento que el hormigón sin aditivo, se verifica un aumento considerable en la docilidad del hormigón, sin afectar las resistencia mecánicas.

- **Plastiment H.E.R.** como reductor de agua permite disminuir la cantidad de agua de amasado entre un 7 y 12%, sin modificar la trabajabilidad del hormigón patrón, obteniéndose fuertes incrementos en las resistencias mecánicas e impermeabilidad.

- El efecto retardador del aditivo no afecta el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales

- Al utilizar **Plastiment H.E.R.** se obtienen retardos de 3 a 5 horas, sin variación en las resistencias iniciales.

Modo de empleo del Plastiment H.E.R:

-**Plastiment H.E.R.** Se utiliza diluido en el agua de amasado del hormigón en dosis de 0.3% a 0.5% referido al peso del cemento.

- Al no disponer de aparatos para dosificar el aditivo, deberá utilizarse un recipiente con la medida exacta para cada amasada. No es recomendable confeccionar diluciones de antemano con **Plastiment H.E.R.** y agua a menos de mantener en constante agitación.

Datos técnicos del retardador orgánico (azúcar blanca y morena):

- Al utilizar **azúcar blanca y morena** como plastificante, es decir, con la misma relación Agua/Cemento que el patrón, se verifica un fuerte aumento en la docilidad del hormigón produciéndose un aumento ligeramente mayor con el azúcar morena que con el azúcar blanca, provocando una disminución de la resistencia mecánica a los tres días y a los siete y veintiocho días las resistencias mecánicas no se ven afectadas.

- **El azúcar (blanca y morena)**, como reductor de agua permite disminuir la cantidad de agua de amasado entre un 2% y 5.24%, (con azúcar blanca) y un 2.86% y 7.05%, (con azúcar morena), sin modificar la trabajabilidad del hormigón patrón, obteniéndose incrementos en las resistencias mecánicas a los siete y veintiocho días.

- El efecto retardador del aditivo afecta el desarrollo de las resistencias mecánicas iniciales (tres días de edad)

- Al utilizar **azúcar (blanca y morena)** se obtienen retardos de 5 a 13 horas (con azúcar blanca) y retardos de 7 a 17 horas (con azúcar morena), con variación en las resistencias iniciales (tres días).

Modo de empleo del retardador orgánico (azúcar blanca y morena):

-El **azúcar (blanca y morena)** se utiliza diluido en el agua de amasado del hormigón en dosis de 0.05% a 0.10% referido al peso del cemento.

-Se lo debe disolver en un tercio del agua de amasado, verificando que no existan cristales de azúcar sin disolver e introducirlo a la mezcla durante el primer minuto de amasado.

Conclusión: Con la adición del aditivo comercial y el orgánico se producen incrementos en la consistencia de los hormigones, las resistencias a compresión no se ven afectadas con el aditivo comercial, pero con el aditivo orgánico las resistencias se ven afectadas solo a los tres días de edad, como reductor de agua el aditivo comercial tiene una acción más fuerte que el aditivo orgánico, por otra parte en cuanto al retardo del fraguado el aditivo orgánico tiene un incremento significativamente mayor que el aditivo orgánico.

Costos para el hormigón patrón, hormigón con azúcar (blanca y morena) y hormigón con el aditivo Plastiment H.E.R. (Para una probeta de cada tipo)

Tabla 5.2. Costo del hormigón patrón y hormigón con el retardador orgánico

Costo de dosificación 0.0053 m³ para cada tipo					
Tipo de hormigón	HO	H1B	H2B	H1M	H2M
Dosis	0.00%	0.05%	0.10%	0.05%	0.10%
COSTO Bs	7.930	7.938	7.948	7.937	7.944

Fuente: Realizado con datos del anexo 9

Tabla 5.3. Costo del hormigón patrón y hormigón con el retardador comercial Plastiment H.E.R

costo de dosificación 0.0053 m³ para cada tipo			
Dosis	0.00%	0.30%	0.50%
COSTO Bs	7.930	8.149	8.296

Fuente: Realizado con datos del anexo 9

Tabla 5.4. Variación porcentual del costo del hormigón H1

Tipo de hormigón		Aditivo Plastiment 0.3%
H1B (0.05%)	100	102.66
H1M (0.05%)	100	102.68

Fuente: Realizado en a las tablas 5.2, 5.3

Tabla 5.5. Variación porcentual del costo del hormigón H2

Tipo de hormigón		Aditivo Plastiment 0.5%
H2B (0.10%)	100	104.39
H2M (0.10%)	100	104.43

Fuente: Realizado en a las tablas 5.2, 5.3

Conclusión: Para la dosis de 0.05% de azúcar blanca en comparación de la dosis de 0.3% de Plastiment H.E.R se produce un incremento en el costo de 2.66%, de cuando se utiliza el aditivo comercial, similar comportamiento es con el azúcar morena produciéndose un incremento de 2.68%.

Para la dosis de 0.10% de azúcar blanca en comparación de la dosis de 0.5% de Plastiment H.E.R se produce un incremento en el costo de 4.39%, de cuando se utiliza el aditivo comercial, similar comportamiento es con el azúcar morena produciéndose un incremento de 4.43%.