

**CAPÍTULO I**  
**INTRODUCCIÓN**

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Antecedentes

En el pavimento rígido con la finalidad de mejorar las propiedades y características físicas del hormigón, es necesario debido a los parámetros de construcción incorporar a la mezcla un tipo de aditivo retardante. En nuestro país la mayoría de estos aditivos son importados lo que llega a generar un incremento en el costo de esto, por consiguiente, genera así un mayor costo en la construcción de los pavimentos rígidos.

Una de las características físicas del hormigón es el tiempo de fraguado o velocidad de endurecimiento 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 concreto y se ponga fuerte, adquiriendo de este modo una cierta resistencia; este tiempo es de suma importancia, ya que define el tiempo de manejo por el cual el hormigón fresco ya no puede ser mezclado adecuadamente.

En el año 2017 en la Universidad San Carlos de Guatemala se realizó el trabajo de grado con el título de "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO" por el entonces estudiante Julio Cesar Álvarez Guillen, teniendo como resultados que el azúcar como aditivo en la mezcla de concreto es beneficioso, si solo es usada en cantidades controladas, donde la cantidad recomendada es de 0,03 % de azúcar blanca como aditivo da un mejor desempeño por la resistencia a la compresión de  $352 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días donde la resistencia patrón a los 28 días fue de  $310 \text{ kg/cm}^2$  y aumentó 3 horas al fraguado final de la mezcla.

La presente investigación desea estudiar el azúcar como un aditivo retardante al fraguado y como modificador a la resistencia a flexión en pavimentos rígidos elaborados con el cemento Portland IP-40.

La importancia del uso del azúcar como aditivo retardante al fraguado del cemento hidráulico aplicando la norma ASTM C- 191, establece un aporte al conocimiento de la

construcción de pavimentos rígidos, esto nos ahorraría tiempo y costo en una situación actual en el cual se tenga la necesidad de utilizar un aditivo retardante.

## **1.2. Situación del problema**

Hoy en día la utilización de aditivos comerciales eleva el costo en la construcción de los pavimentos rígidos debido a esto es necesario buscar nuevas alternativas técnicas y económicas factibles, lo que impulsa a la investigación del uso del azúcar como un aditivo.

En la actualidad los grandes volúmenes de tráfico, que llegan a sobrepasar los criterios de diseño, esto genera excesos de carga provocando así que se generen fallas y disminuya la vida útil del pavimento, hacen que se busque mejorar la calidad de los pavimentos por diversos métodos incluyendo el mejoramiento de la calidad de los agregados o así también la inclusión de aditivos para así poder bajar costos de mantenimiento y alargar la vida óptima del concreto.

El tiempo de fraguado inicial del hormigón ocurre entre 2 horas y 4 horas después del proceso de hidratación del cemento, debido al reducido tiempo de fraguado hace que la construcción sea compleja. El azúcar como alternativa de aditivo podrá brindar una mejor trabajabilidad en la construcción de los pavimentos rígidos.

Se va a analizar como el azúcar en reemplazo de un porcentaje de cemento portland tipo IP-40, afecta a sus propiedades del hormigón para pavimento rígido de tráfico mediano y así nos permitirá obtener resultados confiables, en menor tiempo a los 28 días.

### **1.2.1. Problema**

¿De qué forma el azúcar influye en la resistencia a flexión y el tiempo de fraguado en el hormigón para pavimento rígidos?

### **1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema**

El tema de investigación es factible debido a que las instalaciones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, cuenta con los laboratorios de hormigón y así también con los equipos necesarios para poder realizar los ensayos propuestos.

### **1.2.3. Delimitación espacio y tiempo**

El proceso de investigación se lo realiza en el segundo semestre del año 2022, se comenzará seleccionando los agregados, para así caracterizar el agregado grueso, agregado fino para poder realizar la elaboración, el curado de probetas, vigas de hormigón y concluir con la realización de los ensayos de resistencia a compresión y tracción, todo este proceso está planificado para realizarlo en 4 meses.

### **1.3. Justificación**

Al implementar el azúcar sabremos qué tan útil podrá ser en las propiedades del hormigón y así ser una fuente de información para, empresas constructoras, técnicos en el área de investigación y cooperar en el campo de la ingeniería civil.

La presente investigación desea dar solución al problema de trabajabilidad del hormigón a la hora de su uso en pavimento rígido, el azúcar como aditivo podrá dar un mayor tiempo de fraguado y así tener una mejor trabajabilidad del hormigón.

Hoy en día hay una sobreproducción comercial de la azúcar a nivel nacional debido a esto los cañeros llegan a rematar la azúcar hasta llegar a obtener perdidas, por este motivo el análisis se basará en la aplicación de la azúcar como un reemplazo del aditivo comercial común siendo otra alternativa en el pavimento rígido.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general**

Analizar la influencia del azúcar en la resistencia a flexión y el tiempo de fraguado del cemento, mediante la elaboración de vigas de hormigón, para pavimentos rígidos.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los materiales a utilizar en la dosificación.
- Determinar la dosificación óptima.
- Elaborar probetas y vigas mediante la normativa establecida.
- Determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico.
- Comparar los datos obtenidos con el patrón y el azúcar.

## 1.5. Hipótesis

Si, al adicionar la azúcar blanca en el hormigón, se incrementa la resistencia a la flexión y retarda el tiempo de fraguado, agregando un porcentaje en peso de azúcar con relación al peso del cemento de la mezcla.

## 1.6. Operacionalización de las variables

Tabla N°1-1 Operacionalización de la variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Resistencia a la compresión	La resistencia a la compresión de una probeta de hormigón es la carga axial de compresión máxima alcanzada por la sección de hormigón antes de la falla.	Volumen peso	¿Cuál es el tamaño nominal de la probeta?	Norma ASTM
		Equipo y materiales	Los equipos y materiales que se usaran para elaborar la probeta de hormigón para pavimento rígido.	Manual de la ABC
Resistencia a la flexión	La resistencia a la tracción del concreto varía entre 8% al 15% de la resistencia a la compresión.	Volumen peso	¿Cuál es el tamaño nominal de la viga ?.	Norma ASTM
		Equipo y materiales	Los equipos y materiales que se usaran para elaborar la probeta de hormigón para pavimento rígido.	Manual de la ABC
Tiempo de fraguado del cemento hidráulico	Este método de ensayo nos permite determinar el tiempo de fraguado del cemento hidráulico mediante el aparato de Vicat.	Volumen peso	¿Cuál es el tamaño del molde ?.	Norma ASTM
		Equipo y materiales	El equipo y material que se usaran para determinar el tiempo de fraguado.	Manual de la ABC

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 1-2 Operacionalización de la variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Azúcar	El azúcar, complemento que se incorpora al hormigón como un aditivo natural.	Calidad	La azúcar blanca cuenta con un proceso de purificación químico llamado sulfatación, que proviene de la combustión de azufre.	Manual
		Cantidad	Obtener el porcentaje óptimo de azúcar en vigas para pavimento rígido.	Realizando la dosificación en laboratorio.

Fuente: Elaboración propia.

### 1.7. Identificación del tipo de investigación

El diseño de la investigación responde al experimental debido a que la variable independiente es manipulable por el investigador, respondiendo en jerarquía a un cuasi experimento.

### 1.8. Unidades de estudio y decisión muestral

#### 1.8.1. Unidad de estudio

Los elementos que serán medidos en la presente investigación son:

- Módulo de rotura a flexión (kg/cm<sup>2</sup>)
- Módulo de rotura a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)
- Tiempo de fraguado (hrs, min)

## **1.8.2. Población**

Conjunto de ensayos de tecnología del hormigón para realizar el componente del hormigón para pavimentos rígidos.

## **1.8.3. Muestra**

Conjunto de ensayos que serán realizados en componentes del hormigón para pavimento rígido.

## **1.8.4. Selección de técnicas de muestreo**

### **1.8.4.1. Muestreo estratificado**

El muestreo estratificado es una técnica o procedimiento en la que se divide la población bajo estudio en distintos subgrupos o estratos. Una característica esencial de la estratificación es que cada elemento debe pertenecer a un único estrato. (Guillén, 2017).

## **1.9. Métodos y técnicas empleadas**

### **1.9.1. Métodos**

Se realizará la elaboración del hormigón adicionando pequeños porcentajes de azúcar para observar su comportamiento.

### **1.9.2. Técnicas**

Trabajo de campo.

## **1.10. Procesamiento de la información**

- Revisión crítica y definida de la información recolectada.
- Representación numérica y gráfica de los resultados

## **1.11. Alcance de la investigación**

En el proyecto de grado se realizó los ensayos de probetas y vigas que serán utilizadas en losas de pavimentos que tiene como elemento el cemento Fancesa IP- 40, también así se implementó el azúcar (Blanca) como un aditivo, adicionando al hormigón con los porcentajes de 0,03%, 0,08% y 0,15%, la resistencia máxima admisible es de 310 kg/cm<sup>2</sup> en probetas y así teniendo una resistencia a flexión del 15 al 20 % de la resistencia a la compresión, se realizó 4 vigas con cada porcentaje distinto de azúcar para así romper a

los 28 días y determinar el porcentaje óptimo y así analizar las resistencias del hormigón patrón y el hormigón con el aditivo (azúcar).

El agregado fino que se utilizó para la dosificación proviene de Santa Ana y el agregado grueso proviene de San Mateo, realizando la caracterización de cada uno de ellos en los laboratorios de hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**CAPÍTULO II**  
**GENERALIDADES DEL HORMIGÓN**

## CAPÍTULO II

### GENERALIDADES DEL HORMIGÓN

#### 2.1.El pavimento rígido

Los pavimentos de concreto reciben el apelativo de “rígidos” debido a la naturaleza de la losa de concreto que la constituye.

Debido a su naturaleza rígida, la losa absorbe casi la totalidad de los esfuerzos producidos por las repeticiones de las cargas de tránsito, proyectando en menor intensidad los esfuerzos a las capas inferiores y finalmente a la subrasante. (Coro, 2006)

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: subrasante, subbase y la losa de concreto. A continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

##### a) Subrasante

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. (Calo, 2011)

##### b) Subbase

Según el Ing. Diego Calo, la capa de subbase es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la subrasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado. Entre otras funciones que debe cumplir son: (Calo, 2011)

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la subrasante.

- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción

#### c) Losa

La losa es de concreto de cemento portland. El factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario proporcionar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. (Calo, 2011) .

#### Tipos de Pavimentos Rígidos

Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del hormigón, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la capacidad de la subrasante. Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos: (Coro, 2006).

- Hormigón simple con juntas
- Hormigón armado con juntas
- Hormigón armado con refuerzo continuo

#### a) Pavimento de Hormigón simple

El pavimento de hormigón simple no contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas es pequeño entre 2.50 a 5 metros. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas. (Coro, 2006).

#### b) Pavimento de Hormigón Armado con juntas

Los pavimentos de hormigón armado con juntas tienen espaciamientos mayores entre juntas entre 5 a 12 metros y llevan armadura distribuida en la losa a los efectos de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción. (Coro, 2006).

### c) Pavimento de Hormigón Armado Continuo

Los pavimentos de hormigón armado continuo tienen armadura continua longitudinal y no tienen juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que los de hormigón armado con juntas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas. (Coro, 2006).

## **2.2. Hormigón**

### **2.2.1. Composición**

La composición elegida para la preparación de hormigones, deberá estudiarse previamente con el fin de que queden garantizadas:

- La obtención de hormigones cuyas características mecánicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto.
- La conservación de las características requeridas a lo largo del tiempo.

Los hormigones que vayan a ser utilizados en obras expuestas a ambientes muy agresivos, deberán ser objeto de estudios especiales. Es preciso señalar que las condiciones de durabilidad, sobre todo en el caso de riesgo evidente de agresividad de la atmósfera, obligan a veces utilizar hormigones cuyas composiciones pueden ser superabundantes con respecto a las exigidas por razones resistentes. (Galindo R., 1987).

### **2.2.2. Propiedades mecánicas del hormigón**

Las características de los hormigones utilizados en las estructuras, deberán cumplir la resistencia características del proyecto  $f_{ck}$ .

La resistencia a compresión del hormigón, refiere a la amasada y se obtiene a partir de los resultados de ensayos de rotura por compresión, en número igual o superior a dos (2), realizados sobre probetas normalizadas, fabricadas a partir de la amasada, conservadas y ensayadas. (Galindo R., 1987).

### **2.2.3. Propiedades del hormigón fresco**

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres fases: la sólida (áridos y cemento), la líquida (agua). A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Entre las propiedades del hormigón fresco podemos citar, como más importantes, la consistencia. (Montoya, 2009)

### **2.2.4. Manejabilidad**

Según el comité 211 de ACI, la manejabilidad, conocida también como trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado y consolidado apropiadamente y para ser determinado sin segregación dañina alguna.

Sin embargo, algunos autores sostienen que establecer que la manejabilidad determina la facilidad de colocación y la resistencia a la segregación es dar una descripción muy vaga de esta propiedad del concreto.

Por ejemplo, el Road Research Laboratory, de la Gran Bretaña, define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación, ya que, al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción extrema o superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra o del refuerzo, con el fin de extraer el aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible. De esta manera, la manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción. (Sánchez De Gúzman, 2001)

### **2.2.5. Consistencia**

Es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Varía con multitud de factores: cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos, etc.; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo el más empleado el cono de Abrams. (Montoya, 2009)

### 2.2.5.1. Cono de Abrams

Es un molde troncocónico de 30 cm de altura (fig. 2-1) que se rellena con el hormigón objeto de ensayo. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Figura N°2-1 Cono de Abrams



Fuente: Jiménez Montoya 15ª edición.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos, fluidos y líquidos, como se indica en la tabla 2-1. La consistencia líquida no es admisible para hormigón armado. (Montoya, 2009)

Tabla N°2-1 Consistencia del hormigón

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: Jiménez Montoya 15ª edición.

### 2.2.6. Propiedades del hormigón en pavimentos rígidos

Son dos las propiedades del concreto que influyen en el diseño y en su comportamiento a lo largo de su vida útil.

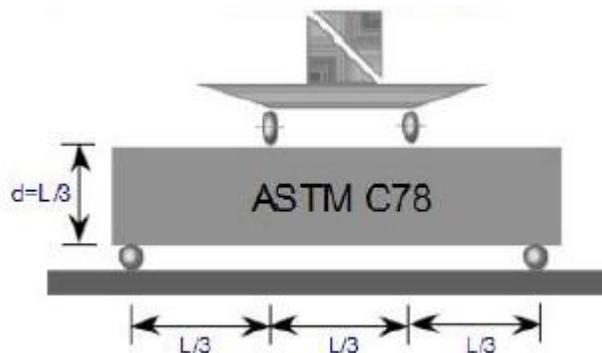
- Resistencia a la tensión por flexión o Módulo de Ruptura (MR)
- Módulo de elasticidad del concreto ( $E_c$ )

Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera resistencia del concreto trabajando a flexión, que se conoce como resistencia a la flexión por tensión ( $S'c$ ) o Módulo de ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días.

Existe una prueba normalizada por la ASTM C78 para la obtención del módulo de ruptura la cual consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo. Se puede realizar otra prueba similar aplicándole carga el centro del claro; los resultados obtenidos son diferentes aproximadamente entre 15% a 20% mayores. (Diseño Y conservación de pavimentos rígidos, 2013)

EL ensayo descrito en la norma ASTM C78 consiste en apoyar las vigas a 2,5 cm como mínimo de sus extremos, con una luz de 45 cm y cargarlas en dos puntos situados en los tercios medios de la luz. El esfuerzo máximo de flexión se denomina módulo de rotura (MR). (Sánchez De Gúzman, 2001).

Figura N°2-2 Prueba para la obtención del módulo de ruptura



Fuente: Diseño y Conservación de Pavimentos Rígidos

Tabla N°2-2 Resistencia a la flexión

Descripción	Resistencia a la flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
Tránsito NT1	38,00
Tránsito NT2	40,00
Tránsito NT3	42,00

Fuente: Normas y especificaciones invias 2012.

### 2.2.7. Resistencia a la compresión del hormigón

A pesar de que la relación agua/cemento es el factor que más influye en la resistencia del hormigón, no pueden darse valores fijos que relacionen ambas magnitudes porque dependen, además, de otros muchos factores.

La relación agua/cemento debe ser tan baja como sea posible, pero teniendo en cuenta que debe permitir una adecuada trabajabilidad y compactación del hormigón y que debe evitarse, además, el fenómeno de segregación de los áridos gruesos. A veces, para conseguir estas características, es necesario utilizar mayor cantidad de cemento de la estrictamente necesaria, o emplear aditivos adecuados. (Montoya, 2009)

Figura N°2-3 Resistencia a la compresión



Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.7.1. Medida de la resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto dada la importancia que se revise esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos de fuerza, generalmente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y con alguna frecuencia en libras por pulgadas cuadradas (p.s.i.), la equivalencia que hay entre los 2 es que 1 p.s.i. es igual a  $0,07 \text{ kg}/\text{cm}^2$ . Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en Mega-Pascales (Mpa), de acuerdo al sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestras y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras, se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. (Sánchez De Gúzman, 2001)

### **2.2.7.2. Ensayo de cilindros**

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150 mm de diámetro por 300 mm de altura (relación diámetro: altura 1:2).

Figura N°2-4 Probetas cilíndricas



Fuente: Elaboración propia.

### **2.2.8. Fraguado del cemento**

La velocidad de fraguado de un cemento viene limitada por las normas, estableciendo un período de tiempo, a partir del amasado, dentro del cual deben producirse el principio y el fin de fraguado. Ambos conceptos se definen de un modo convencional, mediante la aguja de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga por el endurecimiento sin solución de continuidad.

Las penetraciones de la aguja de Vicat sobre una probeta de pasta normal de cemento, en función del tiempo, dan una idea del proceso de fraguado. (Montoya, 2009)

El tiempo de fraguado inicial varía entre 45 y 60 minutos y de fraguado final entre 10 a 12 horas. (IBNORCA, 2012)

### **2.2.9. Componentes del hormigón**

#### **2.2.9.1. Cemento**

En general, se llaman conglomerantes hidráulicos aquellos productos que, amasados con el agua, fraguan y endurecen tanto expuestos al aire como sumergidos en agua, por ser estables en tales condiciones los compuestos resultantes de su hidratación. Los conglomerantes hidráulicos más importantes son los cementos. (Montoya, 2009)

#### **2.2.9.2. Suministro y almacenamiento**

Se recomienda que, si la manipulación del cemento se va a realizar por medios mecánicos, su temperatura no exceda de setenta grados centígrados y si se va a realizar a mano, no exceda del mayor de los dos (2) límites siguientes:

- Cuarenta grados centígrados (40 °C).
- Temperatura ambiente más (5 °C).

Cuando la temperatura del cemento exceda de 70 °C, deberá comprobarse con anterioridad a su empleo, que éste no presenta tendencia a experimentar falso fraguado de otro modo su empleo no está permitido, hasta que se produzca el enfriamiento.

Si el periodo de almacenamiento ha sido superior a un mes, se comprobará que las características del cemento continúan siendo adecuadas. Para ello, se realizarán los

oportunos y previos ensayos de fraguado y resistencias mecánicas a tres y siete días, sobre una muestra representativa del cemento almacenado, sin excluir los terrones que hayan podido formarse. (Galindo R., 1987)

### **2.2.9.3. Clasificación del cemento Pórtland**

Con esta denominación existen cinco (5) tipos: (IBNORCA, 2012)

- **Cementos Pórtland, tipo 1**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 95 % en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en esta norma, o mezclas de ellos, en proporción no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con puzolana, Tipo IP**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 60 % ni mayor del 94 % en masa, de puzolana en proporción no menor del 6 % ni mayor del 40 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5% en masa Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con filler o caliza, tipo IF**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Portland en proporción no menor del 65 % ni mayor del 94 % en masa, filler o caliza en proporción no menor del 6 % ni mayor del 20 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta misma norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland con adición de escoria, tipo IS**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 %, escoria en proporción no menor al 6% ni mayor 35

% en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0% y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

- **Cemento Pórtland mixto, tipo IM**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de, Clinker Portland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 % y la combinación entre escoria; filler; caliza y puzolana en proporciones entre el 6 % al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos. Las combinaciones para los diferentes cementos portland se muestra en la siguiente tabla:

Tabla N°2-3 Clasificación y composición del cemento según la NB-011

Tipos de cemento			Proporción en mesa			
			Componentes principales			Componentes principales (2) (3)
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana natural	Filler Calizo (3)	
Cemento Portland	Cemento Portland	I	95 a 100	-	-	0 a 5
	Cemento Portland con Puzolana	IP	60 a 94	6 a 40	-	0 a 5
	Cemento Portland con Filler o Caliza	IF	80 a 94	-	6 a 20	0 a 5
Cemento Puzolánico		P	45 a 60	40 a 55	-	0 a 5

- (1) Estos valores se incluyen: el regulador de fraguado y aditivos.
- (2) Los componentes adicionales pueden ser uno o dos entre puzolanas filler y calizo, a menos que sean componentes principales de cemento.
- (3) La caliza a utilizarse como filler calizo o como componente adicional deberá cumplir el requisito de un contenido mínimo de 85% de carbonato cálcico.

Fuente: NB-011

Tabla N°2-4 Tipos de cemento elaborados por las productoras según la NB-011

Tipos de cemento				Características
SOBOCE	IP30	IP40	-	Bajo norma boliviana NB-011
ITACAMBA	-	-	IF30	
COBOCE	IP30	-	-	
FANCESA	IP30	IP40	-	

Fuente: Elaboración propia en base a información proporcionada por las empresas productoras de cemento.

- **Cemento Portland IP-30**

Es un Cemento Portland con Puzolana, Tipo IP, Categoría resistente Media, con resistencia a la compresión de 30MPa a 28 días en mortero normalizado de cemento. Se caracteriza por su menor calor de hidratación, menor fisuración y retracción térmica, mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, menor reacción álcali/agregado, mayor impermeabilidad, mayor durabilidad.

Recomendado para hormigón armado estructural, prefabricados, hormigones en masa, hormigones con áridos reactivos, hormigones en ambientes agresivos, hormigón compactado a rodillo, obras hidráulicas, cimentaciones, y en general en todo tipo de construcciones. (IBNORCA, 2012)

- **Cemento Portland IP-40**

Es un Cemento Portland con Puzolana, Tipo IP, Categoría resistente alta, con resistencia a la compresión mínimo de 40 MPa a 28 días en mortero normalizado de cemento. Se caracteriza por su moderado calor de hidratación, menor fisuración y retracción térmica, mejor trabajabilidad, mayor resistencia a ataques químicos, impermeabilidad, mayor durabilidad.

Recomendado para hormigón armado estructural, hormigón pretensado, hormigones con altas resistencias iniciales, prefabricados, hormigón proyectado, hormigones para desencofrados rápidos, pavimentos, y en general en todo tipo de construcciones. (IBNORCA, 2012)

#### **2.2.9.4. Áridos**

Como áridos para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o procedentes de machaqueo, que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón. (Montoya, 2009)

Desde el punto de vista de durabilidad en medios agresivos, deben preferirse los áridos de tipo silíceo (gravas y arenas de río o cantera) y los que provienen de machaqueo de rocas volcánicas (basalto, andesita, etc.) o de calizas sólidas y densas. Las rocas sedimentarias en general (calizas, dolomitas, etc.) y las volcánicas sueltas (pómez, toba, etc.) deben ser objeto de análisis previo. (Montoya, 2009)

No deben emplearse áridos que provengan de calizas blandas, feldespatos, yesos, piritas o rocas friables ni porosas. Tampoco deben emplearse áridos que contengan sulfuros oxidables (estos áridos pueden provenir de canteras que presentan vetas de pirrotina, marcasita o ciertas formas de pirita), dado el gran riesgo existente de que tales sulfuros se oxiden a largo plazo, lo que entraña un gran aumento de volumen y la consiguiente fisuración y cuarteamiento del hormigón. (Montoya, 2009)

Se denomina grava o árido grueso a la fracción mayor de 5 mm, y arena o árido fino, a la menor de 5 mm. Aparte, es clásico encontrar en cada país y región denominaciones diversas más específicas para la grava, en función del tamaño de las piedras. La arena suele dividirse, a partir de los 2 mm, en arena gruesa y arena fina, llamándose polvo o fi nos de la arena a la fracción inferior a 0,063 mm. (Montoya, 2009)

Los áridos pueden ser rodados o machacados. Los primeros proporcionan hormigones más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los segundos. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta acritud que dificulta su puesta en obra. En ambos efectos influye más la arena que la grava. En cambio, los áridos de machaqueo proporcionan una mayor trabazón que se refleja en una mayor resistencia del hormigón, especialmente a tracción y, en general, en una mayor resistencia química. (Montoya, 2009)

#### **2.2.9.4.1. Clasificación de los agregados para el Hormigón**

Se pueden clasificar según tres aspectos por su procedencia, por su tamaño y por su gravedad específica. En este estudio nos enfocaremos a desarrollar la clasificación según su tamaño.

Los áridos se clasifican en: (Crespo, 2006)

- **Agregado grueso**

Es un material granular que es retenido por el tamiz N°4 (de 4.75 mm). El agregado grueso en nuestro medio es denominado “Grava”, que resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de ésta.

- **Agregado fino**

Es un material granular que pasa por el tamiz de 3/4 in (9.5 mm) y casi en su totalidad por el tamiz N°4 (de 4.75 mm). y es retenido por el tamiz N°200 (0.075 mm). El agregado fino en nuestro medio se denomina “Arena”, este resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca o procede de la trituración de esta.

El árido de mayor compromiso en el hormigón es la arena, las mejores son las que provienen del río por lo que no hay que preocuparse de su resistencia y la durabilidad que estas obtienen.

Al mismo tiempo se tiene que tener muy en cuenta la humedad que estas poseen, además de que no debe contener sustancias perjudiciales ya que influye de manera directa a la dosificación del hormigón.

La resistencia de la grava es proporcional a la dureza que posee, su densidad y su módulo de elasticidad.

#### **2.2.9.5. Agua**

Según la CBH- 87 en general, podrán ser utilizadas tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, todas las aguas consideradas como aceptables por la práctica.

Toda agua de calidad dudosa, deberá ser sometida a análisis previos en un laboratorio legalmente autorizado.

#### **2.2.9.5.1. Agua de mezclado**

El agua de mezclado está definida como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en ese volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez tal, que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico. (Sánchez De Gúzman, 2001)

La pasta de cemento, inmediatamente se mezclan los materiales, es una mezcla plástica de cemento y agua que va adquiriendo nueva estructura conforme se produce la hidratación del cemento. Esta nueva estructura es la formación del llamado gel de cemento y la redistribución del agua dentro de la pasta. En una porción de pasta hidratada, el agua se encuentra en dos formas básicas, a saber: agua de hidratación (no evaporable) y agua evaporable. (Sánchez De Gúzman, 2001)

#### **2.2.9.5.2. Especificaciones y ensayos**

El agua, tanto para el amasado como para el curado del hormigón, debe ser limpia y deberán rechazarse las que no cumplan una o varias de las siguientes condiciones:

- Exponente de hidrógeno pH .....  $\geq 5$

(Determinando según la norma NB/UNE 7234)

- Sustancias disueltas .....  $\leq 15$  g/L

(Determinadas según la norma NB/UNE 7130)

- Sulfatos, expresados en SO<sub>4</sub> .....  $\leq 1$  g/L

(Determinados según la norma NB/UNE 7131)

- Ion cloro Cl .....  $\leq 6$  g/L

(Determinado según la norma NB/UNE 7178)

- Hidratos de carbono..... 0

(Determinados según la norma NB/UNE 7132)

- Sustancias orgánicas solubles en éter .....  $\leq 15$  g/L

(Determinados según la norma NB/UNE 7235)

La toma de muestra para estos ensayos, se hará según la norma NB/UNE 7236.

La temperatura del agua para la preparación del hormigón será superior a los 5 °C.

(Galindo R., 1987)

### **2.2.9.5.3. Agua de curado**

El curado puede definirse como el conjunto de condiciones necesarias para que la hidratación de la pasta evolucione sin interrupción hasta que todo el cemento se hidrate y el concreto alcance sus propiedades potenciales. Estas condiciones se refieren básicamente a la humedad y la temperatura. (Sánchez De Gúzman, 2001)

Por lo tanto, el agua de curado constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento. En primer lugar, este suministro adicional depende de la humedad del ambiente, ya que la evaporación del agua libre de la pasta ocurre con tanta mayor rapidez cuanto menor es la humedad relativa del ambiente. (Sánchez De Gúzman, 2001)

En segundo lugar, el agua y el cemento al mezclarse ocupan un espacio inicial que permanece constante y que tiende a ser llenado gradualmente por los productos de hidratación (gel). Como éstos desarrollan un volumen que es dos veces mayor que el del cemento original, resulta que con relaciones agua-cemento demasiado bajas puede no haber espacio suficiente en la pasta para acomodar todo el gel potencialmente desarrollable y la completa hidratación del cemento no llega a producirse por esta limitación. (Sánchez De Gúzman, 2001)

En tercer lugar, el agua químicamente combinada con el cemento (agua no evaporable) tiene una densidad mayor que el agua capilar. Esto significa que, en un momento dado, puede ser mayor el espacio que ha dejado libre en los poros capilares, que aquel con el que ha contribuido a formar el gel. Si no existe aportación de agua exterior para suplir este

déficit, la hidratación se vuelve más lenta, e incluso se detiene. (Sánchez De Gúzman, 2001)

### **2.3. Aditivos**

Se llaman aditivos aquellos productos que se incorporan al hormigón fresco con objeto de mejorar alguna de sus características (facilitar su puesta en obra, regular su proceso de fraguado y endurecimiento, aumentar su durabilidad, etc.). Por su importancia creciente, han sido denominados el cuarto componente del hormigón. (Montoya, 2009)

Podrá autorizarse el empleo de aditivos, siempre que se justifique, mediante los oportunos ensayos realizados en laboratorio legalmente autorizado, que la sustancia o sustancias, agregadas en las proporciones y en las condiciones previstas, produce el efecto deseado sin riesgos para la resistencia y la durabilidad del hormigón. (Galindo R., 1987).

Los aditivos pueden ser plastificantes, aire antes, retardadores o aceleradores del fraguado, etc. Su eficacia debe ser demostrada mediante ensayos previos.

Como norma general, es aconsejable utilizar solamente aquellos aditivos cuyas características (y especialmente su comportamiento al emplearlos en las proporciones previstas) vengán garantizadas por el fabricante. No obstante, debe tenerse en cuenta que el comportamiento de los aditivos varía con las condiciones particulares de cada obra, tipo y dosificación de cemento, naturaleza de los áridos, etc. Por ello es imprescindible la realización de ensayos previos en todos y cada uno de los casos. (Galindo R., 1987)

A continuación, se describen los aditivos más comunes:

#### **2.3.1. Reductor de agua (Plastificante)**

Como plastificante si se desea mejorar la trabajabilidad del hormigón fresco, manteniendo la cantidad de agua de amasado (sin modificar la relación A/C).

Como reductor de agua de amasado (reduce hasta un 15% de agua de amasado, disminuyendo la relación A/C), mientras se mantiene la trabajabilidad del hormigón, mejorando así la resistencia del hormigón.

Se puede, además en forma controlada, conjugar los dos efectos, mejorando la trabajabilidad y reduciendo la relación A/C. (Crespo, 2006).

### **2.3.2. Reductor de Agua de Alto Rango (Súper – Plastificante)**

Su función es la misma que la del plastificante, pero su efecto es más enérgico. Pueden convertir a un hormigón normal en un hormigón fluido, que no requiere de vibración para llenar todos los espacios de los encofrados, inclusive en sitios de difícil acceso para el hormigón. (Crespo, 2006).

### **2.3.3. Aceleradores**

Aditivos cuya función principal es reducir o adelantar el tiempo de fraguado (inicial y final) del cemento que se encuentra en el hormigón, lo que significa además que el hormigón desarrollara su resistencia inicial antes que una mezcla sin este aditivo. Aunque la reducción del tiempo de fraguado, puede producir una disminución de las resistencias finales, que puede ser temporal. (Crespo, 2006).

### **2.3.4. Retardadores**

Estos retrasan el inicio del fraguado manteniendo por más tiempo su consistencia plástica. (Crespo, 2006).

### **2.3.5. Agentes Incluidores de aire**

El rol de los agentes incluidos de aire o aireadores es introducir en el hormigón millones de pequeñas burbujas de aire, separadas y repartidas uniformemente. Estas micro - burbujas permanecen así durante el endurecimiento del material, de esta manera se mejora sensiblemente la resistencia al hielo y a las sales anticongelantes. Como resultado además se obtiene el mejoramiento de la trabajabilidad y la disminución de la segregación. (Crespo, 2006).

### **2.3.6. Impermeabilizantes**

Estos aditivos pueden reducir la profundidad de los poros visibles y pueden retardar la penetración de la lluvia en el hormigón o bloques porosos, mediante un aumento de compacidad de los hormigones. Estos aditivos no se pueden considerar agentes para proporcionar hermeticidad al agua, ya que no evitarán el paso de la humedad. (Crespo, 2006)

### **2.3.7. Expansores**

Estos aditivos pueden reducir la profundidad de los poros visibles y pueden retardar la penetración de la lluvia en el hormigón o bloques porosos, mediante un aumento de compacidad de los hormigones. Estos aditivos no se pueden considerar agentes para proporcionar hermeticidad al agua, ya que no evitarán el paso de la humedad. (Crespo, 2006)

## **2.4. 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. 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. (Roberto, 2007)

### **2.4.1. Calidad del azúcar**

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. (Roberto, 2007)

### **2.4.2. 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 de su color (azúcar moreno, azúcar rubio, blanca), que está dado principalmente por el porcentaje de sacarosa que contiene los cristales. (Roberto, 2007)

- Azúcar prieta, (también 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. También denominado azúcar sulfatado.
- Azúcar refinado o extra blanco 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.

### **2.4.3. Azúcares**

Se entiende técnicamente por azúcares a los diferentes monosacáridos, disacáridos y polisacáridos, que generalmente tiene 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 solo por una unidad, también se llaman azúcares simples. Los más presentes en la naturaleza son los siguientes:

Glucosa, 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

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

Maltotriosa, Rafinosa.

#### **2.4.4. Efecto de la adición del azúcar en el hormigón**

Los estudios realizados por Robert y Dodson, determinaron que en la fase líquida de la pasta del cemento, con la adición de la sacarosa, se produce un incremento en la concentración de cal y sulfato en la solución. En adiciones altas se mantiene 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. **(Materiales alternativos para la construcción Dr. Ing. Jorge Acevedo Cata)**

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

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

Periodo durmiente varia 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.

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

La sacarosa retrasa 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.

#### **2.4.5. Uso del azúcar como aditivo en el Hormigón**

Se utilizaron dos tipos de aditivos: azúcar blanca y azúcar morena; las cantidades usadas se determinaron por medio de porcentajes en peso respecto al cemento utilizado en el diseño de mezcla; estos porcentajes varían desde 0,03 % hasta 0,15 %. (Guillén, 2017)

#### **2.5. Porosidad en el hormigón**

Normalmente el concreto es una mezcla de cuatro ingredientes básicos: arena, grava, cemento y agua. En el proceso de mezcla, una cierta cantidad de aire se mezcla en el concreto. El agua y el aire toman espacio dentro del concreto aún después que el concreto es derramado en el lugar y durante las primeras etapas del fraguado.

Cuando el concreto es trabajado en su lugar y empieza a cuajarse o endurecerse, los ingredientes más pesados tienden a asentarse en el fondo mientras los ingredientes más livianos flotan arriba. Siendo el agua el más liviano de los cuatro ingredientes básicos, flota hacia arriba donde se evapora o se exprime por los lados o el fondo. Según se exprime se mueve en todas direcciones. El agua, al ocupar espacio, deja millones de huecos entrecruzados en todas direcciones. Según el aire escapa, tiene el mismo efecto.

Estos espacios huecos se atan entre sí creando lo que se llama porosidad. Frecuentemente los poros crean unas quebraduras finísimas dentro del concreto, debilitándolo.

La acción capilar del concreto hace que fluya agua, o la lluvia golpea los lados de la pared de concreto, o la hidrología del agua va contra la pared de un sótano, el agua viaja por los poros a través del concreto.

Los poros están entretejidos y entre conectados, permitiendo así el pasaje lento del agua a través del concreto. Mientras más denso el concreto, más apretados los poros y menos agua pueden pasar a través.

La estructura de la porosidad en el concreto influye fuertemente en el actuar del mismo. Específicamente, la porosidad determina las proporciones a que las especies agresivas pueden entrar en la masa y causar destrucción. Los índices de la intrusión se relacionan con la permeabilidad del concreto. De la manera más general, la permeabilidad depende de la forma en que la porosidad total es distribuida. La porosidad, a su vez, se relaciona a la reacción original del cemento, las mezclas minerales, y las partículas de agregados, la relación de agua-sólidos, y las condiciones de curado entre otras. (Orozco, 2004 )

## **2.6. Marco normativo**

### **2.6.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute)**

El comité 318 de la ACI, define este método como la práctica estándar para seleccionar proporciones en condiciones normales, seleccionar su pesaje y masa de los ingredientes que componen el Hormigón.

El Comité 211 de la ACI, da el método de dosificar hormigones, posteriormente las diferentes tablas se fueron corrigiendo por las exigencias de las solicitaciones que requerían algunos tipos de hormigones.

#### **2.6.1.1. Tablas corregidas método ACI – 211**

Tabla N°2-5 Procedimiento de diseño

Paso	Descripción
1	Selección del asentamiento
2	Selección del tamaño máximo del agregado
3	Estimación del contenido de aire
4	Estimación del contenido de agua de mezclado
5	Determinación de la resistencia de diseño
6	Selección de la relación agua - cemento
7	Cálculo del contenido de cemento
8	Estimación de las proporciones de agregados
9	Ajuste por humedad de los agregados
10	Ajuste a la mezcla de pruebas

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-6 Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción.

Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Pre fábrica de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta, hormigones de proyección neumática (lanzado).	Secciones sujetas a vibración extrema puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi - seca	35-50	Pavimentos, fundaciones de hormigón simple.	Colocación de máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas, con vibración.
Media	50-100	Elementos compactados a mano, losas, muros y vigas.	Colocación manual.	Secciones medianamente reforzadas, sin vibración.
Humedad	100-150	Elementos estructurales esbeltos.	Bombeo.	Secciones bastantes reforzadas, sin vibración.
Muy húmeda	150 o más	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos	Tubo-embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas, sin vibración (normalmente no adecuados para vibrarse)

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-7 Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaño máximo en pulgadas (mm)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzos	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 – 15	1/2"(12) - 3/4"(19)	3/4"(19)	3/4"(19) - 1"(25)	3/4"(19) - 1 3/4"(38)
19 -29	3/4"(19) - 1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38)	1 1/2"(38) - 3"(76)
30 – 74	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76)
75 o más	1 1/2"(38) - 3"(76)	6"(152)	1 1/2"(38) - 3"(76)	3"(76) - 6"(152)

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-8 Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido.

Tamaño máximo nominal del agregado.		Contenido de aire en porcentaje (por volumen).			
mm	Pulg.	Naturalmente atrapado.	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9,51	3/8"	3,00	4,50	6,00	7,50
12,70	1/2"	2,50	4,00	5,50	7,00
19,05	3/4"	2,00	3,50	5,00	6,00
25,40	1"	1,50	3,00	4,50	6,00
38,10	1 1/2"	1,00	2,50	4,50	5,50
50,80	2"	0,50	2,00	4,00	5,00
76,10	3"	0,30	1,50	3,50	4,50
152,40	6"	0,20	1,00	3,00	4,00

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-9 Requerimiento aproximado de agua para diferentes asentamientos.

Asentamiento		Tamaño máximo de l agregado, en mm (pulg)							
		9,51	12,7	19	25,4	38,1	50,8	64	76,1
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	Pulg.	Agua de mezclado en kg/cm <sup>2</sup> de hormigón.							
0	0	223	210	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	152	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-10 Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes.

Asentamiento		Tamaño máximo de l agregado, en mm (pulg)							
		9,51	12,7	19	25,4	38,1	50,8	64	76,1
		3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"
mm	Pulg.	Agua de mezclado en kg/cm <sup>2</sup> de hormigón.							
0	0	198	176	166	152	143	132	130	122
25	1	206	183	174	158	149	138	136	128
50	2	211	189	179	164	155	144	142	134
75	3	216	193	183	169	159	149	146	138
100	4	219	196	186	172	163	152	150	141
125	5	222	200	190	176	167	156	153	144
150	6	226	205	194	180	171	161	157	148
175	7	230	210	199	185	177	166	162	153
200	8	235	215	204	190	182	177	169	158

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-11 Resistencia de diseño.

Resistencia específica fck en (Mpa)	Resistencia de diseño de la mezcla fmc en (Mpa)
Menos de 21 Mpa	fck + 7,00 Mpa
De 21 a 35 Mpa	fck + 8,50 Mpa
Más de 35 Mpa	fck + 10,00 Mpa

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-12 Correspondencia entre la resistencia a la compresión y la relación A/C.

Resistencia a la compresión (Mpa)	Relación agua - cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
14,00	-	0,72	0,65
17,50	-	0,65	0,58
21,00	0,70	0,58	0,53
24,50	0,64	0,53	0,49
28,00	0,59	0,48	0,45
31,50	0,54	0,44	0,42
35,00	0,49	0,4	0,38

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

Tabla N°2-13 Volumen de agregado grueso.

Tamaño máximo		Módulo de finura de la arena			
mm.	pulg.	2,40	2,60	2,80	3,00
9,51	3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,70	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,05	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,40	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
38,10	1 1/2"	0,75	0,70	0,71	0,69
50,80	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
76,10	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
152,40	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: (Sánchez De Gúzman, 2001).

## 2.7. Ensayos a realizar

Tabla N°2-14 Caracterización de los materiales

Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136)
Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29)
Método para determinar la densidad real y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127)
Método para determinar la densidad real y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128)
Peso específico del cemento (ASTM C 188)
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131)
Elaboración y curado en el laboratorio de muestras de hormigón para ensayos de compresión y flexión (ASTM 192)
Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat (ASTM C 191)

Fuente: Elaboración propia.

## 2.8. Marco referencial

El proyecto de grado referencial fue de la Universidad San Carlos de Guatemala con el título de "AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE Y MODIFICADOR DE RESISTENCIA PARA MEZCLAS DE CONCRETO" por el entonces estudiante Julio Cesar Álvarez Guillen, donde se pudo determinar que el azúcar un efecto beneficioso en la resistencia del concreto y el tiempo de fraguado, se realizó los ensayos a compresión, carbonatación y tiempo de fraguado.

Para realizar la investigación usaron dos tipos de azúcar (blanca y morena) donde a cada ensayo de hormigón fresco, tiempo de fraguado, resistencia a compresión y carbonatación se le adiciono de 0,03% a 0,15% de azúcar tanto blanca como morena, donde todos sus ensayos se realizaron con la normativa de la ASTM y Coguanor, donde los resultados obtenidos nos indican que el porcentaje óptimo de azúcar es de 0,03 % como aditivo, donde nos da un mejor desempeño por la resistencia a la compresión de  $352 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días, la resistencia patrón fue de  $310 \text{ kg/cm}^2$  y un aumento de 3 horas al fraguado final de la mezcla.

## **2.9. Análisis de aporte teórico**

El fraguado inicial ocurre de dos a cuatro horas después del hormigonado debido a esto nos limita la trabajabilidad, el tiempo de manejo que el hormigón fresco ya no se puede mezclar adecuadamente, el trabajo de investigación realizado en Universidad San Carlos de Guatemala nos indica que con un porcentaje óptimo de adición del azúcar aparte de mejorar la resistencia a los 28 días, pero en los primeros 7 días demuestra una resistencia menor a la resistencia patrón, también aumenta el tiempo del fraguado del mismo, dándonos así una mejor trabajabilidad a la hora de hormigonar.

Considerar que un porcentaje alto de azúcar puede poner en riesgo la calidad del concreto, debido a una disminución de la resistencia a una temprana edad, donde la cantidad máxima de azúcar dependerá del fraguado final.

El uso de azúcar en cantidades controladas, un porcentaje optimo al implementar como aditivo en la mezcla del hormigón es beneficioso para su resistencia y así también demuestra que en los ensayos del tiempo de fraguado donde el azúcar alcanza un equilibrio químico con los componentes del cemento, la resistencia a compresión se ve aumentada por la mayor hidratación a un nivel químico.

Es así que la cantidad optima recomendad del azúcar en reemplazo del hormigón sea de 0,03% ya que esta da un mejor desempeño por su aumento a la resistencia y un aumento de 3 horas aproximadamente en el fraguado final del concreto.

**CAPÍTULO III**

**CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA  
INFORMACIÓN**

## CAPÍTULO III

### CRITERIOS DE RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

#### 3.1. Criterios del diseño metodológico

##### 3.1.1. Unidad de estudio o muestra

Los elementos que serán medidos en la presente investigación son:

- Módulo de ruptura a flexión (kg/cm<sup>2</sup>)
- Módulo de ruptura a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)
- Tiempo de fraguado (hrs, min)

##### 3.1.2. Población

Conjunto de ensayos de tecnología del hormigón para realizar el componente del hormigón para pavimentos rígidos.

Los ensayos correspondientes son:

Tabla N°3-1 Ensayos a realizarse en la investigación

Ensayos	Ni
Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136).	5
Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29).	5
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127).	5
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128).	5
Peso específico del cemento (ASTM C 188).	5
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131).	1
Azúcar 0,03%.	6
Azúcar 0,08%.	6
Azúcar 0,15%.	6
Resistencia a la flexión % patrón.	25
Resistencia a la flexión % óptimo.	25
Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat (ASTM C 191).	3
Total, de ensayos	97

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.3. Muestra

Conjunto de ensayos que serán realizados en componentes del hormigón para pavimento rígido.

Tabla N°3-2 Número total de muestras

Ensayos	Ni
Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136).	3
Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29).	3
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127).	3
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128).	3
Peso específico del cemento (ASTM C 188).	3
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131).	1
Azúcar 0,03%.	4
Azúcar 0,08%.	4
Azúcar 0,15%.	4
Resistencia ala flexión % patrón.	15
Resistencia ala flexión % óptimo.	15
Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat (ASTM C 191).	3
Tota de ensayos	61

Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.4. Tamaño de muestra

#### 3.1.4.1. Muestreo estratificado

El muestreo estratificado es una técnica o procedimiento en la que se divide la población bajo estudio en distintos subgrupos o estratos. Una característica esencial de la estratificación es que cada elemento debe pertenecer a un único estrato. (Manterola, 2017)

El objetivo es maximizar la cantidad de información para un coste dado.

La técnica de muestreo es probabilística (aleatorio).

El procedimiento utilizado para llevar a cabo el muestreo estratificado tiene varias etapas.

A continuación, describimos las más relevantes:

- Definir la población (total) objetivo.
- Elegir las variables de estratificación y cuántos estratos existirán.
- Identifica cada elemento de la población y asigna un identificador único. Cada elemento de la población debe pertenecer a un único estrato.
- Determina el tamaño de cada estrato (se explica en la siguiente sección)
- Se seleccionan al azar los elementos de cada estrato hasta obtener el número específico definido para cada estrato.

Para la aplicación previa de la técnica de muestreo determinamos la varianza que va en función del tiempo se optó por 0.1.

Tabla N°3-3 Variables de la varianza en función al tiempo

$\sigma^2 = 0,25$ ; Investigaciones que requieran mayor cantidad de tiempo y muestra.
$\sigma^2 = 0,15$ ; Investigaciones que requiera en promedio 6 meses de tiempo.
$\sigma^2 = 0,10$ ; Investigaciones que requieran entre 4-6 meses de tiempo.

Fuente: libro de proyecto grado CIV-501. autor Msc. Ing. Luis Yurquina.

El nivel de confianza usado es el 95 % donde representa el porcentaje de intervalos que incluirían el parámetro de población si usted tomara muestras de la misma población una y otra vez. Por lo general, un nivel de confianza de 95% funciona adecuadamente.

Tabla N°3-4 Nivel de confianza

Confianza %	75	80	85	90	95	96	97	98	99
Z	1,15	1,28	1,44	1,64	1,96	2,05	2,17	2,33	2,58

Fuente: libro de proyecto grado CIV-501. autor Msc. Ing. Luis Yurquina.

### 3.1.4.2. Cálculo de muestra estratificada

$$n = \frac{\sum_{i=1}^l Ni * \sigma^2}{Ni * \left(\frac{e}{Z}\right)^2 + \frac{\sum_{i=1}^l Ni * \sigma^2}{Ni}}$$

Donde:

$N_i$  = Tamaño de la muestra

$n$  = Número total de muestras

$\sigma^2$  = Varianza

$e$  = Error de tolerancia (generalmente 5 %)

$z$  = Nivel de significancia 1,96 (95%)

$f_i$  = Tamaño de la muestra/número total de muestras

Tabla N°3-5 Numero de ensayos a realizar en laboratorio

Ensayos	$N_i$	$\sigma^2$	$N_i * \sigma^2$	$f_i$	$n_i$
Método para tamizar y determinar la granulometría (ASTM C136).	5,00	0,10	0,50	0,05	3,00
Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29).	5,00	0,10	0,50	0,05	3,00
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127).	5,00	0,10	0,50	0,05	3,00
Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128).	5,00	0,10	0,50	0,05	3,00
Peso específico del cemento (ASTM C 188).	5,00	0,10	0,50	0,05	3,00
Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131).	1,00	0,10	0,10	0,01	1,00
Azúcar 0,03 %.	6,00	0,10	0,60	0,06	4,00
Azúcar 0,08 %.	6,00	0,10	0,60	0,06	4,00
Azúcar 0,15 %.	6,00	0,10	0,60	0,06	4,00
Resistencia ala flexión % patrón.	25,00	0,10	2,50	0,25	15,00
Resistencia ala flexión % óptimo.	25,00	0,10	2,50	0,25	15,00
Tiempo de fraguado del cemento hidráulico método del aparato de Vicat (ASTM C 191).	3,00	0,01	0,30	0,03	3,00
Total de ensayos.	97,00		9,70		61,00

Fuente: Elaboración propia.

$$n = \frac{9,70}{97,00 * \left(\frac{0,05}{1,96}\right)^2 + \frac{9,70}{97}}$$

$$n = 59,49 \text{ ensayos}$$

### **3.1.5. Localización de los materiales**

#### **3.1.5.1. Localización del agregado grueso**

En Tarija tenemos varios bancos de material de distinta calidad, para el estudio de la investigación se realizó los ensayos del agregado grueso, obtenidos de la chancadora GARZÓN, la chancadora Garzón se ubica al norte de la ciudad en el barrio San Mateo con las coordenadas siguientes: Latitud: 21°28' 18,06" S, Longitud: 64° 45' 1,67" O.

Figura N°3-1 Planta chancadora Garzón



Fuente: Elaboración propia.

#### **3.1.5.2. Localización del agregado fino**

Para el estudio de la investigación se realizó los ensayos del agregado fino, obtenidos de la chancadora Vargas, la chancadora Vargas se ubica al Sur de la ciudad en la localidad de Santa Ana con las coordenadas siguientes. Latitud: 21°37'3,32" S, Longitud: 64°38'38,56"O.

Figura N°3-2 Planta chancadora Vargas



Fuente: Elaboración propia.

### **3.2. Control y validación interna**

#### **3.2.1. Identificación de los elementos**

**Variables extrañas:** Balanza sensible al 0,001 kg, matraz, horno.

#### **3.2.2. Descripción de las acciones**

Para poder disminuir los errores a la hora de pesar en la balanza se realiza de 3 a 5 ensayos de cada uno de los ensayos para caracterizar el material.

Uno de los errores más frecuentes para realizar peso específico de los agregados finos es la medición con el menisco de igual manera se realiza de 3 a 5 ensayos para así disminuir los errores a la hora de medir.

El horno nos indica en la norma que debe estar a una temperatura constante de  $110 \pm 5^\circ$  C, el horno empleado en el laboratorio de hormigón de la UAJMS no puede estar a una temperatura constante debido a que muchos estudiantes logran abrir y cerrar, lo recomendable es que se encuentre cerrado todo el tiempo.

### 3.2.3. Descripción de los equipos y herramientas

- **Tamices:** Son tejidos, de alambre y abertura cuadrada, y sus tamaños nominales de abertura pertenecen a las series que se indican en la Tabla N°3-6, esta serie de tamaños numerales está normada por IBNORCA.

Tabla N°3-6 Serie de tamices escogidos

Tamaños nominales de abertura	
Mm	ASTM
76,1	3"
50,8	2"
38,1	1 1/2"
25,4	1"
19	3/4"
12,7	1/2"
9,5	3/8"
6,3	1/4"
4,75	N°4
25	N°8
2	N°10
1,18	N°16
0,6	N°30
0,3	N°50
0,15	N°100
0,075	N°200

Fuente: (Ing. Perez Droguet).

Horno a temperatura constante ( $110 \pm 5^\circ$ )

Balanza sensible al 0,0001kg

Figura N°3-3 Tamices



Fuente: Elaboración propia.

- **Varilla Pisón:** este equipo se lo utiliza para apisonar la capa inferior en todo su espesor evitando dañar el fondo de la medida y así también apisonar las capas superiores haciendo penetrar el pisón en la capa inmediatamente inferior en el ensayo de Peso unitario de agregado grueso y fino (ASTM C 29).

Figura N°3-4 Varilla pisón



Fuente: Elaboración propia.

- **Canastillo porta muestra:** se lo utiliza para colocar la muestra del agregado grueso y sumergirlo en el agua por un periodo de tres minutos para determinar la masa sumergida, aproximando a 1 g. y registrar su valor en el ensayo de método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos (ASTM C 127).

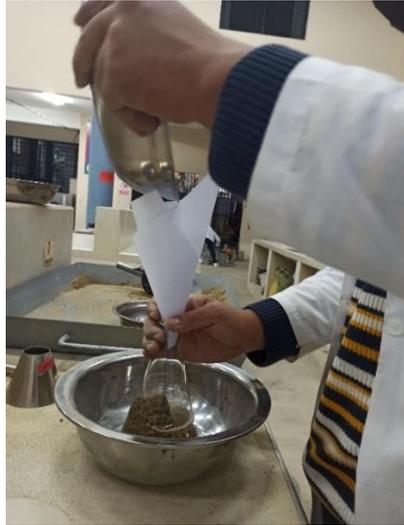
Figura N°3-5 Canastillo porta muestra



Fuente: Elaboración propia.

- **Matraz:** Se lo utiliza para colocar la muestra y cubrirla con agua a una temperatura de  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  ( $68 \pm 5^\circ \text{F}$ ), hasta alcanzar aproximadamente  $2/3$  del volumen del matraz en el ensayo de Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos (ASTM C 128).

Figura N°3-6 Matraz



Fuente: Elaboración propia.

- **Máquina del desgaste de los ángeles:** consiste en un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones: 70 cm (28") y 50 cm (20") de largo. El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplado a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto en el ensayo de Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles (ASTM C-131).

Figura N°3-7 Máquina del desgaste de los ángeles



Fuente: Elaboración propia.

- **Mezcladora:** Es utilizada para mezclar los agregados gruesos, agregado fino, cemento y agua para poder conseguir la mezcla requerida de hormigón.

Figura N°3-8 Mezcladora



Fuente: Elaboración propia.

- **Moldes cilíndricos y vigas:** Utilizados para colocar la mezcla de hormigón y así poder realizar su posterior curado y rompimiento.

Figura N°3-9 Moldes



Fuente: Elaboración propia.

- **Molde forma de tronco cono recto:** Para poder realizar el ensayo correspondiente del cono de Abrams.

Figura N°3-10 Cono de Abrams



Fuente: Elaboración propia.

- **Varilla pisón:** Es utilizado para apisonar cada capa con 25 golpes de la varilla pisón, distribuidos uniformemente en toda la sección.

Figura N°3-11 Varilla pisón



Fuente: Elaboración propia.

### **3.3. Caracterización de materiales**

#### **3.3.1. Criterios de extracción**

El agrado grueso se lo trajo del barrio de San Mateo Chancadora Garzón, el agregado fino de lo trajo de la localidad de Santa Ana Chancadora Vargas para realizar la caracterización del proyecto de investigación que lleva el nombre de **"ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DEL AZÚCAR EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO"**, se realizó la el muestreo del material la fecha del 22 de marzo del 2022 por el universitario Ortega Cortez Luis Eduardo.

##### **3.3.1.1. Determinación precisa del lugar**

Los agregados gruesos utilizados en la investigación proceden del barrio de San Mateo que se encuentra a una distancia de 14,4 km aproximada mente del centro de la ciudad de Tarija sus coordenadas son las siguientes. Latitud: 21°28'18,06" S, Longitud: 64° 45' 1,67" O.

Los agregados finos utilizados en la investigación proceden de la localidad de Santa Ana que se encuentra a una distancia de 8,50 km aproximadamente del centro de la ciudad de Tarija sus coordenadas son las siguientes. Latitud: 21°37'3,32" S, Longitud: 64°38'38,56"O.

### 3.4. Determinación de los Materiales para 1m<sup>3</sup> de Hormigón

Para la presente dosificación se tomó los siguientes datos obtenidos en los distintos ensayos de laboratorio:

Tabla N°3-7 Resultados de los ensayos de laboratorio.

Ensayo	Unidad	Valor
Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	2,63
Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kN/m <sup>3</sup>	15,06
Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	kN/m <sup>3</sup>	24,99
Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	kN/m <sup>3</sup>	26,49
Absorción de la arena (Aar)	%	1,45
Absorción de la Grava (Agr)	%	1,51
Humedad de la Arena (Har)	%	1,03
Humedad de la Grava (Hgr)	%	0,50
Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	3/4
Tamaño Máximo (TM)	pulg	1
Peso específico del cemento	kN/m <sup>3</sup>	30,62

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Determinación de la resistencia a compresión y flexión (Fmc)

Se tomó la resistencia característica de  $F_{ck} = 31$  Mpa en el SI, para así poder determinar una resistencia a la flexión según la normativa ACI 363 de 3,96 Mpa como mínimo.

A la resistencia característica se amentará la resistencia debido a que no hay datos disponibles para establecer la desviación estándar, según la tabla N°2-13 se adiciona 8,5 Mpa, tendremos como resultado:

$$F_{mc} = 31 + 8,50 = 39,50 \text{ Mpa}$$

#### 3.5.1. Relación agua/cemento (a/c)

Para poder determinar el valor de la relación agua/cemento partimos del dato de  $F_{mc} = 39,5$  Mpa para así poder analizar los datos de la tabla N°2 – 14 tenemos como valor:

Para una resistencia a la compresión de 39,50 Mpa se tiene una relación agua/cemento según la línea inferior de 0,38

### 3.5.2. Requerimiento de agua (A)

Para poder determinar el requerimiento del agua se analizaron los datos de la tabla N°2-10, que depende del tamaño máximo del agregado grueso que tenemos de 1” y un asentamiento de 2”.

Con los datos correspondiente se obtiene el requerimiento de agua aproximado de:

$$\text{Requerimiento de agua (A)} = 183,00 \text{ Kg/m}^3$$

### 3.5.3. Cálculo del peso del agregado grueso (Gr)

Se obtiene de la tabla N°2 – 15, teniendo los valores del módulo de finura de la arena (M.F) y el tamaño máximo nominal (T.M.A.) se obtiene el valor del Vol. Agr. Grueso/ Vol. Unitario del concreto ( $V_r/v$ ):

2,60	0,64
2,63	$V_r/v$
2,80	0,62

Realizando el cálculo de interpolación tenemos como resultado:

$$V_r/v = 0,637$$

Cálculo del peso del agregado grueso:

$$Gr = V_r/v * P.U.C. \text{ de la grava}$$

$$Gr = 0,637 * 15,06 * 100 = 959,32 \text{ Kg/m}^3$$

### 3.5.4. Cálculo de la cantidad de cemento (Cc)

Cantidad de cemento calculado:

$$Cc = \frac{183 \text{ kg/m}^3}{0,38} = 481,58 \text{ kg/m}^3$$

### 3.5.5. Cálculo del peso del agregado fino (Ar)

Ya determinadas todas las cantidades necesarias, se procede a calcular la cantidad del agregado fino mediante la siguiente ecuación:

$$Ar = (1m^3 - (Vc + Vgr + Va + \%Aire)) * \gamma f$$

$$Ar = \left( 1m^3 - \left( \frac{C}{\gamma C} + \frac{Gr}{\gamma Gr} + \frac{Ag}{\gamma Ag} + \frac{\%Aire}{100} \right) \right) * \gamma Ar$$

Donde:

Ar= Arena (Kg/m<sup>3</sup>).

C= Masa del cemento (Kg).

$\gamma$  C= Peso específico del cemento (Kg/m<sup>3</sup>).

Gr.= Masa de la grava (Kg).

$\gamma$  Gr= Peso específico de la grava (Kg/m<sup>3</sup>).

Ag= Masa del agua (Kg).

$\gamma$  Ag: Peso específico del agua (asumimos 1000 Kg/m<sup>3</sup>).

%Aire= Aire atrapado (%).

$\gamma$  Ar= Peso específico de la arena (Kg/m<sup>3</sup>).

Reemplazamos los resultados obtenidos en los ensayos realizados tenemos:

$$Ar = \left( 1m^3 - \left( \frac{481,58}{3062} + \frac{959,32}{2649} + \frac{183}{1000} + \frac{2}{100} \right) \right) * 2499$$

$$Ar = 693,67kg/m^3$$

Tabla N°3-8 Cantidades para 1 m<sup>3</sup> de hormigón, para el diseño de mezclas patrón.

Ingrediente	Peso seco kg/m <sup>3</sup>	Volumen absoluto kg/m <sup>3</sup>
Cemento	481,58	0,16
Agua	183,00	183,00
Grava	959,32	0,36
Arena	693,67	0,28
Total	2317,57	183,80

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3-9 Proporciones de mezcla seca

Proporciones de mezcla seca		
Cemento	Arena	Grava
1,00	1,44	1,99

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°3-10 Proporciones de mezcla húmeda

Proporciones de mezcla húmeda		
Cemento	Arena	Grava
1,00	1,46	2,00

Fuente: Elaboración propia.

**CAPÍTULO IV**  
**PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

### PROCESAMIENTO Y VALIDACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Análisis de resultados obtenidos en laboratorio

Se elaboraron 6 probetas guías para poder determinar la resistencia a compresión estimada como se indicó en el capítulo 3.

La siguiente tabla nos muestra la edad de ruptura de las probetas, peso, la carga ejercida sobre cada una de ellas en KN y Kg, su resistencia en Mpa y kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N° 4-1 Resistencia a la compresión 31Mpa

Prob. N°	Identificación	Fecha de vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Peso (kg)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Resistencia	
								(Mpa)	(Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Probeta 1	10/5/2022	26/5/2022	16	12,85	655,10	66820,20	34,72	354,05
2	Probeta 2	10/5/2022	26/5/2022	16	13,02	614,80	62709,60	32,58	332,22
3	Probeta 3	10/5/2022	26/5/2022	16	12,99	679,10	69268,20	35,99	367,00
4	Probeta 4	10/5/2022	26/5/2022	16	13,06	658,60	67177,20	34,90	355,88
5	Probeta 5	10/5/2022	7/6/2022	28	12,97	685,40	69910,80	36,32	370,36
6	Probeta 6	10/5/2022	7/6/2022	28	13,08	689,20	70298,40	36,53	372,50

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2. Calculo para la resistencia a flexión

Según (Sánchez De Gúzman, 2001):

$$Mr = K \sqrt{f_c}$$

Donde:

MR= Módulo de rotura del concreto en kg/cm<sup>2</sup>

f<sub>c</sub>= Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm<sup>2</sup>

K= ACI 363 recomienda el valor de 2,0 a 2,5

Según la norma ACI 363, nos da un coeficiente con un rango de 2,0 a 2,5 , para el proyecto de grado utilizamos un promedio para estimar la resistencia a flexión mediante la comprobación de probetas, al realizar el cálculo demostraremos los resultados que cumplen los rangos de la normativa presentadas en la tabla N°4-2.

Tabla N° 4-2 Resistencia a flexión calculo ACI 363

Resistencia a flexión (Kg/cm <sup>2</sup> )
42,34
41,01
43,10
42,45
43,30

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Análisis de vigas ensayadas a flexo tracción

La siguiente tabla nos muestra la edad de ruptura de las vigas patrón y con la adición de azúcar de (0,03 0,08 y 0,015) %, peso, la carga ejercida sobre cada una de ellas en KN y Kg, su resistencia en Mpa y kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla N°4-3 Rotura de vigas ensayadas a flexo tracción.

Rotura de vigas patrón									
Prob. N°	Identificación	Fecha de curado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (kg)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct) (Mpa)	Tracción (fct) (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Viga 1	26/7/2022	9/8/2022	14	26,56	29,40	2998,80	3,92	39,97
2	Viga 2	26/7/2022	9/8/2022	14	27,47	29,00	2958,00	3,87	39,43
3	Viga 3	26/7/2022	9/8/2022	14	27,09	29,60	3019,20	3,95	40,24
4	Viga 4	26/7/2022	9/8/2022	14	27,01	29,50	3009,00	3,93	40,11
5	Viga 5	11/8/2022	25/8/2022	14	26,89	31,20	3180,36	4,16	42,39
6	Viga 6	11/8/2022	25/8/2022	14	26,63	29,80	3039,60	3,97	40,52
7	Viga 7	11/8/2022	25/8/2022	14	27,05	29,20	2978,40	3,89	39,70
8	Viga 8	11/8/2022	25/8/2022	14	26,95	30,40	3100,80	4,05	41,33
9	Viga 9	11/8/2022	8/9/2022	28	27,06	30,80	3141,60	4,11	41,88
10	Viga 10	11/8/2022	8/9/2022	28	27,30	29,70	3029,40	3,96	40,38
11	Viga 11	11/8/2022	8/9/2022	28	26,84	31,30	3192,60	4,17	42,56
12	Viga 12	9/9/2022	7/10/2022	28	27,86	35,00	3570,00	4,67	47,59
13	Viga 13	9/9/2022	7/10/2022	28	26,93	31,20	3182,40	4,16	42,42
14	Viga 14	9/9/2022	7/10/2022	28	26,45	29,90	3049,80	3,99	40,65
15	Viga 15	9/9/2022	7/10/2022	28	26,94	31,80	3243,60	4,24	43,24
Promedio									41,49

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-4 Rotura de vigas con adición de azúcar de 0,03%.

Rotura de vigas con 0,03% de azúcar									
Prob. N°	Identificación	Fecha de curado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (kg)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct) (Mpa)	Tracción (fct) (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Viga 1	9/9/2022	7/10/2022	28	26,58	3,80	387,60	0,51	5,17
2	Viga 2	9/9/2022	7/10/2022	28	27,02	3,60	367,20	0,48	4,89
3	Viga 3	9/9/2022	7/10/2022	28	27,12	3,90	397,80	0,52	5,30
4	Viga 4	9/9/2022	7/10/2022	28	27,32	3,70	377,40	0,49	5,03
Promedio									5,10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-5 Rotura de vigas con adición de azúcar de 0,08%.

Rotura de vigas con 0,08% de azúcar									
Prob. N°	Identificación	Fecha de curado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (kg)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct) (Mpa)	Tracción (fct) (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Viga 1	15/9/2022	13/10/2022	28	26,34	3,80	387,60	0,49	5,00
2	Viga 2	15/9/2022	13/10/2022	28	26,44	4,30	438,60	0,57	5,85
3	Viga 3	15/9/2022	13/10/2022	28	25,91	4,20	428,40	0,56	5,71
4	Viga 4	15/9/2022	13/10/2022	28	28,12	4,60	469,20	0,58	5,91
Promedio									5,62

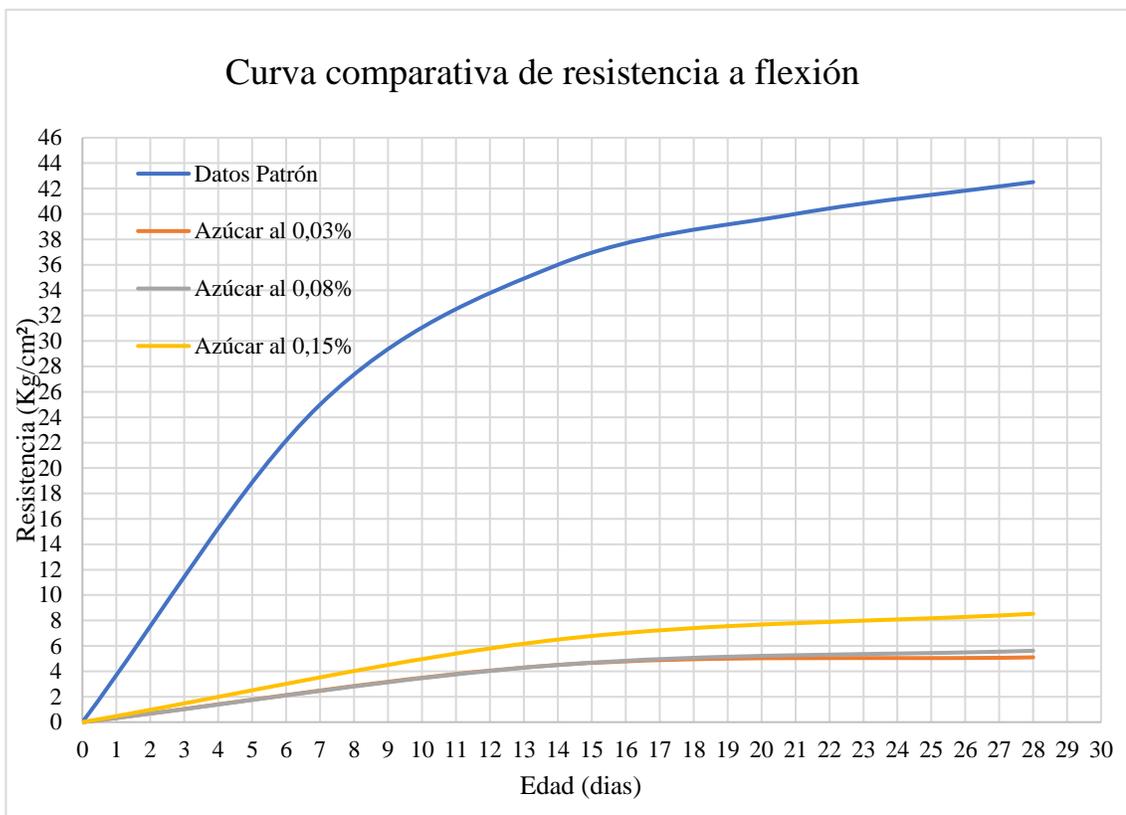
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-6 Rotura de vigas con adición de azúcar de 0,15%.

Rotura de vigas con 0,15% de azúcar									
Prob. N°	Identificación	Fecha de curado	Fecha de rotura	Edad (días)	Peso (kg)	Carga "F" (KN)	Carga "F" (kg)	Flextr (fct) (Mpa)	Tracción (fct) (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	Viga 1	15/9/2022	13/10/2022	28	25,83	6,40	652,80	0,85	8,70
2	Viga 2	15/9/2022	13/10/2022	28	26,95	7,20	734,40	0,96	9,79
3	Viga 3	15/9/2022	13/10/2022	28	25,54	5,60	571,20	0,75	7,61
4	Viga 4	15/9/2022	13/10/2022	28	26,29	5,90	601,80	0,79	8,02
Promedio									8,53

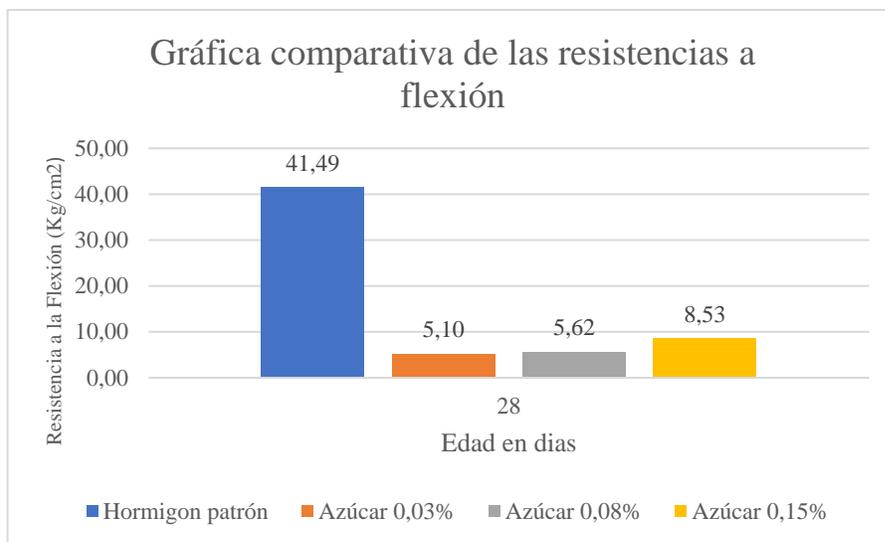
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°4-1 Comparación de las resistencias patrón y con azúcar



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°4-2 Efecto del azúcar en la resistencia a flexión



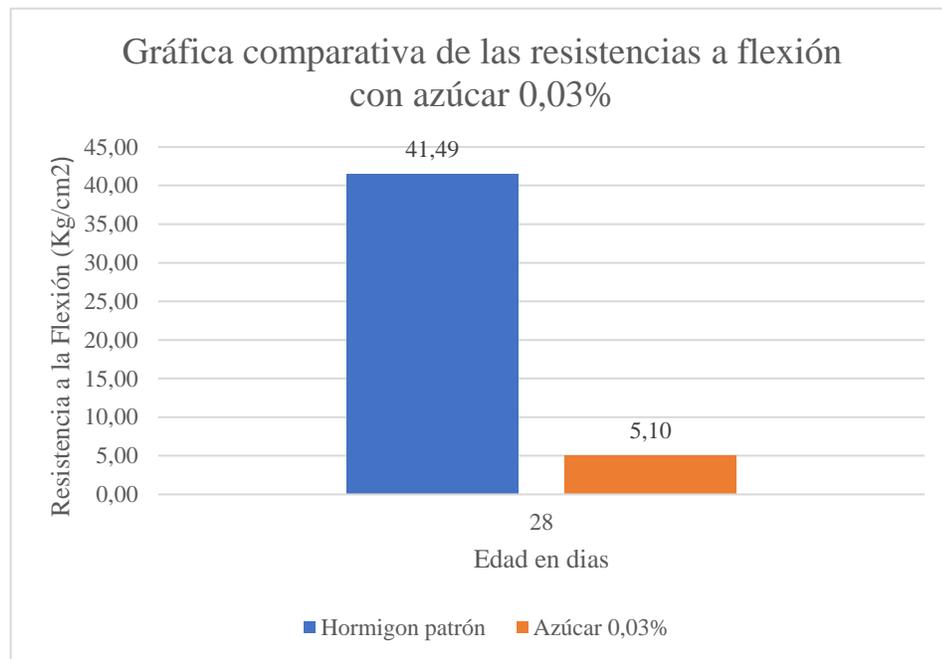
Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el análisis comparativo decimos que la incorporación del azúcar al hormigón como aditivo con los porcentajes de 0,03%, 0,08%, 0,15%, como se observa en la gráfica N°4-2 disminuye su resistencia a flexión de manera considerable, siendo no beneficioso este como aditivo.

#### 4.4. Análisis individual de los resultados

El módulo de rotura de la resistencia patrón promedio a los 28 días es de 41,49 Kg/cm<sup>2</sup> al incorporar el azúcar un 0,03% observamos en la siguiente gráfica como hay una disminución en la resistencia a la flexión de un 87,71% en relación al patrón.

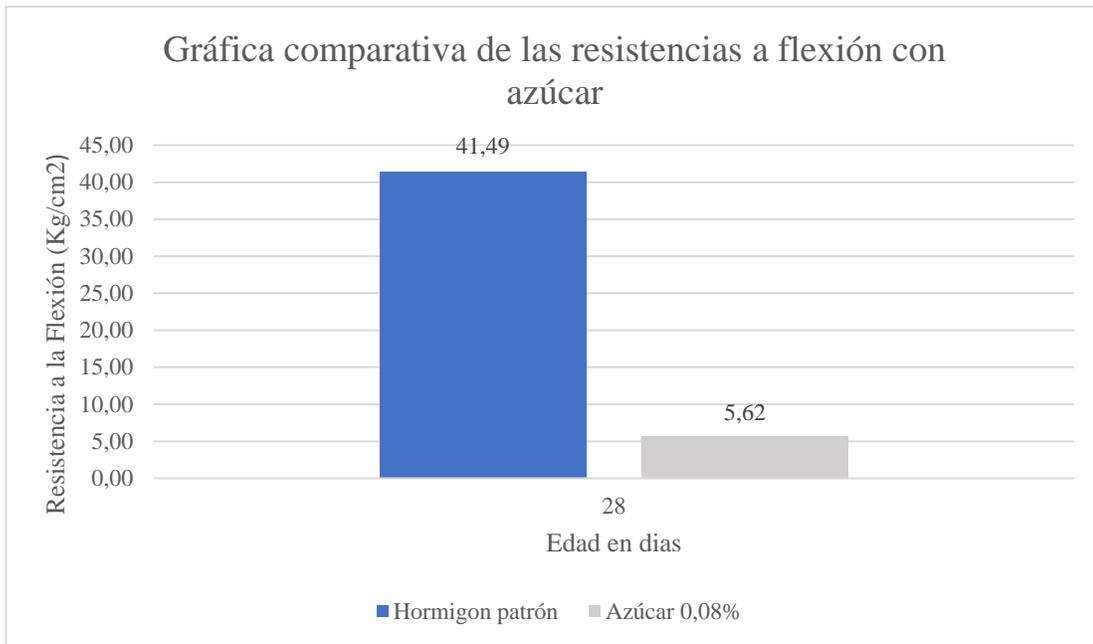
Gráfica N°4-3 Adición de 0,03% de azúcar en el hormigón



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente gráfica podremos observar de como el azúcar al incorporarse al hormigón con un porcentaje del 0,08% disminuyo su resistencia un 86,46% en relación el hormigón patrón

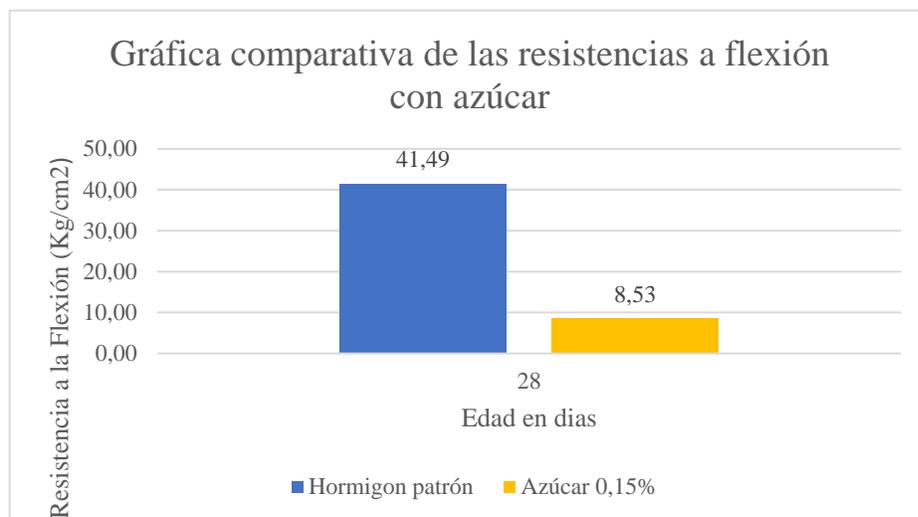
Gráfica N°4-4 Adición de 0,08% de azúcar en el hormigón



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°4-5 observamos que al adicionar un 0,15% de azúcar en el hormigón demostró una pequeña mejora con relación a los anteriores porcentajes, pero aun así no es beneficioso en el hormigón debido a que disminuye su resistencia un 79,45%.

Gráfica N°4-5 Adición de 0,15% de azúcar en el hormigón



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.5. Análisis del tiempo de fraguado con la aguja de Vicat

Para las medidas del tiempo de fraguado del cemento hidráulico se utilizó el aparato Vicat en el laboratorio de hormigones, realizando así tres ensayos de cemento son azúcar y tres ensayos con la incorporación de 0,15% de azúcar en relación a su peso.

Se realizó la medida del tiempo de fraguado del cemento hidráulico con la incorporación de 0,15% de azúcar debido a que este porcentaje añadido como aditivo en el hormigón nos brinda una pequeña mejora en el resultado a comparación de los otros porcentajes.

Las siguientes tablas nos muestran los números de golpes, penetración y el tiempo de fraguado.

Tabla N°4-7 Medida del tiempo de fraguado primer ensayo sin azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	10	120
8	10	135
9	10	150
10	10	165
11	10	180
12	10	195
13	10	210
14	10	225
15	10	240
16	10	255
17	10	270
18	10	285
19	10	300
20	10	315
21	10	330
22	11	345
23	13	360
24	17	375
25	19	390
26	23	405
27	27	420
Horas totales de ensayo		7

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-8 Medida del tiempo de fraguado segundo ensayo sin azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	10	120
8	10	135
9	10	150
10	10	165
11	10	180
12	10	195
13	10	210
14	10	225
15	10	240
16	10	255
17	10	270
18	10	285
19	10	300
20	10	315
21	10	330
22	10	345
23	12	360
24	15	375
25	19	390
26	20	405
27	25	420
Horas totales de ensayo		7

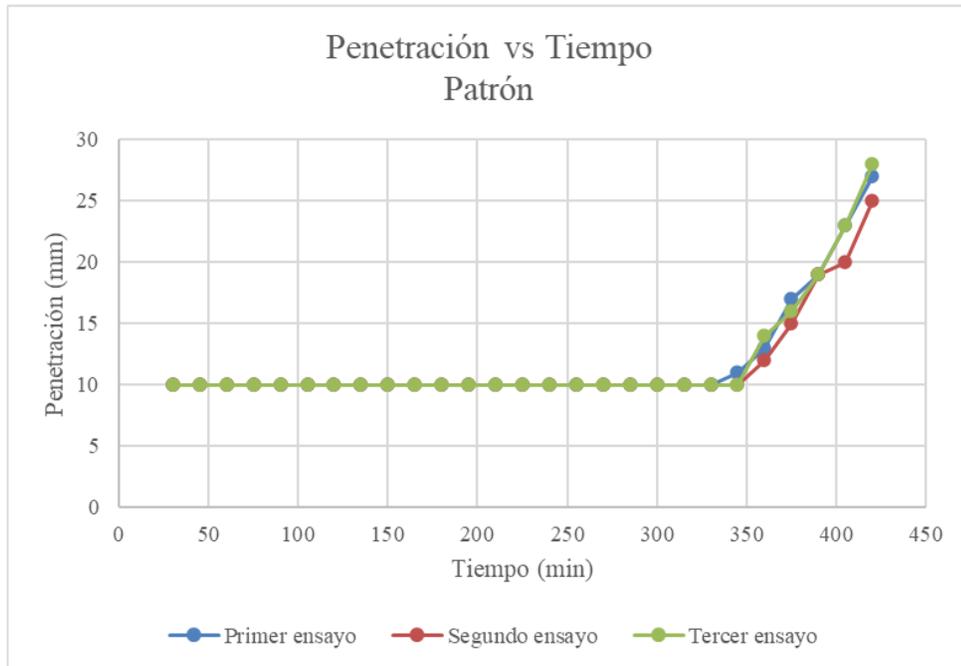
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-9 Medida del tiempo de fraguado tercer ensayo sin azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	10	120
8	10	135
9	10	150
10	10	165
11	10	180
12	10	195
13	10	210
14	10	225
15	10	240
16	10	255
17	10	270
18	10	285
19	10	300
20	10	315
21	10	330
22	10	345
23	14	360
24	16	375
25	19	390
26	23	405
27	28	420
Horas totales de ensayo		7

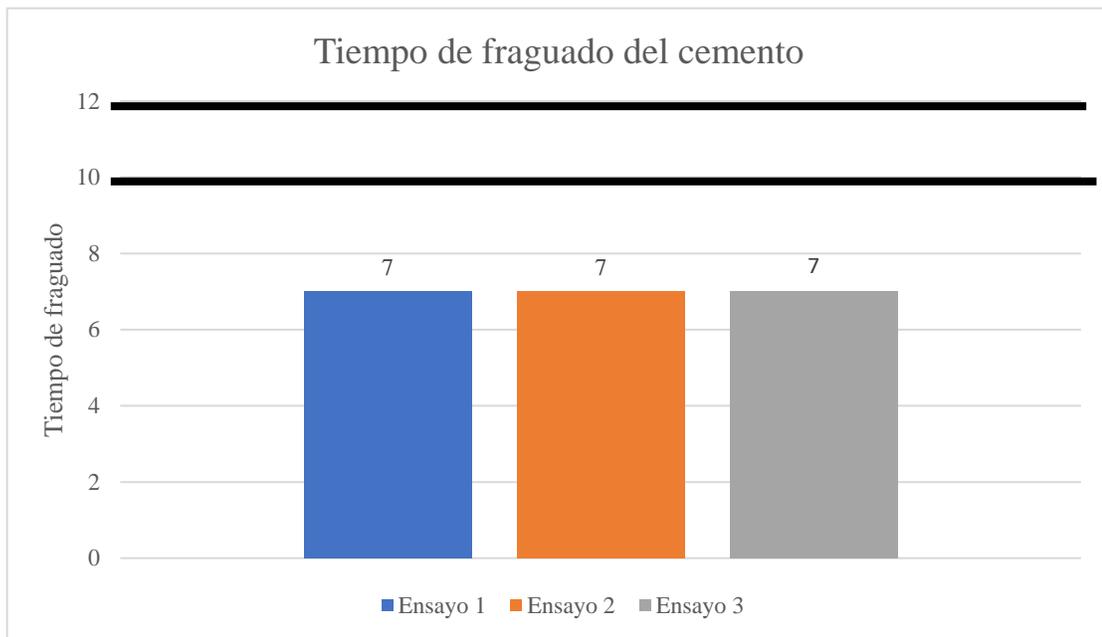
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°4-6 Medida del tiempo de fraguado del cemento hidráulico



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°4-7 Tiempo de fraguado del cemento Fancesa IP-40



Fuente: Elaboración propia.

En las tablas N°4(7,8,9) realizando el ensayo con la aguja de Vicat, se obtuvo que el tiempo de fraguado del cemento Fancesa IP40 es de 7 horas.

Cabe recalcar que en la ASTM C191 nos indica que al obtener una penetración de 25 mm se obtiene el tiempo de fraguado del cemento, de tal manera que el ensayo realizado en el laboratorio de hormigones se lo hizo utilizando la normativa ASTM C191 como podemos observar en la gráfica N°4-3.

En la gráfica N°4-5 observamos mediante barras el tiempo de fraguado obtenido y así también lo que nos indica el IBNORCA con líneas superiores.

Tabla N°4-10 Medida del tiempo de fraguado primer ensayo con 0,15% de azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	15	120
8	19	135
9	23	150
10	26	165
Horas totales de ensayo		2,75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-11 Medida del tiempo de fraguado segundo ensayo con 0,15% de azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	10	120
8	20	135
9	22	150
10	24	165
11	27	180
Horas totales de ensayo		3

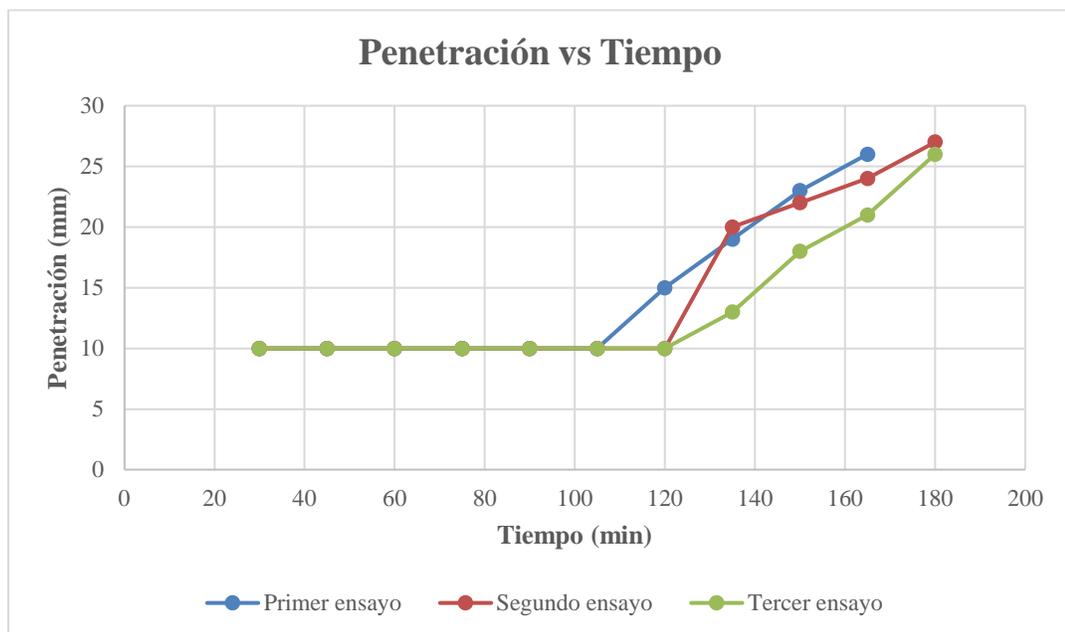
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-12 Medida del tiempo de fraguado tercer ensayo con 0,15% de azúcar

Núm. De golpes	Penetración (mm)	Tiempo (min)
1	10	30
2	10	45
3	10	60
4	10	75
5	10	90
6	10	105
7	10	120
8	13	135
9	18	150
10	21	165
11	26	180
Horas totales de ensayo		3

Fuente: Elaboración propia.

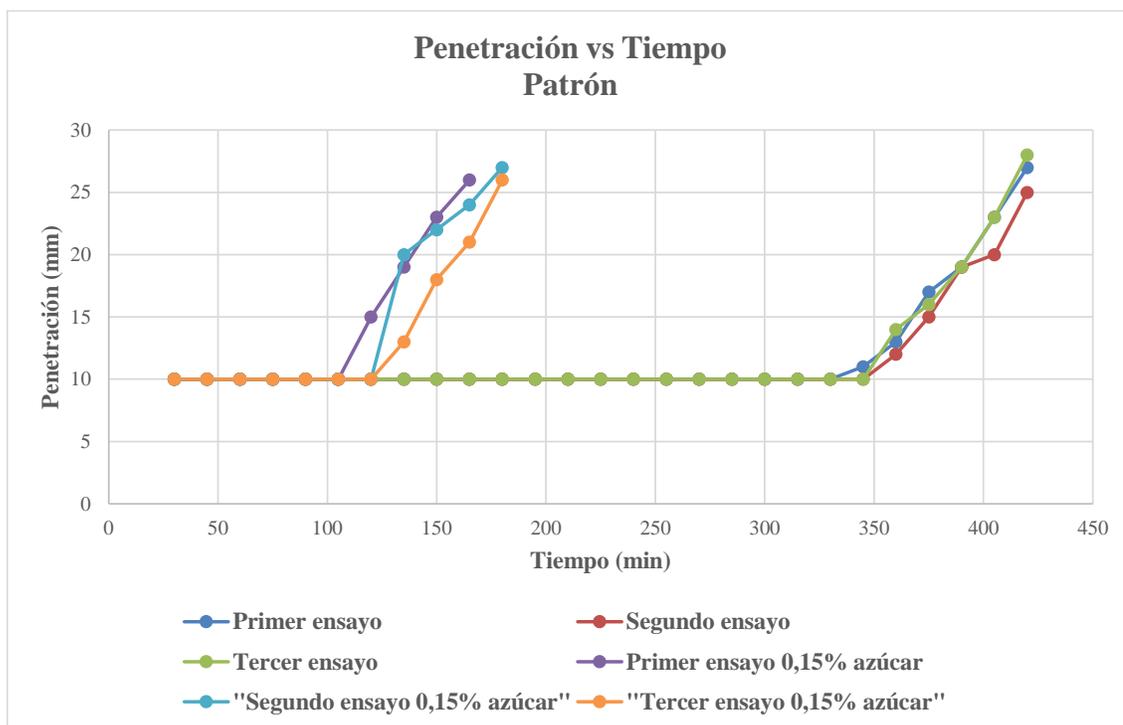
Gráfica N°4-8 Medida del tiempo de fraguado con adición del 0,15% de azúcar



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°4-5 observamos la penetración vs tiempo de fraguado del cemento hidráulico obteniendo un promedio de 175 minutos.

Gráfica N°4-9 Comparación entre el tiempo de fraguado patrón y con azúcar.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla N°4-7 hasta la tabla N°4-12, al adicionar el porcentaje más alto de azúcar como aditivo al cemento hidráulico que es de 0,15% acelera el tiempo de fraguado.

Cumpliendo la norma ASTM C-191 podemos observar que el tiempo de fraguado del cemento hidráulico al adicionar el porcentaje de 0,15% de azúcar es de 2,92 horas.

El adicionar azúcar con porcentaje de 0,15% acelera el tiempo de fraguado del cemento hidráulico de 4,08 horas.

#### 4.6. Análisis del asentamiento mediante el cono de Abrams

En los ensayos realizados en laboratorio se pudo observar como el azúcar influye en la trabajabilidad del hormigón con los distintos porcentajes como se mostrará en las siguientes tablas:

Tabla N°4-13 Medida del asentamiento del hormigón patrón

Prob. N°	Fecha de vaciado	Asentamiento cm
1	26/7/2022	5,60
2	26/7/2022	5,60
3	26/7/2022	5,20
4	26/7/2022	5,20
5	11/8/2022	5,30
6	11/8/2022	5,30
7	11/8/2022	4,70
8	11/8/2022	4,70
9	11/8/2022	4,50
10	11/8/2022	4,50
11	11/8/2022	5,10
12	9/9/2022	5,90
13	9/9/2022	5,90
14	9/9/2022	4,80
15	9/9/2022	4,80
Promedio		5,14

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°4-13 nos muestra el asentamiento de cada mezcla de hormigón con un promedio de 5,14 cm, en el cálculo de dosificación de trabajo con un asentamiento de 2”, si bien los ensayos realizados de asentamiento supera el propuesto cumple con la normativa ACI 211 que nos indica que los limites son de 2,5 a 7,5 cm los pavimentos, por lo tanto, nuestros ensayos de asentamiento cumplen la norma establecida.

Tabla N°4-14 Medida del asentamiento del hormigón con 0,03% de azúcar

Rotura de vigas con 0,03% de azúcar		
Prob. N°	Fecha de vaciado	Asentamiento cm
1	9/9/2022	6,90
2	9/9/2022	6,90
3	9/9/2022	8,60
4	9/9/2022	8,60
Promedio		7,75

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-15 Medida del asentamiento del hormigón con 0,08% de azúcar

Rotura de vigas con 0,08% de azúcar		
Prob. N°	Fecha de vaciado	Asentamiento cm
1	15/9/2022	19,80
2	15/9/2022	19,80
3	15/9/2022	21,40
4	15/9/2022	21,40
Promedio		20,60

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-16 Medida del asentamiento del hormigón con 0,15% de azúcar

Rotura de vigas con 0,15% de azúcar		
Prob. N°	Fecha de vaciado	Asentamiento cm
1	15/9/2022	27,60
2	15/9/2022	27,60
3	15/9/2022	26,90
4	15/9/2022	26,90
Promedio		27,25

Fuente: Elaboración propia.

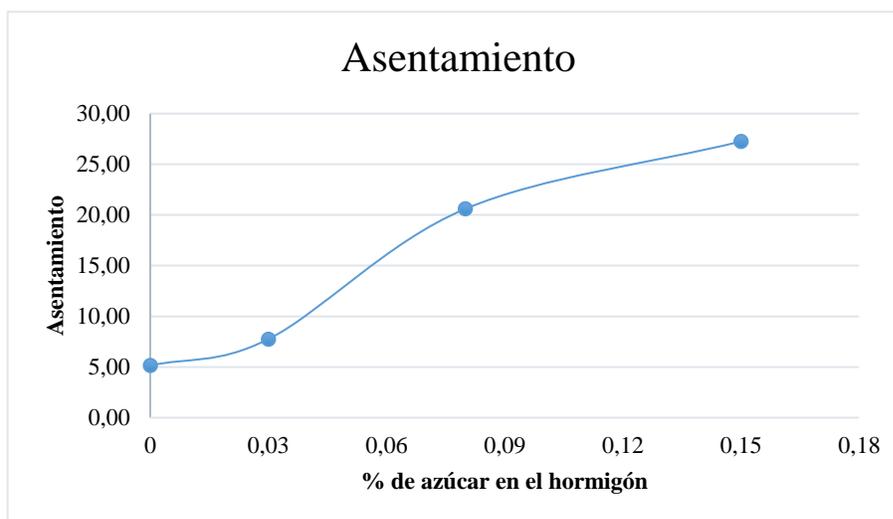
Tabla N°4-17 Resultado de los asentamientos promedio

Resultados promedio	
Hormigón patrón	5,14
azúcar 0,03%	7,75
azúcar 0,08%	20,60
azúcar 0,15%	27,25

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°4-17 nos muestra un resumen de los ensayos de asentamiento realizados, se observa como el azúcar influye en la trabajabilidad del hormigón dándonos a entender que a mayor porcentaje añadido tenemos una mayor trabajabilidad, podremos observar en la gráfica siguiente como al adicionar el azúcar en el hormigón hay un ascenso brusco que nos indica que tendremos mayor trabajabilidad en el hormigón

Gráfica N°4-10 Comportamiento del asentamiento en función a la adición del azúcar



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.7. Peso específico del agua con azúcar

Para realizar el análisis de la relación A/C con los porcentajes de azúcar establecidos se realizó el ensayo del peso específico del azúcar más el agua, a fin de llegar a una conclusión química, los resultados del ensayo realizado en laboratorio de suelos de la universidad Juan Misael Saracho fueron los siguientes:

Tabla N°4-18 Ensayo con el porcentaje de 0,03% de azúcar

Peso específico del azúcar para 0,03%					
	1	2	3	4	Prom.
Temperatura ensayada	30,00	25,00	20,00	15,00	
Peso del azúcar W	0,42	0,42	0,42	0,42	
Peso del frasco	220,30	220,30	220,30	220,30	
Peso del frasco más agua * Wfw	724,43	724,76	725,10	725,43	
Peso del agua + azúcar	504,13	504,46	504,80	505,13	
Volumen del frasco	500,00	500,00	500,00	500,00	
Peso específico	1,008	1,009	1,010	1,010	
Factor de corrección K	0,9974	0,9989	1,0000	0,9994	
Peso específico corregido	1,006	1,008	1,010	1,010	1,008

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-19 Ensayo con el porcentaje de 0,08% de azúcar

Peso específico del azúcar para 0,08%					
	1	2	3	4	Prom.
Temperatura ensayada	30,00	25,00	20,00	15,00	
Peso del azúcar W	1,13	1,13	1,13	1,13	
Peso del frasco	220,30	220,30	220,30	220,30	
Peso del frasco más agua * Wfw	725,14	725,47	725,81	726,14	
Peso del agua + azúcar	504,84	505,17	505,51	505,84	
Volumen del frasco	500,00	500,00	500,00	500,00	
Peso específico	1,010	1,010	1,011	1,012	
Factor de corrección K	0,9974	0,9989	1,0000	0,9994	
Peso específico corregido	1,007	1,009	1,011	1,011	1,010

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°4-20 Ensayo con el porcentaje de 0,15% de azúcar

Peso específico del azúcar para 0,15%					
	1	2	3	4	Prom,
Temperatura ensayada	30,00	25,00	20,00	15,00	
Peso del azúcar W	2,00	2,00	2,00	2,00	
Peso del frasco	220,30	220,30	220,30	220,30	
Peso del frasco más agua * Wfw	726,01	726,34	726,68	727,01	
Peso del agua + azúcar	505,71	506,04	506,38	506,71	
Volumen del frasco	500,00	500,00	500,00	500,00	
Peso específico	1,011	1,012	1,013	1,013	
Factor de corrección K	0,9974	0,9989	1,0000	0,9994	
Peso específico corregido	1,009	1,011	1,013	1,013	1,011

Fuente: Elaboración propia.

Observamos los resultados obtenidos en el laboratorio, vemos que a mayor porcentaje de azúcar combinado con el agua esta llega aumentar su peso específico manteniendo el mismo volumen de agua en base a la relación A/C, el azúcar al mezclarse con el hormigón forma una red cristalina de forma cúbica, formando internamente en lo que va cristalizando el hormigón y van dejando espacios que no se pueden observar, disminuyendo así su resistencia.

## 4.8. Estadística descriptiva

### 4.8.1. Cálculo de curva de frecuencia relativas

Tabla N°4-21 Cálculo de frecuencia relativa con los datos patrón

fct (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fi	Frecuencia relat,	Frecuencia relat, (%)
39,43 41,47	8	0,53	53,33
41,47 43,51	4	0,27	26,67
43,51 45,55	2	0,13	13,33
45,55 47,59	1	0,07	6,67
Total	15	1,00	100,00

Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.2. Cálculo de curva de frecuencia acumulada

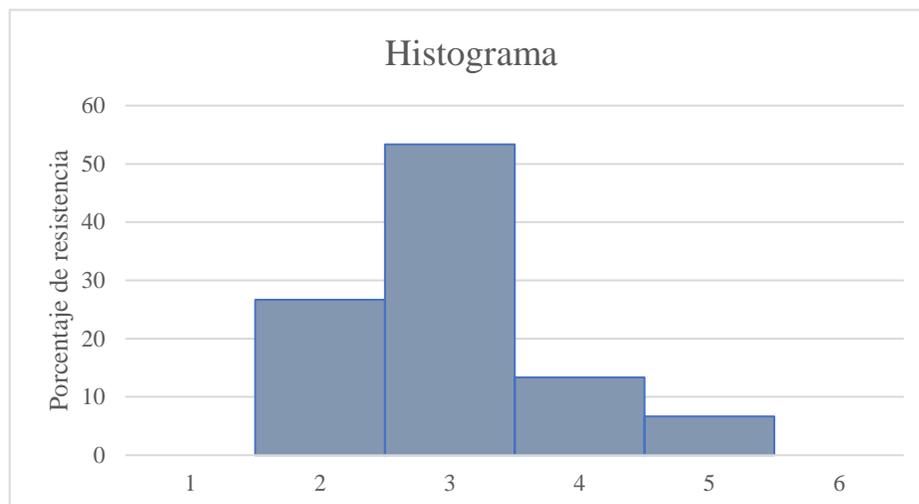
Tabla N°4-22 Cálculo de frecuencia acumulada con los datos patrón

fct (Kg/cm <sup>2</sup> )	fi	Frecuencia acum,
39,43 41,47	8	8,00
41,47 43,51	4	12,00
43,51 45,55	2	14,00
45,55 47,59	1	15,00
Total	15	

Fuente: Elaboración propia.

### 4.8.3. Determinación del Histograma

Gráfica N°4-11 Determinación del histograma con datos patrón



Fuente: Elaboración propia.

Mediante el histograma podemos observar cómo se distribuyen las frecuencias relativas, el 53% de los datos obtenidos de la rotura a flexión se encuentra entre los intervalos de (39,43 – 41,47) como se observa en la tabla N°4-13,

#### 4.8.4. Cálculos de medidas de tendencia central

Tabla N°4-23 Resultados de las medidas de tendencia central

Media	41,49	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Mediana	41,47	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Moda	40,79	(Kg/cm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.8.5. Cálculo de medidas de dispersión

Tabla N°4-24 Resultados de las medidas de dispersión

Desviación estándar	1,89	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Varianza	2,47	(Kg/cm <sup>2</sup> )

Fuente: Elaboración propia.

### 4.9. Estadística inferencial

#### 4.9.1. Rango de confiabilidad T-Student

Tabla N°4-25 Parámetros estadístico

Parámetro estadístico		Estadístico
90% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	39,25
	Límite superior	42,77

Fuente: Elaboración propia.

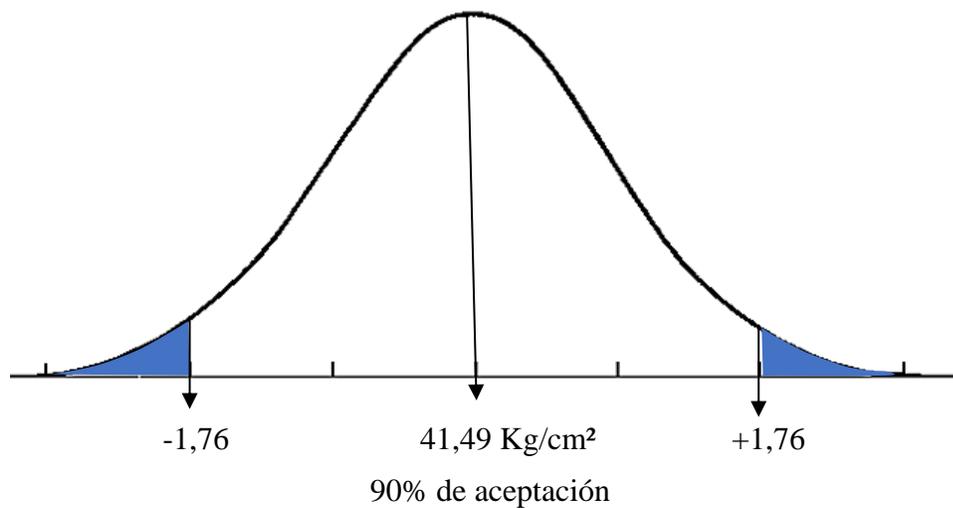
Mediante el cálculo de la estadística inferencial por el método T-student en la tabla N°4-26 teniendo una confiabilidad del 90% calculamos el límite inferior y superior.

Tabla N°4-26 Datos que se encuentran el límite superior e inferior

Tracción (fct) (Kg/cm <sup>2</sup> )
39,97
39,43
40,25
40,11
42,39
40,52
39,70
41,33
41,88
40,38
42,56
47,59
42,42
40,65
43,24

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica N°4-12 Campana de Gauss



Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica N°4-12 se puede observar la distribución de datos de las variables, donde su punto medio es el promedio de la resistencia a la flexión y a los extremos nos indican el valor calculado (t), muestra los datos obtenidos en la rotura a flexión que se encuentra

dentro de la campana de Gauss con una confiabilidad del 90 %, los datos dentro de la campana de Gauss se ven reflejados en la tabla N°4-26.

#### 4.10. Prueba de Hipótesis

Al intentar tomar una decisión, es útil hacer suposiciones acerca de las poblaciones implicadas, dichas suposiciones, que pueden o no ser verdaderas, se denominan hipótesis estadística. En general, son afirmaciones acerca de las distribuciones de la probabilidad de la población.

Hipótesis nula  $H_0$

Resistencia característica: 40 (Kg/cm<sup>2</sup>) para tráfico mediano,

Tabla N°4-27 Datos para hipótesis nula

Rotura de vigas con 0,03% de azúcar	5,10	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Rotura de vigas con 0,08% de azúcar	5,62	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Rotura de vigas con 0,15% de azúcar	8,53	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Promedio	6,42	(Kg/cm <sup>2</sup> )
Desviación	1,94	

Fuente: Elaboración propia.

$$t = \frac{x - u}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Donde

X= promedio de resultado

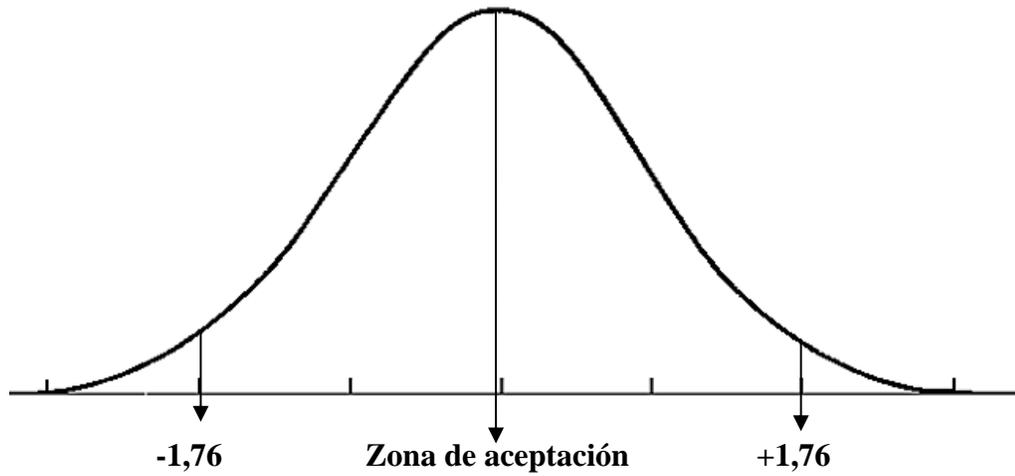
U= Resistencia característica

$\sigma$  = Desviación estándar

n= Número de ensayos

$$t = -59,99$$

Gráfica N°4-13 Zona de aceptación en hipótesis



Fuente: Elaboración propia.

Se establece que es una hipótesis nula, debido a que no se encuentra dentro de la zona de aceptación, cuyo rango es de -1,76 a 1,76 y teniendo un valor de t de -59.99.

## **CAPÍTULO V**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- Se caracterizó los materiales de manera que todos cumplan con la norma establecida de cada una de ellas y así tener materiales en condiciones ideales para realizar el respectivo cálculo de dosificación y hormigonado de probetas, vigas.
- Se realizaron las pruebas de resistencia a la compresión de probetas y flexión de vigas patrón a los 14 y 28 días, las vigas con la incorporación de los distintos porcentajes de azúcar, las pruebas de resistencia se las realizó a los 28 días, tomando en cuenta que en este lapso de tiempo estas llegan a su mayor resistencia.
- Las pruebas realizadas para los porcentajes de azúcar de 0,03%, 0,08% y 0,15% en peso de cemento, se pudo evidenciar como disminuyó la resistencia a la flexión más del 78% en cada porcentaje.
- Al llevar a cabo la medición del tiempo de fraguado del cemento hidráulico se demostró que el azúcar como aditivo logra acelerar el tiempo de fraguado con respecto al patrón con una diferencia promedio de 4,73 horas.
- Se observó con los distintos porcentajes de azúcar al momento de realizar el ensayo del cono de Abrams, nos dio una mayor trabajabilidad a un corto periodo de trabajo, mientras mayor sea el porcentaje de azúcar agregada 0,15% a la mezcla tendremos una mejor trabajabilidad.
- Se evidenció que el azúcar en el hormigón no nos da ningún beneficio por lo tanto el porcentaje óptimo es que el hormigón no se adicione el azúcar como aditivo, por su baja resistencia a la flexión.
- Al realizar las pruebas de resistencia a flexión y el ensayo de tiempo de fraguado del cemento hidráulico decimos que la hipótesis descrita en el capítulo 1,5, es nula debido a que el azúcar es una partícula que al menor contacto con la humedad estas partículas tienden a disolverse, al mezclarse con el agua abandonan su estructura y nos deja un microporo que no se puede observar a simple vista pero existen, al

ejercer una pequeña carga, los microporos llegan a sumarse y disminuir la resistencia del hormigón, el azúcar actúa como un núcleo cristalino al disolverse en el agua estas moléculas se dispersan en la mezcla del hormigón homogéneamente y genera la cristalización.

- Se observó como el azúcar al mezclarse con el agua afecta su peso específico porque al aumentar el sólido se da aumento a la cantidad de masa, pero no altera su volumen, en base a la relación A/C, con los porcentajes de azúcar de 0,03%, 0,08% y 0,15%.
- Se evidenció con el ensayo de peso específico del azúcar más el agua como así también en las resistencias obtenidas, que mientras sea mínima la cantidad de azúcar incorporada en el hormigón, daña más su estructura debido a eso su resistencia es mínima comparada a la resistencia patrón.
- Al analizar el peso específico del agua con el azúcar con un porcentaje de 0,15% la concentración de azúcar es mayor en el hormigón es por eso que muestra una significativa mejora en su resistencia, pero no lo suficiente para poder recomendar su uso en la construcción de un pavimento rígido.

## **5.2. Recomendaciones**

- Se debe tomar en cuenta si queremos implementar un aditivo en el hormigón tiene que ser moléculas inorgánicas como piedras, rocas, metales y no así moléculas orgánicas como el azúcar.
- Se recomienda no utilizar el azúcar como aditivo en elementos estructurales, aunque esta nos da una mayor trabajabilidad y un menor tiempo de fraguado, disminuye casi por completo su resistencia siendo esto no beneficioso.
- El almacenamiento de los agregados grueso, agregado fino y cemento se recomienda ubicarlos en un lugar adecuado de tal manera que estas se mantengan en óptimas condiciones para su posterior uso.
- Se recomienda que los agregados estén en óptimas condiciones para así tener un mejor resultado al momento del hormigonado y su resistencia.