

# CAPÍTULO I

## OBJETO DEL CONOCIMIENTO

### 1.1. Introducción

El hormigón es el resultado de la mezcla de cemento, áridos, agua y en ocasiones aditivos; cuando el cemento entra en contacto con el agua, se dan una serie de reacciones químicas que derivarán en el fraguado y endurecimiento de la mezcla, y al final del proceso se obtendrá un material de consistencia pétreo. Sin embargo, el mal uso de cualquiera de dichos elementos genera uno o más puntos débiles en el mismo, entre ellos se encuentran las fisuras.

Las fisuras en elementos de hormigón es uno de los síntomas patológicos más importantes y comunes, son roturas que se manifiestan como consecuencia de la aparición de tensiones superiores a la capacidad de resistencia del material, motivo por el cual no existe obra realizada en hormigón que no presente esta patología, haciendo de las estructuras de hormigón elementos antiestéticos e inseguros, siendo también, puertas abiertas por las que pueden penetrar agentes agresivos que ocasionan un alto riesgo de corrosión, que debilita la estructura, llegando al fin a afectar claramente su durabilidad y resistencia.

Detectar este fenómeno no siempre resulta fácil, sin embargo es esencial conocerlo como la única vía para poder remediarlo, tomando las medidas necesarias para evitar su aparición, motivo por el cual es importante tomar en cuenta que existen variables significativas para su caracterización; la edad del hormigón en la que se manifiestan, la forma, posición y espaciamiento en el elemento, trayectoria, amplitud de la abertura y movimiento entre otras.

A pesar que la tecnología del hormigón alcanzó un desarrollo significativo, aún hoy es difícil encontrar una mezcla que esté libre de fisuras, siendo por consiguiente muy complicado su control.

Esta investigación se orientará por lo tanto a la determinación de un método que intente minimizar la aparición de las fisuras, usando la vinaza como aditivo plastificante, así mismo se realizará un estudio general del fenómeno de fisuración en estado plástico generado en elementos de hormigón (piso de hormigón).

## **1.2. El Problema**

### **1.2.1. Planteamiento del problema**

En todas las construcciones en las que interviene el hormigón aparecen fisuras que pueden manifestarse al cabo de horas, días, semanas o años. Las causas de la fisuración pueden ser muy variadas y su detección no siempre es fácil.

La fisuración puede deberse en su totalidad y casi exclusivamente a las siguientes causas:

- a) Resistencia a la tracción nula o casi nula
- b) Curado deficiente
- c) Retracción (Pérdida de agua por: evaporación del agua exudada)
- d) Variaciones de temperatura
- e) Asentamientos diferenciales
- f) Exceso relación Agua/cemento
- g) Errores de proyecto y ejecución

Las fisuras presentan varios peligros, pero uno de los principales es la sensación de poca seguridad de la pieza fisurada, ya que constituye una puerta abierta para la corrosión, afectando directamente la durabilidad de la estructura y volviéndola por lo tanto más permeable.

Por lo que se hace necesario plantear como solución las siguientes alternativas:

- Uso de lechada de cemento.
- Aplicación de resina epoxi.
- Uso de aditivos fluidificantes o retardadores de fraguado.
- Inclusión de vinaza.
- Uso de fibras metálicas.

### **1.2.2. Formulación del problema**

En el planteamiento de este trabajo surge la siguiente pregunta como punto de partida de la investigación:

*¿Cómo se puede reducir la aparición de fisuras, que se generan en elementos de hormigón?*

Al incorporar al hormigón materiales que le brinden propiedades plásticas reduciendo la cantidad de agua, para que de este modo se pueda minimizar y hasta reducir la aparición de fisuras en elementos de hormigón.

### **1.2.3. Hipótesis**

Existe bibliografía que argumenta que el uso de vinaza en el hormigón le brinda a éste propiedades plásticas y fluidificantes, con base en dichos argumentos se realizó la formulación de la hipótesis, sin embargo, esta no contempla valores de variación en la resistencia a compresión, ya que los estudios previos realizados según la bibliografía no son contundentes, por lo que el presente trabajo de investigación pretende determinar este valor teniendo como punto de partida la siguiente hipótesis:

La inclusión parcial de vinaza en reemplazo del agua hasta un porcentaje equivalente al 70% de su volumen en la obtención de hormigón tipo A, incrementa la resistencia a compresión, reduciendo la aparición de fisuras en la superficie.

#### **1.2.4. Variables independientes**

- **Relación/ agua cemento**

La relación agua cemento forman el gel de cemento cuya reacción química va a ligar los componentes gruesos y finos durante el endurecimiento del hormigón hasta que todas las partículas de cemento se hidraten o bien hasta que ya no se tenga presencia de agua para hidratarlas. La resistencia del hormigón dependerá de la calidad de mantener coaccionadas las partículas gruesas y finas que se genera el proceso químico iniciado en el contacto del agua con el cemento. Es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del hormigón en la elaboración de la mezcla, pues influye grandemente en la resistencia final de la misma. Expresa la íntima relación que existe entre el peso del agua utilizada en la mezcla y el peso del cemento.

A menor agua en relación al cemento, mayor su resistencia a la compresión, menor fluidez o trabajabilidad y mayor durabilidad, pues al poseer menos agua tiene también menor cantidad de poros y vasos capilares que se forman durante su evaporación, y que se constituyen los poros por donde pueden penetrar los agentes agresivos cuando el hormigón no está protegido de los factores climáticos, y atacar a las armaduras.

- **Porcentaje de inclusión de vinaza**

La inclusión de vinaza en reemplazo del agua en distintos porcentajes que varían de 10 a 70%, permitirá la reducción en volumen de la cantidad de agua necesaria en la mezcla, por lo tanto, una reducción en la relación agua/cemento acorde al porcentaje de vinaza que se incluya.

Generando de esta manera los siguientes efectos en la mezcla de hormigón:

- Incremento de la resistencia a compresión
- Reducción del fenómeno de fisuración
- Reducción del asentamiento

- **Temperatura**

La temperatura produce los siguientes efectos en las mezclas del hormigón:

- ❖ Perdida de la trabajabilidad del hormigón fresco, debido a:
  - Un aumento en la velocidad de hidratación del cemento, y por tanto una aceleración en el fraguado del mismo
  - Una pérdida de agua de amasado por el fenómeno de evaporación.
- ❖ Mayor dificultad en la colocación y acabado de las piezas a hormigonar aumentando el riesgo de aparición de juntas frías.
- ❖ Aumento del riesgo de que se produzcan fisuras por retracción y por gradientes térmicos.
- ❖ Posible descenso en la durabilidad del hormigón, sobre todo si se ha utilizado agua en exceso o se ha producido una importante fisuración.

Si bien la temperatura es un factor que no depende del investigador juega un rol muy importante en la fabricación y elaboración de la mezcla, ya que en el presente estudio se tomó el cuidado de realizar las muestras en condiciones similares de temperatura tanto en la elaboración de las muestras en laboratorio como en la aplicación práctica.

### **1.2.5. Variables dependientes**

- **Resistencia a compresión**

Factores que influyen en la resistencia mecánica del concreto:

- Contenido de cemento
- Relación agua-cemento
- La distribución granulométrica
- Temperatura

- **Peso específico**

Esta propiedad está relacionada a los materiales que constituyen el hormigón, el incluir o modificar alguno de los elementos en la mezcla puede ocasionar variaciones en esta propiedad.

- **Asentamiento**

Esta propiedad está relacionada directamente con la manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla propiedades que dependen de la relación agua/cemento. Mientras menor sea la cantidad del agua respecto del cemento, la mezcla tiende a tener un menor asentamiento, el rango de valores del asentamiento está ligado al tipo de estructura que se pretende hormigonar y así también del tipo de partículas del agregado.

- **Fisuración**

Este fenómeno puede presentarse a diferentes edades del hormigón y existen diferentes tipos de fisuras:

Tipos de fisuración del hormigón en estado plástico:

- Fisuración por retracción plástica
- Fisuración por precipitación de agregados

Tipos de fisuración del hormigón endurecido:

- Fisuración por contracción de secado
- Tensiones de origen térmico
- Fisuración por esfuerzos
- Meteorización

En este trabajo se considerarán las fisuras que aparecen a edades tempranas del hormigón (estado plástico) y cuando el elemento es sometido a esfuerzos tales como corte y presión.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Verificar que la inclusión parcial de la vinaza en la elaboración de hormigón tipo A incrementa las propiedades plastificantes y de resistencia de la mezcla, reduciendo la aparición de fisuras; a través de la contrastación de la hipótesis.

#### **1.3.2. Específicos**

- ❖ Realizar la caracterización de los materiales, agregados, cemento y vinaza.
- ❖ Realizar probetas de hormigón convencional tipo A de resistencia 210 kg/cm.
- ❖ Establecer la metodología, para el diseño de la aplicación de vinaza en la elaboración de hormigón.
- ❖ Realizar probetas de hormigón incluyendo diferentes porcentajes de vinaza.
- ❖ Comparar los resultados obtenidos en el hormigón tipo A y el hormigón con inclusión de vinaza.
- ❖ Determinar técnicamente que la inclusión de la vinaza reduce la relación agua cemento en mezclas de hormigón.
- ❖ Determinar en base a los ensayos el porcentaje de vinaza óptimo para la elaboración de hormigón tipo A.
- ❖ Verificar que la inclusión de vinaza incrementa la trabajabilidad del hormigón y la compacidad del mismo.
- ❖ Verificar que al elaborar un hormigón con vinaza se produce un menor asentamiento plástico.
- ❖ Realizar la aplicación práctica en el vaciado de una sección de piso de nivelación para realizar un análisis y monitoreo del fenómeno de fisuración, en estado plástico del hormigón.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Teórica**

El hormigón es un material que resiste perfectamente esfuerzos a compresión por el contrario no resiste esfuerzos a tracción, motivo por el cual se presentan fisuras en su superficie, sin embargo, existen estudios que argumentan que se puede añadir o incluir materiales, entre ellos la vinaza, que le brindan propiedades plastificantes y reducen la cantidad de agua en la mezcla, por lo que es necesario realizar un estudio que permita verificar y validar estas afirmaciones.

### **1.4.2. Metodológica**

Verificar mediante la norma (ACI - 211) y metodologías existentes para elaborar un hormigón convencional (patrón), a partir de dicha dosificación, incluir la vinaza en porcentajes de 0% a 100%, de manera que se pueda observar cuáles son las propiedades que cambian en el hormigón y minimizar las fisuras en el mismo.

### **1.4.3. Práctica**

Verificar y corroborar mediante ensayos normalizados del hormigón, que la inclusión de vinaza al hormigón permite reducir y minimizar la aparición de fisuras en la superficie del mismo, elaborando probetas y losas sometidas a condiciones de laboratorio y condiciones de puesta en obra.

### **1.4.4. Ambiental**

La vinaza es un residuo líquido resultado de la fabricación de alcohol, este residuo por las características químicas que posee es considerado contaminante, a pesar de los esfuerzos de los fabricantes por usarlo como fertilizante, la proporción de vinaza respecto a la producción de alcohol es de 1 a 13, es decir que por cada litro de alcohol se produce aproximadamente 13 litros de vinaza, por lo que es necesario buscar otras alternativas de uso para este residuo,



que al no poder ser aprovechado en su totalidad, gran parte es desechado contaminando afluentes cercanos a las fábricas.

### **1.5. Alcance del estudio**

En el desarrollo de la investigación se pretende en primera instancia recabar información técnica disponible, sobre el uso de vinaza, como también sobre las causas de la fisuración, en estado plástico de elementos de hormigón, así mismo los efectos y posibles soluciones.

Abarcar todos los aspectos relacionados con la elaboración y ejecución de hormigones: caracterización de materiales, entre ellos, agregados, cemento y vinaza, esta última será sometida a un análisis químico para la determinación de sus componentes garantizando así su comportamiento en el hormigón. Analizando los resultados obtenidos de los ensayos realizados en laboratorio para la caracterización de cada uno de los materiales que integran la mezcla del hormigón, se explicará detalladamente el proceso de diseño de la mezcla, comenzando por definir y realizar el método de dosificación, luego el procedimiento de elaboración, el curado de hormigón y por último proceder a los ensayos de rotura a compresión. La determinación de las propiedades físico mecánicas de la mezcla y del hormigón estarán acordes a normas.

Determinar las características básicas del hormigón, elaborando Muestras Cilíndricas (15cm diámetro x 30cm de altura) de cada porcentaje de vinaza para una resistencia a compresión.

Al obtener resultados de las probetas a los 7 y 28 días con diferentes porcentajes de vinaza, para su respectivo análisis en cuanto a la variación del comportamiento mecánico del hormigón, se pretende realizar la aplicación del estudio en el vaciado de una sección de piso de nivelación en la obra “Construcción Presa Sella Rumicancha fase I”, con un volumen aproximado de medio cubo. Proceder a realizar un monitoreo y medición del fenómeno de fisuración en estado plástico, tanto del vaciado de hormigón convencional, como del hormigón con inclusión de vinaza.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. El hormigón

El hormigón es la mezcla de cemento, grava, arena, aditivos y agua que forman una masa moldeable, compactable y que endurece formando una piedra artificial.

La principal característica estructural del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros tipos de esfuerzos (tracción, flexión, cortante, etc.).

Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establecen las dimensiones de los elementos, el tipo de hormigón, los aditivos, y el acero que hay que colocar en función de los esfuerzos que deberá soportar y de las condiciones ambientales al que estará expuesto.

##### 2.1.1. Características físicas y mecánicas del hormigón

- ✓ **Densidad:** Característica indispensable para la estabilidad de la estructura su valor varía de  $2350 \text{ kg/m}^3$  a  $2500 \text{ kg/m}^3$
- ✓ **Resistencia a compresión:** Es una de las características más importantes, de esta se define la calidad del hormigón, variando en un rango de  $150$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$  ( $15$  a  $50 \text{ MPa}$ ) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta  $2000 \text{ kg/cm}^2$  ( $200 \text{ MPa}$ ).
- ✓ **Resistencia a tracción:** Proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y generalmente poco significativa en el cálculo global.
- ✓ **Tiempo de fraguado:** Dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- ✓ **Tiempo de endurecimiento:** Progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros. De  $24$  a  $48$  horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana  $\frac{3}{4}$  partes, y en  $4$  semanas prácticamente la resistencia total de cálculo. Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues

tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

### **2.1.2. Propiedades del hormigón fresco y hormigón endurecido**

El hormigón se diseña para que tenga características definidas, donde se pueden analizar las propiedades de la mezcla en dos estados tanto fresco como endurecido.

#### **2.1.2.1. Hormigón fresco**

##### **1) Trabajabilidad o manejabilidad**

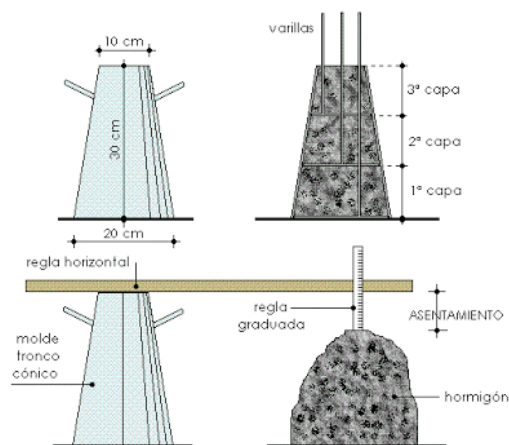
La manejabilidad se define como el grado de facilidad o dificultad con que el hormigón puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado, con una pérdida mínima de su homogeneidad. De aquí se puede notar que la trabajabilidad puede ser considerada como una combinación de varias propiedades en las que la compactibilidad, movilidad, cohesividad, consistencia y plasticidad, son quizás las más importantes. Estos factores se definen como sigue:

- **Compactibilidad:** Se refiere a la facilidad con la que el aire atrapado en la mezcla puede ser expulsado.
- **Movilidad:** Es la facilidad con la que el concreto puede fluir alrededor del acero de refuerzo, dentro de las formaletas.
- **Cohesividad:** Es la resistencia de una mezcla de hormigón a la segregación y/o exudación.
- **Plasticidad:** Es la propiedad del concreto que le permite ser fácilmente moldeado, y que a la vez cambiar de forma lentamente si se saca del molde en estado fresco.
- **Consistencia:** Se refiere al estado de fluidez, o sea, al grado de humedad de la mezcla, o dicho en otras palabras, que tan seca o fluida es una mezcla de hormigón.

La consistencia es la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse y consiguientemente para ocupar todos los huecos del molde o encofrado. Influyen en ella distintos factores, especialmente la cantidad de agua de amasado, pero también el tamaño máximo del árido, la forma de los áridos y su granulometría. La consistencia se fija antes de la puesta en obra, analizando cual es la más adecuada para la colocación según los medios que se dispone de compactación. Se trata de un parámetro fundamental en el hormigón fresco.

La trabajabilidad de una mezcla solo puede ser determinada mediante la observación de cómo se acomoda en las diferentes partes de la estructura y cómo responde a la compactación sin que pierda su homogeneidad. Sin embargo, se han desarrollado algunos ensayos que permiten hacer una correlación entre la manejabilidad con alguna otra característica del concreto en estado fresco. El ensayo más conveniente utilizado es el de “asentamiento” o “slump” el cual mide con bastante aproximación la consistencia o grado de humedad de una mezcla.

Para realizar el ensayo de asentamiento se utiliza un molde metálico con la forma y dimensiones mostradas en la figura 2.1. El cual se denomina cono de Abrams. Este ensayo consiste en llenar con hormigón fresco un molde troncocónico de 30 cm de altura. La pérdida de altura que se crea cuando se retira el molde, es la medida que define la consistencia.



**Figura 2.1.** Ensayo de asentamiento (dimensiones cono de Abrams)

**Fuente:** Página Online: Construpedia

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, blandos y fluidos tal como se indica en la tabla siguiente:

CONSISTENCIA DE LOS HORMIGONES FRESCOS		
CONSISTENCIA	ASIENTO EN CONO DE ABRAMS (cm)	COMPACTACIÓN
Seca	0 - 2	Vibrado
Plástica	3 - 5	Vibrado
Blanda	6 - 9	Picado con barra
Fluida	10 - 15	Picado con barra
Líquida	16-20	Picado con barra

**Tabla 2.1.** *Consistencia de hormigones frescos*  
**Fuente:** Código EHE

## 2) Segregación del hormigón

La segregación de una mezcla de hormigón se define como la separación de sus constituyentes por falta de cohesividad, de manera que su distribución deja de ser uniforme.

Las principales causas de segregación en el hormigón son la diferencia en tamaño de las partículas, la densidad de los constituyentes de la mezcla y una mala gradación de los agregados. Asimismo, pueden influir otros factores como un mal mezclado, un inadecuado sistema de transporte, una colocación deficiente y un exceso de vibración en la compactación.

La segregación se puede presentar de dos formas. La primera ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a separarse, bien sea porque se desplazan a lo largo de una pendiente o porque se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo ocurre particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de la pasta de los agregados.

### **3) Exudación del hormigón**

La exudación se considera como una forma de segregación en la que una parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación de la mezcla trae consecuencias nocivas. Por un lado, la parte superior de una porción de hormigón se vuelve demasiado húmedo lo que conlleva a estructuras porosas, débiles y poco durables. Por otra parte, si la evaporación del agua en la superficie del hormigón es más rápida que la velocidad de la exudación, se producen grietas plásticas de contracción.

Otro problema que se crea con la elevación del agua es que puede quedar atrapada debajo de las partículas gruesas de agregado o del acero de refuerzo, lo que genera zonas de baja adherencia y por lo tanto una eventual disminución en la resistencia. Adicionalmente, el agua deja tras de sí conductos capilares que incrementan la permeabilidad de la masa de hormigón.

### **4) Fraguado y endurecimiento**

La pasta del hormigón se forma mezclando cemento artificial y agua debiendo embeber totalmente a los áridos. La principal cualidad de esta pasta es que fragua y endurece progresivamente, tanto al aire como bajo el agua.

El proceso de fraguado y endurecimiento es el resultado de reacciones químicas de hidratación entre los componentes del cemento. La fase inicial de hidratación se llama fraguado y se identifica por el paso de la pasta del estado fluido al estado sólido. Esto se aprecia de forma sencilla por simple presión con un dedo sobre la superficie del hormigón. Posteriormente continúan las reacciones de hidratación alcanzando a todos los constituyentes del cemento que provoquen el endurecimiento de la masa y que se caracteriza por un progresivo desarrollo de resistencias mecánicas.

El fraguado y endurecimiento no son más que dos estados separados convencionalmente; en realidad sólo hay un único proceso de hidratación continuo.

### **2.1.2.2. Hormigón endurecido**

#### **1) Resistencia**

Para comprobar que el hormigón colocado en obra tiene la resistencia requerida, se rellenan con el mismo hormigón unos moldes cilíndricos normalizados y se calcula su resistencia en un laboratorio haciendo ensayos de rotura por compresión.

En el proyecto previo de los elementos, la Resistencia característica ( $f'_{ck}$ ) del hormigón es aquella que se adopta en todos los cálculos como resistencia a compresión del mismo, y dando por hecho que el hormigón que se ejecutará resistirá ese valor, se dimensionan las medidas de todos los elementos estructurales.

La Resistencia característica de proyecto ( $f'_{ck}$ ) establece por tanto el límite inferior, debiendo cumplirse que cada amasada de hormigón colocada tenga esa resistencia como mínimo. En la práctica, en la obra se realizan ensayos estadísticos de resistencias de los hormigones que se colocan y el 95% de los mismos debe ser superior a  $f'_{ck}$ , considerándose que, con el nivel actual de la tecnología del hormigón, una fracción defectuosa del 5% es perfectamente aceptable.

#### **2) Densidad**

La densidad de la masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto lo sea el de los áridos utilizados y mayor cantidad de agregado grueso contenga.

#### **3) Compacidad**

La compacidad íntimamente ligada a la densidad, depende de los mismos factores que esta, sobre todo del método de consolidación empleado. Estos métodos de consolidación tienen por objeto introducir, en el volumen determinado, la mayor cantidad posible de áridos y al mismo tiempo que los huecos dejados por estos se rellenen con la pasta de cemento, eliminando por completo las burbujas de aire.

#### 4) Permeabilidad

Las formas en que el agua puede penetrar en el hormigón son por presión y por capilaridad. El factor más influyente es sin duda la relación agua cemento. Al disminuir, disminuye la permeabilidad.

#### 2.2. Constituyentes del hormigón

- ❖ 9 – 15 % cemento
- ❖ 15 – 16 % agua
- ❖ 25 – 35 % Agregado Fino
- ❖ 30 – 45 % Agregado Grueso

Usualmente incluye aditivos.

##### 2.2.1. Cemento

El cemento se define como un material con propiedades adhesivas y cohesivas que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable.

El cemento constituye entre el 9% y el 15% del volumen total del concreto; es el componente activo de la mezcla y por tanto influye en todas sus características.

##### 2.2.1.1 Tipos de cemento portland

**Tipo I:** normal es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo. (Edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales)

Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.



**Tipo II:** de moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado. (Puentes, tuberías de concreto)

**Tipo III:** Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.

**Tipo IV:** Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.

**Tipo V:** Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias).

### **2.2.1.2. Características del cemento**

Las propiedades más importantes del cemento son: Peso específico, finura de molido.

#### **1) Peso específico**

El peso específico de los cementos portland suelen variar muy poco de unos cementos a otros, oscilando entre 3 y 3.15 gr/cm<sup>3</sup>, esta limitación está establecida también por algunas normas (igual o mayor a 3gr/cm<sup>3</sup>) esta limitación por lo general se cumple.

#### **2) Finura de molido**

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, ya que incluye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el fraguado y endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan solo en una profundidad de 0.01mm por lo que, si estos granos fuesen muy grandes, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy grandes (lo que resulta perjudicial), el conglomerante resulta ser más susceptible al envejecimiento tras un almacenamiento prolongado, y disminuye su resistencia a las aguas agresivas. Pero siendo

así que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, entonces se llega a lo siguiente: el cemento portland debe estar finamente molido, pero no en exceso.

### 2.2.1.3 Composición química del cemento

Como anteriormente se menciona las materias primas del cemento son (cal, sílice, alúmina, y óxido de hierro), interaccionan en el horno hasta alcanzar un estado de equilibrio químico para formar una serie de productos más complejos. Dichos productos se mencionan en el siguiente cuadro:

COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA USADA
Silicato Tricálcico	$3\text{CaOSiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$
Silicato Dicálcico	$2\text{CaOSi}_2$	$\text{C}_2\text{S}$
Aluminato Tricálcico	$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$
Ferroaluminato Tetracálcico	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{CA}_4\text{F}$

*Cuadro2.1. Compuestos del cemento portland*

*Fuente: Tecnología del Hormigón Ing. O'Reilly Vitervo, ASTM C 150*

Estos compuestos han sido llamados “compuesto de Bogue”. Generalmente la fórmula química de estos constituyentes se usa en forma abreviada con el único fin de facilitar su expresión y no utilizar un término complicado.

Los constituyentes  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_2\text{S}$  forman del 70 al 80% del cemento Portland son los más estables y los que más contribuyen a la resistencia del cemento.

El  $\text{C}_3\text{S}$  se hidrata más rápidamente que el  $\text{C}_2\text{S}$  y por tanto contribuye al tiempo de fraguado y a la resistencia inicial, su acción hidratadora está comprendida entre las 24 horas y 7 días, provocando endurecimiento normal de la pasta de cemento y sus elevadas resistencias al séptimo día.

La contribución del  $\text{C}_2\text{S}$  toma lugar muy lentamente su acción endurecedora está comprendida entre los 7 a 28 días y puede continuar por encima de un año.

El  $C_3A$  se hidrata rápidamente y genera mucho calor; solamente contribuye a la resistencia a las 24 horas y es el menos estable de los cuatro principales componentes del cemento. Además le da al concreto, propiedades indeseables, tales como cambios volumétricos y baja resistencia a los sulfatos.

El  $C_4AF$  cumple la acción de catalizar y aporta poca resistencia al concreto.

### 2.2.2. Agregados

Los ríos y canteras son los principales proveedores de los materiales pétreos utilizados en la construcción, estos se clasifican en dos grupos: agregado grueso y agregado fino, los cuales ocupan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del hormigón y por lo tanto su calidad es de considerable importancia.

#### 2.2.2.1. Agregado fino

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas que no supera los 9.5mm de diámetro según norma ASTM C33. Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; y que arrastrados por las corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados.



*Figura 2.2. Acopio de arena clasificada*  
*Fuente: Fotografía propia*

### 2.2.2.2. Agregado grueso

Material pétreo con diámetro superior a 4.75 mm, proveniente de la disgregación natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos por la norma ASTM C33. El agregado grueso suele encontrarse corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados en forma natural. La resistencia ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad.

Las partículas del agregado grueso soportan y resisten las condiciones de la intemperie, y deben estar libres de partículas orgánicas, sales, limos y arcillas que afectan las reacciones químicas de fraguado o producen porosidades indeseables.

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada. Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas.

Sin embargo, se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.



*Figura 2.3. Acopio de grava clasificada  
Fuente: Fotografía propia*

### 2.2.2.3. Propiedades de los agregados

#### 1) Peso unitario (PU)

Si el peso de una muestra de agregado, compuesto de varias partículas, se divide por el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente unitario, se obtiene lo que se denomina como peso unitario del agregado o peso volumétrico.

El peso unitario es una propiedad física importante porque indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre más diminuto sea este, menor será el volumen de vacíos entre partículas que hace que la mezcla sea más económica, porque habrá pequeña cantidad de huecos a ser llenados con pasta de cemento. Así mismo, mientras mayor sea el peso unitario habrá gran cantidad de granos, la cual depende de la granulometría, forma, textura y tamaño de los mismos.

Existen dos tipos de pesos unitarios que dependen del grado de compactación del agregado y se definen de la siguiente forma.

## **2) Peso unitario suelto (PUS)**

Se denomina PUS cuando para determinar se coloca el material seco suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela al ras con un enrasador. El concepto de PUS es significativo cuando se trata de manejo, transporte y almacenamiento de los agregados debido a que estos se hacen en estado suelto.

El procedimiento de palear el agregado para llenar el recipiente y aprovechar la compactación que alcance con la caída libre desde la pala, es aprovechado para especificar el peso unitario suelto de agregados que tengan un tamaño máximo de 100 mm (4 pulgadas) o menos.

## **3) Peso unitario compactado (PUC)**

Se denomina PUC cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementando así el grado de acomodamiento de las partículas de agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria. El PUC es importante desde el punto de vista del diseño de mezclas ya que con el mismo se dispone el volumen absoluto de los agregados por cuanto estas van a estar sometidas a una compactación durante el proceso de colocación del concreto.

Compactación por varillado en el llenado del recipiente. El procedimiento de varillado es aplicable a agregados que tienen un tamaño máximo de 40 mm (1½ pulgadas) o menos.

#### 4) Granulometría

Como agregados para la confección de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o trituradas que reúnan en igual o superior grado las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón.

La granulometría se determina haciendo pasar una muestra representativa de agregados por una serie de tamices ordenados, por abertura, de mayor a menor. Los tamices son básicamente unas mallas de aberturas cuadradas, que se encuentran estandarizadas.

A continuación, se muestra una tabla que muestra la serie de tamices.

SERIE DE TAMICES DE AGREGADOS PARA CONCRETO		
TIPO DE AGREGADO	DESIGNACIÓN INTERNA	DESIGNACIÓN
AGREGADO GRUESO	3"	76.10 mm
	2"	50.80 mm
	1 1/2"	38.10 mm
	1"	25.40 mm
	3/4"	19.00 mm
	1/2"	12.70 mm
	3/8"	9.51 mm
AGREGADO FINO	N° 4	4.75 mm
	N° 10	2.00 mm
	N° 16	1.18 mm
	N° 30	0.60 mm
	N° 50	0.30 mm
	N° 100	0.15 mm
	N° 200	0.075 mm

**Tabla 2.2.:** Serie de tamices para concreto  
**Fuente:** Tecnología del hormigón – Vitervo O'Reilly

### A. Granulometría agregado grueso

La grava o agregado grueso es uno de los principales componentes del hormigón o concreto, por este motivo su calidad es sumamente importante para garantizar buenos resultados en la preparación de estructuras de hormigón.

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como ser el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	máx. 1
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	máx. 0.5
Otras sustancias dañinas	-	máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	máx. 12
Pérdida por abrasión en la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	máx. 40

**Cuadro 2.2.** Requisitos de la norma ASTM para el agregado grueso

**Fuente:** Norma ASTM

El agregado grueso debe estar bien graduado entre los límites fino y grueso y deben estar separados en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Tamaño Nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
	100 mm 4"	90 mm 3½"	75 mm 3"	63 mm 2½"	50 mm 2"	37.5 mm 1½"	25 mm 1"	19 mm ¾"	12.5 mm ½"	9.5 mm ⅜"	4.75 mm Nº4	2.36 mm Nº8	1.18 mm Nº16
90 a 37.5 mm 3½" a 1½"	100	90-100		25-60		0-15		0-5					
63 a 37.5 mm 2½" a 1½"			100	90-100	35-70	0-15		0-5					
50 a 25.0 mm 2" a 1"				100	90-100	35-70	0-15		0-5				
50 a 4.75 mm 2" a Nº4				100	95-100		35-70		10-30		0-5		
37.5 a 19mm 1½" a ¾"					100	90-100	20-55	0-15		0-5			
37.5 a 4.75mm 1½" a Nº4					100	95-100		35-70		10-30	0-5		
25 a 12.5 mm 1" a ½"						100	90-100	20-55	0-10	0-5			
25 a 9.5 mm 1" a ⅜"						100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
25 a 4.75 mm 1" a Nº4						100	95-100		25-60		0-10	0-5	
19 a 9.5 mm ¾" a ⅜"							100	90-100	20-55	0-15	0-5		
19 a 4.75 mm ¾" a Nº4							100	90-100		20-55	0-10	0-5	
12.5 a 4.75mm ½" a Nº4								100	90-100	40-70	0-15	0-5	
9.5 a 2.36mm ⅜" a Nº8									100	85-100	10-30	0-10	0-5

**Tabla 2.3.** Granulometría de la norma ASTM C-33 para el agregado grueso  
Fuente: Norma ASTM

#### a) Módulo de finura

El módulo de finura del agregado grueso, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura para el agregado grueso se calcula sumando los porcentajes acumulados de los tamices 11/2", ¾", 3/8", Nº4 + 500 y dividiendo el total entre 100

Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.



**b) Tamaño máximo (TM)**

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra.

**c) Tamaño máximo nominal (TMN)**

El tamaño máximo nominal es otro parámetro que se deriva del análisis granulométrico y está definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura (mayor) a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. La mayoría de los especificadores granulométricos se dan en función del tamaño máximo nominal y comúnmente se estipula de tal manera que el agregado cumpla con los siguientes requisitos.

El TMN no debe ser superior que  $1/5$  de la dimensión menor de la estructura, comprendida entre los lados de una formaleta.

El TMN no debe ser superior que  $1/3$  del espesor de una losa.

El TMN no debe ser superior que  $3/4$  del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

**B. Granulometría agregado fino**

La arena, agregado fino o árido fino se refiere a la parte del árido o material cerámico inerte que interviene en la composición del hormigón.

El agregado fino consistirá en arena natural proveniente de canteras aluviales o de arena producida artificialmente. La forma de las partículas deberá ser generalmente cúbica o esférica y razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas. La arena natural estará constituida por fragmentos de roca limpios, duros, compactos y durables.

En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos instaurados en la norma ASTM C-33, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz n° 200	(ASTM C 117)	3%
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	1%
Grumos de arcilla	(ASTM C 142)	1%
Total de otras sustancias dañinas (como álcalis, mica, limo)	-	2%
Pérdida por meteorización	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	10%

**Tabla 2.4.** Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino  
**Fuente:** Norma ASTM

El agregado fino deberá estar bien gradado entre los límites fino y grueso y deberá llegar a tener la granulometría siguiente:

TAMIZ U.S.STANDARD	DIMENSIÓN DE LA MALLA (MM)	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA
N° 3/8"	9,52	100
N° 4	4,75	95 - 100
N° 8	2,36	80 - 100
N° 16	1,18	50 - 85
N° 30	0,60	25 - 60
N° 50	0,30	10 - 30
N° 100	0,15	2 - 10

**Tabla 2.5.** Requisitos de la norma ASTM para el agregado fino  
**Fuente:** Norma ASTM

#### a) Módulo de Finura

El módulo de finura del agregado fino, es el índice aproximado que nos describe en forma rápida y breve la proporción de finos o de gruesos que se tiene en las partículas que lo constituyen.

El módulo de finura de la arena se calcula sumando los porcentajes acumulados en las mallas siguientes: Número 4, 8, 16, 30, 50 y 100 inclusive y dividiendo el total entre 100.

Es un indicador de la finura de un agregado: Cuanto superior sea el módulo de finura, más grueso es el agregado.

Es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

El rango del módulo de finura de la arena es de 2.3 a 3.1

Si el módulo de finura de una arena es de 2.3 se trata de una arena fina; y si el módulo se encuentra entre 2.3 a 3.1 se trata de una arena mediana. Y si el módulo es mayor de 3.1 se trata de una arena gruesa.

## 5. Peso específico

Se define en la dosificación de hormigón, como la relación del peso de la muestra de un material en el aire, al peso del agua desplazado por el mismo incluyendo sus poros permeables. Según sea que el peso en el aire se considera seco (en horno a peso constante) o en condición de saturado y superficie seca, el peso específico se refiere a una de esas condiciones.

El peso específico de los agregados, que expresa también como densidad al sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es aconsejable practicar pruebas adicionales.

## 6. Porcentaje de absorción

Es la cantidad de agua que un agregado necesita para pasar de la condición seca a de saturado superficialmente, se expresa generalmente en porcentaje:

$$\%Absorción = \frac{Peso_{SSS} - Peso_{seca}}{Peso_{seca}} \times 100$$

La absorción de los agregados se obtiene esencialmente después de haber sometido al material a una saturación durante 24 horas, cuando ésta termina se procede a secar superficialmente el material, y por diferencias de masa se logra adquirir el porcentaje de absorción con relación a la masa seca del material.

La cantidad de agua absorbida estima la porosidad de las partículas de agregado. Conocer la cantidad de agua que puede ser alojada por el agregado siempre resulta de mucha utilidad, en ocasiones se emplea como un valor que se especifica para aprobar o rechazar el agregado en una cierta aplicación. Por ejemplo, cuando el agregado puede influir en el comportamiento del concreto para soportar heladas, se especifica un agregado con baja absorción (no mayor al 5 %), por el peligro de deterioro en el material debido al congelamiento del agua absorbida en el agregado. La fórmula de cálculo para la absorción de gravas es igualmente aplicable para las arenas.

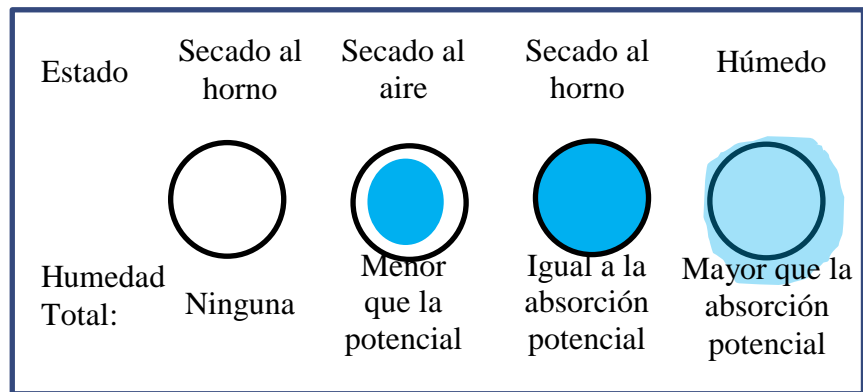
## 7. Humedad superficial

Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 2.4. y se las puede definir como:

$$\%Humedad = \frac{Peso_{humedo} - Peso_{seco}}{Peso_{seco}} \times 100$$

1. Secado al horno – Totalmente absorbente
2. Secado al aire – La superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – No absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre).



*Figura 2.4. Condiciones de humedad de los agregados.*

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la Trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre principalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un encerrado máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

### 2.2.3. Agua

El agua es el elemento por medio del cual el cemento desarrolla sus propiedades aglutinantes ya que en presencia de ella experimenta reacciones químicas dándole las características de fraguar y endurecer, está relacionada con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del hormigón endurecido.

El agua se usa en la elaboración del hormigón para propósitos diferentes: como agua de mezclado, el agua de curado.

- ❖ El agua de mezclado: Participa en las reacciones químicas de hidratación del cemento dándole la característica de fraguar, y por otra, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. El agua de mezclado forma el 15 % del volumen total del concreto, donde el 5% sirve para hidratar el cemento y el restante 10 % sirve para darle la trabajabilidad al hormigón, que luego se evapora durante el proceso de fraguado.
  
- ❖ El agua de curado: Se utiliza después de que el concreto ha fraguado y tiene como función la de seguir hidratando el cemento.

#### **2.2.3.1. El agua en el concreto**

El agua se usa en la elaboración del concreto para propósitos diferentes: como agua de mezclado, como agua de curado y como agua de lavado de los agregados. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del concreto, un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al concreto y luego se evapora durante el proceso de fraguado. El agua de curado se utiliza después de que el concreto ha fraguado y tiene como función la de seguir hidratando al cemento. El agua de lavado de los agregados no participa activamente en la mezcla de los concretos, pero es importante en el procesamiento de los agregados. En términos generales el agua a utilizar, tanto en el mezclado como el curado del concreto, debe ser potable y cuando se trata de utilizar aguas cuyo comportamiento es desconocido, se hace imprescindible su ensayo y comparación con agua de reconocidas buenas características para producir concreto.

### 2.2.3.2. Requisitos que debe cumplir

El agua a emplearse en la preparación del concreto deberá ser limpia y estar libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, material orgánico y otra sustancia que puedan ser nocivas al concreto o al acero.

Si se tuvieran dudas de la calidad del agua a emplearse en la preparación de una mezcla de concreto, será necesario realizar un análisis químico de ésta, para comparar los resultados con los valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del concreto que a continuación indicamos:

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	VALOR
Exponente de hidrógeno pH	N.B./UNE 7234		$\geq 5$
Sustancias disueltas	N.B./UNE 7130	gr/lt	$\leq 15$
Sulfatos, expresados en S O <sub>4</sub>	N.B./UNE 7131	gr/lt	$\leq 1$
Ion cloro Cl	N.B./UNE 7178	gr/lt	$\leq 6$
Hidratos de carbono	N.B./UNE 7132		0
Sustancias orgánicas solubles en éter	N.B./UNE 7235	gr/lt	$\leq 15$

**Tabla 2.6.** Requisitos que debe cumplir el agua  
Fuente: Código Boliviano del Hormigón CBH-87

También deberá hacerse un ensayo de resistencia a la compresión a los 7 y 28 días, preparando testigos con agua destilada o potable y con el agua cuya calidad se quiere evaluar, considerándose como satisfactorias aquellas que arrojen una resistencia mayor o igual al 90% que la del concreto preparado con agua potable.

Un método rápido para conocer la existencia de ácidos en el agua, es por medio de un papel tornasol, el que sumergido en agua ácida tomara un color rojizo.

### 2.3 Vinaza

La vinaza es un líquido de color café y olor dulce, se obtiene de la melaza de la caña de azúcar y constituye el desecho industrial de mayor importancia en las destilerías de alcohol.

Este residuo, altamente contaminante de las fuentes de agua, presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio, calcio y cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo.

Su valoración nutricional como fertilizante o suplemento en alimentos balanceados está ya bastante estudiado, y su tratamiento primario (centrifugado, concentrado, otros).

El proceso se inicia en el mismo momento del corte de la caña de azúcar. La caña en su corteza posee un componente llamado lignina, que al moler la caña se incorpora en el jugo, produciendo la melaza, materia prima fundamental para la elaboración del alcohol. Al agregarle ácido sulfúrico acabamos de transformar toda esta lignina en lignosulfonatos.

Todos los enfoques que se han dado al problema de la vinaza buscan eliminar o atenuar los efectos de la contaminación sobre los ríos, donde tradicionalmente estos derivados han sido descargados. Este problema se ve multiplicado debido al volumen tan elevado de vinazas producidas en la elaboración del alcohol.

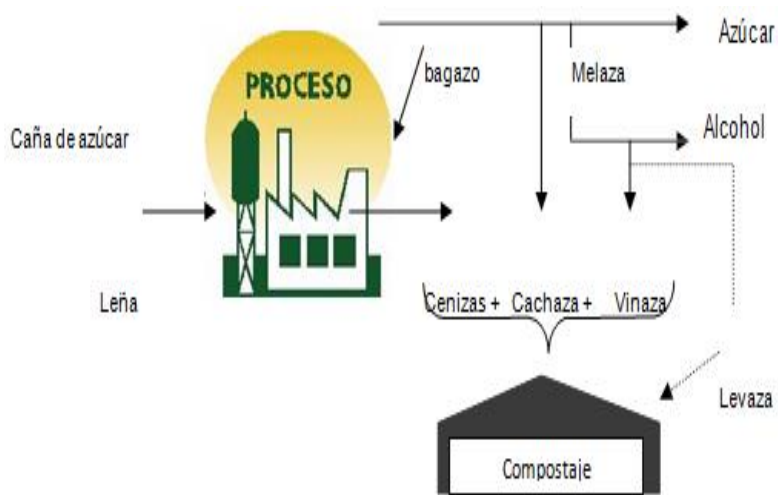


*Figura 2.5: Vinaza de caña de azúcar*  
*Fuente: Fotografía propia*



### 2.3.1. Producción de la vinaza

En términos del volumen producido, se estima que, por cada litro de alcohol obtenido a partir de mosto de melaza, se generan alrededor de trece a quince litros de vinaza. Este residuo, presenta en su composición química altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio y cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo.



**Figura 2.5:** Proceso de producción de la vinaza de caña de azúcar

**Fuente:** Proyecto de Grado “Estabilización de Suelos Cohesivos con Vinaza de Caña de Azúcar”

### 2.3.2. Caracterización de la vinaza

CARACTERIZACIÓN DE LA VINAZA	
➤ pH	➤ Potasio
➤ Desecho no filtrable total	➤ Magnesio
➤ Dureza	➤ Sulfato
➤ Conductividad eléctrica	➤ Fosfato total
➤ Nitrógeno total (Kjeldhal)	➤ DBO
➤ Sodio	➤ DQO
➤ Calcio	

**Tabla 2.7.** Características de la vinaza

**Fuente:** Proyecto de Grado “Estabilización de Suelos Cohesivos con Vinaza de Caña de Azúcar”

### 2.3.3. Composición química de la vinaza

La composición de la vinaza depende de las características de la materia prima usada en la producción de alcohol, ya sea de melaza, jugo de caña o de la combinación de amabas, del tipo, eficiencia de la fermentación y destilación, de las variedades y maduración de la caña. La vinaza, resultante de la destilación de melaza fermentada, tiene una composición elemental interesante y contiene todos los componentes del vino que han sido arrastrados por el vapor de agua, así como cantidades de azúcar residual y componentes volátiles. De manera general, los constituyentes son los siguientes:

ANÁLISIS	UNIDAD	
Materia Orgánica	%	47,77
N	kg/m <sup>3</sup>	4,3
K <sub>2</sub> O	kg/m <sup>3</sup>	41
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	kg/m <sup>3</sup>	0,5
CaO	kg/m <sup>3</sup>	7
MgO	kg/m <sup>3</sup>	9
SO <sub>4</sub> -2	kg/m <sup>3</sup>	35
Ph		4,3 - 4,5
Densidad	kg/m <sup>3</sup>	1,35

**Tabla 2.8.** Composición química de la vinaza

**Fuente:** Proyecto de Grado “Estabilización de Suelos Cohesivos con Vinaza de Caña de Azúcar”



**Figuro 2.7.** Vinaza desechada en un afluente de agua

**Fuente:** Nota informativa Comité Nacional para el Desarrollo Sustentable de la Caña de Azúcar “CONADESUCA”, septiembre 2016

### 2.3.4 Uso de la vinaza de caña azúcar en la actualidad

USOS	APORTE	EFEECTO	OBSERVACIONES
Fertilización	Materia Orgánica Potasio Calcio	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Fomenta la reproducción de microorganismos en el suelo</li> <li>❖ Aporte de nutrientes disponibles</li> </ul>	Se puede aplicar con equipos especiales o directamente con el agua de riego.
Sustrato para compost	Sulfatos Micronutrientes	Sirve como fuente de energía y nutrientes para los microorganismos que compostan el material vegetal residual de las cosechas.	El exceso de vinaza concentrada en la mezcla da lugar a la detección de la mezcla del proceso de compostaje debido al DBO elevado, que interfiere negativamente en la degradación del material vegetal.
Producción de biogás y biosólidos		<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Al descomponerse la materia orgánica en un reactor anaerobio, se genera biogás con contenidos utilizables de metano, gas carbónico y ácido sulfhídrico.</li> <li>❖ Se producen biosólidos ricos en carbono, nitrógeno y azufre asimilable por las plantas.</li> </ul>	Se deben controlar las concentraciones de ácido sulfhídrico ya que producen malos olores y deteriora las tuberías de recuperación del gas.
Medio de cultivo		Suplementada con urea y sacarosa es un excelente sustrato para promover el crecimiento de levaduras, algas del genero <i>Chlorella</i> , bacterias como <i>Pseudomonas</i> y <i>Methanomonas</i> y hongos filamentosos.	La proteína unicelular es aquella proveniente de bacterias, algas y hongos, se constituye en una importante fuente de proteínas para alimentación animal y humana.
Suplemento alimenticio	Proteína energía neta?? Sales minerales	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Mezcla con otros elementos para elaborar concentrados para animales (GICABU).</li> <li>❖ Sustituye parte de la melaza usada en la suplementación del ganado bovino, porcino y conejos</li> </ul>	En bovinos dosis de potasio superiores a 1.5kg/animal causan efectos laxantes?
Incineración		Se constituye en un buen combustible para incinerar y generar energía térmica para distintas aplicaciones.	Actualmente existen dos calderas en Tailandia operando con este combustible.
<b>Otros</b>	<b>Agente plastificante de concretos reforzados.</b> Fabricación de ladrillos. Materia prima para obtener sulfatos de cloruro y potasio, potasa y carbonato de sodio, ácido glutámico y glutamina vía fermentativa.		

**Cuadro 2.3.** Uso de efluentes agroindustriales de plantas de procesamiento de caña de azúcar

**Fuente:** Tecnologías modernas para la alimentación animal CLAT-CLAYUCA-PALMIRA, marzo 21 de 2007

## **2.4. Diseño de mezclas**

Diseñar una mezcla de hormigón consiste en determinar la cantidad de materiales (cemento, agua, agregados y aditivos) que deben emplearse para constituir un volumen unitario de concreto fresco cuya calidad sea tal que cumpla con los requisitos especificados para la estructura que se pretende fabricar.

Al dosificar un hormigón se tiene que tener en cuenta tres factores fundamentales: la resistencia, la consistencia y el tamaño máximo de los áridos. Estos factores están relacionados con una variable que prácticamente determina las características finales de un hormigón; esta variable es la relación agua/cemento.

Existen varios métodos y reglas para determinar teóricamente las cantidades a mezclar de los componentes del hormigón, los cuales son orientativos, pues se basan en pruebas de laboratorio y de campo.

Antes de dosificar una mezcla, se debe tener conocimiento de la siguiente información:

- a) Los materiales
- b) El elemento a vaciar, tamaño y formas de las estructuras.
- c) Resistencia a la compresión requerida.
- d) Condiciones ambientales durante el vaciado.
- e) Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

## **2.5. Dosificación ACI-211**

El método del American Concrete Institute (ACI) se basa en tablas empíricas mediante las cuáles se especifican las condiciones de partida y la dosificación.

### 2.5.1 Determinación de la razón agua/cemento

La tabla 2.9. define la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas.

Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Colombianos, Pórtland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido			
Resistencia a la compresión Kg/cm <sup>2</sup>	Relación agua-cemento en peso		
	Límite superior	Línea media	Límite inferior
140	-	0,72	0,65
175	-	0,65	0,58
210	0,7	0,58	0,53
245	0,64	0,53	0,49
280	0,59	0,48	0,45
315	0,54	0,44	0,42
350	0,49	0,40	0,38

*Tabla 2.9. Determinación de la razón agua/cemento  
Fuente: Norma ACI*

### 2.5.2. Determinación de la fluidez

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia el cuadro 2.4. Este cuadro define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales.

Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211)	
Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (mm)
Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	0-20
Pavimentos	20-35
Pavimentos, fundaciones en hormigón simple	35-50
Elementos compactados a mano, losas, muros, vigas	50-100
Elementos estructurales esbeltos	100-150
Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	150 o más

**Cuadro 2.4.** Asentamientos de cono para diferentes tipos de construcción

**Fuente:** Norma ACI 211

### 2.5.3. Determinación de la dosis de agua

Se emplea la tabla 2.10. que establece la cantidad de agua expresada en l/m<sup>3</sup> de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal especificado anteriormente.

Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido									
Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9,51 3/8"	12,70 1/2"	19,00 3/4"	25,40 1"	38,10 1 1/2"	50,80 2"	64,00 2 1/2"	76,10 3"
mm	pulg.	Agua de mezclado, en Kg/m <sup>3</sup> de hormigón							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	146
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

**Tabla 2.10.** Determinación de la dosis de agua

**Fuente:** Norma ACI

#### 2.5.4. Determinación de la dosis de cemento

La dosis de cemento se determina en base al coeficiente entre la dosis de agua determinada y la razón agua/cemento definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

$$C[\text{kg}/\text{m}^3] = \frac{(W + a)}{W/C}$$

#### 2.5.5. Determinación de la dosis de grava

Se especifica a partir de la tabla 2.11. en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Volumen aparente de árido grueso seco por metro cúbico de hormigón (ACI 211)				
Tamaño máximo del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,7	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	0,66	0,64	0,62	0,60
25,4	0,71	0,69	0,67	0,65
38,1	0,75	0,73	0,71	0,69
50,8	0,78	0,76	0,74	0,72
76,1	0,82	0,80	0,78	0,76
152,0	0,87	0,85	0,83	0,81

**Tabla 2.11.** Determinación de la dosis de grava  
Fuente: Norma ACI

## 2.5.6. Determinación de la dosis de arena

### 2.5.6.1. Método volumétrico

Se dispone partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena,  $A_f$ , está dada por:

$$A_f = \left[ \frac{kg}{m^3} \right] = \gamma_f = \left[ 1000 - \left( W + \frac{C}{\gamma} + \frac{A_g}{\gamma_G} + 10a \right) \right]$$

Donde:

$\gamma_f$  = densidad real o peso específico del árido fino ( $gr/cm^3$ ).

$\gamma_g$  = densidad real o peso específico del árido grueso ( $gr/cm^3$ ).

$\gamma$  = peso específico del cemento ( $gr/cm^3$ ).

$A_g$  = dosis de árido grueso o grava ( $kg/m^3$ ).

$a$  = dosis de aire (%)

$C$  = dosis de cemento ( $kg/m^3$ )

$W$  = dosis de agua ( $kg/m^3$ )

En el presente trabajo se eligió el método de la dosificación ACI-211 porque es el más aplicado en el diseño de mezclas para edificaciones debido a que toma más en cuenta las propiedades de los agregados, con referencia al método de dosificación AASHO que es más utilizado en el diseño de mezclas para la construcción de carreteras.



## **2.6 Elaboración de muestras**

Las probetas consisten en cilindros de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto. La elaboración se lleva a cabo llenando un molde metálico en 3 capas de igual altura con la muestra en estado fresco. Cada capa se apisona con 25 golpes aplicados en diferentes sitios de la superficie del hormigón proporcionados con una varilla de 16 mm de diámetro y aproximadamente de 60 cm de longitud. La capa de fondo se debe compactar con toda su profundidad, mientras que en la superior e intermedia la varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente. Una vez terminada la compactación, se completa el molde con más mezcla y se alisa la superficie con un palustre o cualquier otra herramienta de acabado.

Elaborados los especímenes, se golpea las paredes con un martillo de caucho con el fin de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire que puede haber quedado atrapado dentro de la mezcla de hormigón. Después de 24 hrs. de fraguado en un lugar cubierto pasa al curado.

En el presente trabajo de investigación con el propósito de obtener una información confiable sobre la variable investigada es que se eligió realizar 10 probetas para el hormigón patrón y 10 probetas para cada porcentaje de inclusión de vinaza, además como establece la norma ASTM en prueba de materiales de hormigón, la ejecución mínima de un patrón de 9 cilindros, sin embargo también establece que debe existir en la investigación un mínimo de 30 datos de comparación, en este sentido se tiene un total de 110 probetas.

## **2.7 Curado del hormigón**

Es el conjunto de operaciones necesarias para evitar la evaporación o pérdida de agua de amasado del hormigón.

El curado deberá realizarse de tal forma que se evite la pérdida de humedad a través de las superficies de los elementos hormigonados desde el primer momento de su colocación. Para ello podrán utilizarse distintos procedimientos tales como:

- Riego con agua de las superficies.

- Cubrir la superficie con arena, aserrín o tierra húmeda o utilizar pinturas impermeables.
- Aplicación de un producto de curado.

El curado deberá prolongarse como mínimo durante los tres primeros días, adaptándose en cualquier caso a las condiciones ambientales existentes.

## 2.8 Fisuras

Las fisuras aparecen en el hormigón como consecuencia de tensiones que ha rebasado su capacidad resistente.

Dichas tensiones pueden ser producidas por cargas tales como el peso propio, o bien por la existencia de movimientos impedidos al hormigón por diversas causas.

Las fisuras producidas en primer caso, son originadas por los esfuerzos de compresión, tracción, flexión, cortante y torsión a los que puede verse sometido cualquier elemento de una estructura, y suelen aparecer cuando ésta entra en carga o se pone en servicio.

Las fisuras en segundo caso son causadas, principalmente, por las retracciones térmicas e hidráulicas del hormigón, su entumecimiento o los fenómenos de gradientes térmicos diarios o estacionales. Este tipo de fisuras suele aparecer en el hormigón durante los primeros 90 días de edad.

El análisis de las fisuras en el hormigón es importante por dos razones:

- **La primera:** que pueden ser indicio de una mala concepción de las estructuras. Es especialmente peligrosa su aparición en pilares pues pueden indicar un agotamiento resistente de la sección y su inminente rotura;
- **La segunda:** y no menos importante, que suponen una entrada fácil y rápida para agentes agresivos exteriores, que pueden reducir la durabilidad de la estructura y acelerar los procesos de deterioro de las armaduras.

### 2.8.1 Tipos de fisuras:

- Fisuración por retracción plástica:

Ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso como en clima frío." Son fisuras poco profundas, pero de profundidad variable, que pueden formar un patrón poligonal aleatorio, o bien pueden aparecer básicamente paralelas unas a otras. Las fisuras por retracción plástica comienzan como fisuras de poca profundidad, pero pueden convertirse en fisuras cuya profundidad abarque la totalidad de la altura del elemento.

- Retracción por secado:

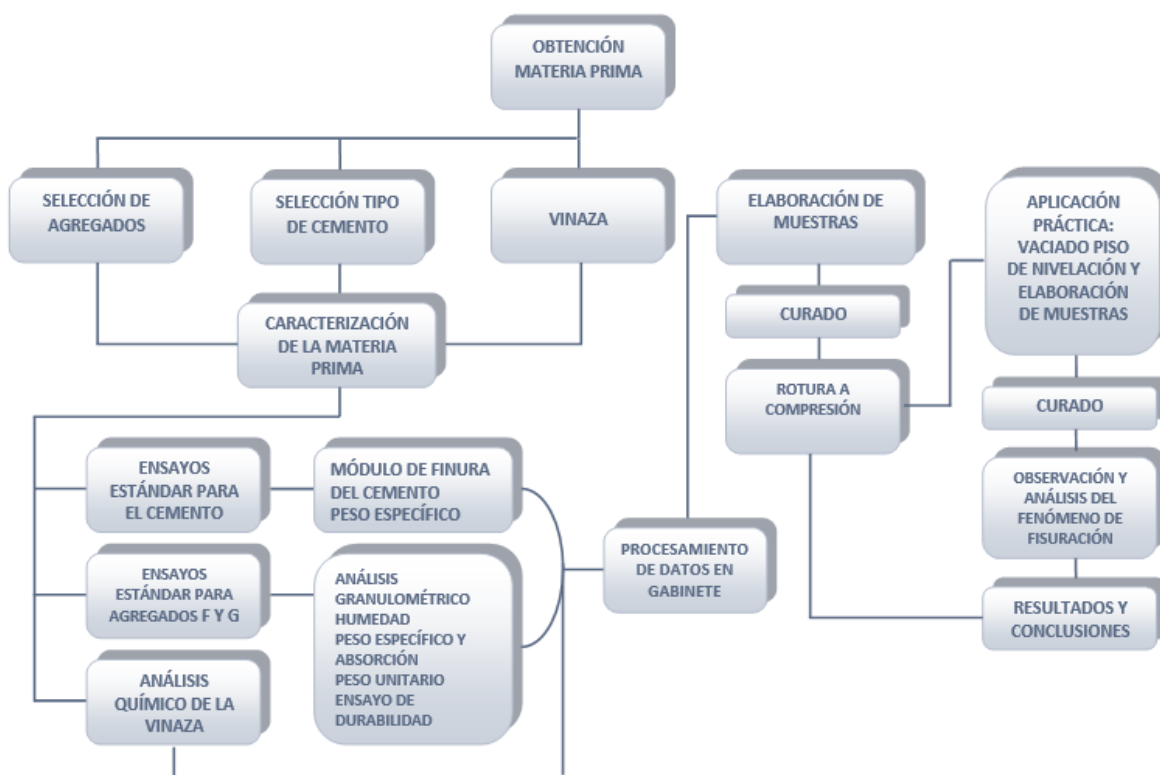
La retracción por secado es provocada por la pérdida de humedad de la pasta cementicia, la cual se puede contraer hasta un 1%. Por fortuna, los agregados proveen una restricción interna que reduce la magnitud de este cambio de volumen a aproximadamente 0,06%. Cuando se humedece el hormigón tiende a expandirse. Estos cambios de volumen inducidos por los cambios de humedad son una característica propia del hormigón. Es la combinación de la retracción y la restricción (generalmente proporcionada por otra parte de la estructura o por la subrasante) lo que provoca el desarrollo de tensiones de tracción. Las fisuras se pueden propagar a tensiones mucho menores que las requeridas para provocar el inicio de la fisuración. En los elementos de hormigón masivo hay tensiones de tracción provocadas por la retracción diferencial entre el hormigón de la superficie y el hormigón del interior de la masa. La mayor retracción de la superficie provoca el desarrollo de fisuras, que con el tiempo pueden penetrar más profundamente hacia el interior del hormigón. La magnitud de la retracción por secado depende principalmente de la cantidad y tipo de agregados y del contenido de agua de la mezcla.

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1 Esquema de elaboración

Para el desarrollo del siguiente Proyecto de Investigación es necesario definir las actividades que se pretenden seguir; las cuales se muestran en el siguiente esquema:



*Esquema 3.1. Diseño del estudio*  
*Fuente: Elaboración propia*

#### 3.2 Selección de materiales

A lo largo de todo el estudio se utilizarán, los materiales básicos constituyentes del hormigón, y vinaza residuo líquido de la producción de alcohol procedente de la fábrica “Industrias

Agrícolas Bermejo S.A.” (IAB S.A.). En los apartados siguientes se describen las características y particularidades de cada uno de ellos.

### 3.2.1 Agregados grueso y fino

La clasificadora “San Blas” se encuentra a  $64^{\circ}43'01,35''$  longitud oeste y  $21^{\circ}33'35,36''$  latitud sur, aproximadamente a 3.38 km del centro de la ciudad de Tarija.

El material de la clasificadora proviene de canto rodado del río Guadalquivir, por lo que para su explotación como grava, gravilla o arena deben ser separados por medio de mallas convencionales.

Para la aplicación práctica del trabajo se utilizó agregado proveniente de la comunidad Sella Rumicancha, ubicada en la Provincia Méndez aproximadamente a 25 km del centro de la ciudad de Tarija, el agregado es procesado en la clasificadora del Proyecto “Construcción Presa Sella Rumicancha Fase I – Tarija”.



**Figura 3.1.** Clasificadora Construcción Presa Sella Rumicancha Fase I Agregado Grueso  
*Fuente: Fotografía propia*

**Figura 3.2.** Clasificadora Construcción Presa Sella Rumicancha Fase I Agregado grueso y fino  
*Fuente: Fotografía propia*

La toma de muestra se realizará de acuerdo a lo que detallan las normas ASTM. Utilizando la técnica de recolección de material denominada cuarteo. Por las razones descritas se procedió al muestreo del material, tomando en cuenta todas las precauciones que esta norma indica, sin perder el temor de obtener muestras heterogéneas que puedan alterar en gran medida el objetivo del presente estudio.

### 3.2.2 Cemento

Se utilizó cemento IP-30 “El Puente” para evitar la variación de fabricación de este componente se realizó el muestreo, la cantidad necesaria para el desarrollo de todo el estudio, los ensayos de esta partida en su totalidad se desarrollaron en el laboratorio de la universidad.

### 3.2.3 Vinaza

La vinaza residuo líquido de la producción de alcohol, la cual es contenida en tanques de almacenamiento dentro de la fábrica IAB S.A. ubicada en provincia Arce, a 64°17'29.34" longitud oeste y 22°42'09,92" latitud sur, aproximadamente a 5 km de la ciudad de Bermejo.

Una porción de la cantidad total de este residuo es reutilizada como fertilizante, en los campos de caña de azúcar, pero la mayor parte es desechada.



*Figura 3.3. Industrias Agrícolas de Bermejo I.A.B. S.A.  
Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.4. Tanque de almacenamiento de vinaza  
Fuente: Fotografía propia*

## 3.3 Caracterización de materiales

### 3.3.1 Caracterización de agregados (grueso y fino)

El agregado grueso o grava, estará formado por canto rodado; deberá ser muy limpia. Sin la presencia de limo recubriendo su superficie y/o que contenga material pétreo descompuesto. Las partículas individuales de grava serán sólidas y resistentes.

El tamaño de la grava deberá tener una buena graduación, desde el tamaño máximo especificado, hasta el tamiz N° 4 donde deberá quedar retenido el 100%.

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

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

### **3.3.1.1 Granulometría agregado grueso**

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

#### **Procedimiento del ensayo:**

Los tamices que se necesitan para este ensayo son: 2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4. El peso de la muestra fue de 15000 gr. que se tamizó de forma mecánica y manual por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.



**Figura 3.5.** Tamizado mecánico  
Fuente: Fotografía propia

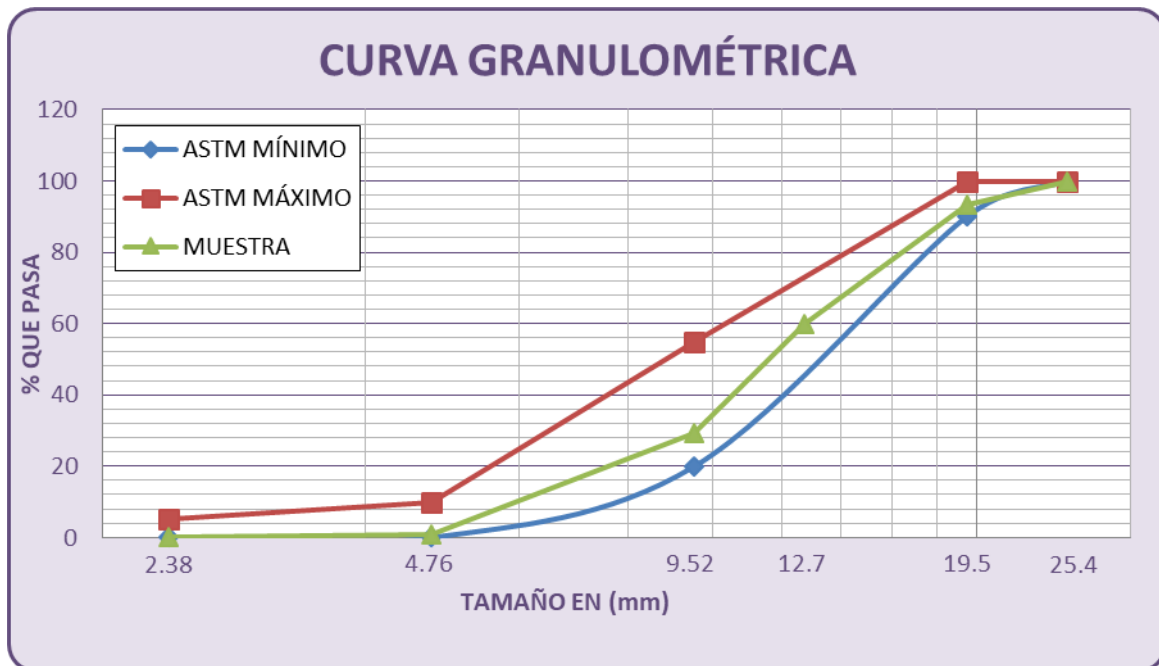
**Resultados:**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

TAMICES	TAMAÑO (MM)	% QUE PASA DEL TOTAL	% QUE PASA ESPECIFICACIÓN ASTM	
1	25.40	93.5	100	100
3/4	19.05	60.0	90	100
1/2	12.50	29.4	.....	.....
3/8	9.50	1.0	20	55
N°4	4.80	0.0	0	10
N°8	2.40	0.0	0	5
BASE	0	93.5	100	100

**Tabla 3.1.** Granulometría de agregado grueso  
Fuente: Datos y resultados propios





**Gráfico 3.1.** Curva Granulométrica de agregado grueso MF= 3,16  
*Fuente: Resultados propios*

Como se puede observar, la curva granulométrica de la muestra se encuentra dentro de las curvas especificadas por la norma ASTM C33.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.1) (Caracterización de materiales).

### 3.3.1.2 Peso específico agregado grueso:

Para el caso de los agregados se emplea el peso específico relativo o peso específico en condición saturada y superficialmente seca para determinar el valor de su densidad, este viene definido como el peso de un cierto agregado en condición de saturado y seco superficialmente, entre el peso de un volumen igual de agua destilada.

El peso específico generalmente viene ligado con la porosidad, y es posible considerar al peso específico como un buen índice de su porosidad. Más importante que el peso específico, es que las rocas se encuentren sanas, puesto que hay rocas con peso específico que a veces

se lo considera normal, y no obstante son inaceptables para aplicarlas en hormigones por estar alteradas. Por esto no se definen límites estrictos en cuanto se refiere al peso específico de las gravas. El peso específico no influye grandemente en las condiciones de resistencia o expansión del hormigón, sobre todo influye en el peso que tendrá este.

El porcentaje de absorción está relacionada entre el peso de la muestra saturada con superficie seca y el peso de la muestra secada en horno, expresado en porcentaje.

### **Procedimiento del ensayo:**

Para la realización de este ensayo se procede a lavar el material con el fin de remover el polvo o cualquier impureza luego se sumerge en agua la muestra por un periodo de 24 horas.



**Figura 3.6.** Muestras de grava lavadas  
*Fuente: Fotografía propia*

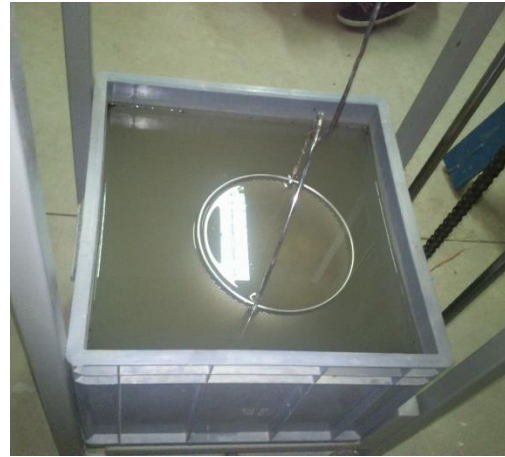


**Figura 3.7.** Muestra de grava sumergida  
*Fuente: Fotografía propia*

Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie, luego se obtiene el peso de la muestra con sus partículas saturadas y nuevamente volvemos a sumergir la muestra en un canastillo metálico y se obtienen el peso de la muestra así sumergida, se seca la muestra en el horno a temperatura constante (105°) luego se pesa.



**Figura 3.8.** Equipo para el pesado de la muestra sumergida  
**Fuente:** Fotografía propia



**Figura 3.9.** Obtención peso sumergido de la muestra  
**Fuente:** Fotografía propia

### **Resultados:**

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>gr/cm<sup>3</sup></b>
Peso específico a granel	<b>2,59</b>
Peso específico saturada, con superficie seca	<b>2,63</b>
Peso específico aparente	<b>2,70</b>
% de Absorción:	<b>1,65</b>

**Tabla 3.2.** Resultados ensayo peso específico y % de absorción  
**Fuente:** Resultados propios

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.2) (Caracterización de materiales).

### 3.3.1.3 Peso unitario agregado grueso

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario, el pie cúbico o metro cúbico.

#### Procedimiento del ensayo:

Tomamos una cantidad apropiada de agregado grueso (grava), la cual fue obtenida mediante cuarteo, luego tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.

Realizamos el ensayo de agregado grueso sin compactar, introduciendo la grava dentro del molde cuidadosamente, excediendo la parte superior del molde y se desecha el exceso de agregado, con ayuda de la varilla dejando la grava al ras de la superficie del molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.



**Figura 3.10.** Llenado del molde con muestra suelta  
*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.11.** Enrasado muestra suelta  
*Fuente: Fotografía propia*

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla, luego enrasamos la superficie de la grava y llevamos la muestra con el molde,

después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando esta compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.



**Figura 3.12.** Apisonado con varilla 2da capa

*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.13.** Obtención peso compactado de la muestra

*Fuente: Fotografía propia*

### **Resultados:**

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

AGREGADO GRUESO	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	<b>1,497</b>
Peso Unitario Compactado	<b>1,629</b>

**Tabla 3.3.** Resultados ensayo peso unitario agregado grueso

*Fuente: Resultados propios*

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.3) (Caracterización de materiales).

### 3.3.1.4 Resistencia al desgaste

Una característica fundamental de los agregados gruesos es la resistencia al desgaste, para dicho objetivo se utiliza la Máquina de los ángeles, q consiste en un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos (Ver figura 3.12.). La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los ángeles consistirá de bolas de acero de 1 7/8” de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usará, depende de la gradación de la muestra de ensayo, para el caso de ¾” que pertenece a la gradación B se usará 11 bolas de acero.



**Figura 3.14.** Máquina de los Ángeles  
**Fuente:** Fotografía propia

GRADACIÓN	NRO DE ESFERAS	PESO DE LA CARGA
A	12	5000+25
B	11	4584+25
C	8	3330+20
D	6	2500+15
E	12	5000+25
F	12	5000+25
G	12	5000+25

**Tabla 3.4.** Gradación y carga de desgaste  
**Fuente:** Guía de Ensayos Laboratorio de Hormigón “UAJMS”

La muestra de ensayo consistirá en 5000 gr. Se presenta el siguiente cuadro para los tipos de gradación.

TAMAÑO DE TAMIZ		GRADACIÓN Y PESO DE LA MUESTRA DE ENSAYO EN (gr)						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 ½"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2 ½"	2"	.....	.....	.....	.....	2500	.....	.....
2"	1 ½"	.....	.....	.....	.....	5000	5000	.....
1 ½"	1"	1250	.....	.....	.....	.....	5000	.....
1"	¾"	1250	.....	.....	.....	.....	.....	.....
¾"	½"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
½"	3/8"	1250	2500	.....	.....	.....	.....	5000
3/8"	Nro. 3	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro. 3	Nro. 4	.....	.....	2500	.....	.....	.....	.....
Nro. 4	Nro. 8	.....	.....	.....	5000	.....	.....	.....

**Tabla 3.5** Peso de la muestra según la gradación  
**Fuente:** Guía de Ensayos Laboratorio de Hormigón "UAJMS"

### **Procedimiento del ensayo:**

Se coloca la muestra de ensayo en la máquina de los ángeles, seguidamente se coloca las esferas de acero según el tipo de gradación, para este caso la gradación B, se cierra la tapa y se programa para 500 revoluciones a razón de 30 a 33 revoluciones por minuto, una vez terminado las 500 revoluciones se retira la muestra, se realiza una separación preliminar por el tamiz N° 12, el material retenido se lava y se seca en el horno a temperatura constante, se pesa, la diferencia entre el peso de inicio y final del ensayo dividido entre el peso inicial y multiplicado por 100 nos da el porcentaje de desgaste de la muestra.



**Figura 3.15.** Muestra dentro de la máquina de los Ángeles  
**Fuente:** Fotografía propia

### **Resultados:**

Los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Peso inicial de la muestra	5,000
Peso de la muestra pasa 3/4" ret. 1/2"(Kg):	2,500
Peso de la muestra pasa 1/2" ret. 3/8"(Kg):	2,500
Peso después del ensayo ret. Tamiz N° 12	3,818
Peso de la muestra ret. Tamiz N° 12 (Kg)	3,890
<b>Porcentaje de desgaste (%)</b>	<b>28,524</b>

**Tabla 3.6** Porcentaje de desgaste  
**Fuente:** Datos y resultados propios

El porcentaje de desgaste de la grava es de 28.5%, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.1.4) (Caracterización de materiales).

### **3.3.1.5 Granulometría agregado fino**

Los agregados finos al igual que los agregados gruesos deben cumplir ciertas características granulométricas para darles un uso óptimo en la construcción civil.



El módulo de finura no deberá ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1 y si varía más del 0.20 del valor asumido al seleccionar las proporciones para concreto, deberá ser rechazado a menos que se verifiquen ajustes adecuados con el objeto de compensar la diferencia de graduación.

**Procedimiento del ensayo:**

Para la realización del ensayo de granulometría, se tomó una muestra de 1000 gr.

Para disponer la parte fina de material, se usan los siguientes tamices: 3/8", N° 4", N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 50, N° 100, N° 200.

El tamizado fue de forma mecánica por el periodo de 15 min, para luego depositar la muestra de material retenido en las mallas de cada tamiz y la base en bandejas para poder pesar y anotar los resultados para realizar los cálculos de la práctica.



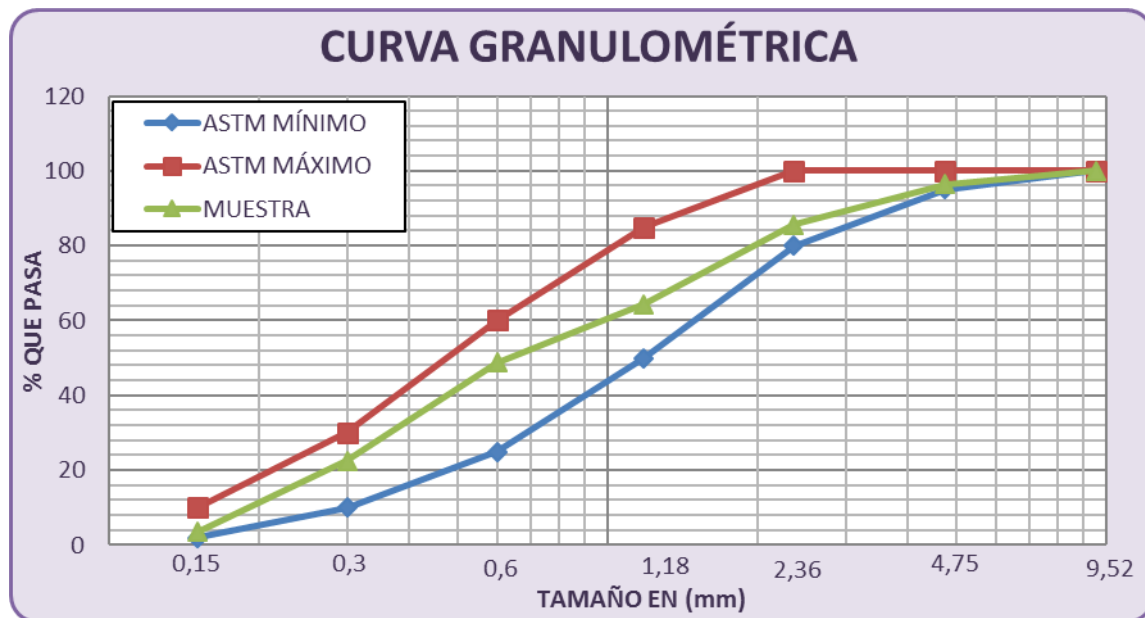
**Figura 3.16.** Juego de tamices granulometría agregado fino  
**Fuente:** Fotografía propia

**Resultados:**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

TAMICES	TAMAÑO (MM)	% QUE PASA DEL TOTAL	% QUE PASA ESPECIFICACIÓN ASTM	
3/8	9,50	100,0	100	100
Nº4	4,75	96,4	95	100
Nº8	2,36	85,6	80	100
Nº16	1,18	64,4	50	85
Nº30	0,60	48,8	25	60
Nº50	0,30	22,6	10	30
Nº100	0,15	3,5	2	10
BASE		0,0		

*Tabla 3.7. Granulometría de agregado fino  
Fuente: Datos y resultados propios*



*Gráfico 3.2. Curva Granulométrica de agregado fino MF= 2,79  
Fuente: Resultados propios*

Como se puede observar, la curva granulométrica de la muestra se encuentra dentro de las curvas especificadas por la norma ASTM C33.

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla en el ANEXO A (A.2.1) (Caracterización de materiales).

### 3.3.1.6 Peso específico agregado fino

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

#### Procedimiento del ensayo:

Se trabajará con una muestra de 500 gr, que puede ser obtenida por cuarteo luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

Sacamos muestra en un recipiente y se seca de manera uniforme.

Para inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca el molde cónico, y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía humedad en la superficie, conservará la forma cónica y si por el contrario la humedad ha sido eliminada, la arena rodará libremente cuando se retire el cono.



*Figura 3.17. Secado de la arena*  
*Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.18. Muestra húmeda*  
*Fuente: Fotografía propia*

Se coloca 500gr. de muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope. Con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y pesamos el matraz lleno. Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno a una temperatura constante de (105 °C) y se pesará.



**Figura 3.19.** Pesado de matraz con arena sumergida en agua.  
**Fuente:** Fotografía propia

### **Resultados:**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

AGREGADO FINO	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Específico saturado de la superficie seca:	<b>2,52</b>
Peso Específico a granel:	<b>2,61</b>
Peso específico aparente:	<b>2,76</b>
% de absorción	<b>3,35</b>

**Tabla 3.8.** Resultados ensayo de peso específico y % de absorción agregado fino  
**Fuente:** Datos y resultados propios

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla de ensayo en el ANEXO A (A.2.2) (Caracterización de materiales).

### 3.3.1.7 Unitario agregado fino

Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

#### **Procedimiento del ensayo:**

Tomamos una cantidad apropiada de agregado fino (arena), la cual fue obtenida mediante cuarteo, tomamos un molde cilíndrico y lo pesamos en la balanza.

Realizamos el ensayo de agregado fino sin compactar, introduciendo la arena dentro del molde cuidadosamente excediendo la parte superior del molde y con la barra de hierro se desecha el exceso de agregado dejando la arena al ras de la superficie del molde. Llevamos el molde con la muestra a la balanza y lo pesamos tratando de ser lo más preciso posible.



*Figura 3.20. Molde cilíndrico  
Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.21. Llenado muestra suelta  
Fuente: Fotografía propia*

Luego pasamos al proceso de compactado para eliminar los vacíos, donde llenamos el recipiente cilíndrico poco a poco en 3 capas las cuales deben compactarse a 25 golpes con una varilla de acero, luego enrasamos la superficie de la arena y llevamos la muestra con el molde después de realizado el compactado a una balanza para pesar cuánto vale cuando esta compactado. Este procedimiento lo realizamos 3 veces para obtener un valor promedio.



**Figura 3.22.** Apisonado 2da capa  
*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.23.** Enrasado de muestra compactada  
*Fuente: Fotografía propia*

### **Resultado**

Se obtuvieron los siguientes resultados:

AGREGADO FINO	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	<b>1.888</b>
Peso unitario compactado	<b>1.819</b>

**Tabla 3.9.** Resultados peso unitario suelto y compactado  
*Fuente: Resultados propios*

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla en el ANEXO A (A.2.3) (Caracterización de materiales).

#### **3.3.1.8 Peso específico cemento**

Este dato fue logrado por normas y parámetros obtenidos de:

- Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas de Bolivia:

El cemento se presenta en forma de polvo, su densidad o peso específico es aproximadamente 3 g/cm<sup>3</sup>.

- Por Normas ASTM 188-55 y AASTHO T-133:

El peso específico relativo del cemento, oscila entre los rangos 2.95 y 3.15 g/cm<sup>3</sup>. Cuando el tipo de obra no justifica la determinación exacta del peso específico relativo del cemento, se puede usar el valor de 3.14. Valor que viene especificado por el fabricante.

PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO	
PEC (gr/cm <sup>3</sup> )	3,14

**Tabla 3.10.** *Peso específico del cemento*  
*Fuente: Especificación del fabricante*

### 3.3.1.9 Módulo de finura cemento

La finura del cemento influye en el calor liberado y en la velocidad de hidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. Los efectos que una mayor finura provoca sobre la resistencia, se manifiestan principalmente durante los primeros siete días. Según la norma ASTM, no exige que se clasifiquen los resultados, sino que se les da un valor informativo de aceptación o rechazo.

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

- Si el %F es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido.
- Si el %F es menor al 10%, es así porque es un cemento Portland para uso ordinario.

Existen varios métodos para determinar la finura del cemento, pero se realizará por medio del tamiz 200 ya que es el único método disponible en el laboratorio de hormigón de la UAJMS.

#### **Procedimiento del ensayo:**

Para la finura del cemento se utilizaron 50 gramos del mismo y se trabajó con los tamices N<sup>o</sup> 40 y N<sup>o</sup> 200, pesando los pesos retenidos en los mismos.

**Resultados:**

CEMENTO	%
Módulo de finura cemento “El Puente”	2,633

**Tabla 3.11.** Módulo de finura del cemento**Fuente:** Resultados propios

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla en el ANEXO A (A.3.1) (Caracterización de materiales).

**3.3.1.10 Análisis químico vinaza**

El análisis químico de la vinaza se realizó en la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en la Facultad de Ciencias y Tecnología, en el centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “C.E.A.N.I.D.” Laboratorio Oficial del Ministerio de Salud y Previsión Social.

Obteniendo los siguientes resultados:

PARÁMETRO	MÉTODO	UNIDAD	MUESTRA I 730 FQ 633
Calcio disuelto	SM 2320 – B	mg/l	1540
Cloruros	Sm 4500 – CI B	mg/l	1511
Hidratos de Carbono	NB 588	Pos/Neg	Positivo
Ph	SM 4500 – H – B		5.26
Sulfatos	SM 4500 – SO <sub>4</sub> – E	mg/l	1639

**Tabla 3.12.** Análisis químico vinaza**Fuente:** Informe de ensayo de laboratorio del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo “C.E.A.N.I.D.”**3.4 Dosificación**

La dosificación de probetas se realizó por el método de ACI para un hormigón H21.



Para la dosificación se trabajó con los siguientes resultados obtenidos de pruebas de la caracterización de materiales.

### 3.4.1 Características agregados

ENSAYO	UNIDAD	VALOR
1.- Módulo de finura de la arena (MF)	s/u	<b>2,79</b>
2.- Peso unitario Compactado de la grava ( PUC )	kg/m <sup>3</sup>	<b>1629</b>
3.- Peso específico de la arena ( $\gamma_f$ )	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,76</b>
4.- Peso específico de la grava ( $\gamma_g$ )	gr/cm <sup>3</sup>	<b>2,70</b>
5.- Absorción de la arena ( Aa )	%	<b>3,35</b>
6.- Absorción de la Grava ( Ag )	%	<b>1,65</b>
7.- Humedad de la Arena ( Ha )	%	<b>0,83</b>
8.- Humedad de la Grava ( Hg )	%	<b>0,31</b>
9.- Tamaño máximo Nominal ( TMN )	pulg	<b>3/4"</b>
10.- Tamaño Máximo ( TM )	pulg	<b>1"</b>
11.- Peso específico del cemento	gr/cm <sup>3</sup>	<b>3,14</b>

**Tabla 3.13.** Características de los agregados

**Fuente:** Datos y resultados propios

### 3.4.2 Características del diseño

Resistencia de diseño ( fck )	<b>210</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Resistencia Característica ( fck ) (Tabla 11.12)	<b>295</b>	kg/cm <sup>2</sup>
Asentamiento ( S ) (Tabla 11.4)	<b>3</b>	pulg
Relación Agua / Cemento ( a/c ) (Tabla 11.13)	<b>0,46</b>	s/u

**Tabla 3.14.** Características de diseño ver ANEXO C 2

**Fuente:** Tablas de dosificación ACI-211

### 3.4.3 Datos de tablas

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto ( b/bo) (Tabla 11.15)	<b>0,62</b>	s/u
Requerimiento de Agua ( A ) (Tabla 11.7)	<b>187</b>	kg/m <sup>3</sup>

*Tabla 3.15. Datos tablas ver ANEXO C 2  
Fuente: Tablas de dosificación ACI-211*

### 3.4.4 Pesos secos de los componentes

Los resultados del proceso de dosificación son:

PESOS SECOS DE LOS COMPONENTES POR (m <sup>3</sup> ) DE CONCRETO			
COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN ABSOLUTO lt/m <sup>3</sup>	PESO ESPECIFICO gr/cm <sup>3</sup>
Cemento	406,52	129,47	3,14
Agua	188	187	1
Grava	1009,98	374,07	2,70
Arena	854,13	309,47	2,76
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>	<b>1000,00</b>	

*Tabla 3.16. Resultados en peso por metro cúbico de la dosificación  
Fuente: Resultados propios*

### 3.4.5 Proporciones de la mezcla

CEMENTO	ARENA	GRAVA
<b>1,0</b>	<b>2,1</b>	<b>2,5</b>

*Tabla 3.17. Proporciones de la mezcla  
Fuente: Resultados propios*

Para ver a mayor detalle los cálculos del ensayo, se presenta la planilla en el ANEXO C (Dosificación y Tablas de dosificación ACI).

### 3.5 Elaboración de muestras en laboratorio

A continuación, se describe el proceso que se siguió, para la elaboración de los diferentes tipos de muestras basados en ensayos de testificación de materiales (ASTM), constando de probetas cilíndricas estándar de 15cm. de diámetro y 30cm de alto.

#### 3.5.1 Hormigón patrón

Antes de iniciar con el vaciado, se lavó los agregados para eliminar restos de limo y materia orgánica presente, se secó el material. Posteriormente se inició al vaciado de las muestras (patrón) de hormigón, pesando los agregados, de acuerdo a las proporciones obtenidas del cálculo de dosificación correspondiente a cada material (cemento, arena, grava y agua), en condición seca.



*Figura 3.24. Materiales para el vaciado de las muestras patrón*  
*Fuente: Fotografía propia*

Se humedeció el tambor de la mezcladora, se introdujo el agregado grueso y gran parte del agua, segundos más tarde, luego de que el agregado grueso se haya saturado, se introdujo el cemento y la arena, seguido del agua restante para fluidificar la mezcla y esta se homogenice, en función al diseño de cálculo.

Luego de transcurridos un par de minutos en la mezcladora, se vació la pasta de hormigón sobre un recipiente, se verificó que el asentamiento el mismo que tenía que rondar entre las 3” obtenidas de tablas en la dosificación.



**Figura 3.25.** Vertido de agregado fino en la mezcladora  
*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.26.** Asentamiento ensayo cono de Abrams  
*Fuente: Fotografía propia*

Se limpió y engrasó bien cada probeta, se compactó en tres capas con 25 golpes cada una de las probetas, se golpeó con un martillo de goma para quitar el aire atrapado en cada capa y generar un reacomodo de las partículas, se enrasó y se las dejó inmóviles durante 24 horas antes de ser desmoldadas cuidadosamente y puestas a curar sumergidas en agua.



**Figura 3.27.** Enrasado muestra patrón  
*Fuente: Fotografía propia*

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
<b>Cemento</b>	406,52	0,074	30,08
<b>Agua</b>	187,00	0,074	13,84
<b>Grava</b>	1009,98	0,074	74,74
<b>Arena</b>	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.18.** Pesos de los materiales para mezcla patrón  
*Fuente: Datos propios*

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
0%	7,60

**Tabla 3.19.** Asentamiento mezcla patrón  
*Fuente: Resultado ensayo propio*

➤ Observaciones

Se consiguió la consistencia que se esperaba según el diseño de la mezcla, no fue necesario incrementar el volumen de agua o realizar ninguna corrección.

### 3.5.2 Muestras con inclusión de vinaza

Para los distintos porcentajes (10 a 70%) de inclusión de vinaza, se siguió el procedimiento descrito en el anterior apartado realizando un reemplazo en volumen de la cantidad de agua necesaria de acuerdo a cada porcentaje de vinaza que se incluye en la muestra.



**Figura 3.28.** Volumen de vinaza incluida en la mezcla  
*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.29.** Materiales para el vaciado con % de vinaza  
*Fuente: Fotografía propia*

### 3.5.2.1 Hormigón 10% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 90%	168,30	0,074	12,46
Vinaza 10 %	18,70	0,074	1,38
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.20.** Pesos de los materiales para mezcla inclusión de vinaza 10%  
*Fuente: Datos propios*

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
10%	7,00

**Tabla 3.21.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 10%  
*Fuente: Resultado ensayo propio*

➤ Observaciones

El asentamiento fue inferior al establecido, el comportamiento de la mezcla no presentó diferencias considerables respecto a la mezcla patrón.

La trabajabilidad fue similar a la de la mezcla patrón por lo que el llenado de los moldes cilíndricos no excedió los 15 min.

No presentó cambios de color y perdió el olor característico a caña de azúcar.

### 3.5.2.2 Hormigón 20% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
<b>Cemento</b>	406,52	0,074	30,08
<b>Agua 80%</b>	149,6	0,074	11,07
<b>Vinaza 20 %</b>	37,40	0,074	2,77
<b>Grava</b>	1009,98	0,074	74,74
<b>Arena</b>	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.22.** Pesos de los materiales para mezcla inclusión de vinaza 20%

**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
20%	7,50

**Tabla 3.23.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 20%

**Fuente:** Resultado ensayo propio

➤ Observaciones

El asentamiento mediante cono se aproximó bastante al establecido en el diseño de la mezcla, el comportamiento de la mezcla no presentó diferencias considerables respecto a la mezcla patrón.

La trabajabilidad fue similar a la de la mezcla patrón por lo que el llenado de los moldes cilíndricos no excedió los 15 min.

No presentó cambios de color y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, pero apenas perceptible.

### 3.5.2.3 Hormigón 30% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 70%	130,90	0,074	9,64
Vinaza 30 %	56,10	0,074	4,15
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.24.** Pesos de los materiales para mezcla inclusión de vinaza 30%  
**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
30%	7,70

**Tabla 3.25.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 30%  
**Fuente:** Resultado ensayo propio



➤ Observaciones

El asentamiento mediante cono excedió en 0,8 mm al establecido en el diseño de la mezcla, el comportamiento de la mezcla no presentó diferencias considerables respecto a la mezcla patrón, no fue necesario incrementar el volumen de agua.

La trabajabilidad fue similar al de la mezcla patrón por lo que el llenado de los moldes cilíndricos no excedió los 15 min.

No presentó cambios de color y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, pero apenas perceptible.

### 3.5.2.4 Hormigón 40% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 60%	112,20	0,074	8,30
Vinaza 40 %	74,80	0,074	5,54
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.26.** Pesos de los materiales para mezcla inclusión de vinaza 40%  
**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
40%	7,90

**Tabla 3.27.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 40%  
**Fuente:** Resultado ensayo propio

➤ Observaciones

El asentamiento mediante cono fue mayor en 2,8 mm al establecido en el diseño de la mezcla, el comportamiento de la mezcla no presentó diferencias considerables respecto a la mezcla patrón.

La trabajabilidad fue similar a la de la mezcla patrón por lo que el llenado de los moldes cilíndricos no excedió los 15 min.

No presentó cambios de color y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, pero apenas perceptible.

### 3.5.2.5 Hormigón 50% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 50%	93,50	0,074	8,30
Vinaza 50 %	93,50	0,074	5,53
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.28.** Pesos de materiales para mezcla inclusión de vinaza 50%

**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
50%	9,00

**Tabla 3.29.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 50%

**Fuente:** Resultado ensayo propio

➤ Observaciones

Mientras se agregaban los materiales a la mezcladora se pudo observar que la mezcla se encontraba más fluida que la mezcla patrón por lo que se extendió en dos minutos el tiempo de mezclado, por lo que el asentamiento mediante cono excedió en 1,38 cm al establecido en el diseño.

La trabajabilidad fue similar a la de la mezcla patrón por lo que el llenado de los moldes cilíndricos no excedió los 15 min.

La mezcla tomo un color más oscuro y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, un tanto más intenso que en los anteriores porcentajes.

### 3.5.2.6 Hormigón 60% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 38,56%	74,80	0,074	2,12
Vinaza 60 %	112,20	0,074	8,30
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.30.** Pesos de materiales para mezcla de vinaza 60%

**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
60%	9,80

**Tabla 3.31.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 60%

**Fuente:** Resultado ensayo propio

➤ Observaciones

Mientras se agregaban los materiales a la mezcladora se pudo observar que la mezcla se encontraba más fluida que la mezcla patrón, teniendo como precedente lo ocurrido con la mezcla con inclusión de vinaza al 50% se tomó la decisión de reducir la cantidad de agua teniendo un sobrante de 200ml, por lo que el volumen de agua incluido en la mezcla es igual al 38,56% del volumen total requerido según el diseño de la mezcla.

El asentamiento mediante cono excedió en 2,18 cm al establecido en el diseño.

Se pudo observar que mientras el tiempo transcurría la mezcla se hacía menos trabajable por lo que se aceleró el tiempo de llenado de los moldes cilíndricos.

La mezcla tomo un color más oscuro y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, más intenso que en los anteriores porcentajes.

### 3.5.2.7 Hormigón 70% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	406,52	0,074	30,08
Agua 26%	56,10	0,074	2,51
Vinaza 70 %	130,90	0,074	9,68
Grava	1009,98	0,074	74,74
Arena	854,13	0,074	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2457,63</b>		

**Tabla 3.32.** Pesos de materiales para mezcla inclusión de vinaza 70%  
**Fuente:** Datos propios

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
70%	6,10

**Tabla 3.33.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 70%  
**Fuente:** Resultado ensayo propio

### ➤ Observaciones

Mientras se agregaban los materiales a la mezcladora, se pudo observar que la mezcla se encontraba más fluida que la mezcla patrón por lo se redujo la cantidad de agua teniendo un sobrante de 500ml, el volumen total de agua en la mezcla fue 3,65 litros y no 4,15, por lo que el agua que se utilizó equivale al 26% del volumen requerido según el diseño de la mezcla.

El asentamiento mediante cono, fue inferior en 1,52 cm al establecido en el diseño.

Se pudo observar que mientras el tiempo transcurría la mezcla se hacía menos trabajable, por lo que se aceleró el tiempo de llenado de los moldes cilíndricos, la mezcla se tornó espesa y dura en un lapso corto de tiempo.

La mezcla tomo un color más oscuro y las muestras presentaban olor característico a caña de azúcar, más intenso que en los anteriores porcentajes, y después del desmoldado se pudo observar manchas de color marrón en la superficie del molde cilíndrico.

En el ANEXO D (Ensayos en el hormigón) apartado D1 se encuentran los valores de peso específico calculado para cada muestra, después del curado a los 7 y 28 días.

### **3.6 Resistencia a compresión de las muestras**

Las pruebas de resistencia a compresión se llevaron a cabo conforme a la norma ASTM C39, sobre probetas cilíndricas estandarizadas, se utilizó una prensa digital de pruebas a compresión marca CONTROL'S, de procedencia italiana, (sistema de pistón hidráulico, capacidad máxima de fuerza 2000 KN., velocidad nominal 0.5Mp/s, controlada electrónicamente). En la aplicación práctica se utilizó una prensa marca SOCOTEST, presa con bomba hidráulica manual y sistema de lectura digital.



*Figura 3.30. Prensa digital - Laboratorio  
"U.A.J.M.S."  
Fuente: Fotografía propia*



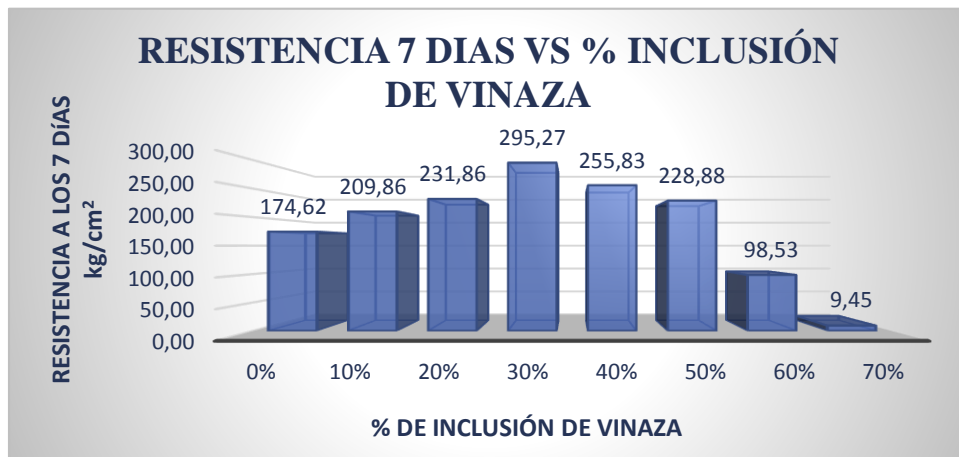
*Figura 3.31. Prensa SOCOTEC – Laboratorio  
"Construcción Presa Sella Rumicancha fase I"  
Fuente: Fotografía propia*

Para las pruebas se utilizaron muestras cilíndricas normalizadas de 15cm. de diámetro y 30cm de alto. Con un total de ochenta (80) probetas en laboratorio y 8 en la aplicación práctica, correspondientes a 8 muestras, cada muestra conformada por 10 probetas y 2 muestras, cada muestra conformada por 4 probetas respectivamente.

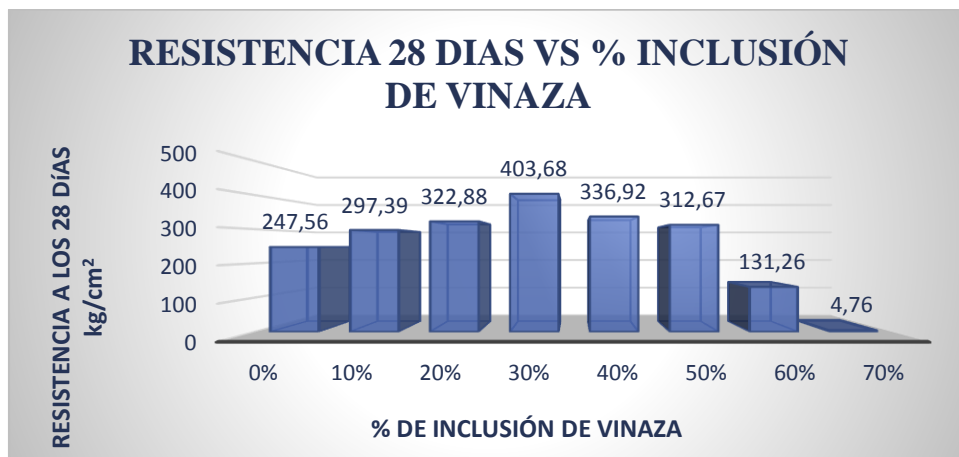
En el ANEXO D (Ensayos en el hormigón) apartados D2 y D3 se encuentran los resultados del ensayo de resistencia para cada muestra y el cálculo del valor medio para cada porcentaje a los 7 y 28 días, tanto para las muestras vaciadas en laboratorio como las muestras vaciadas en obra.

### **3.6.1 Resultados prueba de resistencia a compresión**

A continuación, en los gráficos 3.3 y 3.4 se presentan las resistencias promedio obtenidas en el ensayo de resistencia a compresión para cada porcentaje de vinaza.



**Gráfico 3.3.** Resistencia a los 7 días vs % inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios

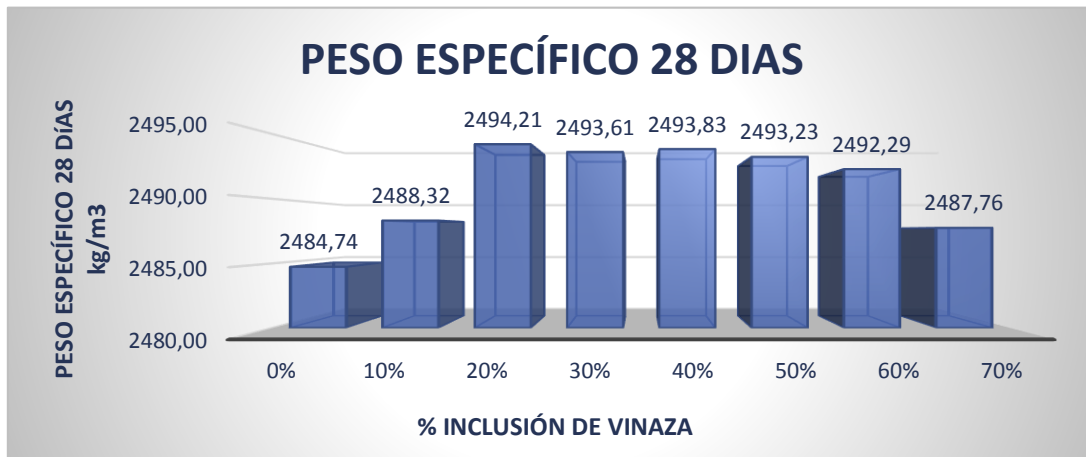


**Gráfico 3.4.** Resistencia a los 28 días vs % inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios

Como se puede observar en los gráficos 3.3 y 3.4 al incluir vinaza en un 30% se obtiene la mayor resistencia a la compresión, considerando todas las observaciones mencionadas durante el vaciado de las muestras se tomó la decisión de realizar la aplicación práctica con este porcentaje.

El análisis de los resultados se encuentra en el CAPÍTULO IV (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS).

### 3.6.2 Resultados peso específico muestras en laboratorio



**Gráfico 3.5.** Peso específico a los 28 días por cada % de inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios

Los detalles de la obtención de datos se encuentran en el ANEXO D (Ensayos en el hormigón).

El análisis de los resultados se encuentra en el CAPÍTULO IV (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS).

### 3.6.3 Resultados de asentamiento muestras en laboratorio



**Gráfico 3.6.** Asentamiento vs % de inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios



El análisis de los resultados se encuentra en el CAPÍTULO IV (ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS).

### 3.7 Aplicación práctica

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas a compresión del hormigón se determinó que el porcentaje más favorable de inclusión de vinaza es el 30%, este tipo de adición incrementa su resistencia en un 92% a los 28 días.

#### 3.7.1 Elaboración de muestras en obra

Se tomaron cuatro muestras del hormigón convencional y cuatro del hormigón con vinaza para posteriormente someterlas a la prueba de resistencia.

##### 3.7.1.1 Hormigón patrón 0% inclusión de vinaza

###### ➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
Cemento	358,33	3	1074,99
Agua	172,00	3	516,00
Grava	1053,63	3	3160,89
Arena	824,61	3	2473,83
<b>TOTAL</b>	<b>2408,57</b>		

**Tabla 3.34.** Pesos de los materiales para mezcla patrón aplicación práctica

**Fuente:** Datos Proyecto Construcción Presa Sella Rumicancha Fase I

###### ➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
0%	7,65

**Tabla 3.35.** Asentamiento mezcla patrón aplicación práctica

**Fuente:** Resultado ensayo propio

➤ Observaciones

Se consiguió la consistencia que se esperaba según el diseño de la mezcla, no fue necesario incrementar el volumen de agua o realizar ninguna corrección, el mezclado se realizó en la planta dosificadora, donde se tomó una muestra representativa para la elaboración de los moldes cilíndricos.

La mezcla fue transportada en un camión mixer, el tiempo de recorrido desde la planta dosificadora hasta el lugar del vaciado es aproximadamente de 8 min

### 3.7.1.2 Hormigón 30% inclusión de vinaza

➤ Dosificación

COMPONENTE	PESO SECO kg/m <sup>3</sup>	VOLUMEN DE VACIADO m <sup>3</sup>	PESO MATERIALES kg
<b>Cemento</b>	358,33	0,500	30,08
<b>Agua 70%</b>	120,4	0,500	2,51
<b>Vinaza 30%</b>	51,6	0,500	9,68
<b>Grava</b>	1053,63	0,500	74,74
<b>Arena</b>	824,61	0,500	63,20
<b>TOTAL</b>	<b>2408,57</b>		

**Tabla 3.36.** Pesos de los materiales mezcla inclusión de vinaza 30% aplicación práctica  
**Fuente:** Datos Proyecto Construcción Presa Sella Rumicancha Fase I

➤ Asentamiento mediante cono

% VINAZA	ASENTAMIENTO cm
30%	7,8

**Tabla 3.37.** Asentamiento mezcla inclusión de vinaza 30% aplicación práctica  
**Fuente:** Resultado ensayo propio

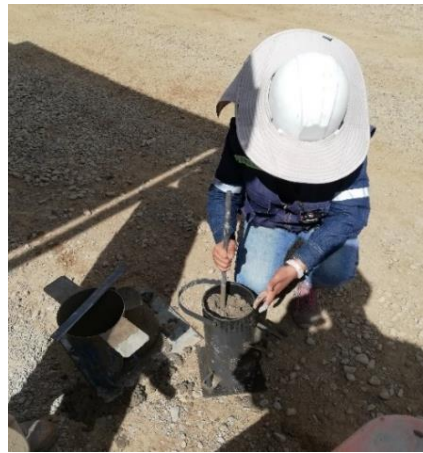
➤ Observaciones

El asentamiento obtenido fue bastante similar al obtenido en las pruebas de laboratorio, al igual que la textura de la mezcla a pesar que en obra se realizó en la planta dosificadora y la mezcla fue transportada en un camión mixer, del cual se tomó una muestra representativa para la elaboración de los moldes cilíndricos.

La mezcla presentaba el característico olor a caña de azúcar y se tornó un tanto más oscura.



*Figura 3.32. Asentamiento hormigón con 30% de vinaza 7,8 cm*  
*Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.33. Elaboración de muestras*  
*Fuente: Fotografía propia*

### 3.7.2 Vaciado piso de nivelación

Para estudiar el fenómeno de fisuración se realizó el vaciado de un piso de nivelación donde se tomó una sección de 1,5 x 1,5 m x 0,2 para realizar las observaciones y compararlas con otro tramo vaciado el mismo día y bajo las mismas condiciones de temperatura y sometidos a esfuerzos similares, ya que sobre el piso de nivelación se instalaron máquinas de perforación que generan vibración al momento de perforar, los pozos perforados son inyectados con lechada de cemento a presiones que varían de 2 a 8 bares.



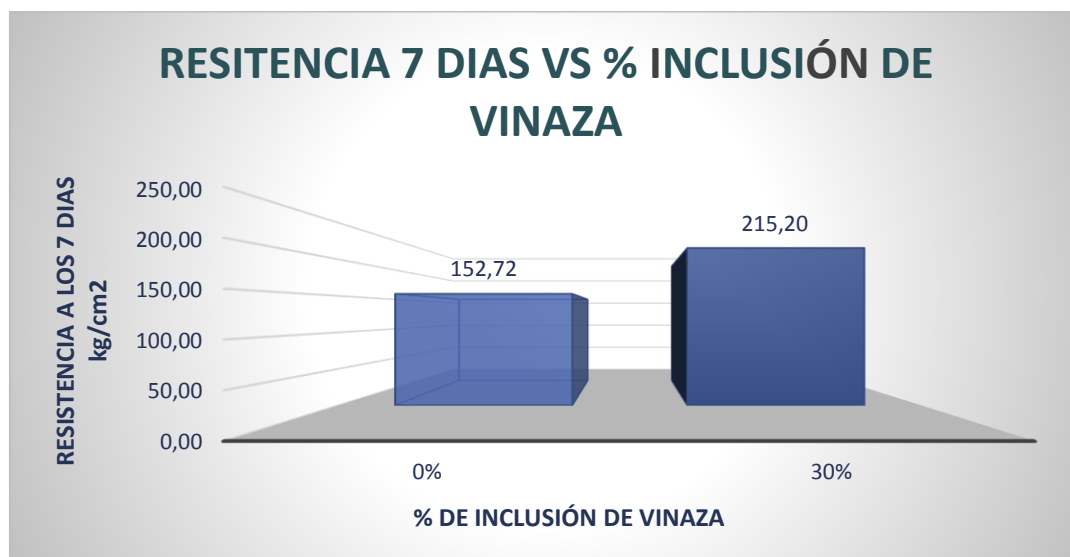
**Figura 3.34.** Vaciado piso de nivelación  
*Fuente: Fotografía propia*



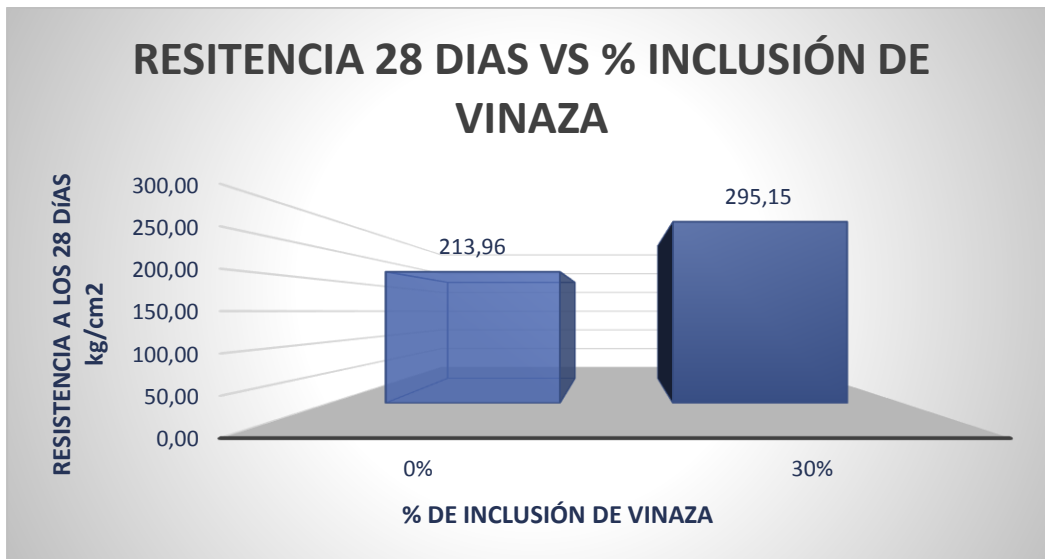
**Figura 3.35.** Piso de nivelación, hormigón con vinaza  
*Fuente: Fotografía propia*

### 3.7.3 Resultados de resistencia a los 7 y 28 días

Los resultados obtenidos son:

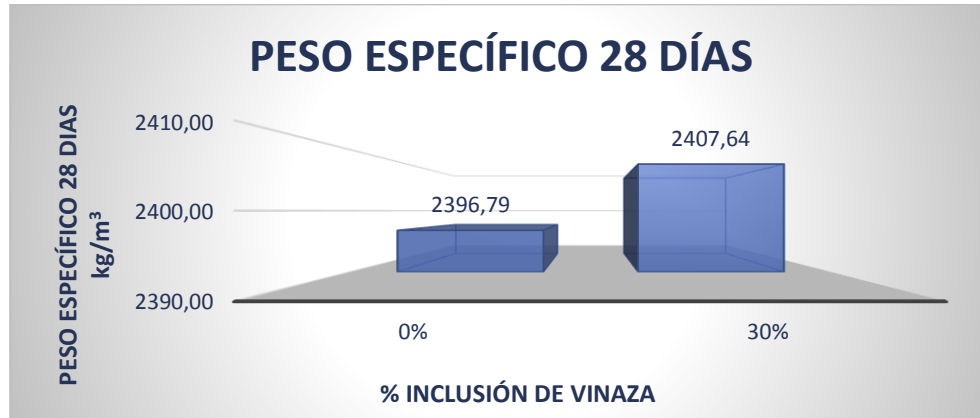


**Gráfico 3.7.** Resistencia a los 7 días 0% y 30% de vinaza aplicación práctica  
*Fuente: Resultados propios*



**Gráfico 3.8.** Resistencia a los 28 días 0% y 30% de vinaza aplicación práctica  
**Fuente:** Resultados propios

### 3.7.4 Resultados de peso específico a los 28 días



**Gráfico 3.9.** Peso específico a los 28 días 0% y 30% de vinaza aplicación práctica  
**Fuente:** Resultados propios

### 3.7.5 Monitoreo de fisuración

La observación y monitoreo de la fisuración se realizó por el lapso de 5 semanas, durante las primeras horas de fraguado no se presentaron fisuras por retracción plástica, por lo que el seguimiento se realizó de manera continua a los 7, 21 y 35 días en dos secciones: la primera

sección de hormigón convencional H-21 y la segunda sección de hormigón con 30% de inclusión de vinaza.



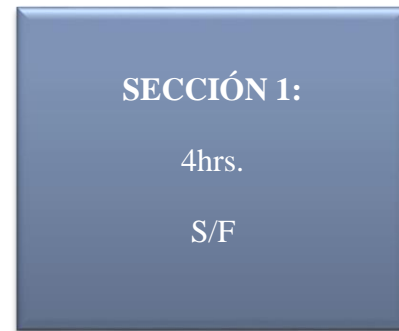
**Figura 3.36.** Secciones de monitoreo a 4 hrs. después del hormigonado, sección 1 hormigón H-21;  
Sección 2 hormigón 30% inclusión de vinaza  
**Fuente:** Fotografía propia

### 3.7.5.1 Monitoreo inicial

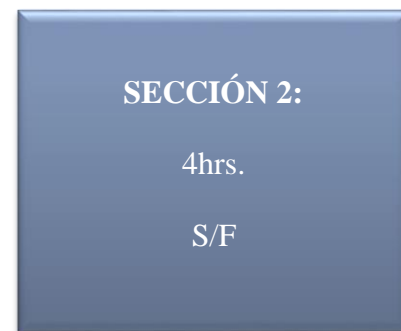
La primera observación se realizó a 4 horas después del vaciado y se evidenció que no habían fisuras por retracción plástica, ambas secciones se encontraban sin fisuras. La variación de la temperatura ambiente entre la hora de vaciado (hrs.11:10 - 24°C) y de la primera observación (hrs.16:15 - 20°C) fue de 4°C.



**Figura 3.37.** Sección 1: Monitoreo inicial  
*Fuente: Fotografía propia*



**Figura 3.38.** Sección 2: Monitoreo inicial  
*Fuente: Fotografía propia*



### 3.7.5.2 Monitoreo 7 días

Del día 1 al día 7, se realizó el seguimiento en el cual se pudo apreciar la aparición de fisuras en la sección 1, por las características y el tiempo de apariciones estas, están clasificadas como fisuras de secado por contracción.

Por otro lado, en la sección 2 no ocurrió lo mismo.



**Figura 3.39.** Fisuras sección 1: Monitoreo 7 días  
Fuente: Fotografía propia

SECCIÓN 1		
FISURA SECADO POR CONTRACCIÓN: 7 días		
F <sub>1</sub> : 12,2 cm	G: 0,8 mm	AF <sub>1</sub> : 0,98 cm <sup>2</sup>
F <sub>2</sub> : 5,8 cm	G: 0,3 mm	AF <sub>2</sub> : 0,174 cm <sup>2</sup>



**Figura 3.40.** Fisuras sección 1: Monitoreo 7 días  
Fuente: Fotografía propia

SECCIÓN 1		
FISURA SECADO POR CONTRACCIÓN: 7 días		
F <sub>3</sub> : 17,6 cm	G: 0,6 mm	AF <sub>1</sub> : 1,06 cm <sup>2</sup>
F <sub>4</sub> : 15,2 cm	G: 0,8 mm	AF <sub>2</sub> : 1,216 cm <sup>2</sup>





**Figura 3.41.** Sección 2: Monitoreo 7 días  
Fuente: Fotografía propia

SECCIÓN 2:

7 días

S/F

### 3.7.5.3 Monitoreo 21 días

En este periodo de tiempo las secciones fueron sometidas a esfuerzos de corte ejercidos por máquinas perforadoras, y a presiones que oscilan entre los 2 a 8 bares por el proceso de inyección en la ejecución de la capa impermeable de la presa. Esto generó fisuras en la sección 1.

Por otro lado, en la sección 2 no ocurrió lo mismo.

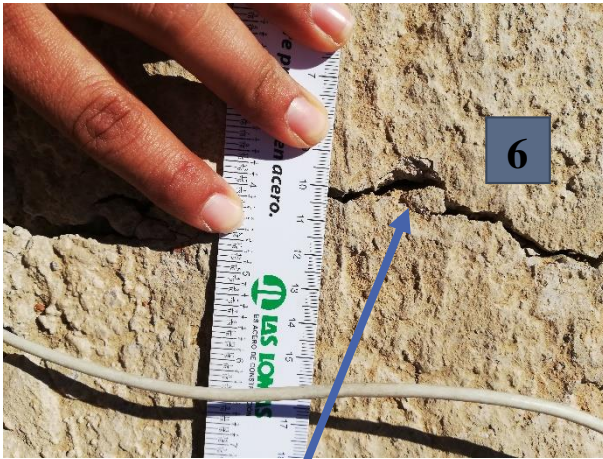


**Figura 3.42.** Fisura sección 1: Monitoreo 21 días  
Fuente: Fotografía propia

SECCIÓN 1

FISURA DE CORTE: 21 días

F<sub>3</sub>: 19,4 cm G: 1 mm AF<sub>1</sub>: 19,4 cm<sup>2</sup>



SECCIÓN 1  
 FISURA DE CORTE: 21 días  
 $F_6: 84,00 \text{ cm}$   $G: 3 \text{ mm}$   $AF1: 25,2 \text{ cm}^2$



POZO DE  
 PERFORACIÓN

**Figura 3.43.** Fisura sección 1: Monitoreo 21 días  
**Fuente:** Fotografía propia



SECCIÓN 2:  
 21 días  
 S/F

**Figura 3.44** Sección 2: Monitoreo 21 días  
**Fuente:** Fotografía propia

#### 3.7.5.4 Monitoreo 35 días

A los 35 días, las fisuras mantuvieron sus dimensiones y no se presentaron cambios considerables ya que no se sometió a más esfuerzos.



*Figura 3.45. Sección 1: fisura de corte 35 días*  
*Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.46. Sección 2: sin fisuras 30 días*  
*Fuente: Fotografía propia*



*Figura 3.47. Sección 2: sin fisuras 35 días*  
*Fuente: Fotografía propia*

### 3.7.5.5 Resultados monitoreo de fisuración

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

N° SECCIÓN	DÍAS	N° DE FISURA	DIMENSIONES		ÁREA DE LA SECCIÓN cm <sup>2</sup>	ÁREA DE FISURACIÓN cm <sup>2</sup>	PORCENTAJE DE FISURACIÓN %	SUMA PORCENTAJE SEGÚN TIPO FISURACIÓN	CLASIFICACIÓN DE LA FISURA SEGÚN SU ORIGEN	
			LARGO cm	ANCHO mm						
1	7	1	12,2	0,8	22500	0,98	0,004	0,015	Secado por contracción	
		2	5,8	0,3		0,174	7,7e <sup>-4</sup>			
	3	17,6	0,6	1,06		0,005				
	21 - 35	4	15,2	0,8		1,216	0,005	0,198		Corte y presión
		5	19,4	1		19,4	0,086			
		6	84,00	3		25,2	0,112			
2	7,21 y 35	-	-	-	22500	-	-	No presenta fisuras		

**Tabla 3.38.** Resultados de fisuración 7, 21 y 35 días  
*Fuente: Resultados propios*

Ing. Félix Alberto Ventura Toconas  
**RESIDENTE DE OBRA “CONSTRUCCIÓN PRESA  
SELLA RUMICANCHA FASE I”**

M Sc. Ing. Wildo Castellanos Arce  
**SUPERINTENDENTE DE OBRA “CONSTRUCCIÓN  
PRESA SELLA RUMICANCHA FASE I”**

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se presentan los aspectos correspondientes al análisis de cada uno de los resultados obtenidos en el desarrollo de cada objetivo, así como las explicaciones sistemáticas y cuantitativas de cada fenómeno presentado en cada uno de los ensayos y experiencias realizadas.

#### 4.1 Resistencia a compresión

Los resultados de resistencia a compresión de la mezcla patrón superaron la resistencia de diseño, esto se esperaba puesto que al realizar las muestras en laboratorio el cuidado de los materiales es más riguroso (agregados, agua y cemento).

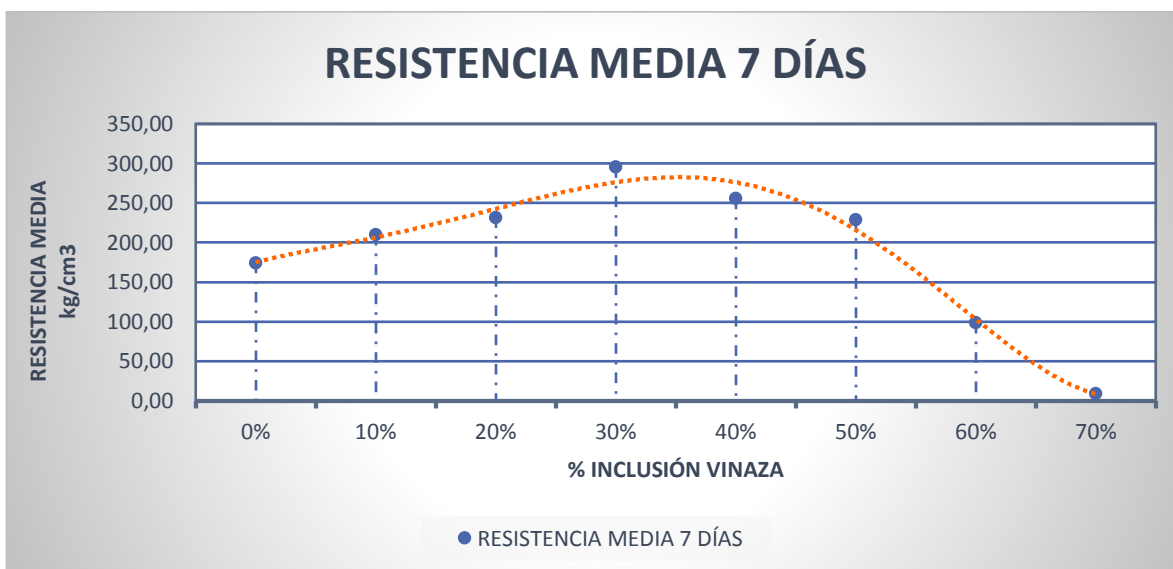
##### 4.1.1 Resistencia a la compresión 7 días de edad

Etapa inicial: Edad del hormigón 7-D (siete días)

% Agua	% Vinaza	Resistencia media 7 días Kg/cm <sup>2</sup>	Diferencia entre R. patrón y R. % de vinaza Kg/cm <sup>2</sup>	% Incremento de la Resistencia	% Reducción de la Resistencia
100	0	174,62	0	0	-
90	10	209,86	35,24	20,18	-
80	20	231,86	57,24	32,78	-
70	30	295,27	120,65	69,09	-
60	40	255,83	81,21	46,51	-
50	50	228,88	54,26	31,07	-
38,56	60	98,53	-76,09	-	43,58
26	70	9,45	-165,17	-	94,59

**Tabla 4.1.** Resistencia a compresión a los 7 días,  
**Fuente:** Resultados propios

Se puede observar que la resistencia del hormigón se incrementa hasta un punto máximo y luego decrece al incrementar el porcentaje de inclusión de vinaza, llamando la atención que al incluir vinaza equivalente a un 30% del volumen de agua necesario, se observa un incremento de hasta un 69,09% de su resistencia con relación al patrón, pero al reemplazar en un 70% se reduce hasta 94,59% de su resistencia con relación al patrón, por lo que los porcentajes que mejores resultados brindan son los inferiores al 50%, si bien los porcentajes de 40 y 50% de inclusión presentan un incremento de la resistencia estos al momento de la rotura tienden a colapsar sin fisuración previa, esto ocurre porque al poseer menor cantidad de agua de amasado, las partículas no llegan a cohesionarse, por otro lado, esto no ocurre en los porcentajes inferiores al 30%, los cuales presentan fisuras similares a las del hormigón convencional al momento de la falla.



**Gráfico 4.1.** Resistencia a compresión a los 7 días VS % de inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios

En la gráfica los puntos azules, representan la resistencia a compresión para cada porcentaje de inclusión de vinaza aplicado a la mezcla y la línea punteada, la tendencia que se ajusta a los mismos, otorgándonos una ecuación de aplicación empírica para calcular la resistencia del hormigón en función a determinado porcentaje, inclusión de vinaza a los 7 días de edad.

$$fck_{7D} = 0,2443x^5 - 4,6846x^4 + 29,826x^3 - 81,575x^2 + 130,13x + 101,11$$

Donde:

$f_{ck7D}$ : Resistencia a compresión a los 7 días

$x$ : Porcentaje inclusión de vinaza

#### 4.1.2 Resistencia a la compresión 28 días de edad

- Etapa final: Edad del hormigón 28-D (veintiocho días)

% Agua	% Vinaza	Resistencia media 28 días Kg/cm <sup>2</sup>	Diferencia entre R. patrón y R. % de vinaza Kg/cm <sup>2</sup>	% Incremento de la Resistencia	% Reducción de la Resistencia
100	0	247,56	0	0	-
90	10	297,39	49,83	20,13	-
80	20	322,88	75,32	30,43	-
70	30	403,68	156,12	63,06	-
60	40	336,92	89,36	36,10	-
50	50	312,67	65,11	26,30	-
38,56	60	131,26	-116,30	-	46,98
26	70	4,76	-242,80	-	98,08

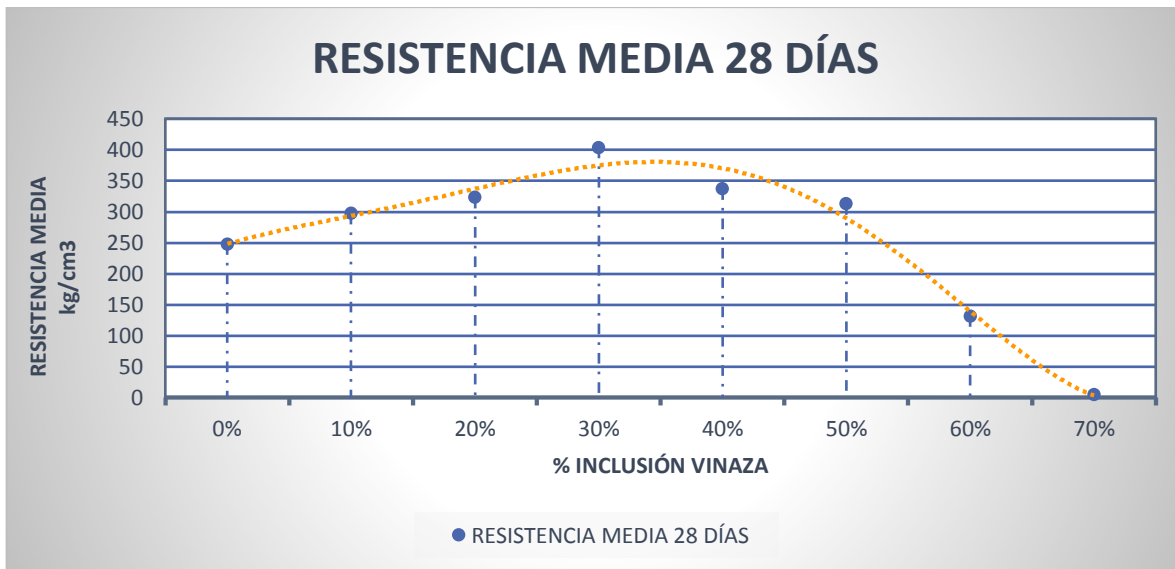
**Tabla 4.2.** Resistencia a compresión a los 28 días

**Fuente:** Resultados propios

Se puede observar que la resistencia del hormigón se incrementa hasta un punto máximo y luego decrece al incrementar el porcentaje de inclusión de vinaza, el comportamiento es similar al obtenido a los 7 días de edad, por lo que al incluir vinaza equivalente a 30% del volumen de agua necesario, se observa un incremento de hasta 63,06% de su resistencia con relación al patrón, pero al reemplazar en 70% se reduce hasta 98,08% de su resistencia con relación al hormigón patrón.

Al momento de la rotura, se presentan las mismas características que a los 7 días, los porcentajes superiores a 30%, tienden a perder la cohesividad de sus partículas después de la falla es posible deshacer el hormigón con las manos, esto se debe a las características químicas de la vinaza ya que al encontrarse más concentrada en la mezcla no permite que la

reacción entre el agua y el cemento se da en condiciones normales, sin embargo en porcentajes menores al 30% la presencia de vinaza de acuerdo a los ensayos realizados y las observaciones del comportamiento de la mezcla en estado fresco como endurecido no varían del hormigón convencional, es más al reducir la cantidad de agua se incrementa la resistencia como se pudo observar en las tablas de resultados.



**Gráfico 4.2.** Resistencia a compresión a los 28 días VS % de inclusión de vinaza  
**Fuente:** Resultados propios

En la gráfica los puntos azules, representan la resistencia a compresión para cada porcentaje de inclusión de vinaza aplicado a la mezcla y la línea punteada, la tendencia que se ajusta a los mismos, otorgándonos una ecuación de aplicación empírica para calcular la resistencia del hormigón en función a determinado porcentaje inclusión de vinaza a los 28 días de edad.

$$fck_{28D} = 0,3033x^5 - 5,9231x^4 + 38,879x^3 - 113,48x^2 + 193,34x + 134,85$$

Donde:

$fck_{28D}$ : Resistencia a compresión a los 28 días

$x$ : Porcentaje inclusión de vinaza

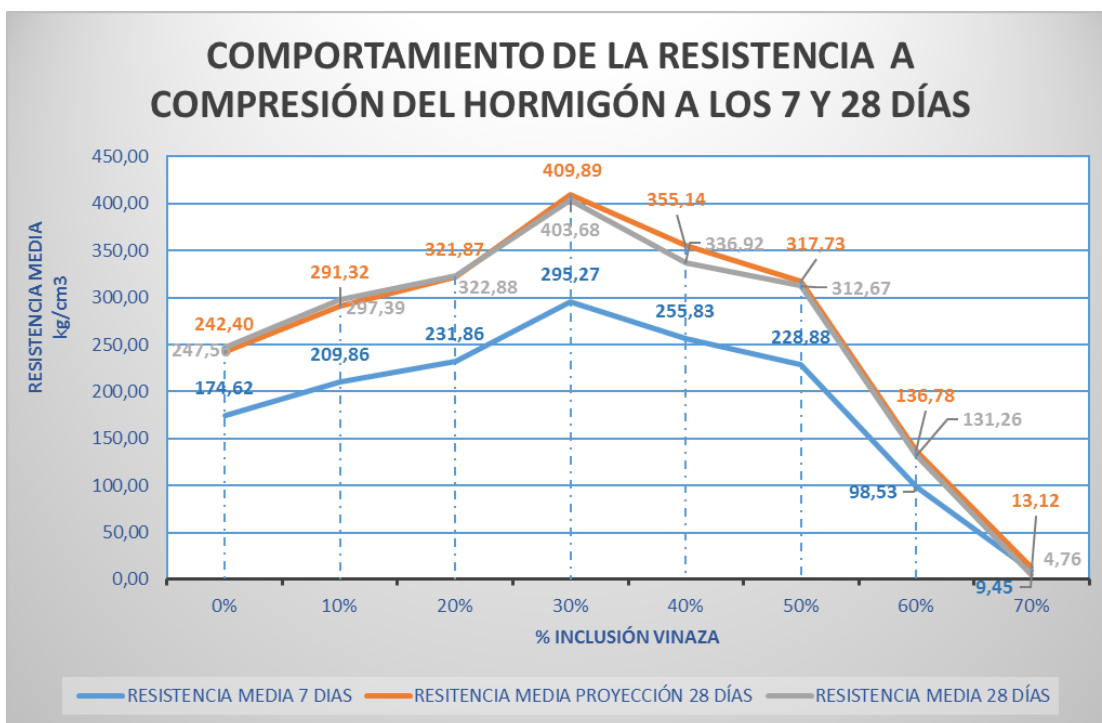


#### 4.1.3 Comparación resistencia 7 días proyección a los 28 días vs resistencia a los 28 días

% Vinaza	Resistencia media 7 días Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia proyectada 28 días Kg/cm <sup>2</sup>	Resistencia media 28 días Kg/cm <sup>2</sup>	Diferencia Kg/cm <sup>2</sup>
0	174,62	242,40	247,56	5,16
10	209,86	291,32	297,39	6,07
20	231,86	321,87	322,88	1,01
30	295,27	409,89	403,68	6,21
40	255,83	355,14	336,92	18,22
50	228,88	317,73	312,67	5,47
60	98,53	136,78	131,26	5,52
70	9,45	13,12	4,76	8,36

**Tabla 4.3.** Diferencia resistencia proyectada a los 28 días vs resistencia a los 28 días

**Fuente:** Resultados propios

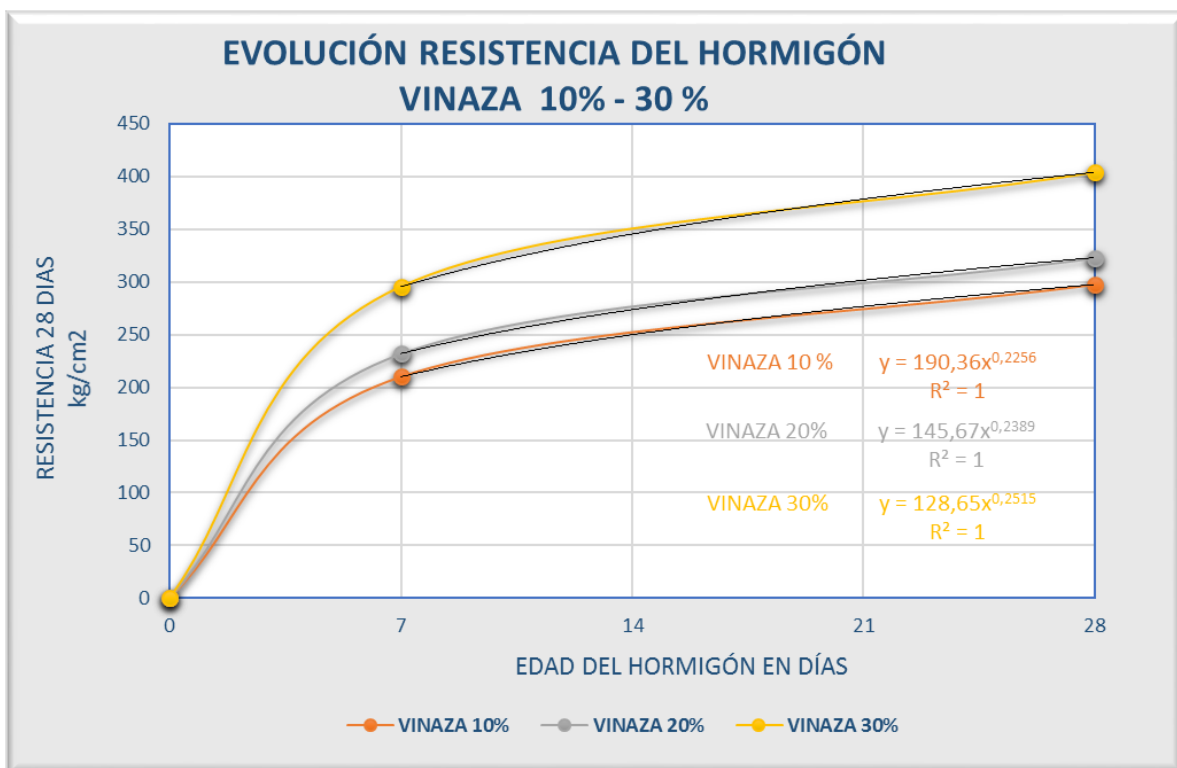


**Gráfico 4.3.** Superposición de curvas resistencia a los 7 días, proyección a los 28 días y resistencia a los 28 días VS % de inclusión de vinaza

**Fuente:** Resultados propios

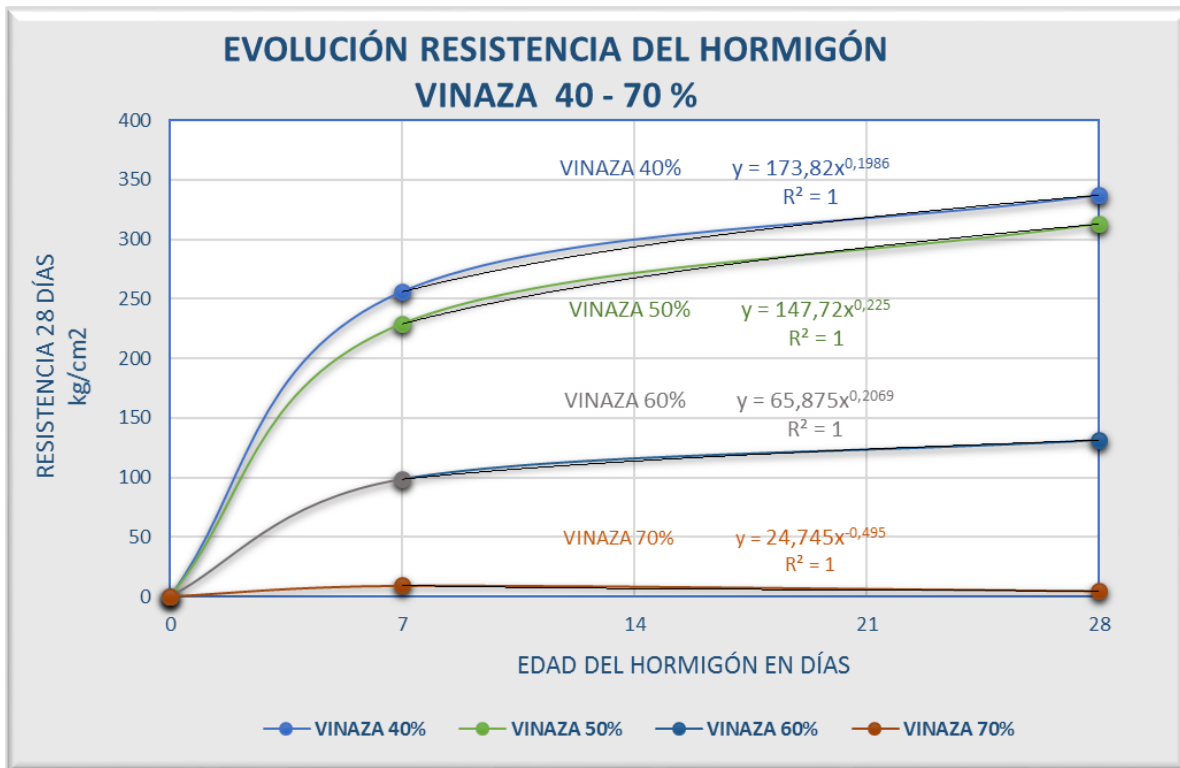
Superponiendo las curvas de resistencia a la compresión correspondiente a los 7 y 28 días, y la resistencia proyectada a los 28 días; se puede ver que la curva de proyección, se encuentra muy cercana a la curva de 28 días, estando hasta el 20% por debajo, pero a partir del 30% la curva proyectada es mayor a la curva de 28 días; este comportamiento llamó la atención, si bien las diferencias entre ambas resistencias no son considerables, pueden indicar que con la edad el hormigón tiende a perder resistencia mientras mayor sea el porcentaje de vinaza.

Sin embargo, se optó por generar una calibración de proyección para cada tipo de hormigón, a partir de la evolución de resistencia para cada porcentaje de inclusión de vinaza en la mezcla.



**Gráfico 4.4.** Curvas de calibración proyección de resistencia a los 28 días de 10 a 30 % de inclusión de vinaza

**Fuente:** Resultados propios



**Gráfico 4.5.** Curvas de calibración proyección de resistencia a los 28 días de 40 a 70 % de inclusión de vinaza

*Fuente: Resultados propios*

Cada ecuación está identificada, según el color de la curva de evolución, mismas tendrán aplicación siempre y cuando la rotura sea ejecutada a los 7 días de edad y los materiales que constituyan la mezcla tengan características similares que las del presente estudio.

#### 4.2 Determinación relación agua/cemento

La relación agua/cemento es uno de los parámetros más importantes pues de este depende la manejabilidad, la fluidez y en gran parte la resistencia a compresión final de la mezcla, por lo tanto, se calculó este parámetro como la relación del porcentaje de agua entre la cantidad de cemento, el cual se mantuvo constante variando los porcentajes de agua de acuerdo a los porcentajes de vinaza que se incluían en la mezcla en reemplazo del agua.

Los resultados se presentan en la siguiente tabla:

% de Agua	% de Vinaza	Cantidad de Agua Kg/m <sup>3</sup>	Cantidad de Cemento Kg/m <sup>3</sup>	Relación agua/cemento
100	0	187,00	406,52	0,46
90	10	168,30	406,52	0,41
80	20	149,60	406,52	0,37
70	30	130,90	406,52	0,32
60	40	112,20	406,52	0,28
50	50	93,50	406,52	0,23
38,56	60	72,11	406,52	0,18
26	70	48,62	406,52	0,12

**Tabla 4.4.** Determinación de la relación agua cemento

**Fuente:** Resultados propios

Como se puede observar en la tabla 4.4 la relación agua/cemento decrece proporcional al incremento de vinaza, con la determinación de estos valores se puede explicar el porqué del comportamiento de la mezcla en estado fresco como endurecido, al mantener constante la cantidad de cemento en la elaboración de la mezcla y reducir la cantidad de agua, los valores de relación agua/cemento fueron inferiores a los parámetros propios de un hormigón de alta resistencia, motivo por el cual se obtuvieron resistencias superiores a la resistencia de un hormigón tipo A.

A pesar de reducir la cantidad de agua en los porcentajes de 50, 60 y 70% se pudo verificar los argumentos de la bibliografía, que las propiedades de la vinaza fluidificaban la mezcla.

Al reducir la relación agua/cemento también se produjo una aceleración del tiempo de fraguado y esto se pudo evidenciar en el vaciado de las muestras al 70% de inclusión de vinaza, donde el asentamiento plástico fue inferior al establecido en el diseño, la manejabilidad y trabajabilidad de la muestra se vieron afectadas ya que en menos de 15 minutos el vaciado se dificultaba lo mismo que el terminado y enrasado de las muestras.

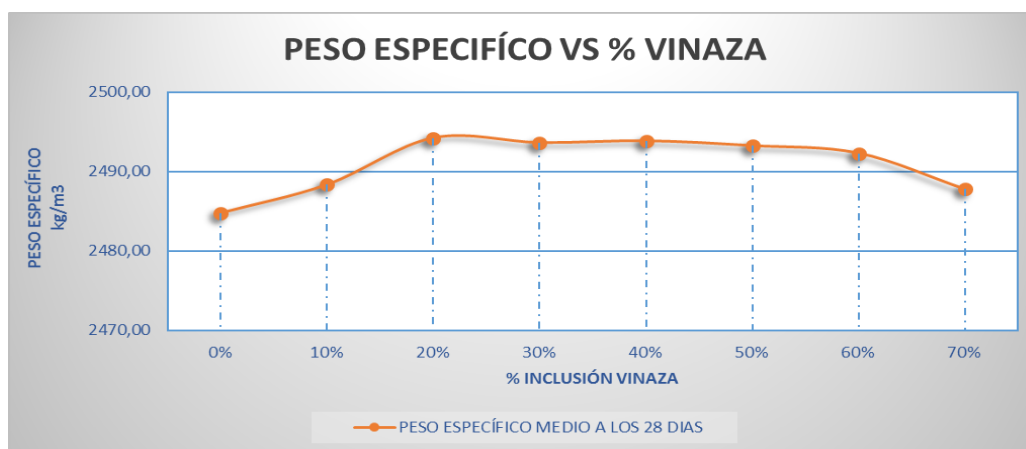
### 4.3 Peso específico

Al ser una propiedad que depende del acomodo de las partículas de los constituyentes del hormigón, se consideró la variación respecto del peso específico obtenido en la mezcla patrón.

% De vinaza	Peso específico medio 28 días Kg/m <sup>3</sup>	Diferencia peso específico Kg/m <sup>3</sup>	% incremento Peso específico
0%	2484,74	0	-
10%	2488,32	3,58	0,14
20%	2494,21	9,47	9,47
30%	2493,61	8,87	8,87
40%	2493,83	9,09	9,09
50%	2493,23	8,49	8,49
60%	2492,29	7,55	7,55
70%	2487,76	3,02	3,02

**Tabla 4.5.** Resultados peso específico

**Fuente:** Resultados propios



**Gráfico 4.6.** Peso específico vs % de inclusión de vinaza

**Fuente:** Resultados propios

Como se observa en la tabla 4.5 y en el gráfico 4.6, el peso específico de las muestras no varía de forma considerable, presentando un incremento respecto del patrón que se mantiene

relativamente constante al incrementar los porcentajes de vinaza, esto nos indica que la vinaza no altera considerablemente el peso específico del hormigón, ya que las variaciones que se presentan pueden deberse al tipo de agregado y al acomodo de sus partículas y no así a la inclusión de la vinaza.

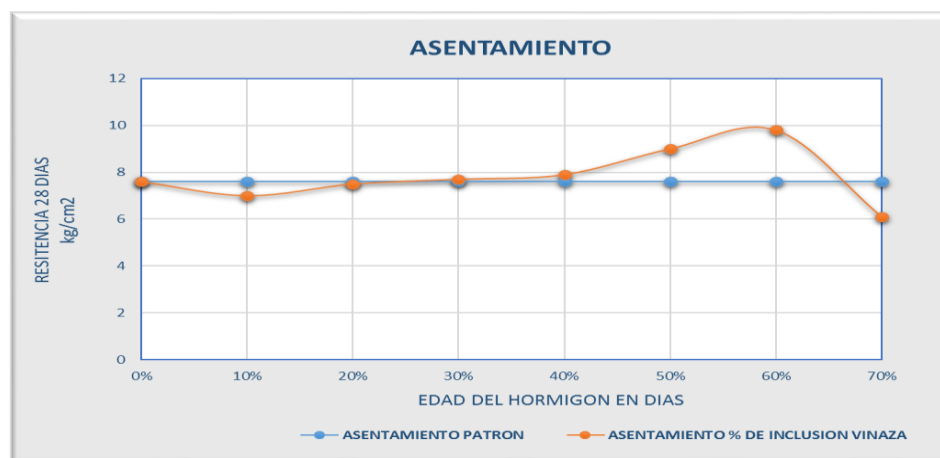
#### 4.4 Asentamiento mediante cono de Abrams

Para la determinación del porcentaje de reducción o incremento del asentamiento se utilizó el valor del asentamiento obtenido de la muestra patrón.

% Vinaza	Asentamiento cm	Diferencia cm	% Incremento del asentamiento	% Reducción del asentamiento
0%	7,60	0	-	
10%	7,00	0,6	-	7,89
20%	7,50	0,1	-	1,32
30%	7,70	0,1	1,32	-
40%	7,90	0,3	3,95	-
50%	9,00	1,4	18,42	-
60%	9,80	2,2	28,19	-
70%	6,10	1,5	-	19,74

**Tabla 4.6.** Resultados de asentamiento

**Fuente:** Resultados propios



**Gráfico 4.7.** Asentamiento vs % de inclusión de vinaza

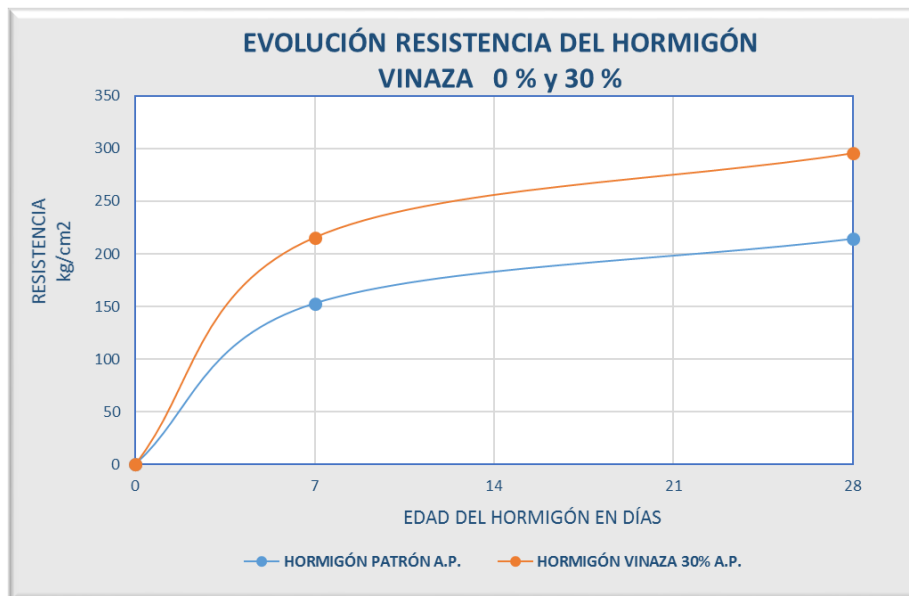
**Fuente:** Resultados propios

En la curva se observa la línea azul que es el valor de asentamiento establecido para la mezcla y que al incrementar el porcentaje de inclusión de vinaza, el valor del asentamiento tiende a ser mayor, a partir del 40% de inclusión esto debido a que la mezcla se hizo más fluida, pero al llegar al 70% el asentamiento decrece, se pudo observar que el tiempo de fraguado inicial se daba en menor tiempo que en los anteriores porcentajes.

#### 4.5 Resistencias obtenidas en aplicación práctica a los 7 y 28 días hormigón patrón y hormigón con inclusión de vinaza al 30%

% Agua	% Vinaza	Relación agua/cemento	Resistencia media 7 días	Resistencia media 28 días	% Incremento de Resistencia
100	0	0,48	152,72	213,96	0
70	30	0,33	215,20	295,15	37,94

**Tabla 4.7.** Resultados de resistencia a la compresión  
*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 4.8.** Comparación resistencia a compresión hormigón patrón vs. hormigón inclusión de vinaza al 30%, 7 y 28 días  
*Fuente: Resultados propios*

Como se puede observar en la gráfica, la resistencia obtenida por el hormigón con inclusión de vinaza es superior a la resistencia del hormigón patrón en un 37,94%, en obra no se pudo obtener los mismos resultados que en el laboratorio, esto se debe a que los materiales en laboratorio fueron seleccionados y lavados cuidadosamente, esto no ocurrió en obra a pesar que fueron lavados, el material aun contenía material orgánico y restos de limo en la superficie.

#### **4.5.1 Resultados monitoreo de fisuración**

Los resultados obtenidos en el monitoreo de la fisuración (ver tabla 3.38 CAPÍTULO III), donde se encuentran registradas las observaciones y mediciones realizadas a dos secciones de áreas equivalentes a 22500 cm<sup>2</sup>, donde la primera sección presenta un porcentaje total de 0,21% de fisuración, valor relativamente pequeño, sin embargo, la segunda sección que contenía 30% de inclusión de vinaza no presenta fisuras, lo que nos permite evidenciar que la reducción de la relación agua/cemento por la disminución de la cantidad de agua en la mezcla le brinda propiedades plásticas al hormigón que le permiten resistir tensiones que provocan fisuras a edades tempranas y cuando el elemento es sometido a esfuerzos.



## CONCLUSIONES

Al concluir toda la investigación, se llegó a las siguientes conclusiones:

- Se evidenció que la hipótesis planteada con base en los argumentos de la bibliografía, no se cumplió en su totalidad, sin embargo, se obtuvieron los valores y porcentajes de incremento de las resistencias, concluyendo que los porcentajes inferiores al 30% incrementan la resistencia, reducen la cantidad de agua, no alteran la manejabilidad y trabajabilidad de la mezcla, no presenta cambios considerables en el aspecto físico del hormigón, y reducen en un 100% la fisuración del hormigón a edades tempranas y sometido a esfuerzos.
- La inclusión de vinaza en los porcentajes de 10, 20 y 30% incrementa la resistencia a compresión hasta un 63,03% del hormigón y las propiedades físicas cambian muy poco respecto al hormigón convencional, esto se debe a que en estos porcentajes la vinaza se incorpora mejor a la mezcla y puede ser diluida en el agua, las fallas a compresión de estos porcentajes fueron bastante similares a las fallas de hormigón convencional.
- La inclusión de vinaza en los porcentajes de 40 y 50% hacen más fluida la mezcla y a la vez aceleran de cierta forma el tiempo de fraguado inicial, aun así, los resultados de resistencia son mayores a la resistencia obtenida en el hormigón convencional en un 26,30 %, por lo que al momento de la falla a compresión estos colapsan totalmente segregándose las partículas del agregado.
- La inclusión de vinaza en 60% hace fluida la mezcla y acelera el fraguado de la misma, y la resistencia a la compresión reduce en 46,98%, respecto de la resistencia patrón, esto debido a que la fluidez de la mezcla reduce la cantidad de agua, por lo tanto la vinaza no se diluye en la mezcla por lo que los componentes presentes en el

líquido no permiten que la reacción química se de en condiciones similares a las del hormigón convencional.

- La inclusión de vinaza en 70% hace muy fluida mezcla y acelera considerablemente el fraguado de la misma, y la resistencia a la compresión es prácticamente nula, esto debido a que la fluidez de la mezcla reduce la cantidad de agua, por lo tanto la vinaza no se diluye en la mezcla por lo que los componentes presentes en el líquido no permiten que la reacción química se de en condiciones similares a las del hormigón convencional.
- En la caracterización de los agregados se pudo evaluar: tamaño, peso, volumen, humedad y absorción, el cual nos permitió identificar la compatibilidad de los agregados y trabajabilidad de cada uno en la mezcla en el proceso de cálculo y elaboración de las muestras.
- Se llegó a la conclusión que la inclusión de vinaza en un 30%, tiene un efecto favorable en la reducción de la fisuración temprana del hormigón, no solo en el fenómeno de contracción plástica, sino también sometido a esfuerzos, además de incrementar la resistencia a compresión.
- Se determinó la relación agua/cemento obteniendo parámetros similares a un hormigón de alta resistencia, por lo que las resistencias obtenidas superaron la resistencia de diseño, esto podría ser indicativo de que si se reduce la cantidad de cemento se podría llegar a la resistencia de diseño y esto implicaría una reducción en el costo de la mezcla, sin embargo, se recomienda realizar ajustes y correcciones que garanticen esta afirmación.
- De acuerdo a los estudios realizados tanto en la vinaza como en la inclusión en el hormigón, el campo de aplicación de la vinaza en estado natural es muy limitado ya

que este se reduce a hormigones en masa, es decir que no presente armaduras, esto debido al índice de corrosividad que la vinaza presenta dentro de su composición química.

- El estudio desarrollado fue concebido para hormigones tipo A, por lo que para hormigones de resistencias inferiores o superiores, se deberá realizar ensayos similares a los presentados, ya que no se garantiza que el comportamiento sea el mismo, esto se pudo evidenciar en la aplicación práctica ya que no se pudo obtener resistencias similares a las realizadas en laboratorio, sin embargo, el comportamiento fue similar al observado en laboratorio.
  
- La utilización de vinaza no influye en el costo del hormigón, ya que se trata de un residuo que es desechado el cual no tiene un costo establecido.
  
- Es importante darle uso a un residuo que es altamente contaminante y así minimizar el impacto ambiental que este ocasiona al ser desechado en zonas donde existen afluentes de agua.