

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### **1.1. Introducción**

En la actualidad a nivel mundial las estructuras de hormigón, generalmente son diseñadas y construidas para satisfacer un conjunto de requisitos arquitectónicos, funcionales, estructurales, de estabilidad y de seguridad, durante un cierto periodo de tiempo, sin que este genere costos inesperados por mantenimiento o reparación. Sin embargo, para proyectos con requisitos más exigentes, es necesario desarrollar hormigones que sean capaces de satisfacer mayores estándares de resistencia mecánica. A mediados del siglo XX, en el año 1970 se llegó a optimizar el conocimiento de que era posible obtener mejores características del hormigón bajando la relación agua cemento

La utilización de los hormigones con mejor resistencia en las estructuras de edificación de altura ha experimentado un notable incremento a la idoneidad de sus prestaciones en los elementos portantes verticales, que no se limitan exclusivamente al aumento de la capacidad resistente y lo que ello supone de reducción de dimensiones, volúmenes y pesos, sino también a la gran mejora que aporta en lo referente a la durabilidad y a los aspectos reológicos.

El concepto de calidad en el hormigón es cada día más complejo, los hormigones deben cumplir con criterios no solo de resistencia y durabilidad sino también de buena trabajabilidad que permita una adecuada colocación en obra. Los diseñadores tropiezan con esta problemática especialmente en construcción de puentes o edificios, debiendo optimizarse la dosificación de los materiales para que el hormigón pueda cumplir con la resistencia requerida y buena trabajabilidad, tomando ciertos límites económicos.

El presente proyecto de investigación se enfocará en mejorar la resistencia a compresión de un hormigón mediante el uso un aditivo reductor de agua. Complementando con la identificación de las características físicas de todos los componentes del hormigón, el cual se lo desarrollara en el laboratorio de resistencia de materiales de la carrera de Ingeniería Civil de la U.A.J.M.S. con agregado grueso extraído del municipio de Villa Montes y el agregado fino de la cantera de Caiza ubicado en el municipio de Yacuiba.

## 1.2. Justificación

Debido a las variaciones en la fabricación del cemento y por consiguiente a sus diferentes composiciones, el aditivo no funciona de la misma manera por lo cual se vuelve determinante estudiar el efecto de este en condiciones locales con agregados del lugar que necesitan de un aditivo para satisfacer la resistencia que se requiere.

Bolivia al ser un país en vía de desarrollo y de crecimiento urbanístico acelerado con gran diversidad de climas y condiciones ambientales, tiene una alta demanda de hormigón. Si se toma como referencia a la provincia Gran Chaco, es importante resaltar el clima como una variable fundamental de análisis, de acuerdo al sistema de clasificación Köppen-Geiger el clima es semiárido cálido (BSh) y templado, esto provoca que el hormigón tienda a tener grandes pérdidas de agua en su estado seco, dificultando su manejabilidad y fraguado acelerado. Este es el motivo por el cual resulta crucial usar aditivos que permitan solventar estas dificultades y así mismo lograr obtener estructuras con mayor durabilidad a lo largo del tiempo-

Los aditivos tienen gran importancia en las construcciones, ya que se encargan de mejorar el comportamiento del hormigón, existen numerosas investigaciones acerca del uso de diferentes tipos de aditivos y sus propiedades; sin embargo, específicamente del aditivo súper-plastificante reductor de agua (**Sikament N-100**) y cómo influye en la resistencia a compresión y trabajabilidad del hormigón con agregados del Gran Chaco, no se cuenta con información, es por esa razón que en la presente investigación se adicionara aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**) al hormigón en diferentes porcentajes, para comprobar sus beneficios, aplicando procedimiento de dosificación propuesto por el comité ACI – 211.1, para los agregados debe cumplir los requisitos según norma ASTM - C33, en cuanto a aditivos reductores de agua: ASTM C494M.

Alrededor de las tres cuartas partes del volumen de un hormigón convencional es ocupado por agregados. Es inevitable que un componente que ocupa un porcentaje tan grande de la masa contribuya con importantes propiedades para el hormigón, por tanto, se obtendrán datos de caracterización de los áridos de los bancos de préstamos empleados determinando el origen y predominio de rocas mediante un análisis petrológico a las mismas.

Con la realización de este proyecto de investigación se desea obtener una noción clara de los beneficios técnicos y económicos del uso de este aditivo, ya que los problemas más frecuentes son la falta de información de estos de manera imparcial y comparativa entre los hormigones convencionales y los hormigones con la incorporación de estos aditivos, utilizando agregados regionales, como segundo problema es la falta de orientación en los procesos constructivos en los que se utiliza habitualmente algún tipo de aditivo.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. General**

Evaluar el efecto de la aplicación de un aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**) en un hormigón con áridos de la provincia Gran Chaco, respecto a la resistencia a compresión de un hormigón convencional de 25MPa.

#### **1.3.2. Específicos**

- ✚ Realizar una caracterización de los agregados para el hormigón, tanto del agregado grueso proveniente del Rio Pilcomayo y el agregado fino de Caiza.
- ✚ Determinar la influencia del aditivo sobre las propiedades del hormigón fresco variando porcentajes del mismo y comparándola con la del hormigón patrón. (sin presencia de aditivo).
- ✚ Determinar la cantidad optima del aditivo **Sikament N-100** que se debe añadir a las mezclas de hormigón, para obtener un hormigón con mejor resistencia.
- ✚ Realizar un análisis comparativo de costos entre los tipos de hormigón.

### **1.4. Hipótesis**

Hipótesis de primer grado:

Mediante la aplicación de un aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**), con porcentajes de (1,0%, 1,5%, 2,0%) referido al peso del cemento, se mejorará la resistencia a compresión de un hormigón convencional de 25MPa entre un 20% y 40% respecto a un hormigón patrón sin aditivo

Hipótesis de segundo grado:

Mediante la aplicación de un aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**), con porcentajes de (1,0%, 1,5%, 2,0%) referido al peso del cemento, influirá en la trabajabilidad de un hormigón convencional de 25MPa, incrementando hasta 2 veces el asentamiento respecto al del hormigón patrón sin aditivo.

Hipótesis de tercer grado:

Mediante la aplicación de un aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**), con porcentaje de 1% referido al peso del cemento, se reducirá en -20% la cantidad de cemento sin afectar su resistencia a compresión de un hormigón convencional de 25MPa

### **1.5. Alcance**

Recopilación y estudio de las especificaciones del cemento (**El Puente IP-30**) y del aditivo (**Sikament N-100**) que tenemos en nuestro medio, analizar los yacimientos de áridos y materiales a utilizar. Analizar las características fundamentales de los agregados escogidos.

Realizar ensayos preliminares haciendo variar la relación agua/cemento, buscando la relación más óptima para un hormigón patrón de 25MPa.

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 explicara detalladamente el proceso de diseño de la mezcla, comenzando a definir y realizar el método de dosificación patrón de (**25MPa**) y con porcentajes de **1%, 1,5% y 2%** referidos al peso del cemento, luego el proceso de elaboración, el curado del hormigón y por ultimo 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 de diámetro x 30cm de altura) de cada porcentaje de aditivo para una resistencia del hormigón a las edades de 7, 14, y 28 días.

Realizar un análisis comparativo de costos entre el hormigón con presencia del aditivo y el hormigón patrón.

Además, se analizará el porcentaje de reducción de cemento logrado con la inclusión del aditivo para un porcentaje óptimo luego de un análisis económico de costos, mediante la elaboración de probetas para ese porcentaje para una resistencia de 7 y 28 días de edad.

Elaborar las conclusiones y recomendaciones, basadas en los resultados obtenidos, que sirva como guía para el uso y aplicaciones del aditivo.

## **1.6. Metodología**

Para la elaboración del presente trabajo se basará en el método experimental, por ser este un proceso de pasos ordenados para realizar el tipo de investigación propuesta. Esto establece lo significativo entre la acción y reacción, con el fin de obtener un trabajo serio, responsable y sobre todo adecuado para el área de la construcción.

En este trabajo se quiere conocer las diferencias físico-mecánicas del hormigón con el uso del aditivo súper-plastificante reductor de agua ante un hormigón sin este aditivo, tomando en cuenta las características técnicas reinantes que presenta el hormigón, en su estado fresco y en la resistencia a compresión que registra hasta llegar a los 28 días.

A continuación, se describe brevemente la metodología seguida en el trabajo de investigación:

- Aportar con criterios más relevantes sobre los aspectos que inciden en el uso del aditivo súper-plastificante reductor de agua. Así mismo se mencionan los efectos influenciados por el aditivo sobre las condiciones en estado fresco y endurecido del hormigón.
- Definir los materiales utilizados en todas las campañas experimentales, nombrando las especificaciones o normas que deben cumplir los mismos y se muestran los resultados de su caracterización.
- Recopilar información técnica de los cementos y aditivos súper-plastificantes reductores de agua (**Sikament N-100**) que se comercializan en nuestro mercado, realizando la elección del producto.

- Determinar una dosificación para un hormigón patrón acorde a las tendencias utilizadas en nuestro medio aplicada a estructuras de ingeniería, por lo general,  $f'_c=25\text{MPa}$ . Así mismo se mencionan desde un punto de vista global el control que debe realizarse sobre el hormigón en sus diferentes estados.

**Ensayos en el hormigón fresco:** El aditivo súper-plastificante reductor de agua se caracteriza por darle mayor trabajabilidad al hormigón es por eso que se debe estudiar con detenimiento este estado, comparándolo con el hormigón convencional sin aditivo.

**Ensayos de resistencia a la compresión:** La propiedad más significativa del hormigón es la resistencia a compresión, es por eso que debemos establecer cuanto afecta el aditivo a esta propiedad.

Por último, se realiza un análisis de los resultados, presentando tabulaciones, graficas, curvas, análisis estadísticos y de costos para mostrar las diferencias existentes entre un hormigón normal y un hormigón con aditivo súper-plastificante, para luego sacar conclusiones y recomendaciones.

En este campo técnico, como en otros vemos conveniente apoyarnos a las normas y especificaciones técnicas internacionales, como son la (ACI – 211), ASTM y la norma Boliviana (NB 1225001 20) de uso frecuente en nuestro medio.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Introducción**

El hormigón debe poseer propiedades muy particulares, tanto en estado fresco como en estado endurecido, en estado fresco debe poseer una buena trabajabilidad, lo cual se logra mediante el uso de aditivos súper-plastificantes en la mezcla, ya que debido a su baja relación agua/cemento este no se puede hidratar satisfactoriamente con el agua.

Debido a que este tipo de concreto se diseña a partir de relaciones agua/cemento bajas, en estado endurecido se pueden obtener resistencia a la compresión superiores a las de un concreto normal, mejorando a la vez, aspectos como resistencia a la flexión y durabilidad, aunque esto también depende de la calidad de los materiales que conforman la mezcla, ya que contribuyen grandemente a mejorar las propiedades de este tipo de concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido

En el presente capítulo, se detallan los aspectos más relevantes de la tecnología del hormigón, como definiciones, las aplicaciones de este tipo de hormigón, ventajas y desventajas sobre su utilización, propiedades mecánicas de este tipo de hormigón, finalizando con la caracterización de los materiales adecuados componentes del hormigón y nombramiento de normativas a utilizar en el procedimiento experimental.

#### **2.2. El hormigón**

##### **2.2.1. Definición**

El hormigón es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento y agua, une los agregados, arena y grava, en este caso está incluido en la mezcla el aditivo (**Sikament N-100**), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua.

Cuando se proyecta una estructura de hormigón armado se establece 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.

### 2.2.2. Características físicas y mecánicas del hormigón

- **Densidad:** En general, el hormigón de peso normal tiene una densidad (peso unitario) entre 2155 y 2560 kg/m<sup>3</sup>, y comúnmente se toma entre 2320 y 2400 kg/m<sup>3</sup>.
- **Resistencia a compresión:** La norma NB 1225001 20, define un valor mínimo de 17 MPa para hormigón estructural. No hay límite para el valor máximo.
- **Resistencia a la 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 semana 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 simultaneo en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

### 2.2.3. Hormigón recién mezclado

El hormigón recién mezclado (amasado) debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano.

En una mezcla plástica de hormigón todos los granos de arena y la grava son envueltos y sostenidos en suspensión, los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el hormigón se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes.

En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de hormigón y fuertemente armados (reforzados) requieren mezclas trabajables para facilitar su

colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación. Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en hormigón se pueden usar aditivos plastificantes (fluidificantes) para que el hormigón fluya más fácilmente en elementos delgados y fuertemente reforzados.

#### **2.2.3.1. Mezclado**

Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora (hormigonera) puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución. El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Este proceso se lleva a cabo de acuerdo a norma ASTM C192 Practica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en laboratorio.

#### **2.2.3.2. Trabajabilidad**

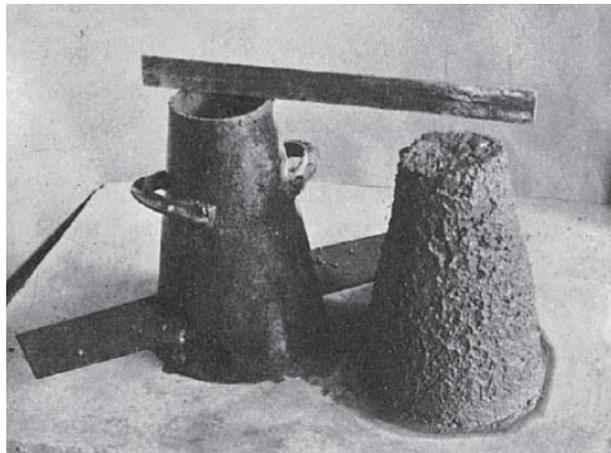
La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manoseo.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son: (1) el método y la duración del transporte; (2) cantidad y características de los materiales cementantes; (3) consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento); (4) tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos; (5) aire incluido (aire incorporado); (6) cantidad de agua; (7) temperatura del concreto y del aire y (8) aditivos.

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejora de la trabajabilidad.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El asentamiento en cono de Abrams se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles.

**Figura N°2.1: Ensayo de asentamiento (Cono de Abrams)**



*Fuente: Hormigón armado Jiménez Montoya (15° edición basada en la EHE-2008)*

Para realizar el ensayo de asentamiento se utiliza el molde metálico con la forma de cono el cual se le denomina cono de Abrams. Este 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.

Los hormigones se clasifican por su consistencia en secos, plásticos, fluidos y líquidos, como se indica en la tabla N°2.1

**Tabla N°2.1: Consistencia de los hormigones**

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

*Fuente: Hormigón armado Jiménez Montoya (15° edición basada en la EHE-2008)*

### **2.2.3.3. Sangrado y Asentamiento**

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por retracción plástica. Por otro lado, la excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una camada superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie.

La tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado (sedimentación total por unidad de peso del concreto original) aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión.

### **2.2.3.4. Consolidación**

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite

el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos.

El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad.

#### **2.2.3.5. 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.

#### **2.2.4. Hormigón endurecido**

##### **2.2.4.1. 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. Ahora bien, los valores de ensayo que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según

el cuidado y rigor con que se fabrique el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El problema puede plantearse así: dados  $n$  resultados obtenidos al ensayar a compresión simple  $n$  probetas cilíndricas 15x30 cm de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y, por consiguiente, del propio hormigón.

Según la NB 1225001 en 26.12.3 Criterios para la aceptación de probetas curadas en forma estándar, b) el nivel de resistencia de un tipo determinado de hormigón se considera satisfactorio si cumple con: 2) alternativamente, cuando el número de probetas sea menor a 30 se usará el método siguiente:

Ordenar de menor a mayor los resultados de las determinaciones de las resistencia de las  $N$  muestras

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots \leq x_N$$

Se define como resistencia estimada, la deducida aplicando las siguientes expresiones:

Si  $N < 6$  entonces:

$$f'_{c,est} = K_N * x_1$$

Si  $N \geq 6$  entonces:

$$f'_{c,est} = 2 \frac{x_1 + x_1 + \dots + x_{m-1}}{m - 1} - x_m \geq K_N * x_1$$

donde:

$K_N$ = coeficiente de tabla, en función de  $N$  y del tipo de instalaciones del lab.

$x_1$ = resistencia de la muestra menos resistente

$N$ = número de muestras

$m = N/2$  si " $N$ " es par ó  $(N-1)/2$  si " $N$ " es impar

Para que las probetas sometidas a este control pueda ser aceptada, deberá verificarse:

$$f'_{c,est} \geq f'_c$$

**Tabla N°2.2: Valores de coeficiente KN**

Uniformidad del hormigón	Excelente	Buena	Regular	Mala	
<b>Desviación cuadrática media relativa (<math>\delta</math>)</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	
Número de muestras (N) Según 26.12.1	1	0,836	0,753	0,671	0,589
	2	0,884	0,820	0,753	0,682
	3	0,910	0,859	0,803	0,741
	4	0,928	0,886	0,838	0,784
	5	0,942	0,907	0,867	0,820
	6	0,953	0,924	0,890	0,850
	7	0,962	0,938	0,910	0,877
	8	0,970	0,951	0,928	0,900
	10	0,983	0,972	0,958	0,942
	12	0,993	0,989	0,984	0,976
	14	1,002	1,004	1,005	1,008
	16	1,009	1,016	1,024	1,035
	18	1,016	1,027	1,041	1,059

*Fuente: NB 1225001, "Norma Boliviana del Hormigón Estructural"*

#### **2.2.4.2. 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. Sera tanto mayor cuanto lo sea el de los áridos utilizados y mayor cantidad de agregado grueso contenga.

#### **2.2.4.3. 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.

#### **2.2.4.4. 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.

#### **2.2.4.5. Durabilidad**

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

#### **2.2.5. Tipos de hormigón**

Hace unos años hablar de hormigón evocaba una instalación sencilla en una obra donde se fabricaba el material de acuerdo a las indicaciones de la dirección facultativa o siguiendo recetas simples tales como 1:2:3 (proporciones de cemento, arena y grava). Hoy en día se pueden clasificar los hormigones en función a diversos puntos de vista, como ser:

##### **2.2.5.1. Hormigón según el tipo de propiedades**

###### **2.2.5.1.1. Tipos generales**

Básicamente hay dos tipos de hormigón: El hormigón en masa y el hormigón estructural. Éste último es resultado de la inclusión en su masa de barras o alambres de acero para compensar la baja resistencia del hormigón a tracción. Cuando el hormigón es reforzado por armaduras pasivas se llama hormigón armado y cuando es reforzado por armaduras activas se llama hormigón pretensado. Son armaduras pasivas las sufren tensiones cuando se carga el elemento de hormigón al que refuerzan. Y se llaman activas cuando sufren tensiones antes de que el elemento sea cargado. Las armaduras activas pueden ponerse en

tensión antes o después del vertido y endurecimiento del hormigón. Si lo son antes al hormigón resultante se le denomina hormigón pretensado con armaduras postesas. Si lo son después se denomina hormigón pretensado con armaduras pretesas. Este último se denomina también hormigón pretensado de armaduras adherentes.

El término «tensión» significa esfuerzos unitarios, que pueden ser tanto de tracción como de compresión. Sin embargo, el término «teso» implica una tensión de tracción.

### 2.2.5.1.2. Tipos de hormigón por la resistencia

En función a su resistencia:

**Tabla N°2.3: Tipos de hormigón por su resistencia**

<b>Clasificación</b>	<b>Tipo</b>	<b>Usos</b>	<b>Beneficios</b>	<b>Información técnica</b>
<b>Por su resistencia</b>	Baja resistencia	-Losas aligeradas o elementos de hormigón sin requisitos estructurales.	-Bajo costo	-Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en hormigones convencionales.  -Resistencia a la compresión <150 kg/cm <sup>2</sup> .
	Resistencia moderada	-Edificaciones de tipo habitacional de pequeña altura.	-Bajo costo	-Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en hormigones convencionales.

				-Resistencia a la compresión entre 150 y 25MPa.
	Normal	-Todo tipo de estructuras de hormigón.	-Funcionalidad -Disponibilidad	-Propiedades en estado fresco similares a las obtenidas en hormigones convencionales.  -Resistencia a la compresión entre 250 y 420 kg/cm <sup>2</sup> .
	Muy alta resistencia	-Columnas de edificios muy altos.  -Secciones de puentes con claros muy largos.  -Elementos presforzados.  -Disminución en los espesores de los elementos.	-Mayor área aprovechable en plantas bajas de edificios altos.  -Elementos presforzados más ligeros.  -Elementos más esbeltos	-Alta cohesividad en estado fresco.  -Tiempos de fraguado similares a los de hormigones normales.  -Altos revenimientos.  -Resistencia a la compresión entre 400 y 800 kg/cm <sup>2</sup> .  -Baja permeabilidad.

				-Mayor protección al acero de refuerzo.
	Alta resistencia temprana	-Pisos. -Pavimentos. -Elementos presforzados. -Elementos prefabricados. -Construcción en clima frío. -Minimizar tiempo de construcción.	-Elevada resistencia temprana. -Mayor avance de obra. -Optimización del uso de cimbra. -Disminución de costos	-Se garantiza lograr el 80% de la resistencia solicitada a 1 ó 3 días. -Para resistencias superiores a los 300 kg/cm <sup>2</sup> se requiere analizar el diseño del elemento.

Fuente: <http://www.imcyc.com/concreto/>

### 2.2.5.1.3. Tipos de hormigón por su peso volumétrico

**Tabla N°2.4: Tipos de hormigón por su peso volumétrico**

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
<b>Por su peso volumétrico</b>	Ligero - Celular	-Capas de nivelación en pisos y losas. -Para construcción de	-Mejora el asilamiento termo - acústico. -Alta trabajabilidad.	-P.V. de 1500 a 1920 kg/m <sup>3</sup> . -Resistencia a la comprensión de

		vivienda tipo monolítica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Disminución de carga muerta.</li> <li>-Proporciona mayor confort al usuario.</li> <li>-Fácil de aserrar y clavar.</li> <li>-Mayor resistencia al fuego.</li> </ul>	<p>hasta 175 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.</p> <p>-Conductividad térmica de 0,5 a 0,8 kcal/m<sup>2</sup>h°C.</p>
	Normal	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Todo tipo de estructuras en general.</li> <li>-Elementos prefabricados.</li> <li>-Estructuras voluminosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Mantiene una densidad en atención al funcionamiento de la estructura.</li> </ul>	<p>-P.V. de 2200 a 2400 kg/m<sup>3</sup>.</p> <p>-Resistencia a la compresión de hasta 100 y 350 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días.</p> <p>-Propiedades en estado fresco y endurecido similares a las obtenidas en hormigones convencionales.</p>

	Pesado	-Estructuras de protección contra radiaciones.  -Elementos que sirvan como lastre.	-Elevado peso volumétrico.  -Mejor relación resistencia/peso.  -Disminución de espesor en los elementos.	-P.V. de 2400 a 3800 kg/m <sup>3</sup> .  -Resistencia a la compresión igual a la obtenida en hormigones normales.
--	--------	--	--	--

Fuente: <http://www.imcyc.com/concreto/>

#### 2.2.5.1.4. Tipos de hormigón por su consistencia

Tabla N°2.5: Tipos de hormigón por su peso consistencia

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
<b>Por su consistencia</b>	Fluido	-Rellenos.  -Estructuras con abundante acero de refuerzo.  -Bombeo a grandes alturas.	-Facilita las operaciones de colocación y acabado.  -Facilita las operaciones de bombeo.  -Propicia el ahorro en mano de obra.	-Revenimiento superior a 19 cm, siendo consistencia líquida.  -Resistencia a la compresión igual a las logradas por hormigones convencionales

	Normal o convencional	-Todo tipo de estructuras de hormigón.	-Tener una consistencia de mezcla adecuada para cada tipo de estructura, en atención a su diseño.	-Revenimiento entre 2,5 y 19 cm, lo cual considera todas las zonas de consistencia.  -Resistencia a la compresión igual a las logradas por hormigones convencionales.
	Masivo	-Colados en elementos de gran dimensión.	-Ahorro en materia prima y mano de obra.  -Bajo desarrollo en el calor de hidratación.	-Revenimiento entre 2,5 y 5 cm, siendo de consistencia plástica.  -Resistencia a la compresión igual a las logradas por hormigones convencionales.
	Sin revenimiento	-Hormigones que no se colocan bajo los métodos convencionales empleados en la	-Bajo consumo de cemento.  -Facilita las operaciones de colocación.	-Revenimiento máximo de 2,5 cm, siendo de consistencia seca.

		industria del hormigón premezclado.		-Resistencias a la comprensión máximas de 150 kg/cm <sup>2</sup> .
--	--	---	--	---

Fuente: <http://www.imcyc.com/concreto/>

## 2.2.6. Componentes del hormigón

### 2.2.6.1. Cemento

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

#### 2.2.6.1.1. Características físicas y mecánicas del cemento

##### a. Finura del cemento

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. 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.

##### b. 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>.

#### 2.2.6.1.2. 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. Estos compuestos han sido llamados “compuesto de Bogue”.

Los constituyentes Silicato Tricálcico ( $C_3S$ ) y Silicato Dicálcico ( $C_2S$ ) forman del 70 al 80% del cemento Portland son los más estables y los que más contribuyen a la resistencia del cemento. Luego tenemos el Aluminato Tricálcico ( $C_3A$ ) y Ferroaluminato Tetracálcico ( $C_4AF$ ). Que son los responsables de producir retracciones y darle color gris respectivamente.

El  $C_3S$  se hidrata más rápidamente que el  $C_2S$  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  $C_2S$  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.

## **2.2.6.2. Agregados**

### **2.2.6.2.1. Clasificación de los Agregados**

- ❖ **Según su tamaño:** <0.002 mm Arcilla, 0.002-0.074 mm Limo, 0.074-4.76 mm Arena, 4.76-19 mm Gravilla, 19.1-50.8 mm Grava, 50.8-152.4 mm Piedra, >152.4 mm Piedra bola.
- ❖ **Según su procedencia:** Se clasifica en agregados naturales (ríos, quebradas, canteras). Agregados artificiales (arcilla expandida, escombros, vidrio triturado)
- ❖ **Según su densidad:** Ligero (480-1040 kgf/m<sup>3</sup>), normal (1300-1600 kgf/m<sup>3</sup>), pesado (3400-7500 kgf/m<sup>3</sup>).

### **a) Agregado Grueso**

Material pétreo con diámetro superior a 4.76 mm, proveniente de la disgregación natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos por la norma ASTM C33.

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.

### **b) Agregado fino**

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas que no supera los 9.5 mm de diámetro según norma ASTM C33.

#### **2.2.6.2.2. Propiedad Mecánicas de los agregados**

- ✓ **Resistencia:** Viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad.
- ✓ **Tenacidad:** Resistencia a la falla por impacto
- ✓ **Adherencia:** Interacción en la zona de contacto agregado – pasta
- ✓ **Dureza:** Resistencia al desgaste por abrasión.

#### **2.2.6.3. 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 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 curado: Se utiliza después de que el concreto ha fraguado y tiene como función la de seguir hidratando el cemento.

Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del hormigón. La norma NB 637

(ASTM C1602M) permite el uso de agua potable sin practicarle ensayos e incluye métodos para calificar las fuentes de agua no potable.

### **2.3. Aditivo Reductor de Agua**

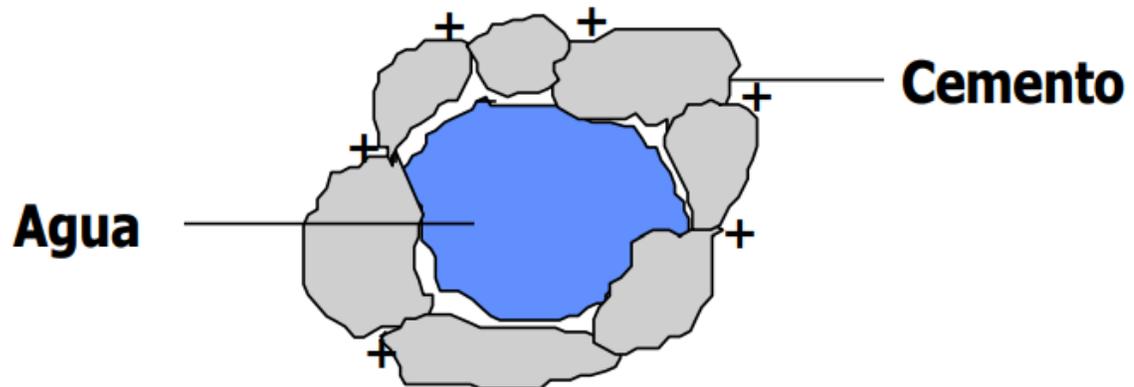
Los aditivos reductores de agua se adicionan al concreto para reducir la relación agua-material cementante, la cantidad de material cementante, el contenido de agua, el contenido de pasta o para mejorar la trabajabilidad del concreto sin cambiar la relación agua-material cementante. Los reductores de agua generalmente reducen los contenidos de cemento en 12% a 30% y algunos también aumentan el contenido de aire en 1/2 % a 1%.

En la ASTM C 494, corresponden a los tipos F (reductor de agua) y G (reductor de agua y retardador de fraguado). Estos aditivos pueden reducir grandemente la demanda de agua y el contenido de cemento y pueden producir concretos con baja relación agua-cemento, alta resistencia y trabajabilidad normal o alta. Esta reducción de la demanda de agua está entre 12% y 30%, lo que permite producir concretos con: (1) resistencia a compresión última mayor que 715 kg/cm<sup>2</sup> o 70 MPa (10,000 lb/pulg<sup>2</sup>), (2) desarrollo mayor de las resistencias tempranas, (3) menor penetración de los iones cloruro y (4) otras propiedades beneficiosas asociadas a baja relación agua- cemento del concreto. Los aditivos reductores de agua de alto rango normalmente son más eficientes en la mejoría de la trabajabilidad del concreto que los aditivos reductores de agua regulares. La gran reducción del contenido de agua puede disminuir considerablemente el sangrado (exudación), resultando en dificultades de acabado en superficies planas cuando hay secado rápido. Algunos de estos aditivos pueden causar una gran pérdida de revenimiento (asentamiento) y también un gran retraso del tiempo de fraguado, lo que puede agravar la fisuración por retracción plástica si no hay protección y curado correctos.

#### **2.3.1. Mecanismo de acción de los aditivos súper-plastificante reductor de agua**

Las cargas eléctricas entre los granos no hidratados causan floculación de las partículas de cemento lo cual tiene un efecto negativo en la trabajabilidad e impide una pronta hidratación.

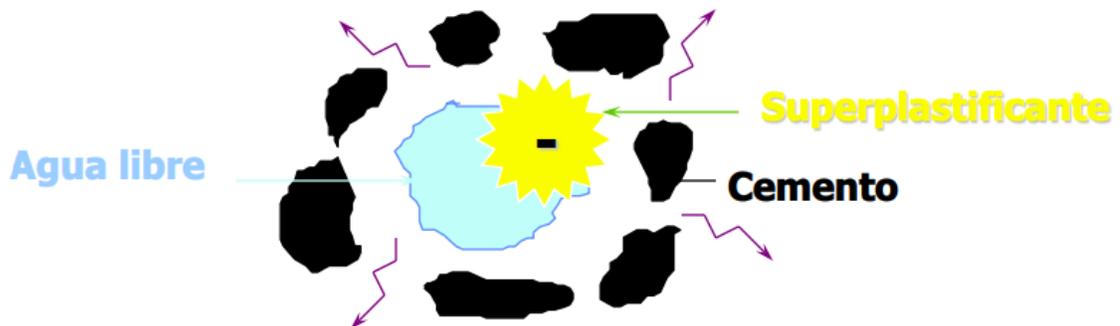
**Figura N°2.2: Partícula de cemento en un hormigón sin aditivo**



*Fuente: ANFAH*

Con la inclusión de reductores de agua en la mezcla es posible deflocular las partículas de cemento. Estas moléculas orgánicas son muy efectivas en neutralizar las cargas eléctricas en la superficie de las partículas de cemento, ya sea por un proceso electrostático (como el caso de los polímeros de naftaleno, melanina y lignosulfatos) o por un mecanismo estérico (como el caso de policarboxilatos y poliacrilatos). El segundo grupo posee un poder dispersante mayor, que se ve reflejado en una actividad fluidificante más potente.

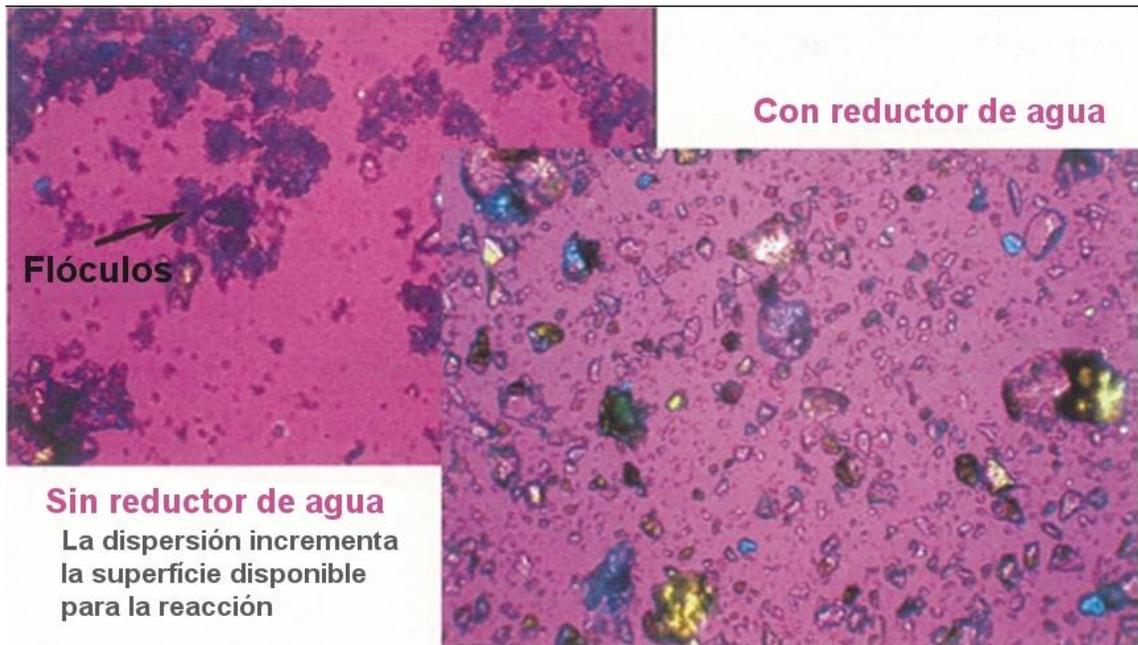
**Figura N°2.3: Partícula de cemento en presencia de un aditivo súper-plastificante**



*Fuente: ANFAH*

Las partículas de cemento sobre las que se han absorbido las moléculas del súper-plastificante experimentan una repulsión que impide la formación de flóculos, obteniéndose una dispersión de partículas de cemento en la solución acuosa. Esta fuerza repulsiva es de origen electrostático.

**Figura N°2.4: Fotomicrografía – Floculación de cemento hidratado**



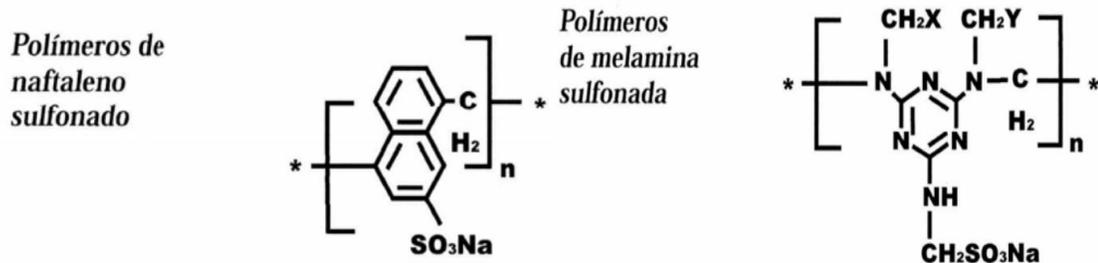
*Fuente: ANFAH*

Los súper-plastificantes en su origen fueron compuestos de Naftaleno sulfonado, melaninas y vinilos. Los primeros fueron:

- ✓ Sales de condensado de naftaleno sulfonado y formaldehído (SNF).
- ✓ Sales de condensado de melanina sulfonada y formaldehído (SMF).

Son productos sintéticos diseñados para un uso específico, por tanto, sus características vienen determinadas por las condiciones del proceso de fabricación.

**Figura N°2.5: Origen de composición de los aditivos súper plastificantes**



*Fuente: ANFAH*

- ✓ Los naftalenos son productos resultantes del proceso de refinado del carbón.
- ✓ Los condensados de Melaminas están basados en polímeros sintéticos.
- ✓ Ambos poseen numerosos grupos de sulfonato capaces de conferir un carácter electrostáticamente negativo a la superficie de la partícula de cemento sobre la que se absorben.
- ✓ Dependiendo del grado de polimerización que hayan sufrido, el producto obtenido tiende a variar la tensión superficial y su efectividad.

### **2.3.2. Composición química de los reductores de agua (SNF, SMF).**

Estos tipos de aditivos suelen tener en sus formulaciones en torno a 5-6 elementos:

- ✓ Parte principal dispersante (bien SNF, SMF o mezclas).
- ✓ Componentes secundarios que acompañan a un *SNF* suelen sales inorgánicas u orgánicas para modificar los tiempos de fraguado.
- ✓ Agentes antiespumantes con el objetivo de disminuir los macroporos.
- ✓ Se pueden incorporar ácidos hidroxicarboxados o lignosulfonatos modificados para intentar mejorar la retención de trabajabilidad y las resistencias finales.

### **2.3.3. Interacción entre el cemento y el aditivo**

- ✓ Las moléculas de súper plastificante se absorben preferentemente sobre los aluminatos de cemento.
- ✓ Existe una concentración de aditivo que forma el llamado punto de saturación, y desde el punto de vista práctico tiene un gran interés, ya que presenta la concentración necesaria para obtener el máximo efecto dispersante.
- ✓ A partir de esa concentración se puede originar efectos perjudiciales para el hormigón (aire incluido, disgregación, retraso de fraguado...).
- ✓ La cantidad de aditivo absorbido depende de la composición química del cemento, punto de adición del aditivo, relación a/c.

- ✓ Cada combinación de cemento – aditivo puede tener diferente punto de saturación en función del origen de ambos. No tiene el mismo comportamiento un aditivo súper-plastificante en un cemento bajo contenido de aluminato que en un cemento con alto contenido de aluminato.

#### 2.3.4. Aditivo reductor de agua Sikament N-100

Para el presente proyecto se hará el uso del aditivo Súper-plastificante Reductor de Agua de alto poder Sikament N-100.

Es un aditivo líquido, compuesto por resinas sintéticas. Súper-plastificante, Reductor de Agua de alto poder y economizador de cemento. No contiene cloruros, no es tóxico, ni inflamable y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

##### 2.3.4.2. Composición/información sobre los componentes

**Tabla N°2.6: Sustancia / Mezcla**

<b>Componentes peligrosos</b>		
<b>Nombre químico</b>	<b>No. CAS</b>	<b>Concentración (%w/w)</b>
Naphtalensulfonic acid-formaldehyde condensate sodium salt	No asignado	>= 30 - < 50
formaldehído	50-00-0	>= 0,1 - < 1

*Fuente: Ficha datos de seguridad Sikament N-100*

##### 2.3.4.3. Recomendación de dosificación

Las dosis varían según los materiales utilizados, las condiciones ambientales y los requisitos específicos del proyecto.

Sika recomienda las siguientes dosificaciones:

- ✓ Como súper-plastificante: del 0,5 % - 1,0 % referido al peso del cemento.
- ✓ Como reductor de agua: del 1,0 % – 2,0 % referido al peso del cemento.

El producto Sikament N-100, está diseñado para cumplir con los requisitos de las normas ASTM C 494, Tipo F. También cumple con los requisitos de la Norma NB 1225001 – Aditivos.

Por lo tanto, Sikament N-100 tiene tres usos básicos:

- ✓ Como súper-plastificante.
- ✓ Como reductor de agua de alto poder.
- ✓ Como economizador de cemento.

Para más información y detalles ver ANEXO B (Hoja de datos del producto – Ficha de datos de seguridad)

#### **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:

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

#### **2.5. Dosificación ACI-211.1**

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. Relación entre resistencia y relación a/c

Dentro del rango normal de resistencias usadas en la construcción de hormigón, la resistencia es inversamente proporcional a la relación agua-cemento o agua-material cementante. Para concretos totalmente compactados, producidos con agregados limpios y sanos, la resistencia y otras propiedades requeridas del concreto, bajo las condiciones de obra, se gobiernan por la cantidad del agua de mezcla usada por unidad de cemento o material cementante (Abrams 1918).

### 2.5.2. Resistencia

La resistencia a compresión especificada (característica),  $f'_c$  a los 28 días, es la resistencia que el promedio de cualquier conjunto de tres ensayos consecutivos de resistencia debe lograr o superar. El promedio de resistencia (resistencia media) debe ser igual a la resistencia especificada más una tolerancia que lleva en consideración las variaciones de los materiales, de los métodos de mezclado, del transporte y colocación del concreto y variaciones en la producción, curado y ensayo de probetas cilíndricas de concreto.

### 2.5.3. Relación agua/cemento

La relación agua-material cementante elegida para un diseño de mezcla debe ser el menor valor necesario para resistir a las condiciones de exposición anticipadas. Cuando la durabilidad no es el factor que gobierne, la elección de la relación agua-material cementante se debe basar en los requisitos de resistencia a compresión.

**Tabla N°2.7: Dependencia entre la R a/c y la resistencia compresión**

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38 (0.38)	0.31 (0.30)
400 (40)	0.43 (0.42)	0.34 (0.34)
350 (35)	0.48 (0.47)	0.40 (0.39)
300 (30)	0.55 (0.54)	0.46 (0.45)
250 (25)	0.62 (0.61)	0.53 (0.52)
200 (20)	0.70 (0.69)	0.61 (0.60)
150 (15)	0.80 (0.79)	0.72 (0.70)

*Fuente: ACI 211.1*

#### 2.5.4. Revenimiento

Siempre se debe producir el concreto para que tenga trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas con las condiciones de la obra. La trabajabilidad es la medida de la facilidad o de la dificultad de colocación, consolidación y acabado del concreto. La consistencia es la habilidad del concreto de fluir. Plasticidad es la facilidad de moldeo del concreto.

**Tabla N°2.8: Dependencia entre la R a/c y la resistencia compresión**

Construcción de Concreto	Revenimiento mm (pulg.)	
	Máximo*	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzado	75 (3)	25 (1)
Zapatas, cajones y muros de subestructuras sin refuerzo	75 (3)	25 (1)
Vigas y muros reforzados	100 (4)	25 (1)
Columnas de edificios	100 (4)	25 (1)
Pavimentos y losas	75 (3)	25 (1)
Concreto masivo	75 (3)	25 (1)

*Fuente: ACI 211.1*

#### 2.5.5. Contenido de aire

Un contenido específico de aire puede no ser posible que se logre fácilmente o repetidamente debido a muchas variables que afectan la inclusión de aire y, por lo tanto, se debe proveer un rango permisible de contenido de aire alrededor de un cierto valor. La solución es el uso de un rango más amplio, tal como -1 a + 2 puntos porcentuales de los valores fijados. Por ejemplo, para un valor de 6% de aire, el rango especificado para el concreto entregado en la obra podría ser de 5% a 8%.

#### 2.5.6. Contenido de agua

El contenido de agua se influencia por un gran número de factores: tamaño, forma y textura del agregado, revenimiento, relación agua-material cementante, aditivos y condiciones ambientales. Un aumento del contenido de aire y del tamaño del agregado, una reducción de la relación agua-material cementante y del revenimiento o el uso de

agregados redondeados, de aditivos reductores de agua o de ceniza volante reducirá la demanda de agua. Por otro lado, el aumento de la temperatura, del contenido de cemento, del revenimiento (asentamiento), de la relación agua-cemento, de la angularidad del agregado y la disminución de la proporción entre el agregado grueso y el agregado fino aumentaran la demanda de agua.

**Tabla N°2.9: Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado**

Revenimiento (asentamiento) (mm)	Agua, kilogramos por metro cúbico de concreto, para los tamaños de agregado indicados*							
	9.5 mm	12.5 mm	19 mm	25 mm	37.5 mm	50 mm**	75 mm**	150 mm**
<b>Concreto sin aire incluido</b>								
25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
<b>Concreto con aire incluido</b>								
25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje†								
Exposición blanda	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

*Fuente: ACI 211.1*

El contenido de agua aproximado de la Tabla N°2.9, usado en el proporcionamiento, son para el agregado angular (piedra triturada). Para algunos concretos y agregados, la estimativa de la Tabla N°2.8 se puede reducir aproximadamente 10 kg/m<sup>3</sup> para el agregado subangular, 20 kg/m<sup>3</sup> para grava con algunas partículas trituradas y 25 kg/m<sup>3</sup> para grava redondeada, para que se obtenga el revenimiento enseñado. Esto muestra la necesidad de las mezclas de prueba para los materiales locales, pues cada fuente de agregado es diferente y puede afectar de manera diversa las propiedades del concreto.

Se debe tener en mente que el cambio de la cantidad de cualquier ingrediente del concreto normalmente afecta las proporciones de los otros ingredientes, bien como, altera las propiedades de la mezcla. Por ejemplo, la adición de 2 kg de agua por metro cúbico aumentará el revenimiento en aproximadamente 10 mm.

### 2.5.7. Agregados

Dos características de los agregados tienen una influencia importante en el proporcionamiento de las mezclas de concreto porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco:

- ✓ Granulometría (tamaño y distribución de las partículas).
- ✓ Naturaleza de las partículas (forma, porosidad, textura de la superficie).

La granulometría también influye en la trabajabilidad y la facilidad de colocación del concreto. El tamaño máximo del agregado grueso no debe exceder un quinto de la menor dimensión entre los lados de las cimbras (encofrados), ni tampoco, tres cuartos la distancia libre entre las varillas.

El volumen de agregado grueso se puede determinar a través de la Tabla N° 2.10. Estos volúmenes se basan en agregados en la condición varillados en seco, conforme se describe en ASTM C 29.

**Tabla N°2.10: Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón**

Tamaño máximo nominal del agregado mm (pulg.)	Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (¾)	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (½)	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (¾)	0.66	0.64	0.62	0.60
25.00 (1)	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1½)	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2)	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3)	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6)	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: ACI 211.1*

### 2.6. Normativas a utilizar en el procedimiento experimental.

Para el análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, así como para el análisis de propiedades del hormigón en su estado fresco y endurecido, se realizarán

basados en el Manual de Carreteras Volumen 4 (MANUAL DE ENSAYOS DE SUELOS Y MATERIALES \*HORMIGONES) y en las normas ASTM, como se detalla a continuación.

**Tabla N°2.11: Lista de los ensayos aplicados**

N°	Ensayo	Normas	
1	Método para extraer y preparar muestras.	H0101	ASTM C-75
2	Método para el cuarteo de muestras	H0102	ASTM C-702
3	Método para tamizar y determinar la granulometría	H0104	ASTM C-136
4	Contenido total de agua de los áridos por secado	H0107	ASTM C-566
5	Método para determinar la densidad aparente	H0108	ASTM C-29
6	Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en los áridos gruesos	H0109	ASTM C-127
7	Método para determinar la densidad real, densidad neta y la absorción de agua en los áridos finos	H01010	ASTM C-128
8	Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles	H01011	ASTM C-131
9	Standard Specification for Concrete Aggregates		ASTM C 33
10	Practica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio		ASTM C 192
11	Método para extraer muestras del Hormigón fresco	H0301	ASTM C 172
12	Método para determinar la docilidad mediante el cono de Abrams	H0304	ASTM C 143
13	Contenido de aire del hormigón fresco método de presión		ASTM C-231
14	Método de ensayo estándar para la medición de la temperatura del concreto de cemento hidráulico		ASTM C-1064
15	Método de ensaye a la compresión de probetas cubicas y cilíndricas	H0307	ASTM C 39

*Fuente: Elaboración propia.*

## CAPÍTULO III

### DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1. Descripción de la metodología

##### Tipo de Investigación

La presente investigación es de tipo experimental, porque por medio de la manipulación de una variable la independiente, el aditivo súper-plastificante **Sikament N -100** y en función a los días en los que se va analizar que son 7, 14 y 28, las consecuencias de tal manipulación sobre las variables dependientes. Se elige esas edades por la característica del aditivo **Sikament N -100** como reductor de agua aumenta la resistencia inicial del concreto.

De acuerdo al diseño de investigación es de modo experimental puro, porque a partir de los análisis del objeto de estudio, demuestra con hechos la verificación de las hipótesis planteadas.

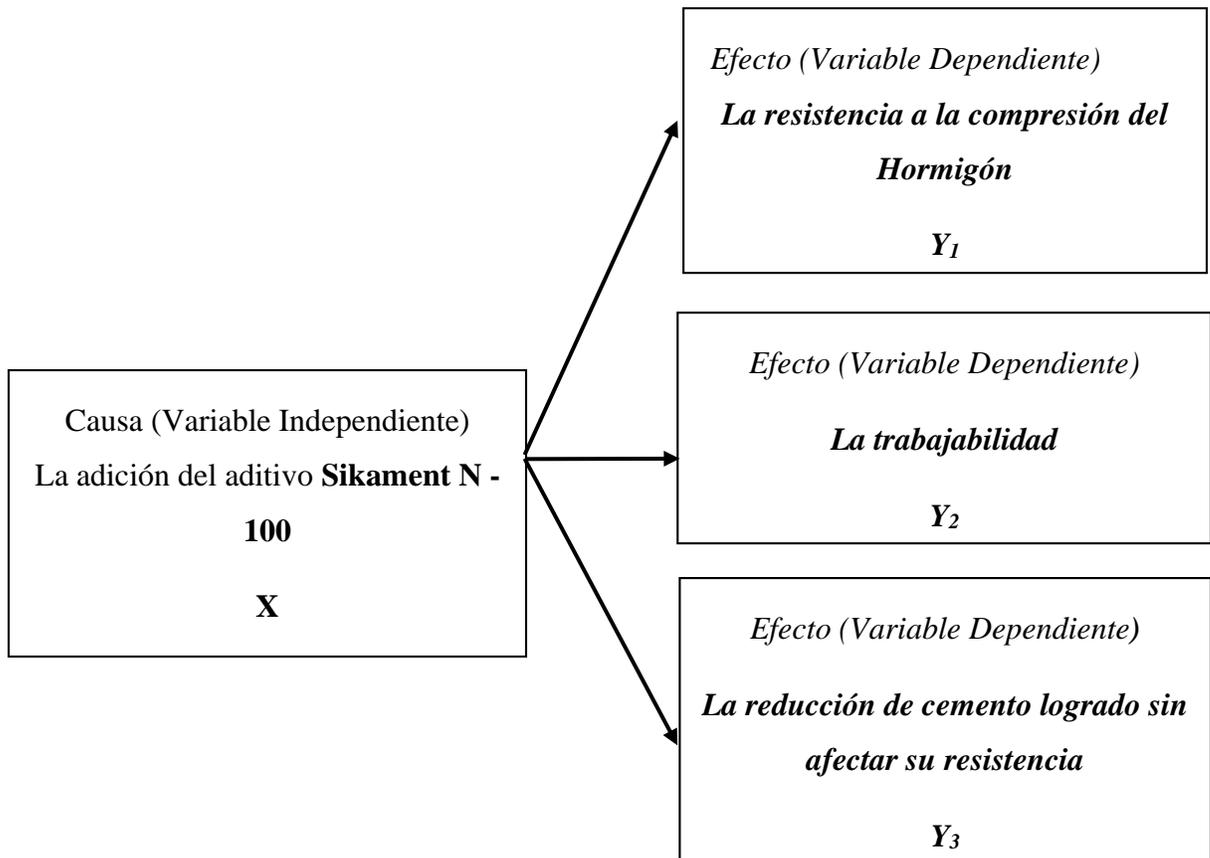
Las características principales de esta investigación se las señala a continuación:

- ✚ Se requiere mínimo dos grupos: uno experimental (variables independientes) y otro de control (variables dependientes).
- ✚ Se requiere tener un control total de las variables independientes.
- ✚ Se compara los resultados del efecto o resultado (variables dependientes).

##### 3.1.1. Variables

De acuerdo al objeto de estudio mencionado anteriormente se puede identificar la principal característica de una investigación tipo experimental, al hablar de hipótesis, a las supuestas causas se les conoce como variables independientes y a los efectos como variables dependientes. En este caso se tiene una causa o variable independiente (el aditivo **Sikament N -100**, a un porcentaje de 1,0%, 1,5% y 2,0% referido al peso del cemento) el cual es manipulado y efectos o variables dependientes (la resistencia a compresión del hormigón, trabajabilidad y la reducción de cemento logrado sin afectar la resistencia) las cuales serán comparadas y analizadas.

Los porcentajes o dosis de aditivo a utilizarse en dicha investigación, son los que recomienda la ficha técnica del aditivo (fabricante).



**Figura N°3.1: Esquema de relación causal: variable independiente con variables dependientes**

### **3.1.2. Población y Muestra**

#### **Población**

Se utilizarán probetas estándar de altura de 300 mm y un diámetro de 150 mm. Según norma ASTM C-470 "Molds For Forming Concrete Test Cylinders Vertical". Los moldes deben ser constituidos en la forma de cilindros rectos circulares que se posicionan con su eje cilíndrico vertical y con su tope abierto para recibir el concreto. Deben ser hechos con materiales que no reaccionen con el concreto que contengan cemento portland o bien otros cementos hidráulicos. Deben ser no absorbentes y sin fugas estancos y suficientemente resistentes y tenaces, para permitir su uso sin romperse, aplastarse o

deformarse. La forma cilíndrica se ha preferido debido a una mayor uniformidad por un efecto menor de la restricción de placas, mejor distribución de los esfuerzos en planos horizontales y menor efecto de pared del agregado grueso en la resistencia.

### Muestra

Para calcular el tamaño de la muestra de una población desconocida, en la presente investigación se obtuvo mediante la siguiente fórmula.

Fórmula para calcular el tamaño de muestra infinita:

$$N = \frac{Z^2_{\alpha} * p * q}{e^2}$$

Donde:

N= Tamaño de la muestra

$Z_{\alpha}$ = Parámetro estadístico que depende el nivel de confianza.

e= Error de estimación máximo aceptado.

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito).

q= (1-p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado.

- Elegimos un grado de confiabilidad del 95% entonces mi valor estandarizado Z= 1.96. (de tabla N° 3.1)

**Tabla N°3.1: Valores estandarizados en función del grado de confiabilidad**

Grados de confiabilidad (%)	Valor estandarizado ( $z_{\alpha}$ )
99	2,58
<b>95</b>	<b>1,96</b>
90	1,64

Fuente: QuestionPro. Tamaño de Muestra [acceso 28 jul 2022] disponible en:  
<https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>

- **Asumimos un error máximo de 10%**, es la manera de aceptar que los datos no son absolutamente exactos o precisos. Por lo regular el margen de error puede ser

controlado eligiendo una muestra aleatoria y aumentando el tamaño de la muestra, lamentablemente el presupuesto puede llegar a ser un limitante.

- ☉ Porque se tiene estudios anteriores y se vio una alta probabilidad de que ocurra el evento estudiado adoptamos  $p=99\%$  por lo tanto  $q=1-p=1-0.99=0.01$

Reemplazando los valores en la ecuación se tiene:

$$N = \frac{1.96^2 * 0.99 * 0.01}{0.10^2} = 3.80 \approx 4$$

**Tabla N°3.2: Cantidad de probetas a realizar para análisis de resistencia**

<b>Cantidad de probetas a realizar para el análisis de resistencia</b>			
	<b>Resistencia a compresión</b>		
<b>Edad de Hormigón</b>	<b>7 días</b>	<b>14 días</b>	<b>28 días</b>
Hormigón convencional	4	4	8
Hormigón con aditivo Sikament N-100 (1.0%)	4	4	8
Hormigón con aditivo Sikament N-100 (1.0%)	4	4	8
Hormigón con aditivo Sikament N-100 (1.0%)	4	4	8
<b>Subtotal</b>	<b>16</b>	<b>16</b>	<b>32</b>
<b>Total</b>	<b>64 probetas</b>		

*Fuente: Elaboración propia.*

Se obtuvo un total de 64 probetas a ser vaciadas.

Para la obtención de resultados confiables se realizará el vaciado de 16 probetas cilíndricas dosificadas con hormigón convencional, 16 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 1,0%, 16 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 1,5%, 16 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 2,0%, en diferentes casos serán sometidas las probetas a la prueba de resistencia mecánica a compresión.

Por lo general, a mayor número de probetas, mejores resultados; la resistencia a compresión del hormigón se puede definir como la medida máxima a carga axial de especímenes de hormigón a una edad de 28 días, en ese sentido se determina realizar 32 probetas para una edad de 28 días, no obstante, se puede usar otras edades para las pruebas,

pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades.

**Tabla N°3.3: Cantidad de probetas para el análisis de uso de aditivo como Economizador de cemento**

<b>Cantidad de probetas a realizar para análisis de uso de aditivo como Economizador de cemento</b>		
	<b>Resistencia a Compresión</b>	
<b>Edad del Hormigón</b>	<b>7 días</b>	<b>28 días</b>
Hormigón convencional	4	8
Hormigón con aditivo Sikament N -100 (1.0%)	4	8
<b>subtotal</b>	<b>8</b>	<b>16</b>
<b>total</b>	<b>24 probetas</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

Se obtuvo un total de 24 hormigones a ser vaciados.

Para la obtención de resultados confiables se realizará el vaciado de 12 probetas cilíndricas dosificadas con hormigón convencional, 12 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 1,0%, en diferentes casos serán sometidas las probetas a la prueba de resistencia mecánica a compresión.

### **3.2. Fase I Recolección de los materiales**

**Cemento.** - El cemento que se usó en este estudio fue el cemento El Puente tipo IP-30 se optó por utilizar este tipo de cemento debido a su obtención es fácil en el mercado y es uno de los más usados en el municipio de Villa Montes y en el dpto. de Tarija, esto se logró gracias a una donación de este material por parte de la empresa SOBOCE luego de una solicitud de donación de cemento para el presente estudio.

**Agregado Fino.** – Luego de estudios realizados a distintos bancos de materiales para obtener el agregado fino No cumple ninguno con la norma ASTM – C33, en el municipio de Villa Montes. En ese sentido se opta por hacer investigaciones en la zona de estudio

sobre los agregados que se usa y dio como resultado la utilización de agregado fino del municipio de Yacuiba, exactamente de la cantera de Caiza ubicado a 40 min de la ciudad de Villa Montes en las coordenadas: Este: 441928,80 – Norte: 7592001,60 (UTM WGS 84, Zona 20 Sur). Serranía de exposiciones Noroeste, proyectadas sobre la llanura chaqueña al lado sur del Pilcomayo y al este de la serranía del Aguarañe.

**Agregado Grueso.** - El agregado grueso se utilizó del Lecho del Río Pilcomayo. Sector ancho donde el río deposita una mezcla de arenas con gravas, cantos y bloques. Sector con recursos renovable cada año. Ubicado a 1,6 km aguas abajo del puente Pilcomayo exactamente en las coordenadas: Este: 453319,00 – Norte: 7646286,80 (UTM WGS 84, Zona 20 Sur). Los materiales de esta cantera son de canto rodado.

**Aditivo.** – La obtención del aditivo que se usó en esta investigación de nombre (**Sikament N-100**), del comercial CONCRETAR (Av. España N° 380, entre Delfin Pino y Av. Belgrano, B/Fátima que es distribuidor autorizado en Tarija por Sika Bolivia S.A. .

**Agua.** - Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla para la preparación del hormigón. La norma NB 637 (ASTM C1602M) permite el uso de agua potable sin practicarle ensayos e incluye métodos para calificar las fuentes de agua no potable.

**Tabla N°3.4: Cantidades aproximadas de materiales a usar en el presente estudio**

<b>Materiales</b>	<b>Cantidad [Kg]</b>
Grava	670,00
Arena	390,00
Cemento	210,00
Aditivo	2,00
Agua	80,00

*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.2.1. Análisis de la petrología de los áridos empleados**

#### **3.2.1.1 Geología**

Producto de la actividad tectónica, así como la colisión y subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa sudamericana, la cordillera de los Andes inicio su formación y afloramiento desde el Terciario (66 millones de años atrás – Maa) creando un relieve positivo como fuente de rocas que con el tiempo se ha ido erosionando, transportando y depositando en el relieve negativo distribuido por la planicie del Chaco.

A pesar del temprano nacimiento de la cordillera de los Andes, el territorio incluye rocas del periodo Paleozoico (541 y 251 Maa), Mesozoico (541 y 65 Maa), Paleógeno (66 y 23 Maa), Neógeno (23 y 2,58 Maa) y sedimentos del Cuaternario (2,58 Maa hasta el presente).

Las rocas tanto de la Cordillera de los Andes como del sub andino son las que continúan en erosión y transporte hasta depositarse como sedimentos en la llanura chaqueña. La sedimentación en el Chaco ha ocurrido durante millones de años en diferentes periodos climáticos, principalmente por intercalación de periodos secos y húmedos, que se reflejan en el tipo de sedimento presente como arenas eólica y gravas/arena.

Cabrera (Boletín 15/98 de SERGEOMIN) destaca que “Los sedimentos cuaternarios existentes en la llanura chaqueña se componen de materiales aluviales y coluviales procedentes del Sub andino y las serranías terciarias próximas. Estos sedimentos se presentan como capas estratificadas, compuestas en su gran mayoría por arenas finas, limos y arcillas; también se han encontrado algunos niveles con arenas gruesas intercaladas por conglomerados. Los mismos han sido afectados por un intenso transporte, eólico y fluvial, siendo re trabajados y seleccionados naturalmente durante su deposición.

En el año 2014 dentro del Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata, en relación con los efectos de la variabilidad y el Cambio Climático, se realiza el mapa geológico del Sistema Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño (SAYTT) que es compartido entre Argentina, Bolivia y Paraguay, allí es apreciable la geología con mayor detalle de una porción del territorio municipal de Villa Montes.

En el mencionado mapa se corrobora la extensa presencia de sedimentos de edad cuaternaria de origen fluvial (grava, arena y limo), especialmente a orillas del actual cauce del Río Pilcomayo. También se puede encontrar sedimento cuaternario de origen eólico como arena, limo y arcilla, y conglomerados poco consolidados de edad Neógeno formando las serranías y terrazas altas a los costados de los cauces actuales, tal es el caso de la Serranía Aguaray.

En el entendido que el sedimento transportado por el Río Pilcomayo emerge de más de 300 km de distancia, en la parte alta de la cuenca, éste ha sido desgastado hasta conformar clastos de tamaño menor a 50 cm de diámetro (bloques > 250 mm), predominando cantos entre 60 y 250 mm de diámetro, grava (2 a 60 mm de diámetro), arena (0,05 a 2 mm de diámetro) y algo de limo y arcilla (<0,05 mm).

El material transportado por los riachuelos y ríos tributarios puede traer material grueso originado en las cuencas del Sub andino, pero principalmente material fino como arena.

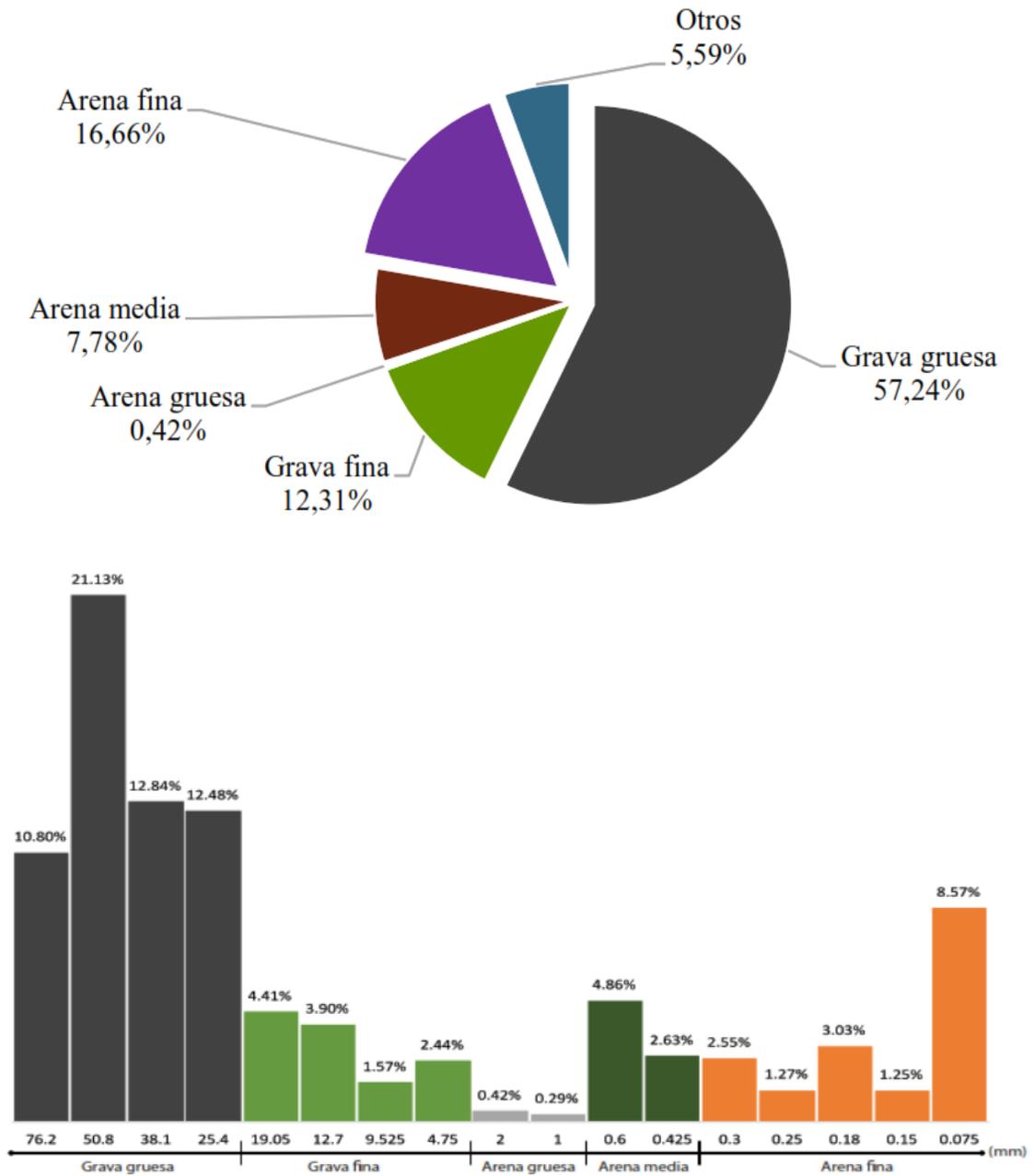
### **3.2.1.2. Petrología**

La característica especial de estos bancos húmedos es que pueden considerarse como materiales/recursos renovables en el entendido que al encontrarse en sistemas hidrológicos activos los cursos de agua, de forma anual durante la época de lluvias, traerán material/sedimento y repondrán aquel extraído el año anterior.

#### **Ficha técnica - Río Pilcomayo**

- **Coordenadas:** Este: 453319,00 – Norte: 7646286,80 (UTM WGS 84, Zona 20 Sur).
- **Tipo de banco:** Húmedo.
- **Geoforma:** Llanura aluvial.
- **Petrología o Litología:** Arena mezclada con gravas, cantos y bloques.
- **Descripción:** Lecho del Río Pilcomayo. Sector donde el río deposita una mezcla de arenas con gravas, cantos y bloques, sector con recursos renovable cada año.
- **Columna estratigráfica:** No aplica al ser río activo.

**Figura N°3.2: Distribución del material, Río Pilcomayo**

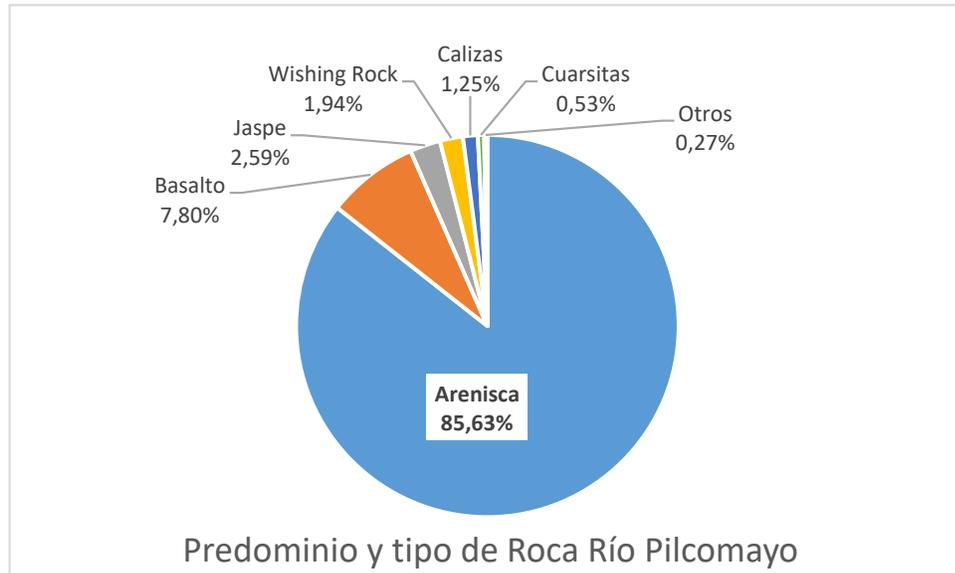


*Fuente: SERINING SRL (2019)*

A fin de determinar la resistencia de los agregados y áridos se tomaron muestras representativas de gravas de las canteras de Caigua y Pilcomayo. Cada unidad de muestreo fue sometida a un proceso de desgaste en la máquina de Los Ángeles. Los resultados fueron: en la cantera Pilcomayo el porcentaje de desgaste resulto ser 11,95%.

En la cantera Caigua resulto ser 42,80%, valor que manifiesta debilidad si se toma en cuenta el valor referencial porcentaje de desgaste máximo de 35%.

**Figura N°3.3: Predominio y tipo de Rocas “Río Pilcomayo”**



*Fuente: Elaboración propia.*

El tipo de roca predominante es la Arenisca es una roca sedimentaria de origen clástico y mecánico. Es una roca resultante de la consolidación de arenas cuyas variedades dependen de la cantidad de cuarzo y de feldespato que poseen, y del tipo de cementante químico que aglutina los granos, la sustancia ligante puede ser de sílice o de carbonato o de hidróxidos de hierro.

**Figura N°3.4: Roca predominante Arenisca**



*Fuente: Elaboración propia.*

Seguido tenemos el tipo de roca Basalto es una roca ígnea de origen volcánico, también el Jaspe que pertenece a una roca sedimentaria. Para ver más detalle sobre el procedimiento de clasificación, imágenes macroscópicas y microscópicas ver Anexo C.

### 3.3. Fase II Ensayos de materiales en laboratorio

#### 3.3.1. Ensayos de laboratorio de cemento

Continuamente, la empresa SOBOCE realiza ensayos de control de calidad, se optó por emplear los valores de sus propiedades, del cemento, conseguidos en la empresa, que cuenta con la garantía de certificación de calidad, IBNORCA IP-30; Evitando de esta manera realizar los ensayos requeridos sin el equipo adecuado, (ver ANEXO A).

A continuación, en la siguiente tabla se presenta, en forma resumida, alguna características físicas y mecánicas del cemento.

**Tabla N°3.4: Especificaciones físicas y mecánicas del cemento (SOBOCE)**

<b>Especificaciones Físicas y Mecánicas del Cemento</b>		
<b>Peso Específico</b>		3,03 [gr/cm <sup>3</sup> ]
<b>Resistencia a Compresión a 3 días</b>		22,8 [MPa]
<b>Tiempo de fraguado</b>	<b>inicial [min]</b>	144
	<b>final [min]</b>	230

*Fuente: informe control de calidad mes de agosto 2022 (cite: USOP-LEP:18/2022)*

**Tabla N°3.5: Resultados especificaciones químicas del cemento**

<b>Simbología compuestos químicos</b>	<b>Composición química Del Cemento [%]</b>
C <sub>3</sub> S	61,39
C <sub>2</sub> S	14,87
C <sub>3</sub> A	6,93
C <sub>4</sub> AF	7,94

*Fuente: informe control de calidad mes de agosto 2022 (cite: USOP-LEP:18/2022)*

### 3.3.2. Características del Agregado fino

#### 3.3.2.1. Análisis Granulométrico del Agregado Fino

Las muestras provenientes de la cantera de Caiza del municipio de Yacuiba a 40 minutos de la ciudad de Villa Montes fueron extraídas y preparadas de acuerdo a los métodos de la norma ASTM D-75 (Método para extraer y preparar muestras) y ASTM C-702 (Método para el cuarteo de muestras).

#### Procedimiento del ensayo:

El procedimiento realizado con base en la Norma ASTM C 136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33.

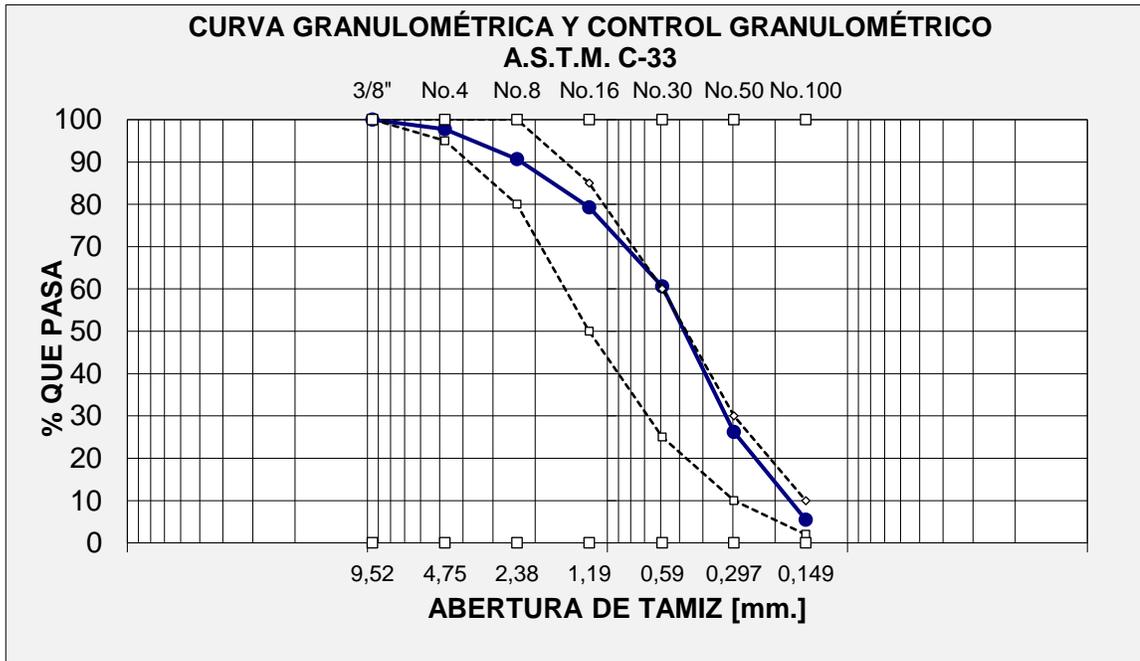
#### Resultados:

**Tabla N°3.6: Resultado promedio del análisis granulométrico del Agregado fino y Módulo de Fineza.**

		Peso Total (gr.) = 659,4			
Tamices	Abertura (mm)	%Pasa (M1)	%Pasa (M2)	%Pasa (M3)	%Pasa Promedio
3/8"	9,52	100,00	100,00	100,00	100,00
N° 4	4,75	97,73	97,73	97,73	97,73
N° 8	2,38	90,64	90,64	90,64	90,64
N° 16	1,19	79,25	79,25	79,25	79,25
N° 30	0,59	60,65	60,55	60,60	60,60
N° 50	0,297	26,16	26,16	26,16	26,16
N° 100	0,149	5,40	5,36	5,38	5,38
N° 200	0,074	5,40	5,36	5,38	5,43
Base		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura MF=		2,40	2,40	2,40	2,40

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.5: Curva granulométrica y control granulométrico del agregado fino.**



*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.3.2.2. Determinación de Peso Unitario Compactado del Agregado Fino**

Densidad aparente del árido compactado en la medida que lo contiene, según los procedimientos indicados en este método.

El volumen que se refiere aquí es aquel ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas del agregado

#### **Procedimiento:**

El procedimiento de la obtención de estos resultados está según la norma ASTM C 29.

#### **Resultados:**

Se trabajó con 3 muestras representativas y se obtuvo el promedio como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla N°3.7: Resultados de los pesos unitarios compactados del agregado fino**

<b>Muestra</b>	<b>Peso Unitario Compactado</b>
<b>N°</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>
1	1,724
2	1,732
3	1,726
<b>Promedio</b>	<b>1,727</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.2.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Fino

#### Procedimiento:

El procedimiento para la obtención del peso específico y absorción de la arena se realizó en base a la norma ASTM C 128. fueron extraídas y preparadas de acuerdo a los métodos de la norma ASTM D-75 y ASTM C-702 (Método para el cuarteo de muestras).

A continuación, se presentan los valores de los pesos específicos del agregado fino además de los promedios de los mismos:

**Tabla N°3.8: Resultados de pesos específicos del agregado fino y su porcentaje de absorción.**

<b>Muestra</b>	<b>P. E. A Granel</b>	<b>P. E. (SSS)</b>	<b>P. E. Aparente</b>	<b>Porcentaje de Absorción</b>
<b>N°</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>
1	2,650	2,681	2,735	1,174
2	2,453	2,479	2,519	1,071
3	2,260	2,283	2,313	1,010
<b>Promedio</b>	<b>2,454</b>	<b>2,481</b>	<b>2,522</b>	<b>1,085</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.3. Características del Agregado Grueso

#### 3.3.3.1. Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

Determinación de la distribución granulométrica estadística de los tamaños de las partículas del agregado grueso.

#### **Procedimiento:**

El procedimiento realizado con base en la Norma ASTM C 136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33.

#### **Resultados:**

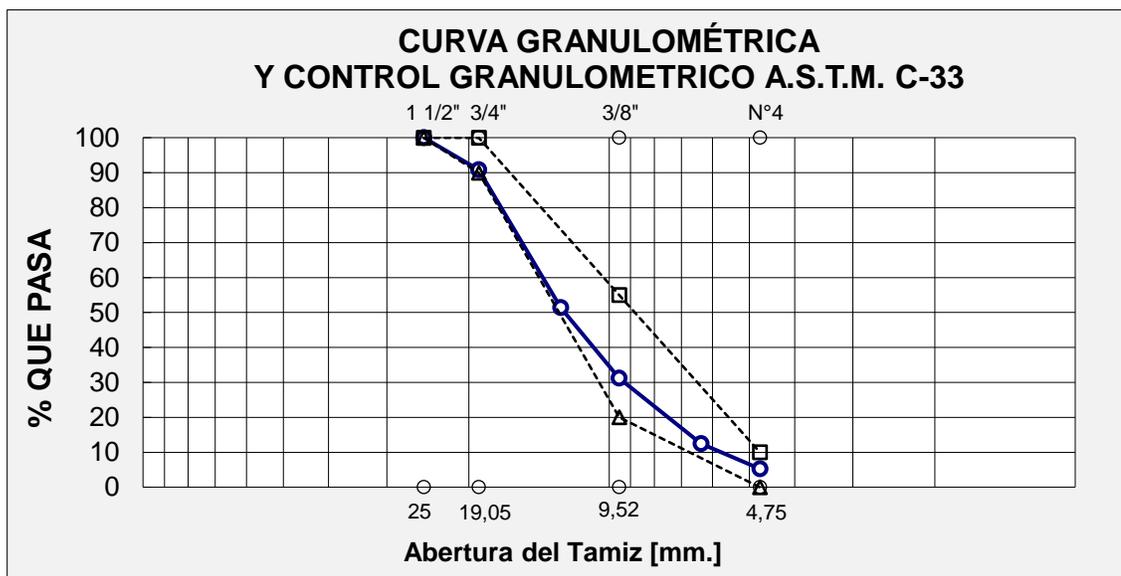
Resultados promedios de 3 ensayos realizados con muestras representativas acorde a los especificado en norma ASTM C 136.

**Tabla N°3.9: Resultado promedio del análisis granulométrico del agregado grueso**

Peso Total (gr.)		8.020,00	9.299,75	6.505,00	
Tamices	Abertura	M1	M2	M3	Promedio
	(mm)	%pasa	%pasa	%pasa	% pasa
1"	25	100	100	100	<b>100</b>
3/4"	19,05	90,74	91,88	89,93	<b>90,85</b>
1/2"	12,70	50,04	52,47	51,71	<b>51,41</b>
3/8"	9,52	30,30	32,11	31,35	<b>31,25</b>
1/4"	6,35	11,97	12,63	12,88	<b>12,49</b>
N°4	4,75	5,11	5,37	5,36	<b>5,28</b>
N°8	2,38	5,11	0,11	5,36	<b>3,53</b>
<b>Base</b>		-0,15	-0,06	0,03	<b>-0,06</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.6: Curva y control granulométrico del Agregado Grueso**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.3.2. Determinación de Peso Unitario Compactado del Agregado Grueso

#### Procedimiento:

El procedimiento de la obtención de estos resultados está según la norma ASTM C 29.

#### Resultados:

**Tabla N°3.10: Resultados de los pesos unitarios del agregado grueso**

Muestra	Peso unitario compactado
N°	(g/cm <sup>3</sup> )
1	1,736
2	1,739
3	1,734
<b>Promedio</b>	<b>1,736</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.3.3.3. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso

#### Procedimiento:

El procedimiento para la obtención del peso específico y absorción de la Grava se realizó en base a la norma ASTM C 128.

A continuación, se presentan los valores de los pesos específicos del agregado fino además de los promedios de los mismos:

#### Resultados:

**Tabla N°3.11: Resultados de pesos específicos del agregado grueso y su porcentaje de absorción**

<b>Muestra</b>	<b>P. E. A Granel</b>	<b>P. E. SSS</b>	<b>P. E. Aparente</b>	<b>Porcentaje de Absorción</b>
<b>N°</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>(%)</b>
1	2,618	2,643	2,686	0,967
2	2,613	2,638	2,681	0,968
3	2,620	2,643	2,683	0,905
<b>Promedio</b>	<b>2,617</b>	<b>2,642</b>	<b>2,683</b>	<b>0,947</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4. Fase III Elaboración de la mezcla, curado y ensayo de los hormigones

#### 3.4.1. Dosificación Hormigón patrón

Cuando no hay registro de ensayos de campo disponibles o son insuficientes para el proporcionamiento a través de métodos de experiencia de campo, las proporciones de la mezcla elegidas se deben basar en mezclas de pruebas. Las mezclas de prueba deben utilizar los mismos materiales de la obra. Se deben elaborar tres mezclas con tres relaciones agua-material cementante distintas o tres contenidos de cemento diferentes, a fin de producir un rango de resistencias que contengan la resistencia requerida. Las

mezclas de prueba deben tener un revenimiento y un contenido de aire dentro  $\pm 20$  mm y  $\pm 0,5\%$ , respectivamente, del máximo permitido. Se deben producir y curar 3 muestras para cada relación A/C de acuerdo con la norma ASTM C 192 tal procedimiento de encuentra en el ANEXO D, A continuación, se muestran los resultados que se obtuvieron luego de los ensayos realizados.

**Tabla N°3.12: Resultados de resistencia a Compresión del hormigón Patrón**

<b>Probeta N°</b>	<b>Relación</b>	<b>Edad</b>	<b>Sección</b>	<b>Lectura</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Proyección 28</b>
Alternativa 1	a/c	(días)	(cm <sup>2</sup> )	(KN)	MPa	días (MPa)
1	0,525	14	176,71	305	17,24	<b>20,29</b>
2	0,525	14	176,71	340	19,26	<b>22,66</b>
3	0,525	14	176,71	340	19,23	<b>22,63</b>
					PROMEDIO=	22,65

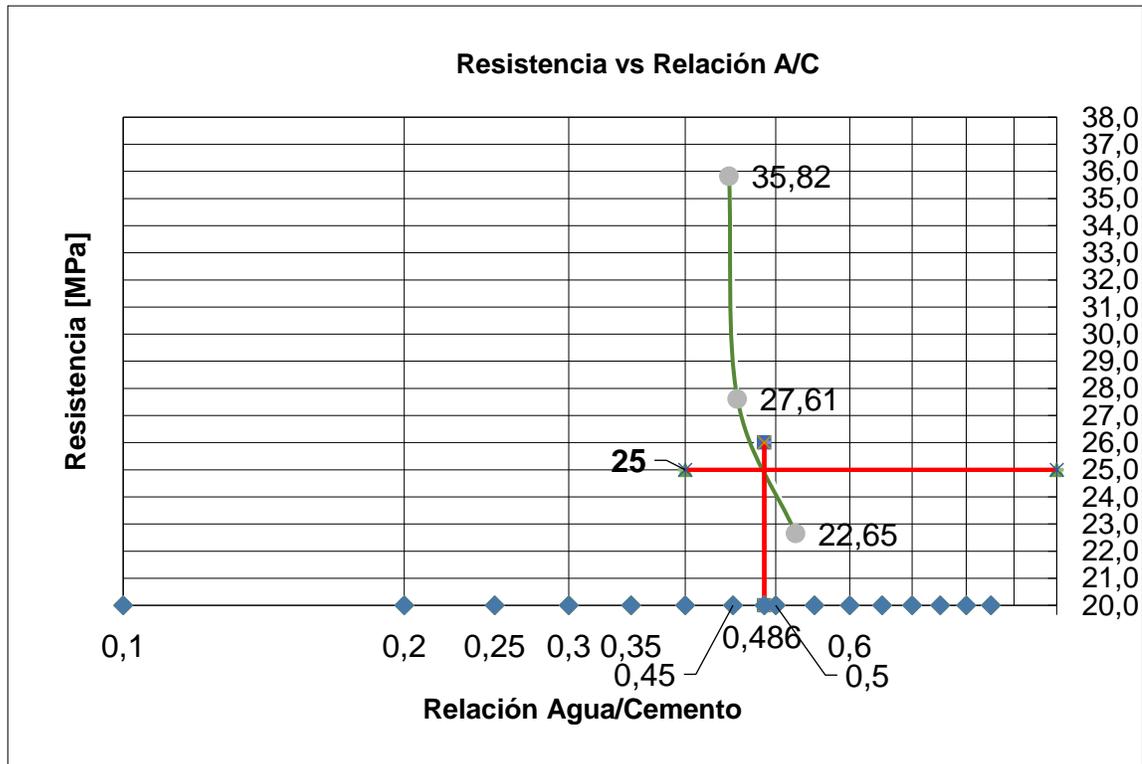
<b>Probeta N°</b>	<b>Relación</b>	<b>Edad</b>	<b>Sección</b>	<b>Lectura</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Proyección 28</b>
Alternativa 2	a/c	(días)	(cm <sup>2</sup> )	(KN)	MPa	días (MPa)
1	0,446	7	181,46	519	28,58	<b>39,67</b>
2	0,446	7	181,46	418	23,03	<b>31,97</b>
3	0,446	7	181,46	327	18,04	<b>25,04</b>
					PROMEDIO=	35,82

<b>Probeta N°</b>	<b>Relación</b>	<b>Edad</b>	<b>Sección</b>	<b>Lectura</b>	<b>Resistencia</b>	<b>Proyección 28</b>
Alternativa 3	a/c	(días)	(cm <sup>2</sup> )	(KN)	MPa	días (MPa)
1	0,455	7	181,46	359	19,81	<b>27,49</b>
2	0,455	7	181,46	363	19,98	<b>27,73</b>
3	0,455	7	181,46	333	18,35	<b>25,47</b>
					PROMEDIO=	27,61

*Fuente: Elaboración propia.*

Los resultados de las pruebas se deben diseñar para producir una curva de resistencia vs Ra/c

**Figura N°3.7: Curva de Resistencia vs Relación A/C**



*Fuente: Elaboración propia.*

Luego del análisis y correcciones realizadas se determina gráficamente para una resistencia característica de 25MPa y se tiene como resultado una **R A/C=0,486** aproximadamente, cabe destacar que se usó la gráfica a escala logarítmica base 10 ya que es la se adecua a nuestros resultados promedio. En las siguientes tablas se presenta las dosificaciones definitivas para 1m<sup>3</sup> de hormigón, tanto como para el hormigón patrón y hormigón con aditivo **Sikament N-100**.

Esta relación a/c de 0,486 representa al hormigón patrón y será de aquí en adelante utilizada como referencia para todas las dosificaciones, tanto para aditivo reductor de agua (reducción de la relación a/c), como para aditivo economizador de cemento (no afecta la relación a/c), los resultados del diseño en estado seco se presentan en las siguientes tablas

de proporciones. El procedimiento más a detalle del cálculo de la dosificación se encuentra en ANEXO E.

**Tabla N°3.13: Resultado Dosificación de hormigón patrón para 1m<sup>3</sup>**

Cemento [kg]	Arena [kg]	Grava [kg]	Agua [kg]
360,000	651,838	1145,760	175,000
Proporciones respecto al cemento			
1	1,811	3,183	0,486

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.2. Dosificación con aditivo reductor de agua (Sikament N-100)

Los porcentajes con el cual se trabajará fueron tomados en consideración la recomendación de la ficha técnica del aditivo (**Sikament N-100**) ver ANEXO B. En la siguiente tabla se muestra porcentajes de reducción de agua para diferentes porcentajes de aditivo **sikament N-100**.

**Tabla N°3.14: Porcentajes de reducción de agua logrado con diferentes % de aditivo**

Aditivo	Peso (kg)	Densidad	Cantidad	Reducción de Agua	
				%	litros
%	(kg)	(kg/l)	litros	%	litros
0,00	0,00	1,22	0,000	0,00	175,00
1,00	3,60	1,22	2,951	20,00	140,000
1,50	5,40	1,22	4,426	25,00	131,250
2,00	7,20	1,22	5,902	30,00	122,500

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.2.1. Diseño de dosificación Hormigón con Aditivo al 1.0% para 1m<sup>3</sup>

- Dosificación al 1.0% de aditivo (Sikament N-100) y 20.0% de reducción de agua para ver a mayor detalle del procedimiento de ensayo se presenta la planilla en el ANEXO E

**Tabla N°3.15: Presentación del diseño en estado seco al 1.0% de aditivo**

<b>Cemento [kg]</b>	<b>Arena [kg]</b>	<b>Grava [kg]</b>	<b>Agua [kg]</b>	<b>Aditivo [kg]</b>
360,000	651,838	1145,760	140	3,60
Proporciones con respecto al cemento				
<b>1</b>	<b>1,811</b>	<b>3,183</b>	<b>0,389</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.2.2. Diseño de dosificación Hormigón con Aditivo al 1,5% para 1m<sup>3</sup>

- Dosificación al 1,5% de aditivo (Sikament N-100) y 25% de reducción de agua para ver a mayor detalle del procedimiento de ensayo se presenta la planilla en el ANEXO E.

**Tabla N°3.16: Presentación del diseño en estado seco al 1,5 % de aditivo**

<b>Cemento [kg]</b>	<b>Arena [kg]</b>	<b>Grava [kg]</b>	<b>Agua [kg]</b>	<b>Aditivo [kg]</b>
360,000	651,838	1145,760	131,250	5,40
Proporciones con respecto al cemento				
<b>1</b>	<b>1,811</b>	<b>3,183</b>	<b>0,365</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.2.2. Diseño de dosificación Hormigón con Aditivo al 2,0 % para 1m<sup>3</sup>

- Dosificación al 2,0% de aditivo (Sikament N-100) y 30% de reducción de agua para ver a mayor detalle del procedimiento del ensayo se presenta la planilla en el ANEXO E.

**Tabla N°3.17: Presentación del diseño en estado seco al 2,0 % de aditivo**

<b>Cemento [kg]</b>	<b>Arena [kg]</b>	<b>Grava [kg]</b>	<b>Agua [kg]</b>	<b>Aditivo [kg]</b>
360,000	651,838	1145,760	122,500	7,20
Proporciones con respecto al cemento				
<b>1</b>	<b>1,811</b>	<b>3,183</b>	<b>0,340</b>	

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.3. Dosificación hormigón con aditivo como economizador de cemento

Se puede aprovechar la reducción del agua lograda, para disminuir el contenido del cemento y hacer más económico el diseño de las mezclas especialmente aquellas de consistencia fluida como bombeables. En ese sentido luego de los ensayos realizados se elige un porcentaje óptimo de reducción de cemento sin afectar su resistencia característica del hormigón patrón de 25Ma.

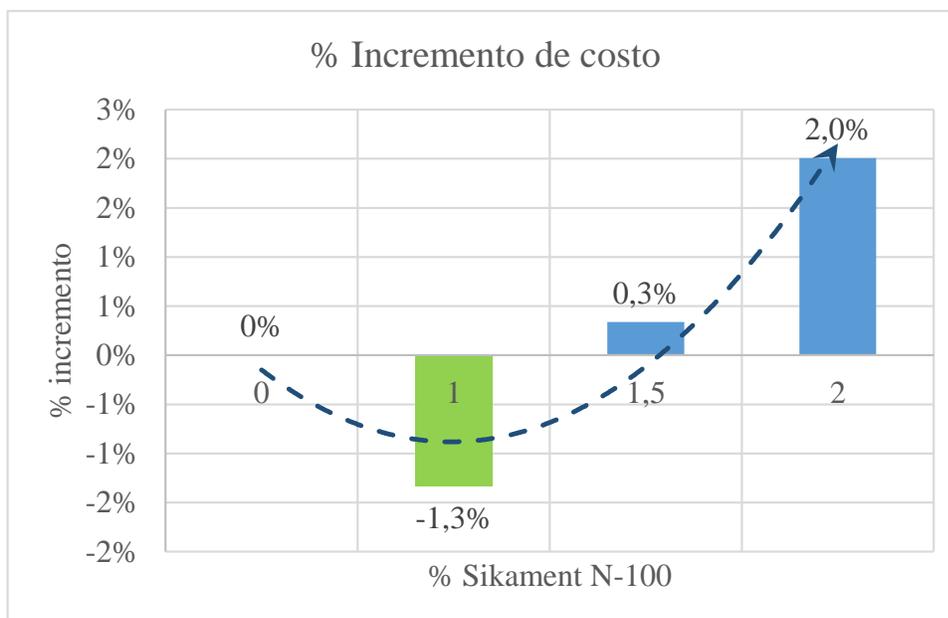
Tomando en cuenta el análisis de costos se busca obtener mezclas más económicas sin perder resistencia y con trabajabilidad necesarias para el tipo de obra. Para más detalle ver capítulo IV sección 4.3. Análisis de costos.

**Tabla N°3.18: Análisis de costos aditivo economizador de cemento**

<b>Análisis de costos aditivo economizador de cemento</b>					
<b>Parámetro</b>		<b>Hormigón con aditivo Sikament N-100 al:</b>			
		<b>Patrón</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,5%</b>	<b>2,0%</b>
<b>Total materiales</b>	Bs	516,15	504,21	519,18	534,14
<b>Total mano de obra</b>	Bs	350,00	350,00	350,00	350,00
<b>Total herramienta y equipo</b>	Bs	31,00	31,00	31,00	31,00
<b>Sub total</b>	Bs	897,15	885,21	900,18	915,14
<b>Gastos generales (10%)</b>	Bs	89,72	88,52	90,02	91,51
<b>Utilidad (10%)</b>	Bs	89,72	88,52	90,02	91,51
<b>TOTAL</b>	Bs	1076,58	1062,25	1080,21	1098,17
<b>% incremento</b>	Bs	0%	-1,3%	0,3%	2,0%

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.8: Incremento de costos para 1m<sup>3</sup> de hormigón con aditivo economizador de cemento**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.4.3.1. Dosificación Hormigón con Aditivo 1% como economizador de cemento

- Dosificación al 1,0% de aditivo (Sikament N-100) y 20% de reducción de agua para ver a mayor detalle del ensayo se presenta la planilla en el ANEXO E

**Tabla N°3.19: Presentación del diseño en estado seco al 1,0 % de aditivo como economizador de cemento**

Cemento [kg]	Arena [kg]	Grava [kg]	Agua [kg]	Aditivo [kg]
288,000	651,838	1145,760	140	3,60
Proporciones con respecto al cemento				
1	2,263	3,978	0,486	

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 3.4.4. Elaboración de muestras en laboratorio

El procedimiento de elaboración de probetas se hizo según norma ASTM C192 (*Practica estándar para hacer y curar especímenes de prueba de concreto en el laboratorio*). Esta práctica establece requisitos estandarizados para la preparación de materiales, la mezcla de hormigón y la fabricación y curado de especímenes de hormigón en condiciones de laboratorio.

##### 3.4.4.1. Aparatos y equipos

- ✓ **Moldes.** - Estos moldes deberán ser de acero o hierro fundido u otro material no absorbente, no reactivo con el concreto. Los moldes deberán ajustarse a las dimensiones y tolerancias especificadas en la norma ASTM C470. Estos antes de ser usados se debe humedecer con aceite para evitar la adherencia a las paredes de este.
- ✓ **Varilla.** - Barra de acero redonda, lisa y recta con un diámetro conforme a los requisitos de la tabla 2 de las especificaciones ASTM C192.
- ✓ **Mazo.** - se utilizará un mazo con una cabeza de goma.
- ✓ **Herramientas pequeñas.** - Se proveerán herramientas y artículos tales como palas, balas, cucharas, bandejas mezcladoras, flexo etc.
- ✓ **Aparato de asentamiento.** - se ajustará a los requisitos del método de ensayo C143.
- ✓ **Mesclador de hormigón motorizado.** – Debe ser un tambor giratorio, o un mezclador basculante

##### 3.4.4.2. Muestras

Tamaño de la muestra frente al tamaño agregado: el diámetro de una muestra cilíndrica o la dimensión mínima de la sección transversal de una sección rectangular debe ser al

menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. en nuestro caso se utilizarán probetas estándar de Altura =300mm y un Diámetro de 150mm.

#### **3.4.4.3. Preparación de materiales**

- ✓ **Cemento.** - Este debe estar en un lugar seco, en recipientes a prueba de humedad.
- ✓ **Agregados.** - 1 día antes se debe hacer secar en horno una porción para calcular su contenido de humedad o contenido de agua para hacer correcciones por humedad a la dosificación. En cuanto al agregado grueso (grava) fue lavada anteriormente y secadas a temperatura ambiente ya que presentaba algo de sustancias orgánicas producto del arrastre de árboles por el río.

#### **3.4.4.3. Procedimiento de elaboración de muestras en laboratorio**

- ✓ Mezclado de Hormigón: mezcle el hormigón en un mezclador adecuado o con la mano en lotes de tal tamaño que deje aproximadamente un 10% de exceso después en nuestro caso se hizo variar tal porcentaje de 15% a 20% debido a su variación de agua en la mezcla.
- ✓ Teniendo ya los componentes listos con sus proporciones correspondientes se debe tener cuidado de perder su humedad o que este sea incrementado.
- ✓ Antes de comenzar la rotación del mezclador, añadir el agregado grueso, parte del agua de mezcla y parte del aditivo mezclado junto al agua.
- ✓ Arranque el mezclador, luego agregue el agregado fino, el cemento y el agua restante junto con el aditivo con el mezclador funcionando.
- ✓ Mezclar el concreto, después que todos los ingredientes estén en el mezclador, durante 3 min seguido un reposo de 3 min, seguido de un mezclado final de 2 min. Cubra el extremo abierto o la parte superior del mezclador para evitar la evaporación durante el periodo de descanso.
- ✓ Medir el asentamiento de cada lote de hormigón inmediatamente después de la mezcla de acuerdo con el método de ensayo C143.

- ✓ Determine el contenido de aire, cuando sea necesario de acuerdo con los métodos de ensayos C231
- ✓ Lugar de moldeo: Mueva los especímenes lo más cerca posible al lugar donde se van a almacenar durante las primeras 24 h. Si no es posible moldear los especímenes donde van a ser almacenados, muévalos al lugar de almacenamiento inmediatamente después de ser golpeado. Coloque los moldes sobre una superficie rígida libre de vibraciones y otras perturbaciones. Evite golpear, inclinar o marcar con una cicatriz la superficie de los especímenes cuando mueva los especímenes al lugar de almacenamiento.
- ✓ Colocar el hormigón en los moldes utilizando una cuchara. Puede ser necesario remezclar el hormigón en la bandeja de mezcla con una pala o llana para evitar la segregación durante el moldeo de los especímenes. Mueva la cuchara o paleta alrededor del borde superior del molde a medida que se descarga el hormigón para asegurar una distribución simétrica del hormigón y para minimizar la segregación del agregado grueso dentro del molde. Distribuir el hormigón mediante el uso de una barra de apisonamiento antes del inicio de la consolidación. Al colocar la capa final, el operador intentará agregar una cantidad de hormigón que llenará exactamente el molde después de la compactación. No añada muestras no representativas de concreto a un molde bajo llenado. Como nuestra probeta es de 150mm de diámetro corresponde llenarlo en 3 capas y cada capa 25 golpes. Tal cual indica el método de ensayo ASTM C192, Tabla 1 y Tabla 2.

#### **3.4.4. Curado de probetas cilíndricas de hormigón.**

- ✓ **Curado inicial.** - Curado en los moldes se cubrió con bolsas de plástico la parte superior para evitar la evaporación del agua del hormigón luego pasado las 16 horas como mínimo se procede a someterlo al curado por inmersión.
- ✓ **Curado final.** - Curado estándar es el que se realiza bajo las condiciones establecidas por la norma, introduciéndolas a la piscina llenas de agua donde fueron sumergidas en su totalidad hasta que se realice el ensayo mecánico de resistencia a la compresión el cual se realizó en 3 diferentes edades de 7, 14 y 28

días en los diferentes hormigones como ser hormigón convencional y los hormigones con adición del aditivo. Se optó estas edades debido a que el aditivo desarrolla altas resistencias iniciales en poco tiempo.

#### **3.4.5. Ensayo de roturas de probetas a Compresión (Falla con almohadillas)**

Las pruebas de resistencia a compresión se llevaron a cabo conforme a la norma ASTM C39, sobre probetas cilíndricas estandarizadas, la falla de estas probetas se realiza colocando almohadillas de neopreno en los extremos. 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 0.5MPa/s, controlada electrónicamente).

Los materiales elastoméricos se deforman inicialmente para ajustarse a los extremos de los cilindros y son restringidas lateralmente por placas de acero y anillos metálicos para evitar la deformación lateral excesiva este procedimiento no debe ser utilizado como una prueba de aceptación del concreto que tenga una resistencia especificada menor a 10 MPa (100 kg/cm<sup>2</sup>) o mayor a 85 MPa (850 kg/cm<sup>2</sup>)

#### **Resumen de procedimiento**

El ensayo propiamente dicho se basa en la colocación de las almohadillas en el espécimen. Antes de colocarlas se debe verificar que no tengan grietas o desgastes considerables. Se coloca el retenedor de almohadilla sobre la misma ya colocada en el cilindro. Se debe verificar que el cilindro este alineado en el eje central con la almohadilla, el retenedor y la cabeza de carga de la máquina de ensayo. Se realiza el ensayo de compresión según lo establecido en ASTM C39. Ver más a detalle el ANEXO F

#### **3.3.5.1. Resultados Ensayo de roturas de probetas a Compresión**

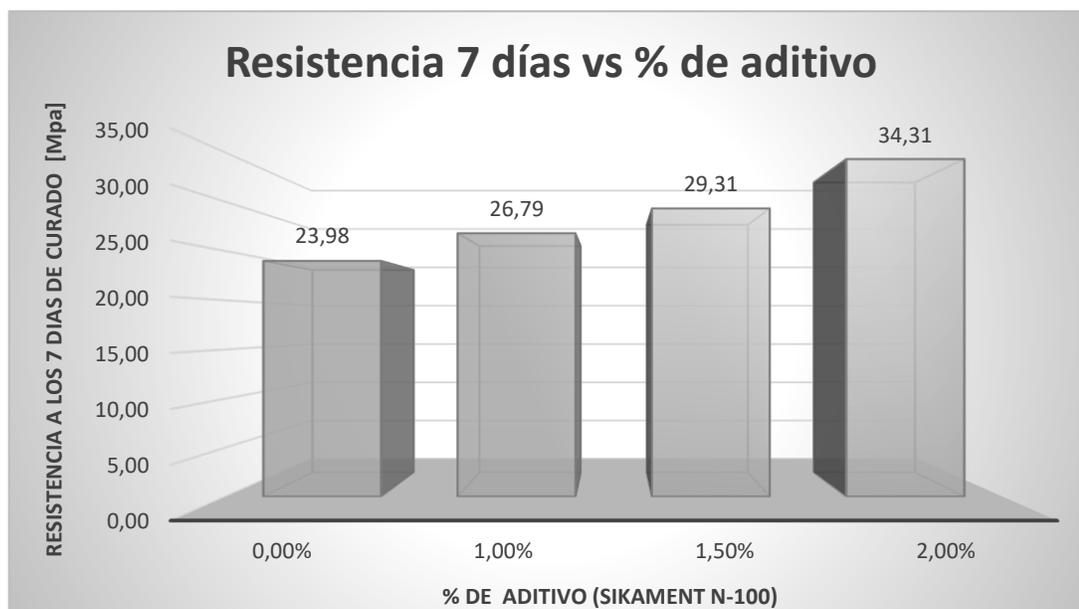
A continuación, se presentan las resistencias luego de un análisis estadístico a los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras obtenidas para cada porcentaje de 0,0%, 1,0%, 1,5% y 2,0% de aditivo a edades de 7, 14, y 28 días.

**Tabla N°3.20: Resultados de resistencia a compresión edad 7 días.**

N°	Aditivo	Edad	Resistencia	Resistencia
	%	[días]	[MPa]	$f'_{c,est}$ [MPa]
1	0	7	27,12	23,98
2	0	7	27,19	
3	0	7	27,07	
4	0	7	27,30	
1	1	7	30,82	26,79
2	1	7	31,03	
3	1	7	30,24	
4	1	7	30,77	
1	1,5	7	33,68	29,31
2	1,5	7	33,54	
3	1,5	7	33,08	
4	1,5	7	33,68	
1	2	7	38,72	34,31
2	2	7	38,10	
3	2	7	38,01	
4	2	7	37,96	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.9: Resistencia a los 7 días vs % de aditivo**



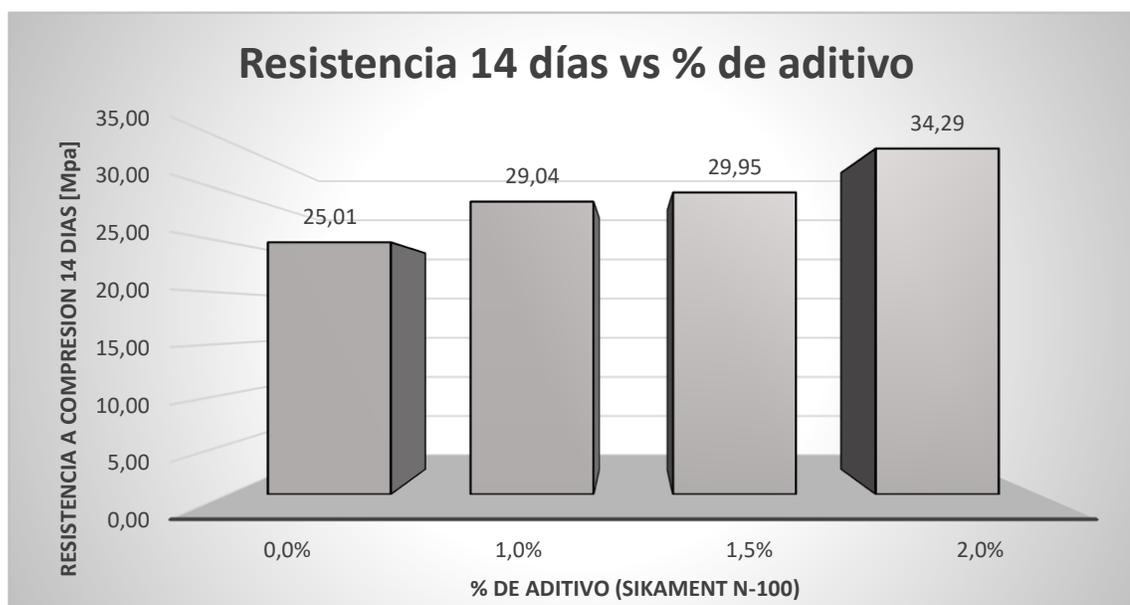
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°3.21: Resultados de resistencia a compresión edad 14 días.**

N°	Aditivo	Edad	Resistencia	Resistencia
	%	[días]	[MPa]	$f'_{c,est}$ [MPa]
5	0	14	28,89	25,01
6	0	14	28,84	
7	0	14	28,23	
8	0	14	28,37	
5	1	14	33,30	29,04
6	1	14	33,54	
7	1	14	32,78	
8	1	14	33,06	
5	1,5	14	34,57	29,95
6	1,5	14	34,34	
7	1,5	14	33,80	
8	1,5	14	34,50	
5	2	14	39,64	34,29
6	2	14	37,08	
7	2	14	36,34	
8	2	14	39,89	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.10: Resistencia a los 14 días vs % de aditivo**



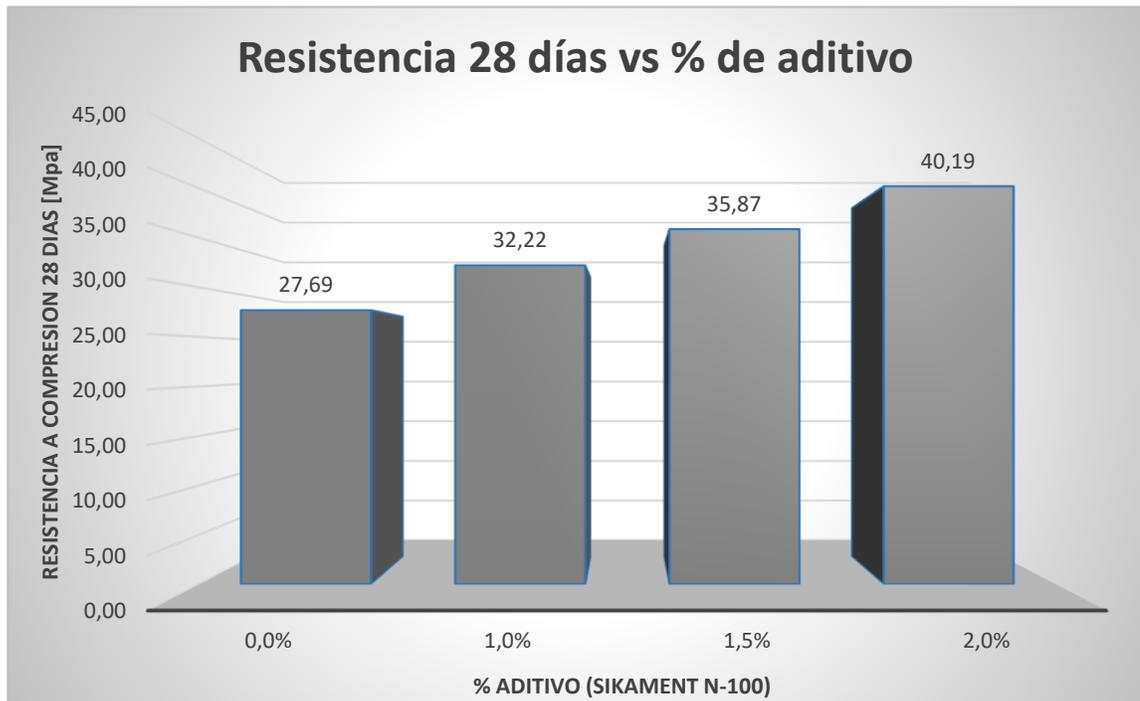
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°3.22: Resultados de resistencia a compresión edad 28 días.**

N°	Aditivo	Edad	Resistencia	Resistencia
	%	[días]	[MPa]	$f'_{c,est}$ [MPa]
9	0	28	29,70	27,69
10	0	28	29,22	
11	0	28	27,74	
12	0	28	28,83	
13	0	28	30,15	
14	0	28	30,47	
15	0	28	29,95	
16	0	28	29,50	
9	1	28	35,44	32,22
10	1	28	35,35	
11	1	28	35,12	
12	1	28	35,96	
13	1	28	33,63	
14	1	28	36,29	
15	1	28	33,13	
16	1	28	34,25	
9	1,5	28	39,82	35,87
10	1,5	28	38,80	
11	1,5	28	39,62	
12	1,5	28	40,15	
13	1,5	28	37,49	
14	1,5	28	37,62	
15	1,5	28	36,09	
16	1,5	28	38,26	
9	2	28	43,52	40,19
10	2	28	43,19	
11	2	28	43,39	
12	2	28	42,55	
13	2	28	41,92	
14	2	28	41,79	
15	2	28	39,99	
16	2	28	41,38	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.11: Resistencia a los 28 días vs % de aditivo**



*Fuente: Elaboración propia.*

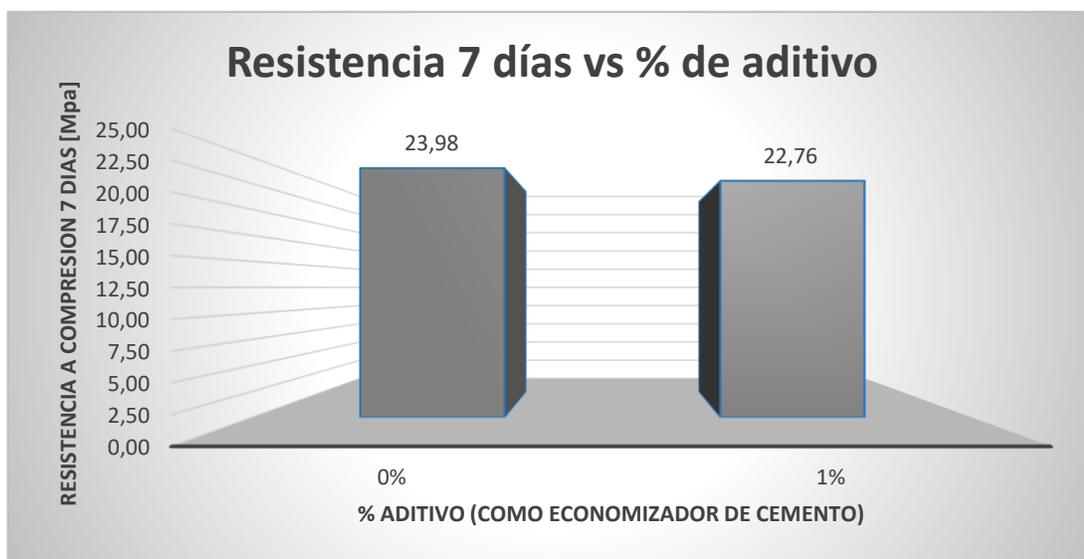
### 3.3.5.2. Resultados Ensayo de roturas de probetas a Compresión con aditivo como Economizador de cemento.

**Tabla N°3.23: Resultados de resistencia a compresión edad 7 días.**

N°	Aditivo	Edad	Resistencia	Resistencia
	%	[días]	[MPa]	$f'_{c,est}$ [MPa]
5	0	7	27,12	23,98
6	0	7	27,19	
7	0	7	27,07	
8	0	7	27,30	
5	1	7	26,28	22,76
6	1	7	25,88	
7	1	7	25,69	
8	1	7	26,01	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.12: Resistencia a los 7 días vs % de aditivo como economizador de cemento**



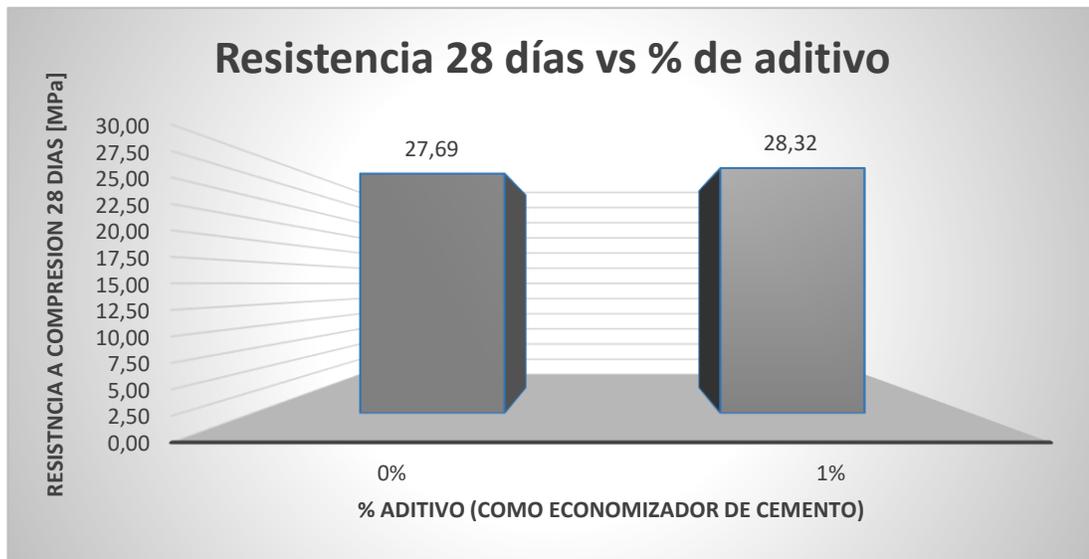
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°3.24: Resultados de resistencia a compresión edad 28 días.**

N°	Aditivo	Edad	Resistencia	Resistencia
	%	[días]	[MPa]	f' c,est [MPa]
9	0	28	29,70	27,69
10	0	28	29,22	
11	0	28	27,74	
12	0	28	28,83	
13	0	28	30,15	
14	0	28	30,47	
15	0	28	29,95	
16	0	28	29,50	
9	1	28	29,01	28,32
10	1	28	30,21	
11	1	28	29,86	
12	1	28	29,17	
13	1	28	29,58	
14	1	28	28,90	
15	1	28	28,37	
16	1	28	28,73	

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.13: Resistencia a los 28 días vs % de aditivo como Economizador de cemento**



*Fuente: Elaboración propia.*

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

### **3.3.6. Resultado de asentamiento promedio de muestras para diferentes porcentajes de aditivo**

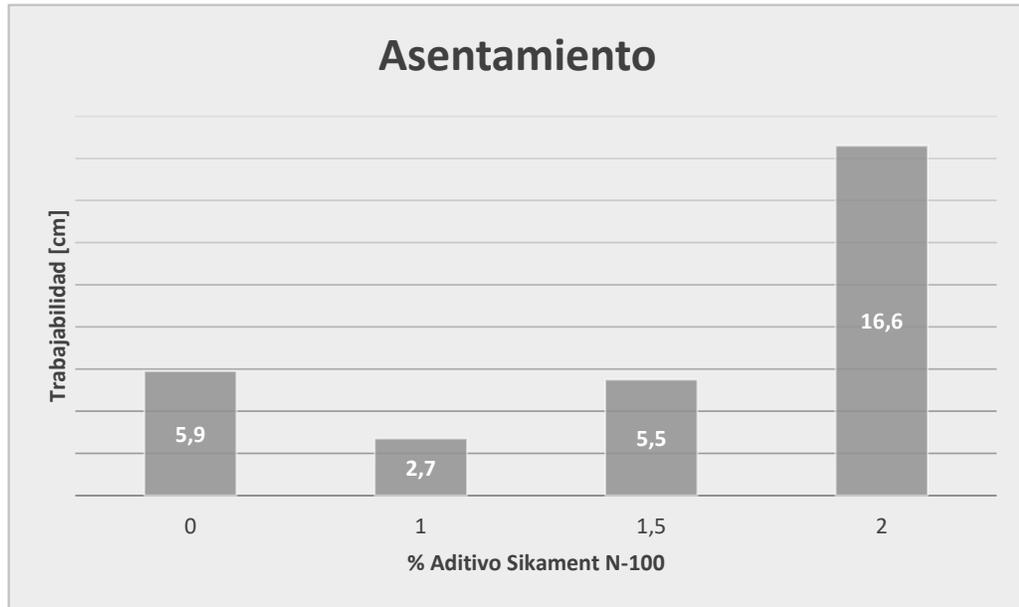
Los detalles de la obtención de datos se encuentran en el ANEXO I

**Tabla N°3.25: Resultado promedio de asentamiento**

<b>% aditivo</b>	<b>Asentamiento promedio [cm]</b>
0,0%	5,90
1,0%	2,7
1,5%	5,5
2,0%	15,60

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°3.14: Asentamiento promedio vs % aditivo**



*Fuente: Elaboración propia.*

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

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

#### 4.1. Características físicas y mecánicas de las muestras

##### 4.1.1. Agregados

##### Agregado fino

Luego de un estudio en la zona se escogió el que cumple con la norma ASTM C 33.

- Muestra 3.- Agregado fino cantera de Caiza

**Tabla N°4.1: Análisis granulométrico agregado fino Cantera Caiza**

<b>GRANULOMETRÍA - AGREGADO FINO</b>						
<b>peso total (gr)=</b>			<b>659,40</b>			
<b>Tamices</b>	<b>Abertura (mm)</b>	<b>Peso Ret. (gr)</b>	<b>Peso Ret. acumulado</b>		<b>% que pasa</b>	<b>% Que Pasa s/g Espec. ASTM</b>
			<b>( gr )</b>	<b>( % )</b>	<b>del total</b>	
3/8"	9,52	0,00	0,00	0,00	100,00	100
N° 4	4,75	15,00	15,00	2,27	97,73	95 - 100
N° 8	2,38	46,70	61,70	9,36	90,64	80 - 100
N° 16	1,19	75,10	136,80	20,75	79,25	50 - 85
N° 30	0,59	123,00	259,80	39,40	60,60	25 - 60
N° 50	0,297	227,10	486,90	73,84	26,16	5 - 30
N° 100	0,149	137,00	623,90	94,62	5,38	0 - 10
N° 200	0,074	0,00	623,90	94,62	5,38	
Base		35,80	659,70	100,05	-0,05	
<b>SUMAS</b>		659,70				
<b>PERDIDAS</b>		-0,3	-0,05%	<b>OK</b>		

**Módulo de Finura MF = 2,40 CUMPLE**

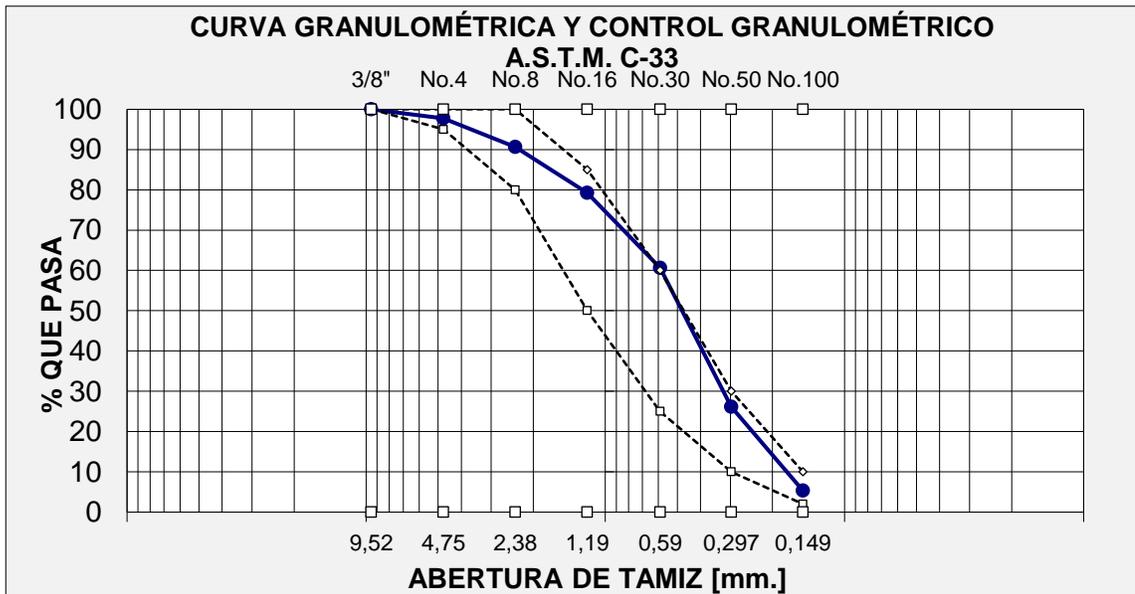
*Fuente: Elaboración propia.*

Después de haber realizado el ensayo con base en la Norma ASTM C 136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33 se puede verificar que el agregado fino cumple con los requisitos de dosificación para poder realizar el trabajo de investigación

El agregado fino cumple a cabalidad excepto por un % que pasa supera con 0,6% en el tamiz N° 30 pero partiendo de la normativa ASTM C 136 sección cálculos 16 donde expresa que la suma total de retenidos en todos los tamices no debe diferir en más de 3% para el agregado fino esto da un cierto margen de error y luego de las pruebas que se realizaron el agregado es aceptable para su uso.

El agregado fino cumple con no tener más del 45% pasando algún tamiz y el retenido en el tamiz siguiente consecutivo de ese, y su módulo de fineza MF=2,4 se encuentra dentro del parámetro establecido en la Norma, el cual nos indica que es una arena de finura media.

**Figura N°4.1: Curva granulométrica agregado fino elegido cantera Caiza**



**Tabla N°4.2: Características físicas y Mecánicas del agregado fino**

<b>Agregado fino (Arena)</b>	
Peso Específico A Granel (g/cm <sup>3</sup> )	2,45
Peso Específico con SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2,48
Peso Específico Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,52
Peso Unitario Compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1,73
Peso Unitario Suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1,63
Módulo de Finura	2,40
Porcentaje de Absorción (%)	1,09

*Fuente: Elaboración propia.*

En cuanto a sus características físicas nos indica que es un agregado comúnmente usado en el hormigón de peso normal varia de 1,2 g/cm<sup>3</sup> a 1,73 g/cm<sup>3</sup> su peso unitario suelto.

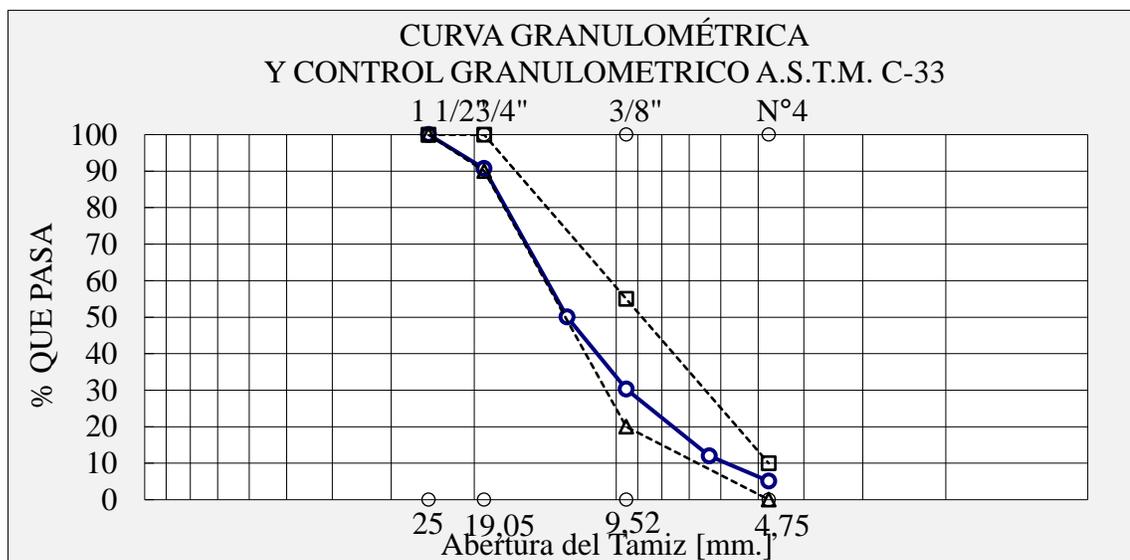
### Agregado Grueso

**Tabla N°4.3: Análisis granulométrico agregado grueso**

Peso Total (gr.)		8.762,70		Tamaño max. 3/4"			
Tamices	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. acumulado		% que pasa del total	% Que Pasa s/g Espec. ASTM	
			( gr )	( % )			
1"	25	0	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,05	1.485,40	1.485,40	16,95	83,05	90	100
1/2"	12,70	3.264,40	4.749,80	54,20	45,80	-	-
3/8"	9,52	1.583,20	6.333,00	72,27	27,73	20	55
1/4"	6,35	1.469,80	7.802,80	89,05	10,95	-	-
N°4	4,75	549,70	8.352,50	95,32	4,68	0	10
<b>Base</b>		422,00	8.774,50	100,13	-0,13		
<b>SUMA</b>		8.774,50					
<b>PÉRDIDAS</b>		-11,80	-0,13%	<b>NO</b>	<b>CUMPLE</b>		

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N°4.2: Curva granulométrica y control granulométrico**



Fuente: Elaboración propia.

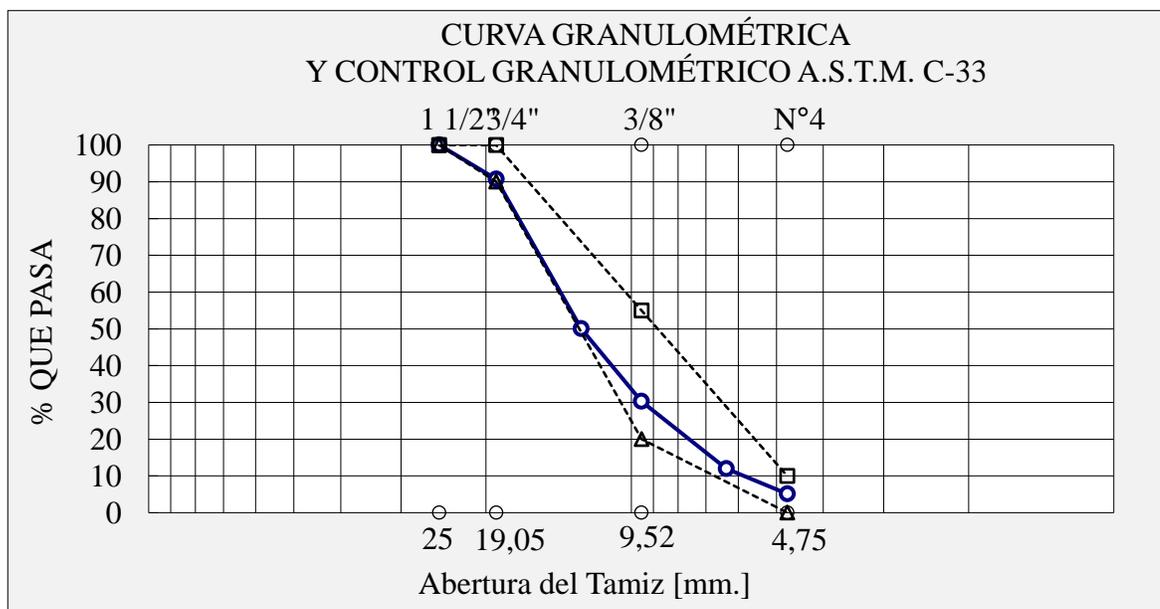
**Tabla N°4.4: Análisis granulométrico agregado grueso modificado**

Peso Total (gr.)		8.020,00		Tamaño max. 3/4"			
TamiZ	Abertura (mm)	Peso Ret. (gr)	Peso Ret. acumulado		% que pasa del total	% Pasa s/g Espec. ASTM	Que
			( gr )	( % )			
1"	25	0	0,00	0,00	100,0	100	100
3/4"	19,05	742,70	742,70	9,26	90,74	90	100
1/2"	12,70	3.264,40	4.007,10	49,96	50,04	-	-
3/8"	9,52	1.583,20	5.590,30	69,70	30,30	20	55
1/4"	6,35	1.469,80	7.060,10	88,03	11,97	-	-
N°4	4,75	549,70	7.609,80	94,89	5,11	0	10
<b>Base</b>		422,00	8.031,80	100,15	-0,15		
<b>SUMA</b>		8.031,80					
<b>PERDIDA</b>		-11,80	-0,15%	<b>CUMPLE</b>			

**Módulo de Finura MF 6,74**

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.3: Curva granulométrica y control granulométrico agregado grueso modificado**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°4.5: Características físicas y Mecánicas del agregado grueso**

<b>Agregado Grueso (Grava)</b>	
Peso Específico A Granel (g/cm <sup>3</sup> )	2,62
Peso Específico con SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2,64
Peso Específico Aparente (g/cm <sup>3</sup> )	2,68
Peso Unitario Compactado (g/cm <sup>3</sup> )	1,74
Peso Unitario Suelto (g/cm <sup>3</sup> )	1,65
Porcentaje de desgaste (%)	15,73
Porcentaje de Absorción (%)	0,95

*Fuente: Elaboración propia.*

Lo que hay recalcar sobre la granulometría es que el porcentaje que pasa en el tamiz  $\frac{3}{4}$  no estaba dentro del rango estipulado en la normativa ASTM C 33, por lo que se vio más factible descartar el 50% de grava retenida en el tamiz  $\frac{3}{4}$  ya que es el primer tamiz y no presenta complicaciones, así evitar cambiar el banco. Luego de la modificación realizada se verifica que la granulometría entra dentro de las bandas granulométricas establecidas en las especificaciones de los agregados para el hormigón como indica la ASTM C-33, entonces concluimos que cumple la normativa a cabalidad.

El porcentaje de desgaste resultó ser 15,73%, este valor es muy bueno si se toma en cuenta el valor referencial de 35%, si se quiere proveer gravas de alta calidad. Ello quiere decir que la grava es de excelente calidad, ideal en los segmentos de construcción a los que se puede proveer, por tanto, existe un nivel muy bueno de calidad. El porcentaje máximo, según referencia internacionales, como la experiencia práctica en nuestro país, sugiere que dicho valor no debiera superar 35%.

El agregado grueso no presento una cantidad considerable de polvo o material ajeno al mismo; pero aun así al momento de realizar la dosificación se hizo el lavado respectivo a fin de garantizar con mayor precisión resultados confiables.

#### **4.1.2. Hormigón en estado fresco**

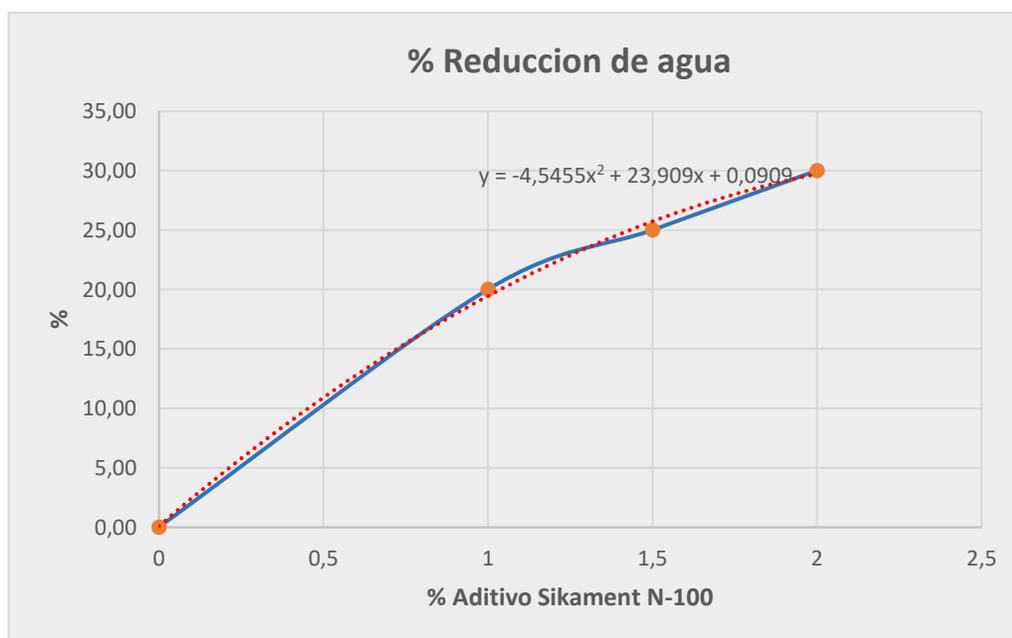
El hormigón de buena trabajabilidad debería fluir lentamente hacia el lugar sin segregación.

**Tabla N°4.6: Hormigón en estado fresco aditivo reductor de agua**

Parámetro		Hormigón con aditivo Sikament N-100 al:			
		Patrón	1,0%	1,5%	2,0%
Cemento	kg	360	360	360	360
% reducción agua	%	0	20	25	30
Agua	lt	175,00	140,00	131,25	122,50
R=a/c		0,486	0,389	0,365	0,340
Asentamiento Cono de abrams	cm	5,9	2,7	5,5	16,6
Peso específico promedio (28D)	Kg/m <sup>3</sup>	2378,59	2403,93	2416,54	2443,86
Contenido de aire	%	1,6	2,0	2,2	2,6
temperatura (°C)	Ambiente	22	24	26	26
	Hormigon	24	26	28	28

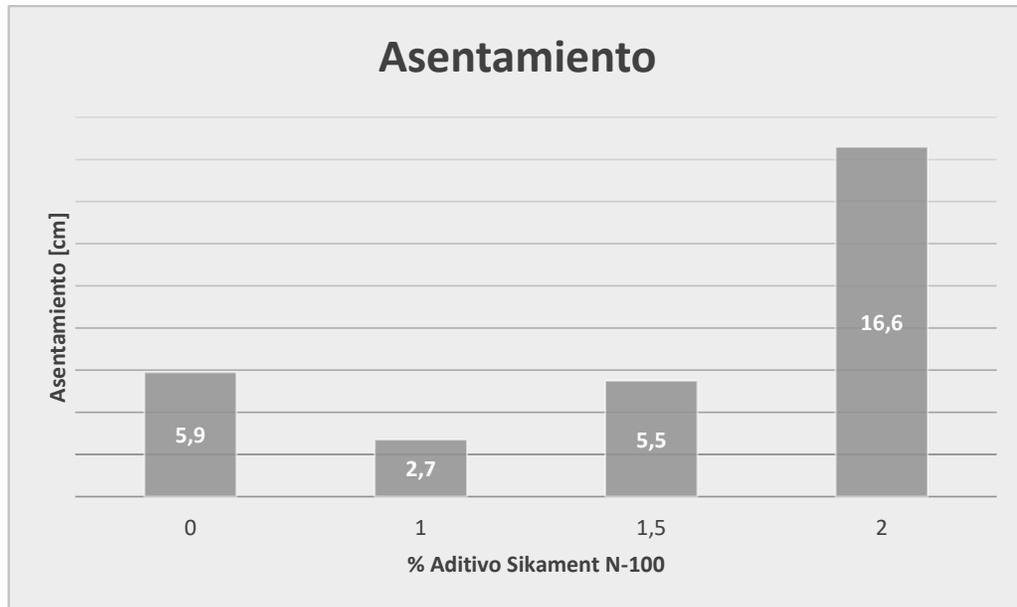
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.4: Porcentaje de reducción de agua**



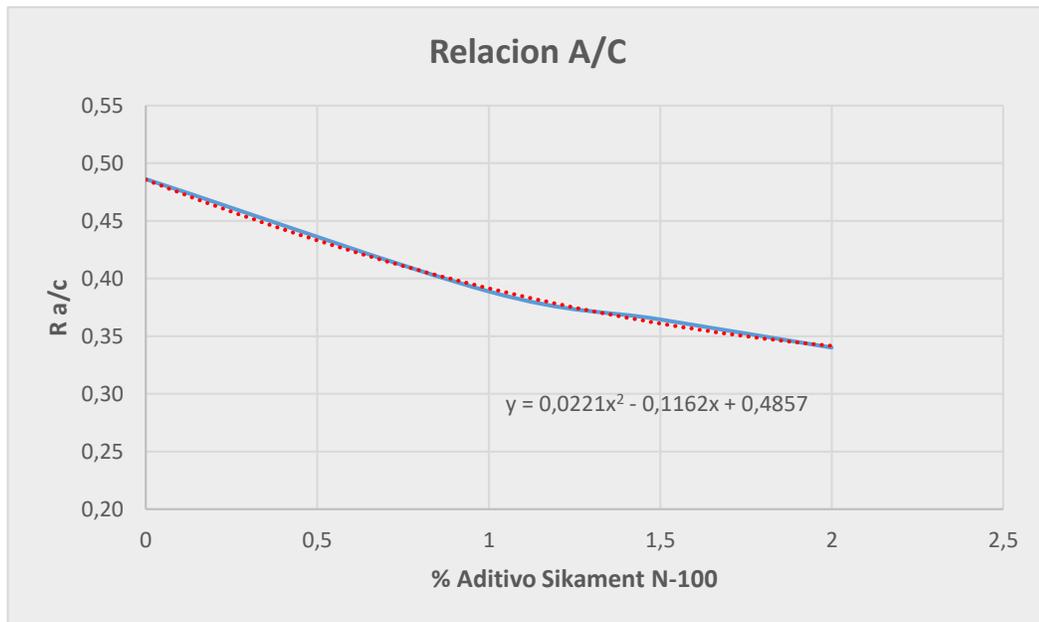
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.5: Asentamiento cono de Abrams**



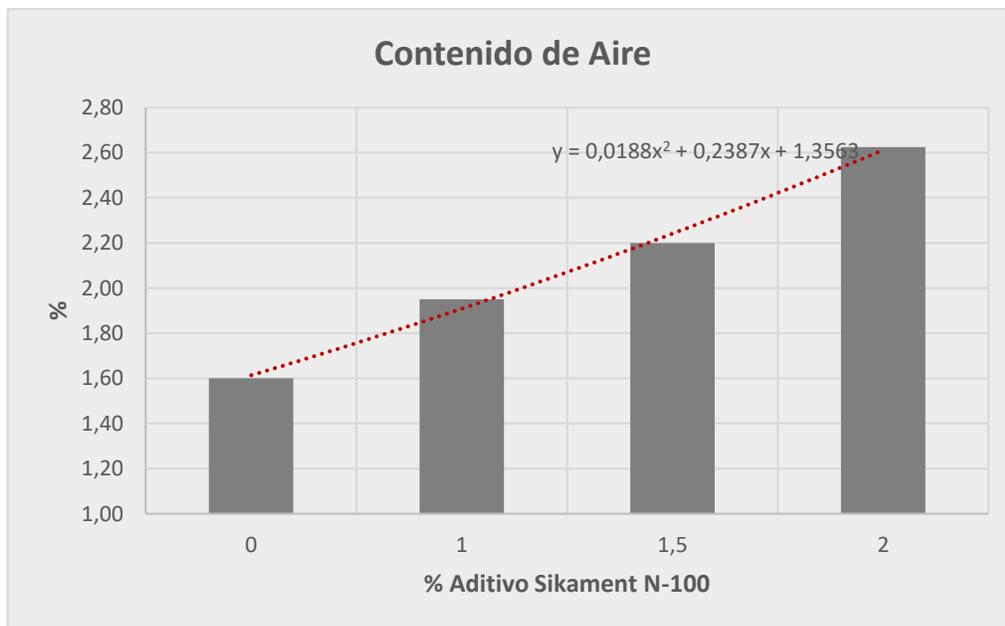
*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.6: Relación Agua Cemento**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.7: Contenido de Aire**



*Fuente: Elaboración propia.*

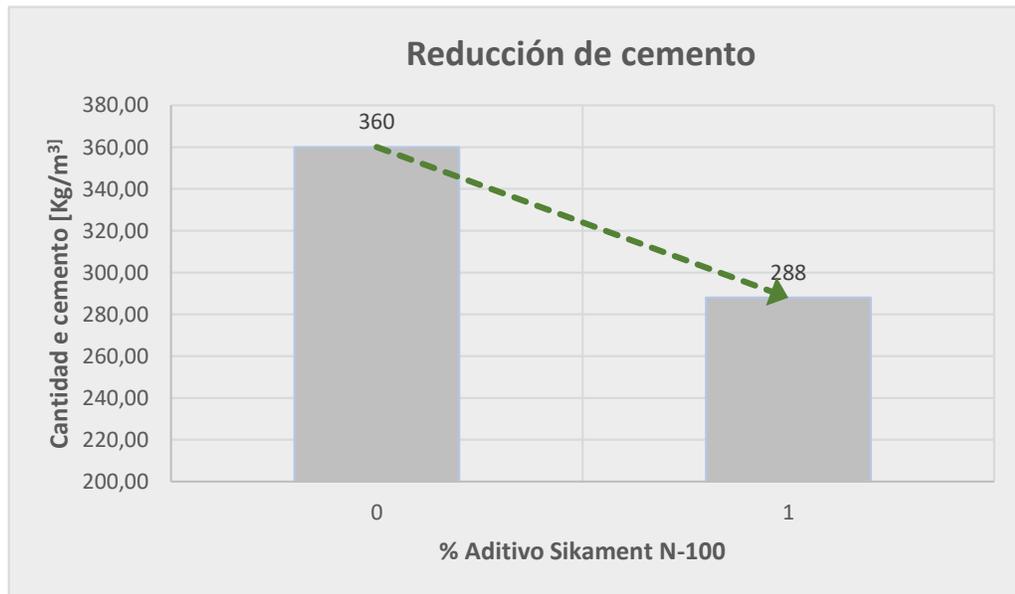
**Tabla N°4.7: Hormigón en estado fresco aditivo economizador de cemento**

<b>Resultado hormigón en estado fresco aditivo economizador de cemento</b>			
<b>Parámetro</b>		<b>Sikament N-100 al:</b>	
		<b>Patrón</b>	<b>1,0%</b>
<b>Cemento</b>	<b>kg</b>	360	288,00
<b>% reducción agua</b>	<b>%</b>	0	20
<b>Agua</b>	<b>lt</b>	175,00	140,00
<b>R=a/c</b>		0,486	0,486
<b>Fluidez Cono de abrams</b>	<b>cm</b>	5,9	7,75
<b>peso específico promedio (28D)</b>	<b>Kg/m³</b>	2378,59	2414,55
<b>Contenido de aire</b>	<b>%</b>	1,6	-
<b>temperatura (°C)</b>	<b>Ambiente</b>	22	-
	<b>Hormigón</b>	24	-

*Fuente: Elaboración propia.*

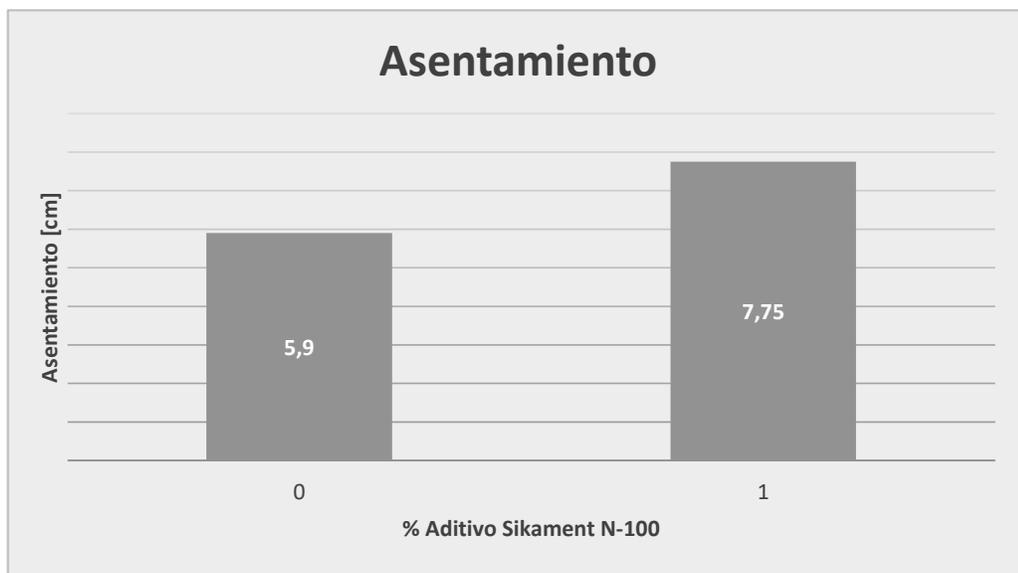
Manteniendo la relación a/c se dosifica para 1% de aditivo logrando una reducción de 72kg de cemento para 1m<sup>3</sup> de hormigón, obteniendo resultados de resistencia a compresión similares al hormigón patrón con mezclas más trabajables.

**Figura N°4.8: Reducción de cemento logrado**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.9: Asentamiento Aditivo economizador de cemento**



*Fuente: Elaboración propia.*

### 4.1.3. Hormigón en estado Endurecido

#### 4.1.3.1. Análisis estadístico de la resistencia a compresión

Al analizar los datos cuantitativos debemos recordar dos cuestiones: primero, que los modelos estadísticos son representaciones de la realidad, no la realidad misma; y segundo, los resultados numéricos siempre se interpretan en contexto, por ejemplo, un mismo valor de presión arterial no es igual en un bebé que en una persona de la tercera edad

Según la NB 1225001 en 26.12.3 Criterios para la aceptación de probetas curadas en forma estándar, b) el nivel de resistencia de un tipo determinado de hormigón se considera satisfactorio si cumple con: 2) alternativamente, cuando el número de probetas sea menor a 30 se usará el método siguiente:

Ordenar de menor a mayor los resultados de las determinaciones de la resistencia de las N muestras

$$x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_m \leq \dots \leq x_N$$

Se define como resistencia estimada, la deducida aplicando las siguientes expresiones:

Si  $N < 6$

entonces:

$$f'_{c,est} = K_N * x_1$$

Si  $N \geq 6$

entonces:

$$f'_{c,est} = 2 \frac{x_1 + x_1 + \dots + x_{m-1}}{m - 1} - x_m \geq K_N * x_1$$

donde:

$K_N$  = coeficiente de tabla, en función de N y del tipo de instalaciones del lab.

$x_1$  = resistencia de la muestra menos resistente.

N = número de muestras.

m = N/2 si "N" es par ó (N-1)/2 si "N" es impar.

Para que las probetas sometidas a este control puedan ser aceptada, deberá verificarse:

$$f'_{c,est} \geq f'_c$$

**Tabla N°4.8.: Valores de coeficiente KN**

Uniformidad del hormigón	Excelente	Buena	Regular	Mala	
Desviación cuadrática media relativa ( $\delta$ )	0,10	0,15	0,20	0,25	
Número de muestras (N) Según 26.12.1	1	0,836	0,753	0,671	0,589
	2	0,884	0,820	0,753	0,682
	3	0,910	0,859	0,803	0,741
	4	0,928	0,886	0,838	0,784
	5	0,942	0,907	0,867	0,820
	6	0,953	0,924	0,890	0,850
	7	0,962	0,938	0,910	0,877
	8	0,970	0,951	0,928	0,900
	10	0,983	0,972	0,958	0,942
	12	0,993	0,989	0,984	0,976
	14	1,002	1,004	1,005	1,008
	16	1,009	1,016	1,024	1,035
	18	1,016	1,027	1,041	1,059

*Fuente: Norma Boliviana NB 1225001*

### **Hormigón Patrón**

Los resultados de resistencia a compresión del hormigón 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, cabe destacar que el método de curado por sumersión en laboratorio es el ideal, lo que en obra este método es prácticamente imposible de aplicarlo en elementos estructurales ya que el agua siempre tiende a fluir y no se pueden sumergir ni las vigas, ni las columnas, ni losas por su tamaño y también porque se las fabrica en sitio, es por eso que se considera el método ideal porque no se puede aplicar.

Tomando como referencia una investigación en laboratorio de resistencia de materiales y hormigones de la U.A.J.M.S. Sobre el efecto de diferentes métodos de curado en la resistencia del hormigón, aplicando los métodos de curado por sumersión, curado por arena húmeda, curado por plástico y curado mediante riego y los resultados fueron en el orden descrito líneas arriba. Se hará una comparación con el método de curado por plástico por su uso en nuestro medio y su efectividad.

**Tabla N°4.9: Comparación porcentual de la resistencia característica a los 28 días respecto a los 21MPa**

<b>Comparación porcentual de la resistencia característica a los 28 días respecto a los 21MPa</b>	
Sumersión	104,05%
Arena húmeda	97,67%
Plástico	89,11%
Riego	83,99%

*Fuente: E. Borda Peñarrieta. Comparación de la resistencia a compresión obtenida en el hormigón aplicando cuatro métodos de curado;2013*

**Tabla N°4.10: Resistencia estimada del H° Patrón respecto al método de curado en obra**

<b>Comparación porcentual de la resistencia característica a los 28 días respecto a los 21MPa</b>		<b>Variación respecto al método ideal</b>	<b>Resistencia estimada en obra (MPa)</b>
Sumersión	104,05%	0,00%	27,69
Arena húmeda	97,67%	6,13%	27,11
Plástico	89,11%	14,19%	24,93
Riego	83,99%	19,27%	23,26

*Fuente: Elaboración propia.*

Suponiendo que se toma como referencia el método de curado por plástico vs curado ideal obtendríamos resultados de resistencia aceptable de 24,93MPa siendo este ligeramente inferior que nuestra resistencia de diseño de 25MPa. Sin embargo, este puede ser compensado con ganancia de resistencia en edades más avanzadas (después de los 28 días)

Este método en el que se forra anaeróbicamente las estructuras con plástico, basta con regar una vez las estructuras ya que estas conservan su humedad, lo cual es ventajoso ya que no hay necesidad de prestarle mayor atención a este tipo de curado.

A continuación, se presenta resultados de nuestra investigación hecha en laboratorio en condiciones ideales, se explica más a detalle sobre el procedimiento de cálculo en el ANEXO G.

#### 4.1.3.2. Resultado del análisis estadístico de la resistencia a compresión

**Tabla N°4.11: Resistencia a compresión a los 7 días**

Edad 7 días	Sikament N-100 al:			
	Patrón	1,0%	1,5%	2,0%
Resistencia a la Compresión [MPa]	23,98	26,79	29,31	33,64
Incremento de la resistencia a compresión [%]	-	11,71%	22,21%	40,25%

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°4.12: Resistencia a compresión a los 14 días**

Edad 14 días	Sikament N-100 al:			
	Patrón	1,0%	1,5%	2,0%
Resistencia a la Compresión [MPa]	25,01	29,04	29,95	34,29
Incremento de la resistencia a compresión [%]	-	16,10%	19,72%	37,08%

*Fuente: Elaboración propia.*

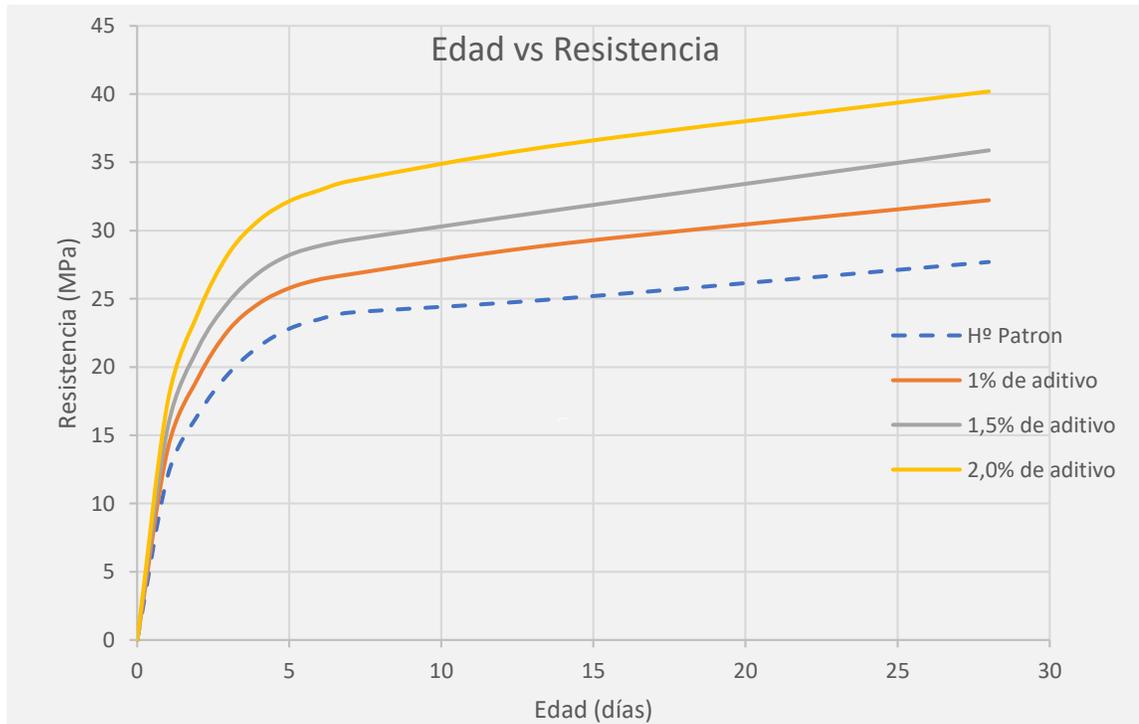
**Tabla N°4.13: Resistencia a compresión a los 28 días**

Edad 28 días	Sikament N-100 al:			
	Patrón	1,0%	1,5%	2,0%
Resistencia a la Compresión [MPa]	27,69	32,22	35,87	40,19
Incremento de la resistencia a compresión [%]	-	16,37%	29,53%	45,14%

*Fuente: Elaboración propia.*

El incremento de resistencia a compresión se hizo respecto a la resistencia del hormigón patrón para cada edad. Dando como resultado notorio que hormigones con relación A/C bajas brindan altas resistencias iniciales a corta edad, a su vez incrementa la resistencia final del hormigón hasta un 45% con una reducción de 30% de agua obteniendo un hormigón más fluido con un asentamiento promedio de 17cm aproximadamente

**Figura N°4.10: Evolución de la resistencia Vs Edad**



*Fuente: Elaboración propia.*

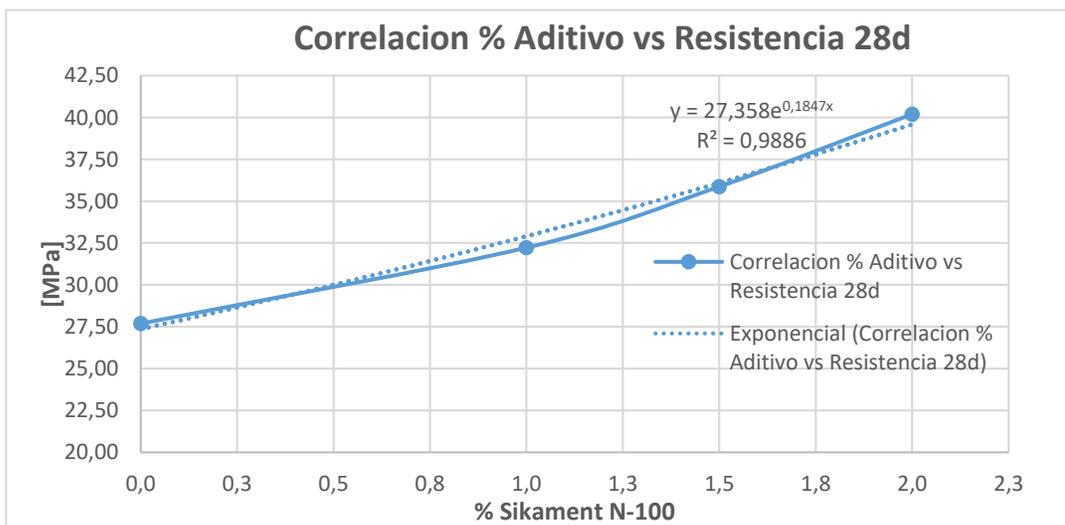
#### 4.1.4. Correlación % de aditivo Sikament N-100 vs resistencia a compresión 28días

**Tabla N°4.14: Correlación entre % aditivo y resistencia a compresión a los 28 días**

Aditivo sikament N-100	Resistencia 28días
[%]	[MPa]
0,0	27,69
1	32,22
1,5	35,87
2	40,19

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.11: Correlación entre %Sikament N-100 vs Resistencia 28 días**



*Fuente: Elaboración propia.*

**4.1.5. Resultado del análisis estadístico de la resistencia a compresión aditivo como economizador de cemento.**

**Tabla N°4.15: Resistencia a compresión a los 7 días**

Edad 7 días	Sikament N-100 al:	
	Patrón	1,0%
Resistencia a la Compresión [MPa]	23,98	22,76
Decremento de la resistencia a compresión [%]	-	-5,09%

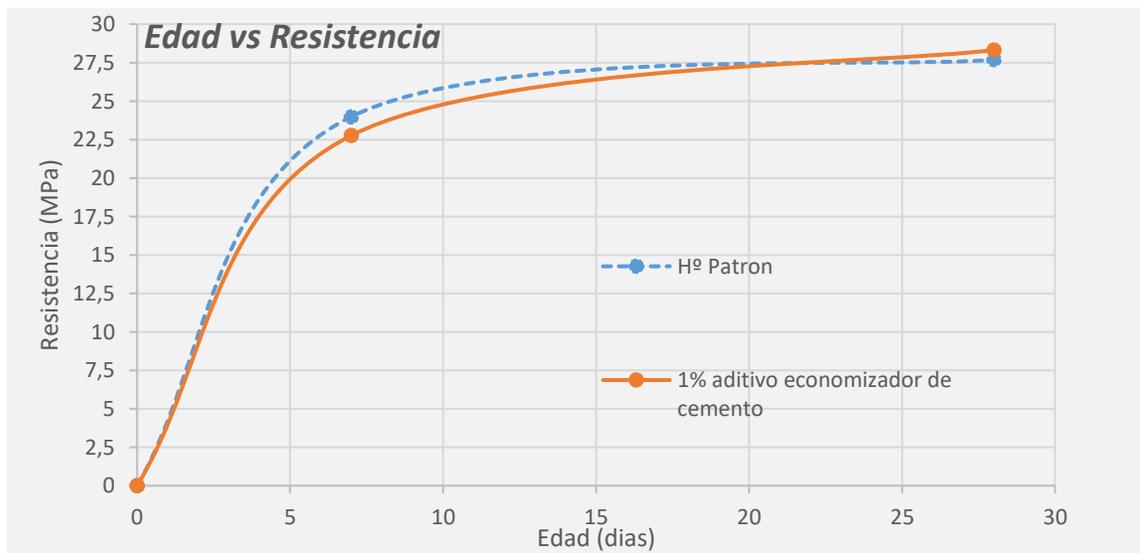
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°4.16: Resistencia a compresión a los 28 días**

Edad 28 días	Sikament N-100 al:	
	Patrón	1,0%
Resistencia a la Compresión [MPa]	27,69	28,32
Incremento de la resistencia a compresión [%]	-	2,29%

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.12: Evolución de la resistencia vs Edad (Sikament N-100 como economizador de cemento)**



*Fuente: Elaboración propia.*

## **4.2. Evaluación de los resultados**

### **4.2.1. Materiales**

#### **4.2.1.1. Cemento**

El cemento utilizado (El Puente) cuenta con garantía de certificación de calidad, IBNORCA IP-30, cumple con las especificaciones de la (NB 011), se considera adecuado para la elaboración de mezclas de hormigón con aditivo Sikament N-100.

#### **4.2.1.2. Agregados**

Son de uso regular en la 1era y 2da sección de la provincia Gran Chaco, se considera adecuados para los propósitos del estudio ya que se encuentra dentro de los límites recomendados en la Norma ASTM C 33

#### **4.2.1.3. Aditivo**

Al usar aditivos reductores de agua la resistencia mecánica sigue también la ley de Abrams, es decir es proporcional a la relación a/c del hormigón (mayor relación a/c menor resistencia a compresión), por lo que al utilizar aditivos reductores de agua de alto poder

obtendremos la máxima resistencia a compresión para un contenido de cemento dado. Los aditivos reductores de alto poder permiten una disminución en la relación a/c notoria respecto a las tradicionales, la trabajabilidad también se ve influenciada por la dosificación de cada mezcla. Se utilizó el aditivo reductor de agua de alto poder **Sikament N-100**, está diseñado para cumplir con los requisitos de la norma ASTM C494. También cumple los requisitos de la norma NB 1225001 – Aditivos. Por lo tanto, se considera adecuado para los propósitos de estudio.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que la dosificación de aditivo tiene una relación directamente proporcional con la resistencia a compresión (mayor dosificación de aditivo, mayor resistencia a compresión), la dosificación al **2%** de aditivo tiene una resistencia a compresión a los 28 días 45,14% más respecto a la muestra patrón, la dosificación al **1,5%** un 29,53% y la dosificación **1%** un 16,37% respectivamente, como consecuencia del uso del aditivo **Sikament N-100**.

#### **4.2.2. Hormigón estado fresco**

##### **4.2.2.1. Trabajabilidad**

La trabajabilidad se vio influenciada por la cantidad de aditivo de cada mezcla, como el aditivo permite una reducción notoria de la relación a/c se tiene mezclas de consistencia seca y a medida que incrementamos la cantidad de aditivo incrementa la trabajabilidad de la mezcla, dando como resultado para 2% de aditivo un revenimiento de 16,8cm, 1,5% se tiene 5,5cm y para 1% se tiene 2,7cm de revenimiento, teniendo en cuenta que el revenimiento del hormigón patrón fue de 5,9cm.

##### **4.2.2.2. Temperatura de la mezcla**

De acuerdo a los resultados obtenidos el gradiente de temperatura fue normal para los concretos evaluados, teniendo un rango de valores entre 24 y 28°C.

##### **4.2.2.3. Relación agua cemento**

A medida que reduce el agua de amasado reduce la relación agua cemento y en consecuencia la resistencia compresión incrementa. Partiendo de la relación del hormigón patrón de 0,486 si reducimos un 30% de agua de mezclado tenemos un incremento de

resistencia del 45%, un 25% obtenemos 29% y para un 20% de reducción de agua se tiene un 16% de incremento de resistencia respecto al hormigón patrón sin aditivo.

#### **4.2.2.4. Contenido de aire**

De acuerdo a los resultados obtenidos el contenido de aire es directamente proporcional a la dosificación del aditivo Sikament N-100 (mayor % de aditivo mayor cantidad de aire), obteniendo valores de **1,6%** (H° patrón), **2%** (1% Sikament N-100), **2,2%** (1,5% Sikament N-100) y **2,6%** (2,0% Sikament N-100) respectivamente.

#### **4.2.3. Hormigón endurecido**

El desarrollo de la resistencia respecto a la edad no es parecido a lo que establece algunas bibliografías ya que por el cuidado y control intenso al realizar los ensayos en laboratorio conlleva a obtener resultados serios y confiables, teniendo en cuenta que el agregado grueso es de canto rodado necesita menos agua de amasado y en consecuencia disminuye la relación a/c esto ocasiona que el hormigón desarrolle su resistencia a temprana edad obteniendo como resultado a los 7 días de curado un 86% de su resistencia, siendo la resistencia del hormigón a los 28 días de 27,69 MPa este es mayor que la resistencia de diseño de 25MPa el cual se explica en el capítulo IV Análisis de resultados él porque de los resultados obtenidos.

Teniendo las mezclas con adición del aditivo Sikament N-100 un comportamiento directamente proporcional (mayor cantidad de aditivo mayor resistencia a compresión), obteniéndose los siguientes resultados a los 28 días; 27,69 MPa (**H° patrón**), 32,22 MPa (**Sikament N-100 al 1,0%**), 35,87 MPa (**Sikament N-100 al 1,5%**), 40,19 MPa (**Sikament N-100 al 2,0%**) Respectivamente.

#### **4.2.4. Aditivo como economizador de cemento**

En este caso se mantuvo la relación a/c, esto quiere decir que se aprovechó la reducción de agua lograda para reducir la cantidad de cemento obteniendo resistencias similares tanto para el hormigón con aditivo y el hormigón patrón, logrando economizar 72kg de cemento por m<sup>3</sup> de hormigón, de esta manera logramos diseñar mezclas más económicas sin afectar la resistencia.

### **4.3. Análisis de costos**

#### **4.3.1. Cemento**

Para el aumento de resistencia se usó la misma cantidad de cemento y tipo de cemento para todos los hormigones elaborados, por lo que este material no sufre variaciones.

Por otro lado, para la evaluación de aditivo como economizador de cemento si varía de acuerdo a la cantidad de reducción de agua lograda porque se mantuvo la relación a/c. Para más detalle ver Tabla N° 4.7 del presente documento.

#### **4.3.2. Agregados**

Se utilizaron las mismas cantidades de agregado fino y grueso en todos los hormigones elaborados tanto para el aditivo reductor de agua como para el aditivo economizador de cemento, por lo que estos materiales no tienen incidencia dentro del análisis de costos.

#### **4.3.3. Aditivo**

Se dosifico de acuerdo a lo recomendado en la ficha técnica del aditivo como reductor de agua con porcentajes de 1%, 1,5% y 2% respecto al peso del cemento.

#### **4.3.4. Agua**

La reducción de agua lograda fue del 20%, 25% y 30% respecto al agua dosificada necesaria para el hormigón patrón.

#### **4.3.5. Hormigón**

Para propósitos del análisis de costos, se evaluaron la incidencia del uso del aditivo, cantidad cemento y el costo del hormigón. para ver a más detalles ver ANEXO H.

**Tabla N°4.17: Precio de materiales elementales**

<b>Material</b>	<b>Und</b>	<b>Precio (Bs)</b>
Cemento	kg	0,92
Agua	lt	0,50
Arena	m <sup>3</sup>	87,50
Grava	m <sup>3</sup>	175,00
Aditivo	kg	19,95

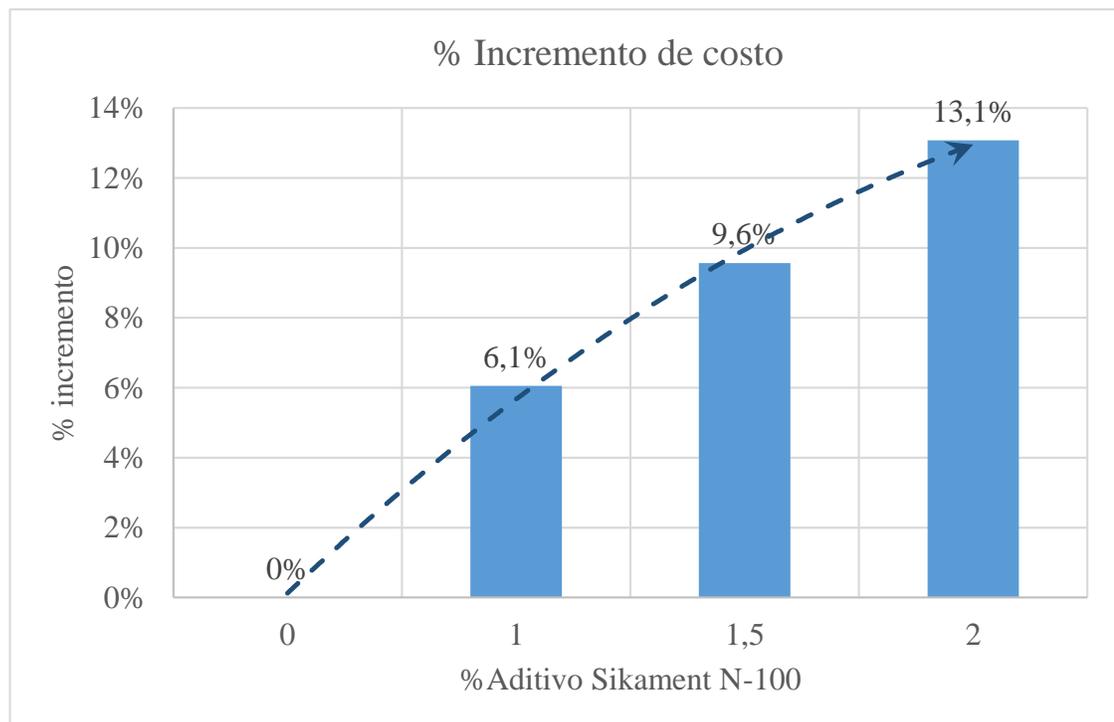
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°4.18: Análisis de costos aditivo mejorador de resistencia**

<b>Análisis de costos aditivo mejorador de resistencia a compresión</b>					
<b>Parámetro</b>		<b>Hormigón con aditivo Sikament N-100 al:</b>			
		<b>Patrón</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,5%</b>	<b>2,0%</b>
<b>Total materiales</b>	Bs.	516,15	570,45	601,98	633,50
<b>Total mano de obra</b>	Bs.	350,00	350,00	350,00	350,00
<b>Total herramienta y equipo</b>	Bs.	31,00	31,00	31,00	31,00
<b>Sub total</b>	Bs.	897,15	951,45	982,98	1014,50
<b>Gastos generales (10%)</b>	Bs.	89,72	95,15	98,30	101,45
<b>Utilidad (10%)</b>	Bs.	89,72	95,15	98,30	101,45
<b>TOTAL</b>	Bs.	1076,58	1141,74	1179,57	1217,40
<b>% incremento</b>	%	0%	6,1%	9,6%	13,1%

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.13: Incremento de costos para 1m3 de hormigón**



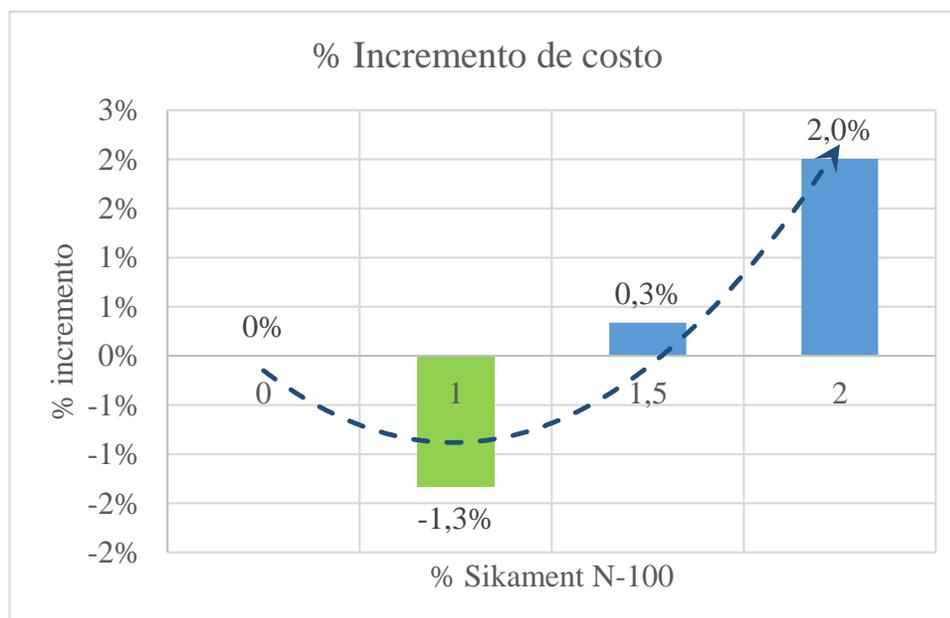
*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla N°4.19: Análisis de costos aditivo economizador de cemento**

<b>Análisis de costos aditivo economizador de cemento</b>					
<b>Parámetro</b>		<b>Hormigón con aditivo Sikament N-100 al:</b>			
		<b>Patrón</b>	<b>1,0%</b>	<b>1,5%</b>	<b>2,0%</b>
<b>Total materiales</b>	Bs	516,15	504,21	519,18	534,14
<b>Total mano de obra</b>	Bs	350,00	350,00	350,00	350,00
<b>Total herramienta y equipo</b>	Bs	31,00	31,00	31,00	31,00
<b>Sub total</b>	Bs	897,15	885,21	900,18	915,14
<b>Gastos generales (10%)</b>	Bs	89,72	88,52	90,02	91,51
<b>Utilidad (10%)</b>	Bs	89,72	88,52	90,02	91,51
<b>TOTAL</b>	Bs	1076,58	1062,25	1080,21	1098,17
<b>% incremento</b>	Bs	0%	-1,3%	0,3%	2,0%

*Fuente: Elaboración propia.*

**Figura N°4.14: Incremento de costos para 1m3 de hormigón con aditivo economizador de cemento**



*Fuente: Elaboración propia.*

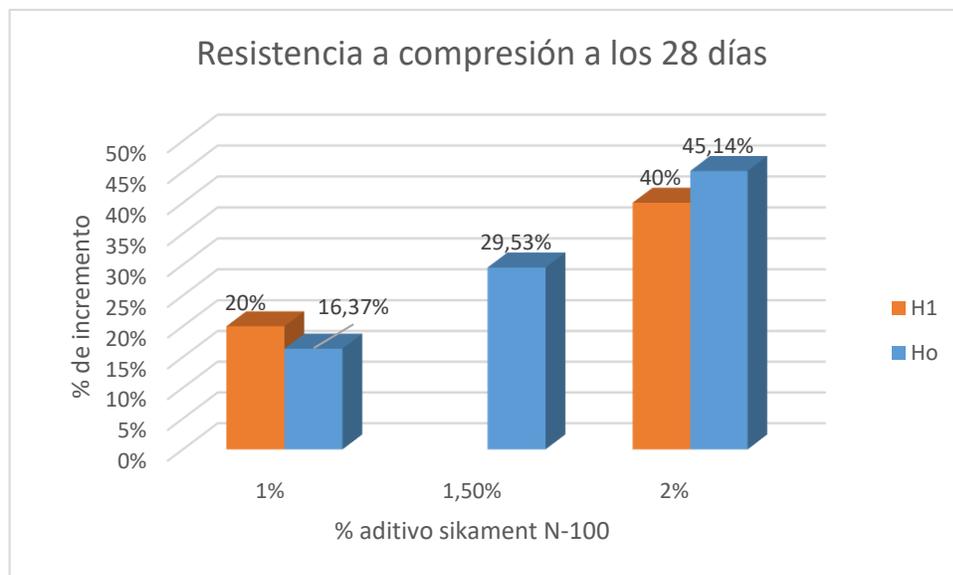
#### 4.4. Contrastación de hipótesis

Hipótesis de primer grado:

Con el desarrollo de esta investigación se puede concluir que el incremento de la resistencia a compresión de un hormigón convencional de 25MPa, mediante la aplicación del aditivo **Sikament N-100**, cumplió con lo esperado, ya que los resultados superaron las expectativas planteadas en la hipótesis de primer grado de la siguiente manera respecto a un hormigón patrón sin aditivo:

- 1,0% de Sikament N-100, incrementa la resistencia en un 16,37% < 20%
- 1,5% de Sikament N-100, incrementa la resistencia en un 29,53%
- 2,0% de Sikament N-100, incrementa la resistencia en un 45,14% > 40%

**Figura N°4.15: Análisis de resistencia a compresión**



*Fuente: Elaboración propia.*

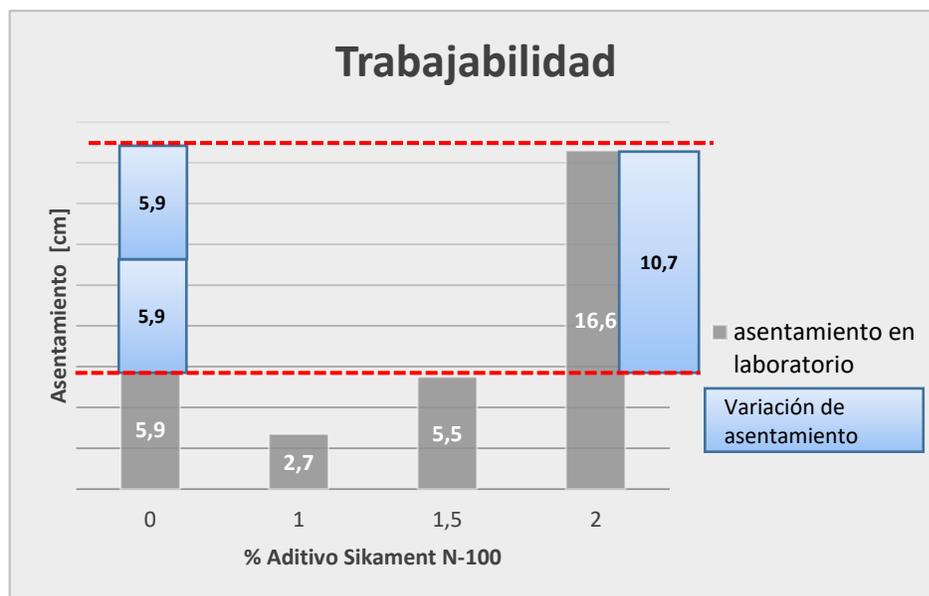
De acuerdo a los resultados obtenidos se observa que la dosificación de aditivo tiene una relación directamente proporcional con la resistencia a compresión (mayor dosificación de aditivo, mayor resistencia a compresión),

Hipótesis de segundo grado:

Con el desarrollo de esta investigación se puede concluir que la influencia en la trabajabilidad de un hormigón convencional de 25MPa, mediante la aplicación del aditivo **Sikament N-100**, se alcanzó un alto grado de cumplimiento en la hipótesis de segundo grado de la siguiente manera respecto a un hormigón patrón sin aditivo:

- 1,0% de Sikament N-100, decremento el asentamiento en 3,2 cm
- 1,5% de Sikament N-100, decremento el asentamiento en 0,4 cm.
- 2,0% de Sikament N-100, incrementa el asentamiento en 10,7 cm < 11,8cm

**Figura N°4.16: Análisis de trabajabilidad**



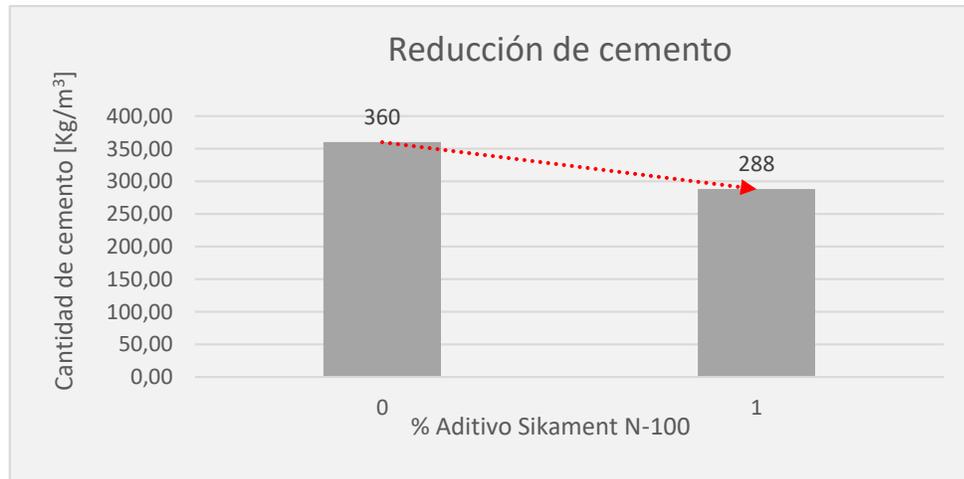
*Fuente: Elaboración propia.*

Respecto a la variación del asentamiento del hormigón con aditivo al 1,5% de -0,4cm es aceptable, si se toma como referencia que para mezclas de prueba deben tener un revenimiento (asentamiento)  $\pm 2,0$ cm del máximo permitido.

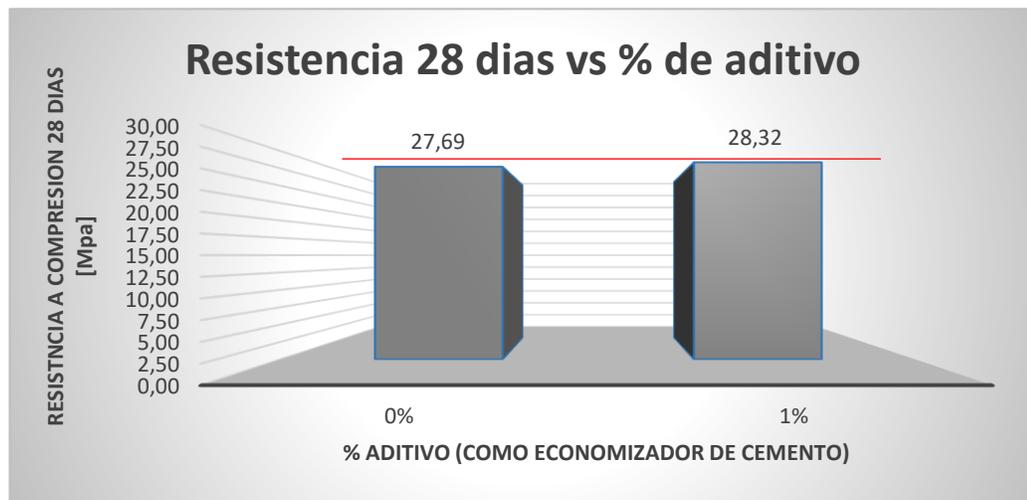
Hipótesis de tercer grado:

Mediante la aplicación de un aditivo reductor de agua (**Sikament N-100**), con porcentaje de 1% referido al peso del cemento, se reducirá en -20% la cantidad de cemento sin afectar su resistencia de un hormigón convencional de 25Mpa.

**Figura N°4.17: Análisis de reducción de cemento**



**Figura N°4.18: Análisis de variación de la resistencia**



*Fuente: Elaboración propia.*

Como se puede observar en las figuras 4.17 y 4.18, se afirma que se puede reducir -20% de cemento sin afectar la resistencia, dando validez a la hipótesis de investigación planteada.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- ✚ Una vez finalizado todos los ensayos de rotura a compresión, se concluye que con la aplicación del aditivo **Sikament N-100**, el hormigón incrementa su resistencia a compresión comparando con un hormigón convencional. Teniendo un comportamiento directamente proporcional (mayor porcentaje de aditivo mayor resistencia a compresión) obteniéndose los siguientes resultados a los 28 días de edad del hormigón:
  - ✚ **27,69 MPa** (H° patrón)
  - ✚ **32,22 MPa** (Sikament N-100 al 1,0%)
  - ✚ **35,87 MPa** (Sikament N-100 al 1,5%)
  - ✚ **40,19 MPa** (Sikament N-100 al 2,0%)
- ✚ El desarrollo de la resistencia del hormigón patrón respecto a la edad no es parecido a lo que establece algunas bibliografías, esto es debido al agregado grueso por ser redondeado requiere cantidades menores de agua, lo que conlleva a una relación a/c relativamente baja, ocasionando que el hormigón desarrolle su resistencia a temprana edad obteniendo como resultado a los 7 días de curado un 86,6% de su resistencia, siendo la resistencia del hormigón a los 28 días de 27,69 MPa este es mayor que la resistencia de diseño de 25 Mpa esto es posible por el efecto del curado ideal por sumersión en laboratorio el cual no se puede lograr en obra. Para más detalle se explica en el capítulo IV Análisis de resultados él porque de los resultados obtenidos.
- ✚ Los materiales utilizados para el estudio fueron adecuados y cumplen con los requerimientos de las normas aplicables. Descartando aquellos bancos que no cumple con las especificaciones de las normativas como granulometría y módulo

de finura para el agregado fino, granulometría y porcentaje de desgaste para el agregado grueso.

- ✚ La dosificación con aditivo **Sikament N-100** es directamente proporcional a los costos de hormigón evaluados, ya que a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo el costo incrementa a 6,1%, 9,6% y 13,1% para porcentajes de 1%, 1,5% y 2,0% de aditivo respectivamente comparando con el hormigón patrón.
- ✚ Al concluir esta investigación, se afirma que la mejor alternativa Técnica - Económica para el incremento de resistencia del hormigón con la aplicación de aditivo reductor de agua **Sikament N-100** es con el porcentaje de 1,5%, porque incrementa la resistencia en 29,53% sin afectar la trabajabilidad de la mezcla y con un incremento de costo de solo 9,6% respecto al costo del hormigón patrón.
- ✚ Para un porcentaje de 1% de aditivo **Sikament N-100**, reduciendo la cantidad de cemento se obtiene resistencia a compresión similares a las del hormigón patrón siendo estas de 28,32 MPa y 27,69 MPa respectivamente.
- ✚ Se logra obtener mezclas más económicas que el hormigón patrón para un porcentaje de 1% de aditivo **Sikament N-100** como economizador de cemento, disminuyendo -1,3% el costo de producción.
- ✚ Al concluir el trabajo de investigación según los resultados obtenidos estos hormigones pueden ser aplicables en la construcción de puentes ya que con porcentaje de 2% de aditivo supera la resistencia de 35Mpa que es la requerida normalmente en nuestro medio, respecto a la construcción de edificaciones con este aumento de resistencia se puede lograr una reducción de dimensiones, volúmenes y pesos en diferentes niveles. Otro tipo de estructuras donde es aplicables este tipo de hormigón son en tanques de almacenamiento y estructuras de aguas residuales este último es posible por su relación a/c baja, lo que conlleva que sea de baja permeabilidad.

## 5.1. Recomendaciones

- ✚ Es recomendable si se desea continuar con la investigación, se evalúe la parte Técnica - Económica de la misma, para poder concluir sobre qué tan conveniente resulta el uso del aditivo **Sikament N-100**.
- ✚ Para futuras investigaciones se sugiere hacer pruebas de dosificaciones con aditivo **Sikament N-100** para un rango de asentamiento igual al del hormigón patrón y así determinar la reducción de agua lograda para un mismo asentamiento específico.
- ✚ La provincia Gran Chaco se caracteriza por su clima caluroso, por tal motivo se recomienda tomar ciertas precauciones para evitar pérdida de calidad del hormigón, ya que las condiciones del clima en la obra pueden ser muy distintas de las condiciones ideales de laboratorio en las cuales se almacenaron y ensayaron las probetas de hormigón. La lista de precauciones siguiente reduce o evita los problemas potenciales de la colocación en clima caluroso:
  - ✚ Programación de la colocación del hormigón para limitar la exposición a las condiciones atmosféricas, como por la noche o durante condiciones favorables de clima.
  - ✚ Reducción al máximo del tiempo de transporte, colocado y acabado.
  - ✚ Enfriamiento del hormigón o de uno o más componentes.
  - ✚ Uso de aditivo retardador de fraguado.
- ✚ Continuar con dosificaciones con el aditivo **Sikament N-100** como economizador de cemento y hacer más económico el diseño de las mezclas especialmente aquellas de consistencia más fluida como bombeables y estudiar el comportamiento de su resistencia a compresión.