

ANTECEDENTES

1.1 Introducción

Es una verdad indiscutible el hecho de que en nuestro país se emplee en prácticamente todas las estructuras como edificios, puentes, pasarelas, pavimentos, túneles, etc. el material por excelencia conocido como hormigón, puesto que además de ser de fácil trabajabilidad y que se adapta a las formas que el ingeniero lo desee (en función al encofrado o a la técnica de colocación que este pueda determinar), es económico y no requiere de un personal altamente calificado para poder ponerlo en obra, siempre que haya una buena supervisión del ingeniero se pueden contratar personas sin mucha experiencia.

Dada la importancia del hormigón en cualquier proyecto de estructuras, y al hecho de querer demostrar en la práctica lo aprendido en la carrera de ingeniería civil; se buscó una alternativa de poder mejorar la calidad y rendimiento del hormigón con la implementación de aditivo plastificante en la misma, puesto que esta mejora la trabajabilidad del hormigón reduciendo el contenido de agua del mismo, lo que conlleva al incremento de resistencia del hormigón y a economizar cemento en la misma; pero se utilizará con otro fin, el cual es, si se mantiene la dosificación inalterada y solamente se añade un % de aditivo plastificante a la misma, el hormigón llegará a alcanzar resistencias superiores a las especificadas.

Además, es aconsejable que ya que vivimos en un mundo donde la tecnología avanza constantemente, podamos emplear lo que tenemos en el mercado como ser estos aditivos plastificantes para mejorar las características mecánicas del hormigón.

1.2 Justificación

El estudio de la “Aplicación de aditivo plastificante carente de cloruros para mejorar el rendimiento y resistencia de estructuras en Tarija”, busca explicar las ventajas que implica el empleo de aditivos plastificantes sin presencia de cloruros en una obra Civil,

con el fin de mejorar su calidad y brindarle además una reducción de costos en material cementante.

Si nos ponemos a indagar, los aditivos plastificantes con presencia de cloros, a pesar de ser los más comunes en el mercado y ayudan a disminuir la cantidad de agua del hormigón y a mejorar su trabajabilidad, solamente favorece al hormigón en masa, puesto que las partículas de cloro destruyen la pasivación de la armadura de un hormigón armado, lo cual provoca la corrosión de la armadura.

Por ello, el empleo de aditivos plastificantes carentes de cloruros podrá repercutir más favorablemente tanto a hormigones en masa como los armados, mejorando la cohesión de los componentes de hormigón y disminuyendo la segregación y sangrado de este.

Además, si se logra mejorar la resistencia del hormigón en buena medida, la investigación podría volver un poco más esbeltas las vigas o columnas de los edificios de gran magnitud, disminuyendo con ello el volumen de hormigón, lo que genera menos gastos económicos y además disminuye el peso propio de la estructura, el cual repercute en el diseño final de una obra civil, pudiendo reducir aún más el coste final sin comprometer la seguridad de la estructura.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Aplicar aditivo plastificante carente de cloruros para mejorar el rendimiento y resistencia del hormigón de estructuras en la región de Tarija, dentro de un rango de resistencia de 16 MPa y 21 MPa; es decir para estructuras de baja y mediana altura.

1.3.2 Específicos

- Realizar los ensayos necesarios de laboratorio con materiales de la región de Tarija, tanto los áridos (gravas, arenas) como los conglomerados (cemento, aditivo), a fin de obtener las características necesarias de cada componente del hormigón para poder dosificar la misma.

- Determinar y ejecutar la dosificación adecuada y el proceso de mezclado, compactado y curado del hormigón establecido por la ASTM C-31, con el fin de obtener probetas de ensayo de calidad y homogéneas.
- Cumplir las normativas de rotura de probetas tanto a compresión como a tracción indirecta para garantizar resultados mecánicos óptimos y evitar errores de ensayos normalizados.
- Proporcionar información real en base a los ensayos que se realizarán con el aditivo, con el objetivo de implementar la presente investigación como una fuente de información técnicamente confiable.

1.4 Hipótesis

La hipótesis que se plantea para este trabajo de investigación es:

“La adición de un aditivo plastificante carente de cloruros incrementará la resistencia a compresión y tracción del hormigón y tendrá un rendimiento óptimo en relación a sus características y precio final”.

Identificando las siguientes variables:

Variable independiente:

Adición de aditivos plastificante sin cloruros en 3 proporciones: 0,3%; 0,5% y 2%

Variables dependientes:

La resistencia a compresión del hormigón

La resistencia a tracción del hormigón

1.5 Alcance

Para poder realizar el estudio propuesto en el trabajo de investigación, se pretende abarcar primeramente una parte teórica sobre los hormigones en general y también de

cada uno de sus componentes, que sirva de base para comprender a detalle su constitución y proceso de formación.

Se proyecta explicar y practicar todos los ensayos de laboratorio propios que poseen cada uno de los componentes del hormigón, tomando como referencia las normas ASTM para los ensayos mínimos como granulometría, peso específico, módulo de finura, absorción de agua, humedad.

Luego se procede a la realización a detalle del proceso de elaboración de las probetas, eligiendo la dosificación adecuada al estudio, en este caso de dos tipos de resistencias: el de 16MPa y el de 21MPa; para luego ejecutar el vaciado del hormigón y consecuentemente someterlas a un curado intensivo y por último proceder a los ensayos de rotura a compresión y tracción indirecta de las probetas realizadas.

Todos los datos adquiridos de caracterización como de resistencia serán sometidos a un proceso de análisis para su apreciación, los cuales tendrán relevancia en la obtención de curvas, cuadros y/o planillas; con dichas herramientas se podrá garantizar la calidad del hormigón y se observará si las resistencias tanto a compresión como a tracción indirecta tienen un impacto significativo.

El alcance del trabajo es para edificaciones de baja y mediana altura, ya que las resistencias estudiadas forman parte de hormigones de resistencia moderada. Estos rangos son para hasta edificaciones de 6 plantas.

1.6 Metodología

Para poder poner en marcha la aplicación de investigación del tema, es necesario aplicar el método deductivo y a la vez cuantitativo debido a la recopilación de información detallada en base a los experimentos comparativos entre un hormigón convencional y un hormigón con aditivo plastificante sin cloruros, siendo los resultados enmarcados en cuadros comparativos y gráficas costo-resistencia y % aditivos-resistencia, tanto para los ensayos de compresión como de tracción.

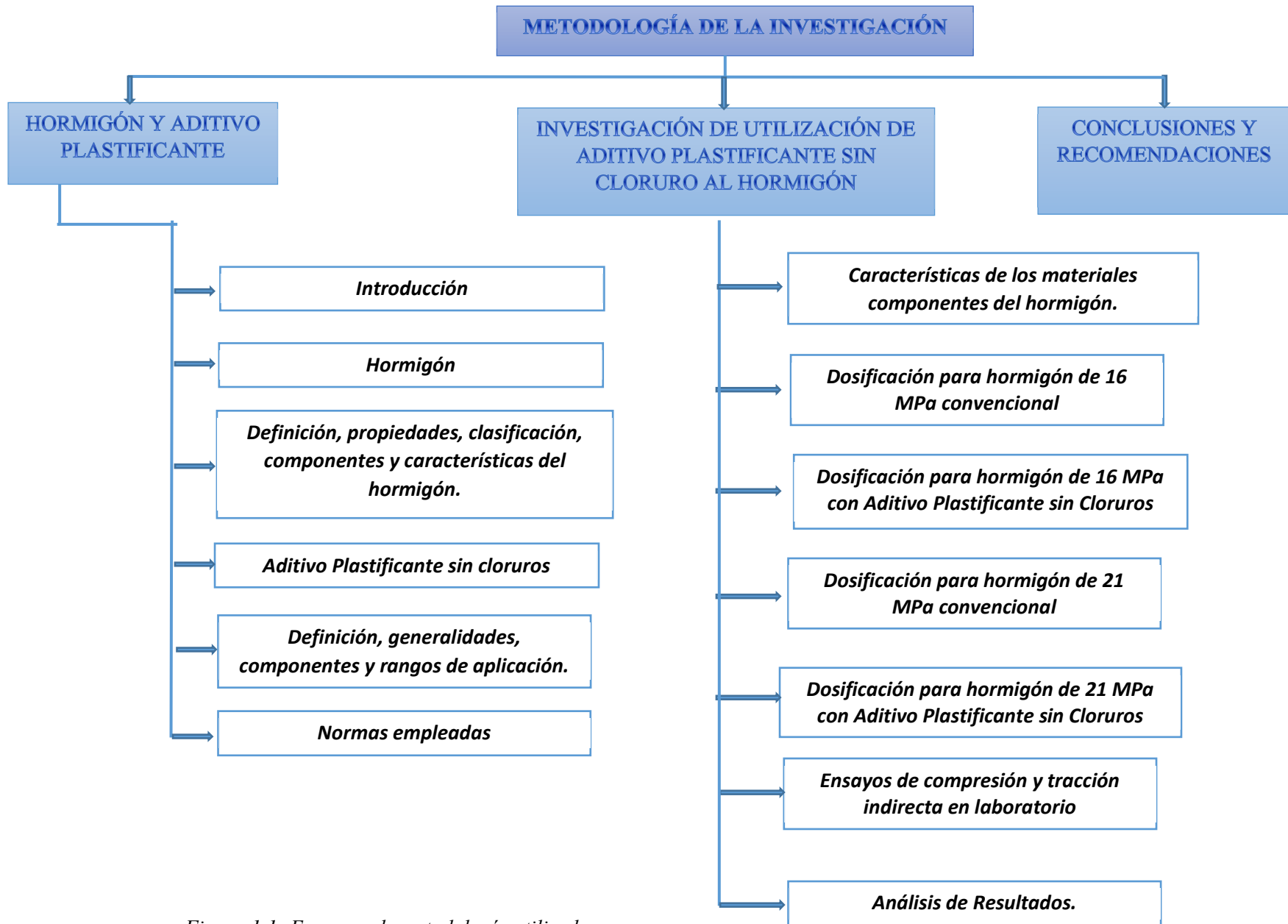


Figura 1.1: Esquema de metodología utilizada.

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

Los seres humanos somos capaces de realizar cualquier inventiva o proyecto dada la curiosidad innata que nos caracteriza y por el empeño y ganas de querer mejorar la propia calidad de vida. Por ello, nació uno de los materiales de mayor trascendencia en el campo de la construcción: el hormigón.

Y dada la gran variabilidad de la materia prima que se puede emplear en su composición, se buscaron otras alternativas que puedan darle una mayor utilidad a la misma, como trabajabilidad, estética, protección ante agentes nocivos, etc., y con ello nacen los aditivos.

Dado que en Tarija tenemos un clima cálido y el ambiente en general es confortable, el empleo del hormigón por encima de otros materiales sigue como prioridad de material de construcción, además que la mano de obra que se emplea en su ejecución no tiene que ser especializada como con otros materiales.

En el presente proyecto se pretende darle utilidad a uno de los derivados en la familia de los aditivos: los aditivos plastificantes sin cloruros; que, aunque su funcionalidad es de mejorar la trabajabilidad del hormigón, si se analiza científicamente, dada la reestructuración de los componentes del hormigón al añadirle un componente extra, se puede conjeturar que esta puede brindarle un impacto positivo a la funcionalidad final del hormigón, y eso sería la resistencia mecánica.

2.2 Hormigones

Desde su invención en el siglo XIX se ha convertido en el material estructural más utilizado. Su evolución desde las primeras construcciones empíricas con grandes errores de diseño hasta los actuales tipos especializados para cada aplicación ha transcurrido un siglo largo que lo ha consolidado como un material de altas prestaciones. Esta evolución es el resultado de las investigaciones llevadas a cabo en los planos químicos, físicos, mecánicos y estéticos. Su comportamiento al fuego los convierte en el material estructural más seguro ante este tipo de evento. El

conocimiento de sus debilidades permite elaborar estructuras seguras y duraderas. Por ello que los nuevos conocimientos en materia de durabilidad permitirán construir estructuras de hormigón relativamente baratas con una vida útil superior a los 150 años. Una duración que supera la que el dinamismo de las ciudades actuales necesita, dados los rápidos cambios de necesidades por el desarrollo poblacional.

2.2.1 Definición

Se considera hormigón a la mezcla entre un aglomerante, generalmente cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, más agregado fino, agregado grueso y agua; con o sin aditivos; que desarrolla sus propiedades por endurecimiento de la pasta de cemento (cemento y agua).

2.2.2 Propiedades generales

El hormigón presenta dos estados fundamentales desde el punto de vista práctico. El estado fresco o plástico en el que admite ser manipulado para su adaptación a los encofrados previstos y el estado endurecido en el que ha adquirido una rigidez tal que impide su manipulación sin producir fracturas visibles o no irreversibles. Estos estados son sinónimos de las fases de colocación en obra y de uso.

2.2.2.1 Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco es el producto inmediato del amasado de sus componentes. Desde el primer momento se están produciendo en su masa reacciones químicas que condicionan sus características finales como material endurecido. Reacciones que se prolongan sustancialmente hasta un años después de su amasado. El hormigón fresco es una masa heterogénea de fases sólidas, líquidas y gaseosas que se distribuyen en igual proporción si está bien amasado.

Las propiedades fundamentales de este estado del hormigón son las siguientes:

Consistencia: Es una propiedad física inherente del hormigón, el cual expresa la capacidad del hormigón fresco de deformarse.

La composición de la masa tiene una gran influencia en las deformaciones, es decir, de su "consistencia", desde este punto de vista, la forma, granulometría, y tamaño máximo del árido, así como la dosificación de cemento, cantidad de agua de amasado y eventual empleo de aditivos, inciden en esta propiedad.

Principalmente se mide mediante el descenso en centímetros en el ensayo del cono de Abrams.

Docilidad: Es sinónimo de trabajabilidad del hormigón fresco. Es su capacidad de ser puesto en su lugar de destino con los medios de compactación de que se dispone.

La docilidad depende, entre otros, de los siguientes factores:

a) Contenido de agua: Es el factor de mayor influencia y de función directa (a mayor cantidad de agua, mayor docilidad). Se debe conseguir la solución de compromiso óptima entre docilidad y resistencia necesaria, teniendo en cuenta que los excesos de agua provocan disminuciones de resistencia e impermeabilidad.

b) Contenido del árido: Según su tipo, los naturales (redondeados) aportan más docilidad que los de machaqueo (cúbicos y angulares). Por su tamaño y granulometría, a mayor cantidad de árido fino más docilidad, pero también mayor demanda de agua, con el inconveniente antes citado de merma de resistencia.

c) Contenido de cemento: La docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura del mismo. Aumenta la cohesión, pero también la rigidez.

d) Contenido de aditivos: La utilización de plastificantes tienen como función aumentar la docilidad conservando las restantes características.

Homogeneidad: Es la cualidad de distribución por toda la masa de todos los componentes del hormigón en las mismas proporciones. A la cualidad de homogeneidad se opone el defecto de la segregación o decantación. Se mide por la masa específica de porciones de hormigón fresco separadas entre sí.

La homogeneidad puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra), o por decantación (los gruesos caen al fondo y el mortero

queda en la superficie). Ambos fenómenos aumentan con el exceso de agua, con el tamaño máximo del árido, con incorrectos transportes y puesta en obra del hormigón.

Masa específica: Es la relación entre la masa del hormigón fresco y el volumen ocupado. Puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar. La densidad del hormigón fresco compactado es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado. Se mide en kg/m^3

Tiempo abierto: Es el período de tiempo que transcurre entre el amasado del hormigón y el principio del fraguado. Es una propiedad muy importante pues es en el que se puede manipular el hormigón sin merma de sus características.

2.2.2.2 Propiedades del hormigón endurecido

El carácter de hormigón endurecido lo adquiere el hormigón a partir del final de fraguado. El hormigón endurecido se compone del árido, la pasta de cemento endurecido (que incluye el agua que ha reaccionado con los compuestos del cemento) y las redes de poros abiertos o cerrados resultado de la evaporación del agua sobrante, el aire ocluido (natural o provocado por un aditivo). Las propiedades del hormigón endurecido son:

La densidad: Es la relación de la masa del hormigón y el volumen ocupado. Un hormigón bien compactado de áridos normales oscila entre $2300 - 2500 \text{ kg/m}^3$. En caso de utilizarse áridos ligeros la densidad oscila entre $1000-1300 \text{ kg/m}^3$. Y en caso de utilizarse áridos pesados la densidad oscila entre $3000-3500 \text{ kg/m}^3$.

Compacidad: Es la cualidad de tener la máxima densidad que los materiales empleados permiten. Un hormigón de alta compacidad es la mejor protección contra el acceso de sustancias perjudiciales.

Permeabilidad: Es el grado en que un hormigón es accesible a los líquidos o a los gases. El factor que más influye en esta propiedad es la relación entre la cantidad de agua añadida y de cemento en el hormigón (a/c). Cuanto mayor es esta relación mayor es la permeabilidad y por tanto más expuesto el hormigón a potenciales agresiones.

Resistencia: El hormigón endurecido presenta resistencia a las acciones de compresión, tracción y desgaste. La principal es la resistencia a compresión que lo convierte en el importante material que es. Se mide en MPa (Mega Pascales) y llegan hasta 50 MPa en hormigones normales y 100 MPa en hormigones de alta resistencia. La resistencia a tracción es mucho más pequeña, pero tiene gran importancia en determinadas aplicaciones. La resistencia a desgaste, de gran interés en los pavimentos se consigue utilizando áridos muy resistentes y relaciones agua cemento muy bajas.

Dureza: Es una propiedad superficial que en el hormigón se modifica con el paso del tiempo debido al fenómeno de carbonatación. Un método de medirla es con el índice de rebote que proporciona el esclerómetro Schmidt.

Retracción: Es el fenómeno de acortamiento del hormigón debido a la evaporación progresiva del agua absorbida que forma meniscos en la periferia de la pasta de cemento, y el agua capilar. Es el agua menos fijada en los procesos de hidratación.

2.2.3 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:

2.2.3.1 Hormigón según el tipo de propiedades

2.2.3.1.1 Tipos generales

Básicamente hay dos tipos de hormigón: El hormigón en masa y el hormigón estructural. Este 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. Sin 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, le término «teso» implica una tensión de tracción.

2.2.3.1.2 Tipos de hormigón por la resistencia

En función a su resistencia:

TABLA 2.1: Tipos de hormigón por la resistencia

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
Por su resistencia	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 ² .
	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 250 kg/cm ² .
	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 ² .
	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 ² . -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 o 3 días. -Para resistencias superiores a los 300 kg/cm ² se requiere analizar el diseño del elemento.

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

2.2.3.1.3 Tipos de hormigón por su peso volumétrico

TABLA 2.2: Tipos de hormigón por el peso volumétrico

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
Por su peso volumétrico	Ligero - Celular	-Capas de nivelación en pisos y losas. -Para construcción de vivienda tipo monolítica.	-Mejora el asilamiento termo - acústico. -Alta trabajabilidad. -Disminución de carga muerta.	-P.V. de 1500 a 1920 kg/m ³ . -Resistencia a la compresión de hasta 175 kg/cm ² a los 28 días.

			<ul style="list-style-type: none"> -Proporciona mayor confort al usuario. -Fácil de aserrar y clavar. -Mayor resistencia al fuego. 	<ul style="list-style-type: none"> -Conductividad térmica de 0,5 a 0,8 kcal/m²h°C.
	Normal	<ul style="list-style-type: none"> -Todo tipo de estructuras en general. -Elementos prefabricados. -Estructuras voluminosas. 	<ul style="list-style-type: none"> -Mantiene una densidad en atención al funcionamiento de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> -P.V. de 2200 a 2400 kg/m³. -Resistencia a la compresión de hasta 100 y 350 kg/cm² a los 28 días. -Propiedades en estado fresco y endurecido similares a las obtenidas en hormigones convencionales.
	Pesado	<ul style="list-style-type: none"> -Estructuras de protección contra radiaciones. -Elementos que sirvan como lastre. 	<ul style="list-style-type: none"> -Elevado peso volumétrico. -Mejor relación resistencia/peso. -Disminución de espesor en los elementos. 	<ul style="list-style-type: none"> -P.V. de 2400 a 3800 kg/m³. -Resistencia a la compresión igual a la obtenida en

				hormigones normales.
--	--	--	--	----------------------

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

2.2.3.1.4 Tipos de hormigón por su consistencia

TABLA 2.3: Tipos de hormigón por la consistencia

Clasificación	Tipo	Usos	Beneficios	Información técnica
Por su consistencia	Fluido	-Rellenos. -Estructuras con abundante acero de refuerzo. -Bombeo a grandes alturas.	-Facilita las operaciones de colocación y acabado. -Facilita las operaciones de bombeo.	-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

			- Menos mano de obra y tiempo de desencofrado.	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 industria del hormigón premezclado.	-Bajo consumo de cemento. -Facilita las operaciones de colocación.	-Revenimiento máximo de 2,5 cm, siendo de consistencia seca. -Resistencias a la compresión máximas de 150 kg/cm ² .

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

2.2.3.2 Hormigón según el tipo de armado

Además de la clasificación en función del modo de fabricación cabe clasificar al hormigón en función de su tipo de armado. Desde este punto de vista, caben dos tipos básicos: El hormigón armado y el hormigón pretensado. Este último se divide, a su vez,

en dos tipos de armaduras adherentes o de armaduras no adherentes. A ambos se suma el hormigón en masa, utilizado en grandes macizos donde predomina la necesidad de masa antes de otras características.

2.2.3.3 Hormigón según el tipo de propiedad adicional

A la tradicional composición del hormigón de cemento, agua y áridos, se le añadieron en los años ochenta las adiciones resultantes de determinados procesos industriales. Pero este cambio no produjo efectos importantes sobre el hormigón mismo. Al contrario, en sus primeros usos, produjo hormigones poco durables por la alegre sustitución de cemento por ceniza traspasando umbrales de seguridad al respecto. Sin embargo, la paulatina utilización de polímeros como aditivos mientras el hormigón fue una tarea de la obra y la rápida difusión cuando el hormigón se convirtió en un sector industrial especializado, sí ha provocado un cambio notable en el catálogo de hormigones. Como resultado se puede hablar de:

Hormigones ligeros

Los hormigones ligeros no son únicamente aquellos fabricados con arcilla expandida, sino que pueden ser fabricados con gran variedad de áridos que pueden llegar a dotarlos incluso de capacidades resistentes. Se ha llegado a fabricar hormigones ligeros de hasta 80 MPa de resistencia a compresión, aunque la resistencia a tracción y cortante se ven reducidas respecto a los hormigones convencionales. Esto es debido a que el hormigón rompe por el árido, debido a su menor resistencia, aunque tiene una mayor solidaridad con la matriz circundante.

El aligeramiento del hormigón se consigue mediante la sustitución de los áridos convencionales por áridos ligeros, que pueden ser perlita, vermiculita, puzolanas, pizarra expandida, escoria, arcilla expandida o incluso poliestireno expandido, entre otros muchos.

Se entiende por hormigón ligero estructural aquel cuya densidad se encuentra entre los 1200 y 2000 kg/m³ y tiene una resistencia a compresión superior a los 25 MPa. Para la fabricación de hormigón ligero estructural, el árido utilizado es la arcilla expandida,

aunque se está realizando prueba para utilizar también escorias siderúrgicas y otros materiales.

Hormigones reforzados por fibras

Las fibras que se pueden utilizar para este tipo de hormigones son de tres tipos:

Fibras Poliméricas: Formadas por polipropileno, polietileno de alta densidad, aramida, nylon, poliéster. Pueden colaborar estructuralmente con el armado principal del elemento, para lo que tienen que guardar una relación de tamaño con el árido. Pueden mejorar notablemente el comportamiento frente al fuego del elemento estructural.

Otras Fibras Inorgánicas: Son las fibras de vidrio, con propiedades álcali-resistentes, pues como todos sabemos las fibras de vidrio se deterioran en contacto con los álcalis del cemento. Son utilizadas sobre todo en hormigón proyectado, ya que se trata de una especie de tela deshilachada de fibras flexibles que permiten acompañar al hormigón sin disgregarse.

Fibras de Acero: Pueden obtenerse mediante alambre trefilado, corte de láminas de acero o por rascado en caliente, pudiendo obtener también diversas formas que favorecerán en mayor o menor medida la resistencia, la cohesión, la compacidad u otras cualidades que podemos obtener, en función del uso que se le vaya a dar al elemento, teniendo la forma una gran influencia en la adherencia que alcanzaremos de la fibra con la masa del hormigón. Constituyen una armadura muy efectiva para la ejecución de pavimentos o losas, incluso en hormigón proyectado. Introducen notables mejoras en la resistencia a flexotracción, reducen la deformación frente a cargas mantenidas, aumenta la tenacidad y la resistencia al impacto o choque.

Aumenta también el control de la fisuración y por lo tanto mejora la durabilidad de los hormigones.

Hormigones autocompactables

El hormigón autocompactante se obtiene a partir de la adición de aditivos superplastificantes, los que le confieren la principal propiedad de este tipo de hormigón

es que no necesita compactación, como su nombre indica, es decir, no es necesario tener un operario vibrando el hormigón recién vertido.

Hormigón de Alta Resistencia

Este tipo de hormigón es muy habitual verlo en reportajes televisivos para la ejecución de grandes estructuras o rascacielos. Es muy habitual en construcción civil, pero en edificación no se acaba de lanzar su utilización, a pesar de que aporta grandes ventajas.

Desde luego, la más importante es su elevada resistencia, que es su principal característica, pudiendo llegar a alcanzar sin problemas resistencias superiores a 70 MPa, siendo de aplicación la EHE hasta los 100 MPa.

Aparecen en los años 70-80 junto con la aparición de aditivos plastificantes y superplastificantes, que permitían una reducción importante del agua de amasado (conveniente que sea inferior a 0,40), aunque la mayor contribución aparece con el uso de humo de sílice y de las cenizas volantes, pues aumentan la resistencia al combinarse con el cemento.

Desde luego, el árido a utilizar en este tipo de hormigones debe tener una resistencia acorde con la resistencia del resto de los materiales, ya que, al alcanzarse alta resistencia por parte del cemento, el hormigón rompería por el árido y no obtendríamos el resultado esperado. Los áridos más habituales para la fabricación de HAR son granitos, cuarcitas o basaltos.

La bajísima relación agua cemento hace que el hormigón obtenido tenga una elevada compacidad, lo que se traduce directamente en una mayor durabilidad frente a medios químicamente agresivos.

El hormigón de alta resistencia sufre una mayor retracción en los primeros días en comparación con el hormigón convencional debido a su baja relación agua/cemento y a la finura de su microestructura, aunque a largo plazo, la retracción es menor, ya que se compensa la retracción inicial por la reacción química con la menor pérdida de agua de secado.

Hormigón Excavable

El hormigón excavable está pensado para ser utilizado en el relleno de zanjas y huecos pudiendo sustituir al tradicional relleno de zahorras. Una vez endurecido, es sumamente fácil de excavar, ya que no adquiere una gran dureza y se puede incluso abrir rozas a mano sobre él.

Hormigón Drenante

Tiene la capacidad de aportar una superficie firme, pero a su vez muy porosa al hormigón, lo que permite dejar pasar el agua a través del mismo hasta capas inferiores.

Su fabricación se realiza eliminando finos de su dosificación, de manera que la porosidad es muy elevada, además de tratarse de poro abierto y de gran sección, lo que le permite ser atravesado por los líquidos como el agua. Por supuesto no puede alcanzar resistencias estructurales, ni las características del mismo lo permitirían, puesto que la elevadísima porosidad arruinaría la durabilidad del hormigón.

Hormigón Antibacterias

Más que un tipo de hormigón, es un aditivo que puede ser mezclado con otros tipos de hormigón para ser utilizado en circunstancias que requieran un especial cuidado con la aparición de gérmenes, como puede ser en zonas de animales, cuadras de caballos, granjas, pero también en piscinas o zonas limpias como hospitales o clínicas.

Hormigón Traslúcido

Se trata de un tipo de hormigón que permite pasar cierta cantidad de luz, haciendo un efecto a modo de biombo que puede llegar a ser realmente sorprendente y verdaderamente estético en una vivienda.

Hormigón celular

Otra forma de obtener hormigones ligeros es mediante la incorporación de gas en la masa del mortero a los efectos de producir una estructura celular que con tenga vacíos entre 0.1 y 1 mm La característica de estos vacíos es que su piel debe resistir el mezclado y la compactación. El hormigón que resulta de este proceso se llama Celular,

aunque no se lo debería llamar hormigón debido a que no hay árido grueso en él. Se pueden obtener de dos maneras:

- **Hormigón Gaseoso:** Mediante reacciones químicas que generan un gas en el mortero fresco de modo que la consistencia del mismo debe ser tal que permita que el gas se expanda, pero no se escape. Por lo tanto, se combinan la velocidad de evolución del gas, la consistencia y el tiempo de fraguado. El más usado en este proceso es el polvo de aluminio, que se divide finamente en proporciones del orden del 0.2% de la masa de cemento, puede usarse además polvo de zinc, aleaciones de aluminio o peróxido de hidrógeno. Reacciona entonces el polvo activo con el hidróxido de calcio o los álcalis, y en esta reacción se liberan burbujas de hidrógeno.
- **Hormigón Espumoso:** Se produce por la adición de un agente espumoso (jabones de resina o proteínas hidrolizadas) a la mezcla. Se realiza el mezclado a alta velocidad y el agente incorporado estabiliza e introduce burbujas a la mezcla. A veces se incorpora directamente una espuma estable en una mezcladora común. Puede hacerse sin arena para propósitos no estructurales como el aislamiento, se obtienen densidades entre 200 a 300 kg/m³. Generalmente sus densidades oscilan entre 50 y 1100 kg/m³ para morteros hechos con arenas muy finas.

Principalmente se usa para depósitos de aislamiento de calor por su baja conductividad térmica y por ser incombustible. Estructuralmente se usa para bloques con curado en autoclave o elementos premoldeados. Se usa para pisos. Puede aserrarse, clavarse es bastante durable. Tiene alta absorción de agua; pero el índice de penetración del agua es bajo porque no se llenan los poros más grandes. Tiene resistencia medianamente buena al congelamiento y puede usarse en la construcción de muros. En el caso de ser armado el acero puede ser corroído, por lo que necesita protección, estas generalmente implican un detrimento de la adherencia.

Hormigón sin Finos

Este hormigón se obtiene omitiendo el árido fino de la mezcla por lo que hay una aglomeración de partículas de árido grueso. Cada partícula se encuentra rodeada de la

pasta de cemento en un espesor de 1.3 mm Dentro del cuerpo existen grandes poros, esto produce resistencias menores, pero debido a que estos poros son importantes no hay movimiento capilar dentro del hormigón, y por lo tanto baja penetración de esta. La densidad de estos áridos depende de la curva granulométrica del árido grueso que usemos; cuando se usan áridos de un mismo tamaño la resistencia disminuye 10% respecto a los áridos bien graduados del mismo peso específico. La condición es que ningún árido debe ser menor a los 5 mm. Debe evitarse los áridos con aristas angulosas porque puede producirse trituración local. Este hormigón requiere muy poca compactación y únicamente se aplica vibración por periodos cortos, sino la pasta de cemento tiende a escaparse. No tiene problemas de segregación por lo que puede ser lanzado de alturas significantes. Su resistencia varía entre 1,4 y 14 MPa, según sea su densidad. En este tipo de Hormigones existe un valor óptimo para la relación agua cemento para cualquier árido. Si la relación a/c es mayor la pasta de cemento tenderá a drenarse de las partículas de árido y si fuera demasiado baja la pasta no sería lo suficientemente adhesiva y no se formaría la composición entre áridos y pasta. Generalmente la óptima está entre 0,38 y 0,52 dependiendo del contenido de cemento necesario para recubrir el árido.

Hormigón pesado

Los hormigones pesados se utilizan como protección contra las radiaciones producidas en las plantas en base a energía nuclear. La obtención de estos queda condicionada al empleo de áridos bajo peso específico, para lo cual se obtienen normalmente de rocas mineralizadas o bien, aunque con menor frecuencia, se recurre a áridos constituidos por granalla o trozos metálicos. Las variedades más usadas para áridos provienen de los minerales de hierro, tales como la magnetita, la ilmenita y la hematita, cuyos pesos específicos oscilan entre 4,2 y 4,8 kg/dm³. Se utilizan también dentro de este tipo de áridos los provenientes de la barita, que proporciona áridos con pesos específicos comprendidos entre 4,0 y 4,4 kg/dm³. También se obtienen a partir de trozos de barras de acero redondo, recortes de planchas de acero o granalla. Su peso específico es similar al del hierro, es decir 7,5 a 7,8 kg/dm³. Estos deben cumplir en líneas generales

las mismas condiciones estipuladas para los áridos convencionales. Sin embargo, para su empleo debe tenerse en consideración que los áridos provenientes de minerales de hierro son muy fracturables debido a su construcción interna, por lo que están expuestos a variaciones de sus características durante su uso en obra, en especial de su granulometría y contenido de finos. Los áridos obtenidos de desechos metálicos presentan también algunas características de heterogeneidad, provenientes principalmente del estado de su superficie, la cual debe presentar algún grado de oxidación incipiente para favorecer la adherencia.

2.2.3.4 Hormigón según el carácter de los materiales

En la fabricación de hormigón ya se había empleado residuos de procesos industriales, tales como las cenizas volantes o el humo de sílice. Es decir, se fabricaba hormigón con connotaciones medioambientales. Pero la influencia de las políticas medioambientales está surtiendo efecto en estos momentos con el empleo de áridos reciclados, es decir, con el empleo de áridos procedentes de hormigones previamente demolidos.

2.2.3.5 Hormigón en función a su fabricación

Hormigón prefabricado

El Hormigón Prefabricado se elabora en forma industrial, por moldeo de sus piezas, elementos de diferentes dimensiones y tipos, según su destino.

Este sistema industrializado de producción mejora las características físicas del material, entre ellas: Resistencia mecánica, resistencia a la corrosión, superficie de acabado superior, adherencia.

Además, mejora la planeidad de superficies y la precisión en su montaje; requiere de control de calidad certificado para poder ser comercializado.

El Hormigón Prefabricado optimizó las condiciones de producción haciendo posible acortar los plazos de ejecución, bajando costes y disminuyendo riesgos en el deterioro del material. Por otra parte, resulta más ventajoso ya que al construirse las piezas en serie, por repetición masiva, facilita su armado y montaje.

Hormigón in situ

Es fabricado por el contratista en el sitio de la obra. Es posible un alto grado de flexibilidad en la administración del sitio, por ejemplo, se pueden hacer pequeñas cantidades con poca anticipación.

Hormigón premezclado

Procesado por fabricantes locales especializados para su entrega en camiones hormigoneros con tambores giratorios. Una de las ventajas es un mayor espacio disponible en la obra; el proveedor asume la responsabilidad del control de calidad del hormigón y también cuenta con los recursos y la experiencia técnica para proporcionar una amplia gama de mezclas.

2.2.4 Hormigones para uso estructural

Se engloba a todo hormigón usado para propósitos estructurales, incluyendo al hormigón simple y armado.

El hormigón estructural es el material de construcción más empleado en la actualidad tanto en ingeniería civil como en edificación por sus prestaciones de rapidez, economía y durabilidad.

2.2.4.1 Campos de aplicación de los hormigones de resistencia moderada

Puede abarcar con la resistencia mínima elementos como hormigones de limpieza, relleno o soleras, mientras que, con el rango de resistencia marcada, que es entre 150 y 250 kg/cm², están elementos como cimentaciones, pilas, columnas, muros, estribos, losas, tableros, marcos, muros de gravedad, canalizaciones, arquetas, cunetas, bajantes, edificios de pequeña altura (hasta los 6 pisos).

2.3 Composición del hormigón

2.3.1 Componentes tradicionales

La calidad de los materiales a utilizar, los áridos y su granulometría, el cemento y su dosificación influyen en la calidad del hormigón. Se deberán realizar ensayos previos,

de los materiales a emplear, para determinar si estos cumplen con las Normas establecidas y son adecuados para la dosificación.

❖ **Cemento**

Definición.- Es un polvo gris-verdoso, que dentro del sector de la construcción, edificación y obras públicas constituye un material de alto valor estructural, porque al ser mezclado con agua adquiere una solidez pétreo, se trata también de un aglomerante por excelencia.

Características físicas y mecánicas.- Las características físicas y mecánicas más importantes son: Finura de molido, peso específico, fraguado, expansión y resistencias mecánicas.

❖ **Agregado fino**

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

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

Características físicas y mecánicas.- Las particularidades físicas y mecánicas más significativas son: Granulometría, módulo de finura, peso específico, porcentaje de absorción y peso unitario.

De una manera más explicativa: Un buen agregado fino debe poseer las siguientes características:

*Al igual que el agregado grueso debe ser bien gradado para que pueda llenar todos los espacios y producir mezclas más compactas.

*La cantidad de agregado fino que pasa los tamices 50 y 100 afecta la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial y la exudación del hormigón.

*Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz N° 50 esté entre 10% y 30%; se recomienda el límite inferior cuando la colocación es fácil o cuando los acabados se hacen mecánicamente, como en los pavimentos; sin embargo, en los pisos de hormigón acabado a mano, o cuando se desea una textura superficial tersa, deberá usarse un agregado fino que pase cuando menos el 15% el tamiz 50 y 3% el tamiz 100.

*El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de hormigón, deberá estar entre 2,3 y 3,1 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas.

*La presencia de materia orgánica en la arena que va a utilizarse en la mezcla de hormigón llega a interrumpir parcial o totalmente el proceso de fraguado del cemento, por lo que es recomendable dos alternativas:

Si la cantidad de materia orgánica es alta, se debe cambiar de banco de arena.

Si la cantidad de materia orgánica es baja, se puede lavar la misma.

*Para hormigones de altas resistencias es mejor usar arenas gruesas; mientras que, si son hormigones de menores resistencias, arenas medias y finas son más utilizadas.

❖ **Agregado grueso**

Definición.- Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm.

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

partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

Características físicas y mecánicas.- Las particularidades físicas y mecánicas más significativas son: Granulometría, tamaño máximo nominal, peso específico, porcentaje de absorción y peso unitario.

De una manera más explicativa: Un buen agregado grueso debe poseer las siguientes características:

*Una buena gradación con tamaños intermedios, la falta de dos o más tamaños sucesivos puede producir problemas de segregación.

*Un tamaño máximo adecuado a las condiciones de la estructura.

*Debe evitarse el uso de agregados planos o alargados, ya que además de producir bajas masas unitarias y baja resistencia mecánica, tienen tendencia a colocarse horizontalmente formándose bajo su superficie bolsas de agua cuando esta sube a la superficie debido a la sedimentación de las partículas sólidas; esta agua almacenada bajo las partículas deja un espacio vacío cuando después del fraguado el agua evapora, lo cual trae como consecuencia una notable reducción de la resistencia del hormigón.

*Una adecuada densidad aparente está entre 2300 y 2900 kg/m³. Cuanto mayor es su densidad mejor es su calidad y mejor su absorción, que oscila entre 1 y 5%.

*Las partículas con formas angulosas producen mezclas ásperas y difíciles de manejar.

*Una superficie rugosa, limpia y sin capa de arcilla.

*No debe contener terrones de arcilla, ni partículas deleznales; generalmente se limita al contenido de finos entre 1 y 3%, para que permita una adecuada adherencia de las partículas y el cemento en las mezclas.

*El agregado grueso debe tener una resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles que garantice su dureza. Los límites recomendados son: Si el agregado va a ser usado en losas de hormigón o en pavimentos rígidos el desgaste debe ser menor del 35%, si va a ser usado en otras estructuras el desgaste debe ser menor del 40%.

*Agregados con partículas esféricas y cúbicas son los más convenientes para hormigones, porque tienen mayor resistencia y es menor el consumo de cemento debido al mayor acomodo de las partículas, es decir, mayor cantidad de material por unidad de volumen.

❖ Agua

El agua que se usa en la dosificación, debe estar libre de impurezas y sustancias perjudiciales como aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias nocivas para el hormigón o la armadura.

Lo recomendable es usar el agua que proviene de la red de agua potable, y que esté libre de un sabor u olor marcado. Cuando son excesivas las impurezas en el agua de mezclado, pueden afectar no solamente al tiempo de fraguado, la resistencia del hormigón y la estabilidad volumétrica (cambio de longitud), sino que también pueden provocar eflorescencia o corrosión en la armadura. Siempre que sea posible, debe evitarse el agua con altas concentraciones de sólidos disueltos.

Si no se dispone de ella, al agua a emplear debe ensayarse para verificar que cumple con los parámetros ya establecidos; pero dado que el agua del laboratorio proviene del sistema de agua potable, no hay inconvenientes.

2.3.2 Características del hormigón

➤ Resistencia y durabilidad

El hormigón se utiliza en la mayoría de los edificios, puentes, túneles y presas por su gran fuerza y resistencia. Esta fuerza se incrementa además con el tiempo. Se ha comprobado que las estructuras de hormigón pueden soportar desastres naturales de gran índole, como terremotos, huracanes y maremotos; por lo que su aplicación sigue siendo importante en la actualidad.

El hormigón ofrece una gran durabilidad ya que no es debilitado por la humedad, el moho o las plagas.

➤ **Versatilidad**

Gracias a su gran versatilidad, el hormigón puede encontrarse en construcciones como edificios, túneles, puentes, presas, pistas de aterrizaje, pavimentos de sistemas de alcantarillado e incluso en nuestras carreteras.

➤ **Bajo mantenimiento**

El hormigón no requiere mucho esfuerzo en su mantenimiento. Gracias a ser un material inerte, compacto y no poroso, no pierde sus propiedades clave con el tiempo.

➤ **Asequibilidad**

El hormigón es uno de los materiales de construcción más asequibles, si lo comparamos con otros como el acero, que acarrea unos costes más altos de producción.

➤ **Resistencia al fuego**

La resistencia al fuego es una de las características intrínsecas del hormigón, lo que convierten a este material en una de las mejores opciones a la hora de reforzar la protección antiincendios de un edificio.

➤ **Masa térmica**

Las paredes y suelos de hormigón se caracterizan por poner barreras al paso del calor. Esto significa que las salas con paredes de hormigón retienen mejor las temperaturas, y necesitan menos calor en invierno y menos refrigeración en verano, lo que supone un gran ahorro energético.

➤ **Producción y utilización local**

El peso del hormigón dificulta su transporte. Eso hace que el lugar de producción y el de utilización no puedan estar muy lejos el uno del otro (esto, que podría ser visto como una desventaja, también supone menos emisiones de CO₂).

➤ **Efecto Albedo**

El efecto albedo consiste en la reflexión de la luz. Cuanta más luz refleja el hormigón, menos calor absorbe. Esto reduce el efecto “isla de calor”, que es muy frecuente en ciudades de gran magnitud, aunque en Tarija todavía no se presencia este conocido efecto de “isla de calor” al no poseer numerosas cantidades de estructuras de gran altura y magnitud.

2.4 Aditivo Plastificante sin Cloruros

2.4.1 Definición

Un aditivo plastificante es un producto que se incorporan al hormigón fresco, mejorando su docilidad y trabajabilidad con una relación constante agua/cemento. Permite conseguir cierta fluidez en hormigones prácticamente secos, con reducción de agua de amasado de hasta un 15 o 20%. Es importante no incorporar a la mezcla más cantidad que las dosis prescritas.

La razón de que sea sin cloruros es para que pueda aplicarse tanto para hormigones en masa como para hormigones armados.

2.4.2 Generalidades

En función a la normativa ASTM C-494, el aditivo elegido para el trabajo de investigación fue el SIKA HER, el cual es un aditivo plastificante sin cloruros; pero a su vez tiene la funcionalidad de un retardador según las características que tiene; a lo cual se clasifica como un Aditivo Tipo D (plastificante retardante).

Un aditivo Tipo D tiene las siguientes particularidades:

- Acción físico-química con el cemento, favoreciendo la hidratación de las partículas de éste, reduciendo el agua de la mezcla y plastificando la masa del hormigón.
- El uso del aditivo reductor de agua y retardante, provee al hormigón de una plasticidad y fluidez adecuada mejorando las características del hormigón tanto en estado plástico como endurecido.

Principales aplicaciones

- Hormigón colocado en climas cálidos.
- Hormigón que se transporta a distancias largas.
- Hormigón que requiere alta trabajabilidad: bombeo y colados en estructuras estrechas.
- El aditivo se puede utilizar como reductor de agua y retardante y como fluidificante.

Características y aplicaciones

- Reduce la cantidad de agua de mezcla por lo menos en 5 %.
- Retarda el tiempo de fraguado inicial por lo menos una hora
- Aumenta la resistencia a la compresión axial por lo menos en 110% a 28 días.
- Facilita el bombeo del hormigón.
- Aumenta la durabilidad.

Los efectos específicos de los aditivos dependen, por regla general, de diversas variables, entre las que cabe destacar las siguientes:

-Por parte del cemento: Características estructurales (composición potencial), tipo, finura, etc.

-Por parte de los áridos: Tipo, preparación, etc.

-Por parte del aditivo: Tipo, cantidad.

-Otros factores: Fundamentalmente, los que afectan a la cinética de la hidratación del cemento.

2.4.3 Componentes

No hay información general sobre los componentes en la ficha técnica; pero sí nos brinda datos sobre los componentes peligrosos en la ficha de seguridad:

TABLA 2.4: Componentes peligrosos aditivo plastificante sin cloruros

Componentes peligrosos		
Nombre químico	No. CAS	Concentración (% w/w)
sacarosa	57-50-1	$\geq 1 - < 10$
2,2',2"-nitrilotrietanol	102-71-6	$\geq 1 - < 10$
formaldehído	50-00-0	$\geq 0,1 - < 1$

Fuente: Ficha de datos de seguridad - SIKA Plastiment® H.E.R.

2.4.4 Adición del Plastificante sin Cloruros

Con la adición del plastificante sin Cloruros, se pretende que el hormigón manteniendo la misma dosificación y sin modificar la relación agua cemento, logre un aumento en su resistencia tanto a compresión como a tracción.

El aditivo SIKA HER tiene los siguientes usos y ventajas de acuerdo al informe técnico que presenta la empresa SIKA:

Usos:

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

Ventajas:

- Retarda el fraguado del hormigón, aumentando el tiempo límite de colocación.
- Aumenta considerablemente las resistencias mecánicas al permitir reducir la cantidad de agua de amasado.

- Aumento de la impermeabilidad.
- Mejora la trabajabilidad del hormigón fresco.
- Permite revibrar la mezcla.
- Disminución de fisuras por contracción de secado.
- Aumenta la adherencia del hormigón a la armadura.
- No incorpora aire.
- Aumenta la densidad del hormigón endurecido.

Se va a utilizar 3 diferentes proporciones de adición de aditivo plastificante, siendo estos: 0,3%; 0,5% y 2% y se verá con cual de ellas el hormigón llegará a mejorar su resistencia y si el porcentaje de mejora es el mismo para 2 diferentes tipos de resistencia.

2.5 Normativas a utilizar en el procedimiento experimental.

En el trayecto de toda la investigación, es indispensable emplear las siguientes normativas para su correcto desarrollo y fácil aplicación:

ASTM D-75.- Procedimiento normalizado para el muestreo de áridos.

ASTM C-702.- Práctica estándar para reducir muestras de agregado a tamaño de prueba.

ASTM C-566.- Método de ensayo para medir el contenido total de humedad en agregados mediante secado.

ASTM C-136.- Análisis de tamaño de partículas por tamizado en agregado fino y grueso y determinación de material más fino que el tamiz no. 200 (75 μm).

ASTM C-128.- Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.

ASTM C-29.- Determinación de la densidad aparente (masa unitaria) e índice de vacíos en los agregados.

ASTM C-127.- Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.

ASTM C-131.- Método de ensayo para determinación al desgaste del agregado grueso de tamaño hasta de 37.5 mm (1½ plg), por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles.

ASTM C-188.- Determinación del peso específico del cemento.

ASTM C-31.- Práctica para la elaboración y curado de especímenes de ensayo de hormigón en la obra.

ASTM C-33.- Especificación Normalizada para agregados para hormigón.

ASTM C-143.- Método de Ensayo Normalizado para asentamiento de hormigón de cemento hidráulico.

ASTM C-39.- Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de especímenes cilíndricos de hormigón.

ASTM C-496.- Método de prueba estándar para determinación de la Resistencia a la Tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de hormigón.

ACI 211.1.- Metodología para el diseño de mezclas de hormigón (método de dosificación).

ACI 2005.- Requisitos de Reglamento para hormigón estructural.

Capítulo 3: Materiales.

Capítulo 4: Requisitos de durabilidad.

Capítulo 5: Calidad del hormigón, mezclado y colocación.

ASTM C-494.- Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Hormigón.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Características de los materiales componentes del hormigón

3.1.1 Cemento

Para este trabajo de investigación se utilizó cemento IP-30 “El Puente”, se adquirió la cantidad necesaria para el desarrollo de todo el trabajo de investigación, los ensayos en su totalidad se desarrollaron en el laboratorio de Hormigón de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. Los datos, resultados e imágenes de los mismos se encuentran en los Anexos.

Tabla 3.1: Propiedades del cemento “El Puente”

Propiedad	Valor	Norma Boliviana	Norma ASTM	Pliego español RC-75
Pérdida al fuego	1,97%	5,0 % máx.	3,0 % máx.	-
Si O ₂	23,41%	-	-	-
Al ₂ O ₃	5,33%	-	-	-
Fe ₂ O ₃	2,38%	-	-	-
Ca O	60,70%	-	-	-
Mg O	4,35%	5,0 % máx.	5,0 % máx.	5,0 % máx.
S O ₃	1,54%	3,5 % máx.	2,5 % máx.	4,0 % máx.
Residuo insoluble	1,87%	3,0 % máx.	0,75 % máx.	3,0 % máx.
Cal libre	1,39%	2,5 % máx.	2,5 % máx.	3,0 % máx.
Residuo M-200	12%	-	-	< 15 %
Tiempo de fraguado	2,5 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h	Inicial: 45 min. Final: 10 h
Blaine	2960	2600	2800	-
R a/c	0,645	-	-	-
Fluidez	77	-	-	-
Resistencia a compresión 3 días (Kg/cm ²)	139	80	126	175
Resistencia a compresión 7 días (Kg/cm ²)	216	150	196	250
Resistencia a compresión 28 días (Kg/cm ²)	323	250	273	350
Densidad (gr/cm ³)	3,14	-	-	-

Fuente: “Dosificación y resistencias de hormigones elaborados con materiales regionales”

U.A.J.M.S./S.I.B - Tarija/C.I.C - Tarija

3.1.1.1 Peso Específico del cemento

Determinar el peso específico del cemento relativo del cemento IP-30 de la empresa “El Puente”

❖ Materiales y equipo

Los materiales y equipos necesarios para la finura del cemento son:

- Cemento (IP 30) (64 g aproximadamente).
- Kerosene libre de agua
- Frasco Le Chatelier.
- Balanza de 0,01 g de precisión.
- Aparato Baño María a temperatura constante.
- Termómetro de 0,2°C de precisión.
- Espátula
- Embudo

3.1.2 Agregado fino

La cantera de arena utilizada para el presente trabajo de investigación fue la que se encuentra a cargo la Empresa Constructora ERIKA S.R.L., la cual se encuentra ubicada en el Km. 8 Carretera a San Lorenzo, Zona: Rancho Sur.

3.1.2.1 Muestreo de los áridos

Técnicas para el muestreo de agregado fino con el fin de garantizar que el material refleje las condiciones propias del ambiente de donde proviene.

❖ Materiales y equipo

- ◆ Bolsas fibra sintética.
- ◆ Par de palas.
- ◆ Una camioneta.

3.1.2.2 Reducción de las muestras a tamaño de prueba

Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producidas en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un número de ensayos para describir el material y medir su calidad de tal manera que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Cuarteador metálico (16 canaletas).
- ♦ Cuchara metálica.
- ♦ Bandejas metálicas.

3.1.2.3 Granulometría

Determinación de la distribución estadística de los tamaños de las partículas del agregado fino y su correspondiente módulo de finura.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Juego de tamices Normalizados ASTM C-136: (Tamiz N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200).
- ♦ Tapa metálica.
- ♦ Base.
- ♦ Brocha.
- ♦ Cepillo Metálico.
- ♦ Balanza con precisión 0,1 g.
- ♦ Vibrador mecánico.
- ♦ Horno temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.1.2.4 Peso Específico y Porcentaje de Absorción

Delimitar el peso específico aparente y el peso específico a granel del agregado fino, a su vez que la determinación de la cantidad de agua que puede absorber el agregado fino cuando se somete a un proceso de saturado (sumersión) por 24 horas.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Horno temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ♦ Un recipiente.
- ♦ Una bandeja amplia plana.
- ♦ Un picnómetro.
- ♦ Un molde metálico tipo cono truncado ($\varnothing = 40 \pm 3$ mm y $\varnothing = 90 \pm 3$ mm de diámetro).
- ♦ Un pisón metálico (Peso de 340 ± 15 g).
- ♦ Una cuchara metálica.
- ♦ Un termómetro.
- ♦ Un dispositivo de calor (opcional).
- ♦ Una hornalla.
- ♦ Balanza con precisión 0,1 g.

3.1.2.5 Peso unitario

Determinación del peso unitario del agregado fino a temperatura ambiente.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Balanza con precisión 0,1 g.
- ♦ Una Varilla apisonadora ($\varnothing = 16$ mm, L= 600 mm).
- ♦ Un Medidor (2,8 litros como mínimo, verificar con calibración).
- ♦ Una pipeta.

- ♦ Un Termómetro.
- ♦ Una placa de vidrio (recomendable).
- ♦ Una bandeja plana amplia.

3.1.3 Agregado grueso

El agregado grueso se obtuvo de igual manera que el agregado fino, de la Empresa Constructora ERIKA S.R.L.

3.1.3.1 Muestreo de los áridos

Técnicas para el muestreo de agregado grueso con el fin de garantizar que el material refleje las condiciones propias del ambiente de donde proviene.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Bolsas fibra sintética.
- ♦ Par de palas.
- ♦ Una camioneta.

3.1.3.2 Reducción de las muestras a tamaño de prueba

Esta práctica proporciona procedimientos para reducir la muestra total obtenida en el campo o producidas en el laboratorio al tamaño conveniente para realizar un número de ensayos para describir el material y medir su calidad de tal manera que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Cuarteador metálico (8 canaletas).
- ♦ Cuchara metálica.
- ♦ Bandejas metálicas.

3.1.3.3 Granulometría

Determinación de la distribución del tamaño de particular y el módulo de finura del agregado fino

❖ **Materiales y equipo**

- ♦ Juego de tamices normalizados ASTM C-136: (Tamiz 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N°4).
- ♦ Tapa metálica.
- ♦ Base.
- ♦ Brocha.
- ♦ Cepillo Metálico.
- ♦ Balanza con precisión 0,1 g.
- ♦ Balanza con precisión de 1 g (para pesos superiores a 10 kg).
- ♦ Vibrador mecánico.
- ♦ Horno temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.1.3.4 Peso específico y porcentaje de absorción

❖ **Objetivo**

Delimitar el peso específico aparente y el peso específico a granel del agregado grueso, a su vez determina de la cantidad de agua que puede absorber el agregado grueso cuando se somete a un proceso de saturado (sumersión) durante 24 horas.

❖ **Materiales y equipo**

- ♦ Balanza, para determinar la masa, que sea sensitiva, legible y precisa a 0,05% de la masa de la muestra en algún punto del rango usado para este ensayo, o 0,5 g, el que sea mayor. La balanza deberá estar equipada con aparatos adecuados para suspender la muestra contenida en agua, desde el centro de la plataforma de la balanza.
- ♦ Contenedor de muestra, una cesta de alambre de 3.35 mm (N° 6) o malla fina, o una cesta de abertura y altura iguales, con una capacidad de 4 a 7 litros para alojar un tamaño nominal máximo de agregado de 37.5 mm (1 ½") o menor y

una canastilla más grande según se necesite, para ensayar mayores tamaños máximos de agregados.

- ♦ Tanque de agua, en el cual la canastilla es colocada suspendida debajo de la balanza.
- ♦ Tamices o mallas, una malla de 4.75 mm (Nº 4) u otro tamaño como se necesite.
- ♦ Horno temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- ♦ Cuchara de albañilería.
- ♦ Cuchara metálica.
- ♦ Brocha.
- ♦ Bandejas metálicas.

3.1.3.5 Peso unitario

Determinación del peso unitario del agregado fino a temperatura ambiente.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Balanza con precisión 0,1 g.
- ♦ Una Varilla apisonadora ($\varnothing=16$ mm, L= 600 mm).
- ♦ Un Medidor (9,3 litros como mínimo, verificar con calibración).
- ♦ Una pipeta.
- ♦ Un Termómetro.
- ♦ Una placa de vidrio (recomendable).
- ♦ Una bandeja plana amplia.

3.1.3.6 Resistencia la desgaste

Determinación del desgaste de los agregados gruesos de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen abrasión, impacto y trituración en un tambor rotatorio de acero.

❖ **Materiales y equipo**

- ♦ Máquina de Los Ángeles.
- ♦ Juego de tamices que cumplen ASTM E11 (1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, ¼”)
- ♦ Tamiz N°12.
- ♦ 11 esferas de acero de acuerdo a gradación B ensayo ASTM C-131
- ♦ Balanza con precisión 0,1g.
- ♦ 3 bandejas metálicas.
- ♦ Horno temperatura de 110°C ± 5°C.

3.1.4 Agua

El agua empleada en la dosificación debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, materia orgánica, ácidos, álcalis, sales u otras sustancias nocivas para la elaboración de las probetas de hormigón

El agua utilizada para el trabajo de investigación, tanto en la preparación de la dosificación, como así igualmente para el proceso de curado de las probetas, procedió de la red de agua potable de la ciudad de Tarija, específicamente de la zona de El Tejar.

3.1.4.1 Características del agua

El agua natural que se pueda beber (potable) y que no tiene un sabor u olor marcado, puede aprovecharse como agua de mezclado en la elaboración de hormigones. Cuando las impurezas en el agua de mezclado son excesivas, pueden afectar negativamente en el hormigón, por ejemplo, la presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio en el agua, al reaccionar con el cemento se produce un rápido fraguado, y a grandes concentraciones disminuye la resistencia del hormigón; si el agua contiene más de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos, se debe analizar con ensayos la misma para verificar la variación en la resistencia que puede llegar a presentar. Por ello, el agua empleada no debe ser de procedencia desconocida.

3.2 Metodología y procedimiento para la investigación

3.2.1 Dosificación convencional

Una vez hechos los ensayos previos correspondientes, se debe verificar con la Normativa ASTM C-33 que los agregados estudiados anteriormente cumplen con las especificaciones propias para la correcta dosificación del hormigón.

Para el agregado grueso no hubo ningún inconveniente; pero en lo referente al agregado fino, a pesar de cumplir con los límites granulométricos estipulados en la norma, el módulo de finura obtenido en laboratorio (3,2) excede en 0,1 el límite permitido (rango del módulo de finura comprendido entre 2,3 a 3,1); por lo que para corregir dicha cifra se removió el 50% del agregado fino que pasa el tamiz N°4 y es retenido en la malla N°8. Con ello, el módulo de finura se corrige a 3, el cual cumple con el rango establecido.

Una vez se tenga todo en cumplimiento, se elige la dosificación, que sigue la metodología de dosificación ACI, el cual se muestra en los Anexos A.5, A.6, A.7, A.8, A.9 y A.10

3.2.2 Dosificación con Aditivo Plastificante

La dosificación con aditivo plastificante tiene las mismas pautas de seguimiento que una dosificación convencional, con la peculiaridad que el % de aditivo está ligado a la cantidad de cemento presente en la dosificación.

Dado que el plastificante tiene una consistencia viscosa, como primera medida es calcular su peso específico, el cual se obtiene de manera simple.

Con una jeringa de capacidad de 10ml, se vierte los 10 ml del aditivo plastificante sin cloruro en un recipiente pequeño, se toman 3 muestras y se pesa en la balanza.

Con ello se obtuvo un peso específico de $1,4 \text{ g/cm}^3$.

3.2.3 Preparación para los ensayos a compresión y tracción indirecta

3.2.3.1 Preparación de los materiales y equipo

La preparación de los agregados siguió dos cursos principalmente:

Para el agregado grueso, se lavó el mismo un día o un par de días antes de la dosificación para que esté lo más limpia posible.

Para el agregado fino, que no contiene suciedad (dado que la cantidad de material que pasa el tamiz N°200 es 1,1%) no hubo necesidad de lavarlo; pero sí era necesario tamizarlo, por lo que el empleo de los tamices N°4 y N°8 antes de cada dosificación era necesario para preparar el agregado fino adecuado.

El cemento a utilizar se resguardó en un lugar limpio y seco dentro del laboratorio, cuidando siempre que en cada uso se cierre la bolsa lo más ajustado posible a fin de evitar la entrada de humedad.

3.2.3.2 Número de probetas

a) Hormigón convencional

Para el hormigón de 21 MPa, se preparó 5 probetas para su ensayo a compresión a 28 días y 3 probetas para el de tracción indirecta. Total de 8 probetas.

Para el hormigón de 16 MPa, se preparó 3 probetas para su ensayo a compresión y tracción indirecta a 28 y 14 días respectivamente. Total de 12 probetas

b) Hormigón con Aditivo Plastificante

Para el hormigón de 21 MPa, se usó un % de aditivo plastificante de 0,3%, 0,5% y 2%; dentro de los cuales se preparó 5 probetas para su ensayo a compresión a 28 días y 3 probetas para el de tracción indirecta respectivamente. Total de 24 probetas.

Para el hormigón de 16 MPa, se usó un % de aditivo plastificante de 0,3%, 0,5% y 2%; dentro de los cuales se preparó 3 probetas para su ensayo tanto a compresión y a tracción indirecta a 28 y 14 días respectivamente. Total de 36 probetas

3.2.3.3 Forma y dimensiones de la probeta

Las probetas siguen las dimensiones estándar que dicta la norma ASTM C-31, la cual indica dimensiones de 15 cm de diámetro x 30 cm de altura (6 x 12 plg).

3.2.3.4 Procedimiento de vaciado

Se empleó una dosificación con un 15% de pérdidas, ya que con 20% el material que sobraba era muy considerable.

Una vez pesados la grava, la arena y el cemento en sus respectivas fuentes, además de tener 2 baldes con un 50% de agua de la dosificación respectivamente, se debe acomodar todo el equipo que se empleará de manera que se pueda ejecutar la práctica de manera ordenada y responsable.

Antes que nada, añadir un poco de agua en ella (unos 100-200 ml) a la mezcladora para evitar que la misma absorba el agua de la dosificación; luego se retira el agua y ya se tiene una mezcladora operable.

Lo primero que se debe efectuar es prender la mezcladora e inmediatamente ingresar el 50% del agua de dosificación en la misma. (un balde)

Luego se ingresa el 70% de grava a la mezcladora, luego el 70% de arena con cemento.

Se añade 3/5 partes del agua del balde restante a la mezcla (es aproximadamente el 30% de la dosificación). Se coloca el resto de grava, arena y cemento a la mezcla. Finalmente se añade el resto del agua y se espera que la mezcladora actúe por entre 60 a 75 segundos (ver Anexo A.11).

Se vierte la mezcla en una bandeja metálica de gran capacidad para evitar derroche del material al piso. Se procede a efectuar el ensayo de revenimiento tal cual indica ASTM C-143 y se verifica la consistencia del ensayo.

Finalmente se elaboran las probetas de hormigón tal cual indica la ASTM C-31.

3.2.3.5 Prueba de Revenimiento

De acuerdo a la Normativa ASTM C-143, para observar la consistencia y revenimiento del hormigón.

❖ Materiales y equipo

- ♦ Molde con forma de cono truncado, con base de diámetro igual a 8" (213 mm), diámetro superior de 4" (102 mm) y una altura de 12" (305 mm). Cuenta con abrazaderas y un par de pedales
- ♦ Un badilejo
- ♦ Varillador: varilla lisa con punta redonda de 5/8" de diámetro y una longitud de 24".
- ♦ Mezcla de hormigón uniforme fresco con agregado grueso no mayor de 1 1/2" (cumple)
- ♦ Cinta métrica.
- ♦ Una base de metal

La práctica se realiza rápidamente para obtener resultados consistentes.

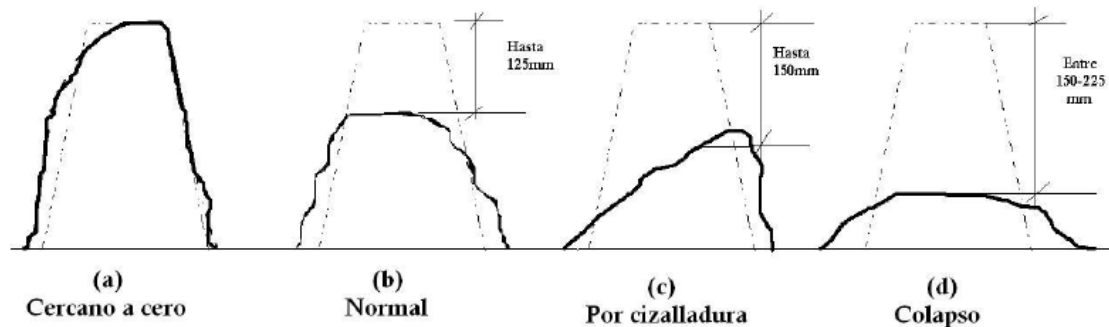
En todo momento se presiona con los pies los pedales fijados en la base del molde.

Se vierte la mezcla de hormigón hasta llenar 1/3 de volumen del molde y se varilla con 25 golpes; en términos de altura la primera capa se llena a los 2 5/8" (70 mm), la segunda capa se llena hasta una altura de 6 1/8" (160 mm) y la capa final hasta la copa del molde y rebalsando un poco. A cada capa se varilla con 25 golpes.

Finalmente se enrasa la superficie del molde y se levanta el molde verticalmente, en un periodo de tiempo de 5 ± 2 segundos.

Las posibles formas que puede adoptar la mezcla en la prueba de revenimiento es la siguiente:

Figura 3.1: Formas que adopta la mezcla en la prueba de revenimiento



La forma (a) es de consistencia seca, de pésima trabajabilidad; lo cual no se puede ensayar, salvo aplicando lo que dicta la Norma ACI 211.3 (Guía para la selección de proporciones para hormigón sin revenimiento).

La forma (b) hace referencia a hormigones de consistencia plástica y fluida, lo cual indica una trabajabilidad buena o excelente. Es el más utilizado en cualquier tipo de estructura civil hasta la fecha por su fácil aplicación en obra y por ser la más conocida en el campo laboral.

La forma (c) indica que el hormigón carece de plasticidad y cohesión. Resultados satisfactorios sobre este tipo de consistencia son cuestionables.

La forma (d) son las de consistencia líquida o superfluidificada como conocen otros autores. Se debe por el exceso de agua o por el empleo de plastificantes o superplastificantes. Se debe tener cuidado en su compactación, ya que son susceptibles a segregación por vibración. Se recomienda varillado o vibración muy leve y cuidadosa.

3.2.4 Ensayo de rotura de probetas a Compresión

Recopilación de los resultados de las probetas trabajadas a compresión

❖ Materiales y equipo

- ♦ Flexómetro.
- ♦ Trapo.

- ♦ Balanza con precisión de 1 g.
- ♦ 1 par de gomas circulares.
- ♦ Equipo de compresión.

❖ **Memoria de la práctica**

Es aconsejable que las probetas tengan un par de días de secado antes del ensayo para evitar roturas prematuras.

Lo primero que se realiza es limpiar la probeta a ensayar y luego verificar las dimensiones de la misma con el flexómetro. Se anotan las dimensiones reales correspondientes. Luego se debe pesar la probeta en la balanza.

Se colocan un par de gomas de soporte en la parte superior e inferior de la probeta con el fin de poder uniformizar las superficies de la probeta y que, al entrar en contacto con el pistón del equipo de compresión, la fuerza se distribuya homogéneamente.

Se anotan los datos de la probeta en el equipo, se baja la palanca y se espera a la rotura.

Se anotan los resultados.

3.2.5 Ensayo de rotura de probetas a Tracción Indirecta

Recopilación de los resultados de las probetas trabajadas a tracción indirecta

❖ **Materiales y equipo**

- ♦ Flexómetro.
- ♦ Trapo.
- ♦ Balanza con precisión de 1 g.
- ♦ Discos metálicos.
- ♦ Equipo de compresión.
- ♦ Equipo de tracción indirecta.

❖ Memoria de la práctica

Una vez limpias y pesadas las probetas, se debe colocar horizontalmente las mismas en el equipo de tracción indirecta, acomodando la misma hasta que esté simétricamente en equilibrio. Dado que el equipo de compresión está diseñado para trabajar a una altura de 30 cm, se debe nivelar con discos metálicos hasta que el equipo de tracción indirecta haga contacto con el pistón de compresión.

Se debe acomodar el conjunto probeta – equipo hasta que esté simétrico para que la fuerza que ejerza el pistón sea distribuida uniformemente.

Se anotan las dimensiones de la probeta, el peso, la edad y la velocidad de rotura, que es el 75% del de una rotura a compresión (velocidad de 0,3 MPa/s).

Se baja la palanca, se espera que la probeta se fracture y se anotan los resultados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Características físicas y mecánicas de los agregados

Recalcando nuevamente, el banco de agregados utilizados fue proveniente de la empresa ERIKA S.R.L.

Después de realizar los ensayos que dicta la Normativa ASTM C-136, se pudo verificar que los agregados cumplen con los requisitos de dosificación para poder realizar el trabajo de investigación.

Tabla 4.1: Granulometría Agregado Fino Real

Peso Total (g)				1029,13	A.S.T.M.	C-136	Error=	0,091	Ok
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	%Ret (g)	Ret. Acum (g)	% Ret Acum	% Que Pasa del Total	M.F.=	3,23	
Nº4	4,75	1,17	0,11	1,17	0,11	99,89	T.M.N.=	2,36	
Nº8	2,36	253,10	24,68	254,27	24,79	75,21			
Nº16	1,18	257,87	25,05	512,13	49,84	50,16			
Nº30	0,60	188,60	18,29	700,73	68,13	31,87			
Nº50	0,30	166,07	16,10	866,80	84,23	15,77			
Nº100	0,15	120,47	11,73	987,27	95,96	4,04			
Nº200	0,08	31,83	3,07	1019,10	99,03	0,97			
Base	-	9,10	0,88	1028,20	99,91				

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.2: Granulometría Agregado Fino Modificada

Peso Total (g)				902,58	A.S.T.M.	C-136	Error=	0,103	Ok
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	%Ret (g)	Ret. Acum (g)	% Ret Acum	% Que Pasa del Total	M.F.=	2,98	
Nº4	4,75	1,17	0,11	1,17	0,13	99,87	T.M.N.=	2,36	
Nº8	2,36	126,55	12,34	127,72	14,22	85,78			
Nº16	1,18	257,87	25,05	385,58	42,79	57,21			
Nº30	0,60	188,60	18,29	574,18	63,65	36,35			
Nº50	0,30	166,07	16,10	740,25	82,01	17,99			
Nº100	0,15	120,47	11,73	860,72	95,39	4,61			
Nº200	0,075	31,83	3,07	892,55	98,90	1,10			
Base	-	9,10	0,88	901,65	99,90				

Fuente: Elaboración propia

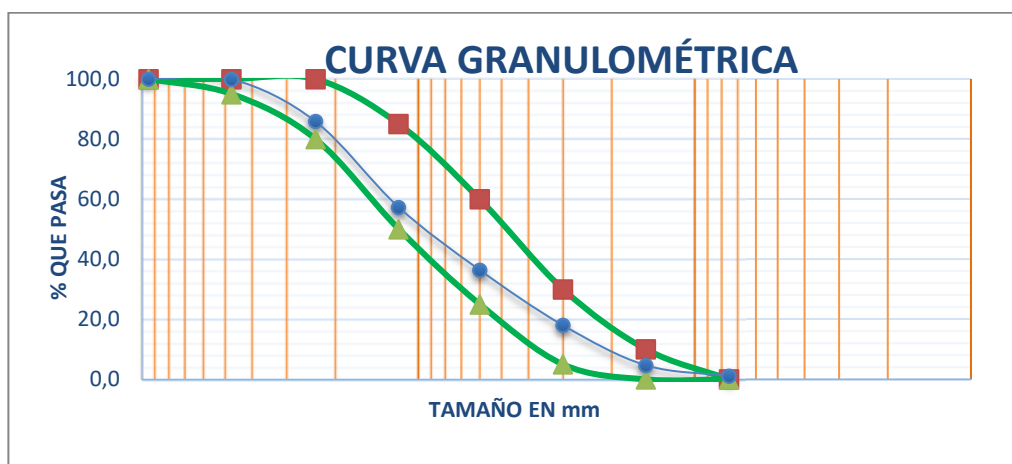
Tabla 4.3: Características físicas y mecánicas del agregado fino

	Arena
Peso Específico a Granel (g/cm^3)	2,85
Peso Específico con S.S.S. (g/cm^3)	2,93
Peso Específico aparente (g/cm^3)	3,11
Peso Unitario compactado (g/cm^3)	1,66
Peso Unitario suelto (g/cm^3)	1,60
Módulo de Finura	2,98
% de Absorción	2,93
% que pasa el tamiz N°200	1,10

Fuente: Elaboración propia

Lo que hay que destacar sobre la granulometría fue que el módulo de finura de la granulometría real no entraba dentro de los rangos aceptables de acuerdo a lo establecido a la Norma ASTM C-33, ya que este establece que el MF debe estar comprendido entre 2,3 y 3,1. Además, los porcentajes que pasan los tamices N°8 y N°16 tampoco estaban dentro de los parámetros establecidos, por lo que se tuvo que eliminar el 50% del agregado fino que pasa el tamiz N°4 y se retiene en el N°8, para evitar cambiar de banco. Con ello, los porcentajes que pasan cada tamiz se adaptan a los parámetros establecidos y además se logra un módulo de finura igual a 3, el cual también entra dentro de los márgenes establecidos.

Con ello, la curva granulométrica queda de la siguiente manera:

Gráfico N°4.1: Curva Granulométrica Agregado Fino

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.4: Granulometría Agregado Grueso

Peso Total (g)				10730,90	A.S.T.M.	C-136
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (g)	%Ret (g)	Ret. Acum (g)	% Ret. Acum	% Que Pasa del Total
2"	50	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,00	81,40	0,76	81,40	0,76	99,24
1/2"	12,50	5991,30	55,83	6072,70	56,59	43,41
3/8"	9,50	3637,40	33,90	9710,10	90,49	9,51
Nº4	4,75	1004,20	9,36	10714,30	99,85	0,15
Base		16	0,15	10730,30	99,99	

Error= 0,006 Ok

M.F.= 6,911

T.M.N.= 3/4"

*Fuente: Elaboración propia***Tabla 4.5: Características físicas y mecánicas del agregado grueso**

	Agregado Grueso
Peso Específico a Granel (g/cm ³)	2,58
Peso Específico con S.S.S. (g/cm ³)	2,62
Peso Específico aparente (g/cm ³)	2,69
Peso Unitario compactado (g/cm ³)	1,51
Peso Unitario suelto (g/cm ³)	1,46
Módulo de Finura	6,91
% de Absorción	1,53
Tamaño máximo nominal (plg)	3/4

Fuente: Elaboración propia

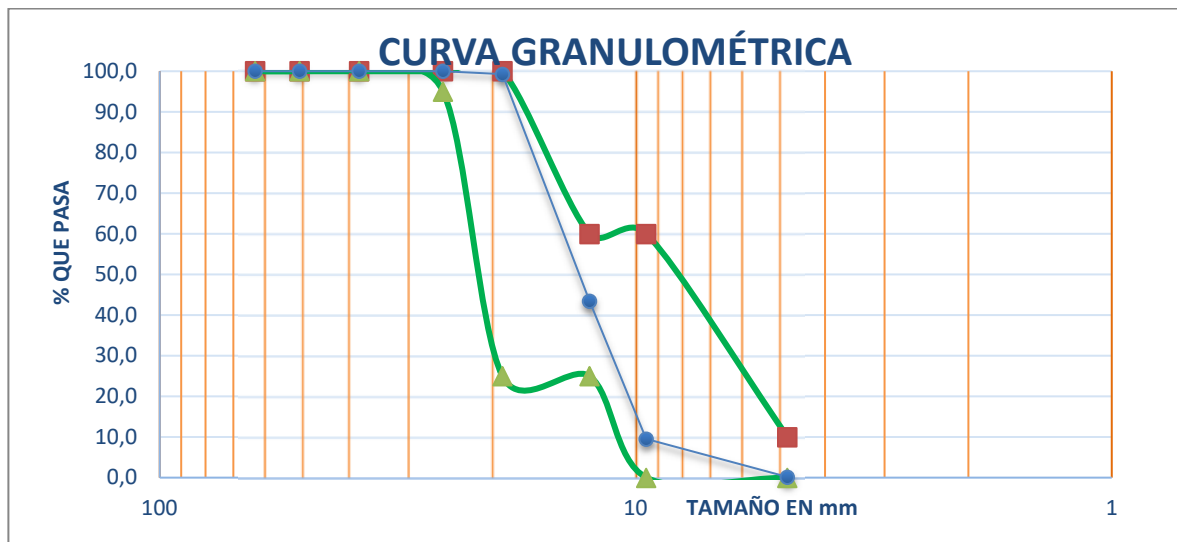
El agregado grueso cumple con los requisitos de desgaste admitidos por la Norma ASTM C-131, dando como coeficiente de desgaste preliminar un 24,33% y como desgaste real (post secado al horno) un 24,71%; cuyos valores se encuentran dentro del 40% máximo permisible para dosificación de hormigones.

Para el agregado grueso no se presentó ningún tipo de inconveniente, la granulometría entra dentro de las bandas granulométricas establecidas en las especificaciones de los agregados para el hormigón como indica la ASTM C-33, el tamaño máximo nominal fue de 3/4 pulgadas, el cual es un tamaño de agregado bastante práctico, ya que es viable si hablamos de hormigones con separación de armaduras de 2,5 cm; ya que la ACI permite un TMN de 3/4 la separación mínima de armaduras; además que se acopla eficientemente al vaciado de hormigón mediante bombeo, vibrado o varillado.

El agregado grueso no presentó una cantidad considerable de polvo o material ajeno al mismo, como pequeños fragmentos de ladrillo; pero aun así al momento de realizar la dosificación se hizo el respectivo lavado a fin de garantizar con mayor precisión que se empleará en su totalidad agregado grueso.

La curva granulométrica queda de la siguiente manera:

Gráfico N°4.2: Curva Granulométrica Agregado Grueso



Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de consistencias obtenidas en la mezcla de hormigón

Conforme se hizo el ensayo de revenimiento por el Cono de Abrams tal como indica la Norma ASTM C-143, se puede apreciar 5 diferentes revenimientos, siendo el primero producto de una mala dosificación (consistencia seca), cuyos resultados se descartan; el segundo para un hormigón sin aditivos tiene consistencia plástica; el tercero con aditivo plastificante carente de cloruros al 0,3% de igual manera tiene consistencia plástica; el cuarto con aditivo al 0,5 % tiene consistencia fluida y el quinto con aditivo al 2% es de consistencia líquida. Todo ello se puede apreciar en el Anexo A.60: A.60.1, A.60.2, A.60.3, A.60.4 y A.60.5.

Para entender las consistencias mencionadas, revisar Anexo A.6

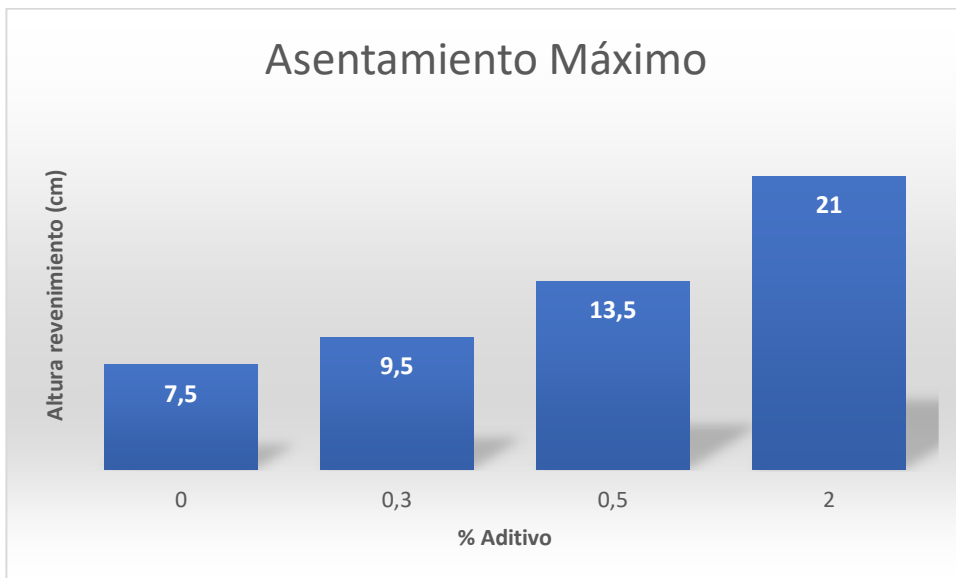
Una representación gráfica de los resultados obtenidos se mostrará a continuación:

Gráfico N°4.3: Asentamiento mínimo obtenido en la mezcla de hormigón



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.4: Asentamiento máximo obtenido en la mezcla de hormigón



Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis de resistencias a compresión en las probetas

Al realizar la aplicación de la normativa de dosificación por la ACI, al no tener probetas de prueba para determinar la desviación estándar en el diseño, se aplica la suma de un valor de 8,5 MPa (ver Anexo A.8) para llegar a la resistencia indicada. Con 5 probetas de prueba se obtuvo una dosificación adecuada para llegar a una resistencia de 16 MPa. Para obtener la resistencia requerida de 21 MPa se requirió de 12 probetas de prueba, ya que las primeras 3 tuvieron una consistencia seca, la cual repercutió en coqueas en las probetas, lo que se tuvo que desechar; las otras 9 probetas fueron a distintas dosificaciones hasta que se logró obtener la resistencia de 21 MPa. Cabe recalcar que las dosificaciones en las probetas de prueba fueron dadas de acuerdo a lo que indica la Normativa ACI, la cual indica que en caso de no salir a la primera las resistencias estipuladas se puede proyectar con una dosificación superior hasta que se logre llegar a las resistencias planteadas.

Un dato curioso de todo el proceso de elaboración es que el hormigón no tiene las resistencias promedio a la edad de 7 días o a los 14 días si se emplean tablas de proyección de resistencias siendo que se conjetura que el cemento empleado en el proyecto es de fraguado lento, además que la temperatura de la piscina de curado de laboratorio no mantiene una temperatura constante durante el proceso de curado de las probetas, siendo usualmente 18°C, temperatura menor que lo que establece la Norma ASTM C-31, el cual indica una temperatura de 23 ± 2 °C, por lo que el uso de tablas de proyección no es preciso y es preferente el empleo de ecuaciones, como sería el que indica el Código Modelo CEB-FIP 1990 (ver Anexo A.12).

El análisis que se plantea es comparar y relacionar el comportamiento de hormigones de mediana resistencia, tomando como referencia el hormigón de 16 MPa y el de 21 MPa, ante la resistencia a compresión añadiendo en la dosificación una variación de aditivo plastificante sin cloruros en 3 distintas variaciones dentro de lo permitido (0,3%, 0,5% y 2%)

Entonces las variables presentes son:

- Resistencia a compresión del hormigón (variable dependiente)
- Adición de Aditivo Plastificante sin cloruros a la dosificación (variable independiente)

En función a las variables establecidas se generaron las gráficas correspondientes, en las cuales se brinda información respecto a su comportamiento entre ellas.

4.3.1 Análisis de los resultados y búsqueda de datos atípicos (Compresión)

Se recopilan todos los datos en tablas a fin de tener acceso libre a las mismas para poder utilizar las mismas en los cálculos que se requieran hacer.

Como primera medida de control, se calculan la desviación estándar y el coeficiente de variación para el hormigón de 16 MPa y para el hormigón de 21 MPa para conocer si los datos son aceptables o no. Ver Anexo A.23.

Tabla 4.6: Calificación de la preparación de hormigón respecto a su coeficiente de variación

Coficiente de variación v , en %	10	15	20	25
Calificación	Muy bien	Bien	Aceptable	Mal

Fuente: “El control Estadístico de la calidad en la técnica del hormigón”, A. Wogrin, Zement and Beton, 1974

El coeficiente de variación no pasa de 20%, por lo que aprueba en primera instancia. Como segunda medida, se verifica que no haya datos atípicos, por lo que se realizará 3 estudios estadísticos referentes a la localización de estos parámetros: Prueba de Dixon, Prueba de Grubbs y el Criterio de Chauvenet

Los resultados analizados de cada dato se aprecian en los Anexos: A.28, A.29 y A.30; pero en resumen se localizaron 2 incidencias: 1 dato, el del hormigón de 21 MPa con adición de 2% de aditivo plastificante carente de cloruros, en donde las 3 Pruebas coinciden en dicho dato; y otra en donde solamente la Prueba de Grubbs lo considera

atípico, este fue para el hormigón de 16 MPa con adición de 2% de aditivo plastificante carente de cloruros a los 28 días.

Estos 2 datos atípicos se descartan y se evalúan nuevamente todos los datos a modo de verificación. Ver Anexos: A.34, A.36, A.37 y A.38.

Concluido con este análisis, se aceptan los resultados y se pasa al siguiente punto de la investigación.

Coefficiente de correlación (R^2)

El coeficiente de correlación es una medida que permite conocer el grado de asociación lineal entre dos variables cuantitativas.

De acuerdo a la tabla 4.7 nos muestra el grado de aceptabilidad de la relación lineal:

Tabla 4.7: Rango aceptabilidad de correlación

Rango		Relacion Lineal
±0,96	±1,0	Perfecta
±0,85	±0,95	Fuerte
±0,70	±0,84	Significativa
±0,50	±0,69	Moderada
±0,20	±0,49	Débil
±0,10	±0,19	Muy Débil
±0,09	±0,0	Nula

Fuente: <https://platzi.com/tutoriales/1269-probabilidad-estadistica/2308-coeficiente-de-correlacion-que-es-y-para-que-sirve/>

Lo más conveniente es obtener resultados con una correlación próxima al 1; pero eso es demasiado difícil de conseguir; puesto que existen muchas variables que pueden llegar a intervenir en los resultados, como la temperatura y el clima en el cual se dosificaron las diferentes probetas, el cuidado de cerrar las bolsas de cemento a fin de evitar que ingrese la humedad del ambiente y ésta reaccione con el cemento, generando endurecimiento y con ello perdiendo las propiedades del cemento al momento de dosificar, la asimetría en las caras de las probetas al momento del moldaje y enrasado de la misma, entre otros factores.

4.3.2 Evaluación de las resistencias a compresión

Se realiza la recopilación de todos los datos obtenidos en laboratorio para proceder a ordenar y crear las tablas de datos correspondientes a cada tipo de dosificación y sus respectivas derivadas (porcentajes de distribución del aditivo plastificante sin cloruros).

Nota.- Las resistencias que se muestran en las tablas siguientes se refieren a la media estándar de los datos registrados para cada hormigón en estudio, pudiendo observarse todos los datos de registro en Anexo A.19 para hormigón de 16 MPa y el Anexo A.21 para hormigón de 21 MPa.

Nomenclatura a utilizar en los cuadros:

H-16 = Hormigón de 16 MPa de resistencia de compresión

H-21 = = Hormigón de 21 MPa de resistencia de compresión

Tabla 4.8: Resistencia a compresión a los 28 días para H-16

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la compresión (MPa)	16,45	21,20	18,35	16,99
Incremento Resistencia compresión en %	-	28,83	11,51	3,26

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.9: Resistencia a compresión a los 14 días para H-16

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la compresión (MPa)	13,92	13,58	13,01	17,92
Incremento Resistencia compresión en %	-	-2,42	-6,54	28,74

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.10: Resistencia a compresión a los 28 días para H-21

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la compresión (MPa)	20,99	21,19	22,61	23,77
Incremento Resistencia compresión en %	-	0,90	7,67	13,17

Fuente: Elaboración propia

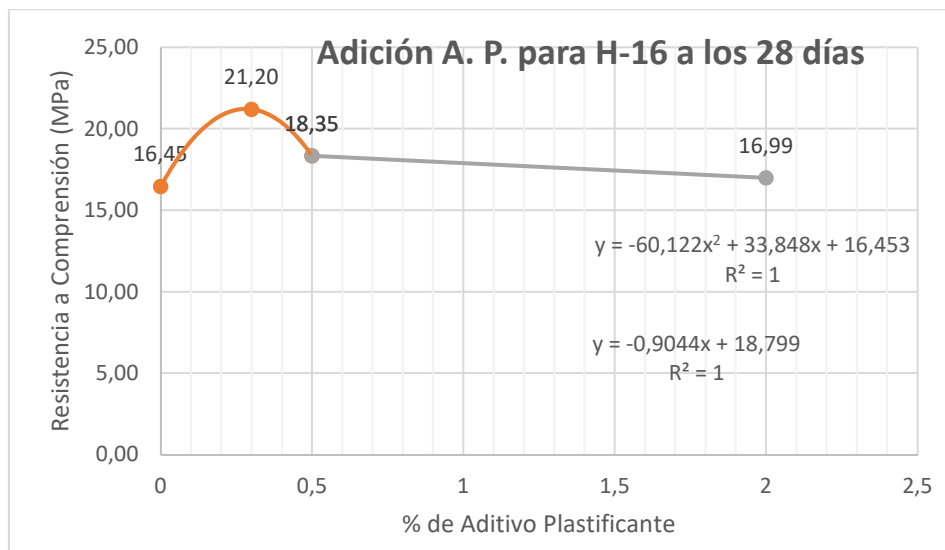
Donde:

P.P. = Probeta Patrón

4.3.3 Determinación de curvas de resistencia a compresión vs. porcentaje de aditivo plastificante

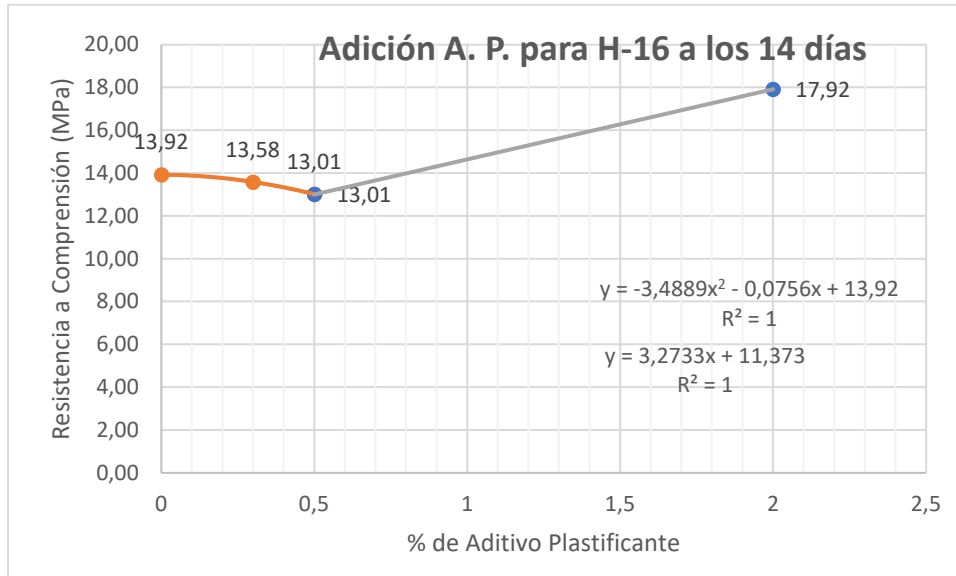
Para realizar el ajuste de los datos adquiridos en los ensayos de compresión, con el fin de conseguir los gráficos de mejor ajuste a la relación resistencia a compresión vs. porcentaje de aditivo plastificante en los 2 tipos de hormigones estudiados, se emplea la herramienta Excel:

Gráfico N°4.5: Resistencia Hormigón de 16 MPa (28 días) con distintos % aditivo plastificante



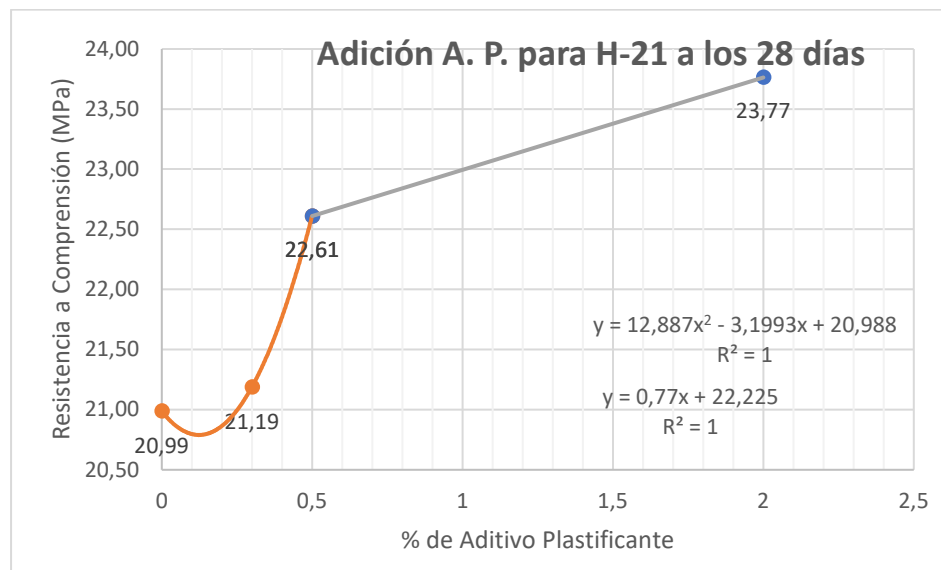
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.6: Resistencia Hormigón de 16 MPa (14 días) con distintos % aditivo plastificante



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.7: Resistencia Hormigón de 21 MPa (28 días) con distintos % aditivo plastificante



Fuente: Elaboración propia

Las gráficas presentan dos tipos de funciones matemáticas, una cuadrada con los % de aditivo del 0%; 0,3% y 0,5% y la segunda es una lineal con los % de aditivo plastificante del 0,5% y 2%. Se lo interpretó de esa manera ya que dentro del intervalo de 0,5% al 2% de aditivo plastificante hay una brecha considerable.

Gráfica 4.5:

- ❖ H-16 a los 28 días + Aditivo Plastificante a 0,3% y 0,5%:

$$\text{Resistencia a compresión} = -60,122x^2 + 33,848x + 16,453$$

$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a compresión} = -0,9044x + 18,799$$

$$R^2 = 1$$

Gráfica 4.6:

- ❖ H-16 a los 14 días + Aditivo Plastificante a 0,3%, 0,5% y 2 %:

$$\text{Resistencia a compresión} = -3,4889x^2 - 0,0756x + 13,92$$

$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a compresión} = 3,2733x + 11,373$$

$$R^2 = 1$$

Gráfica 4.7:

- ❖ H-21 a los 28 días + Aditivo Plastificante a 0,3%, 0,5% y 2 %:

$$\text{Resistencia a compresión} = 12,887x^2 - 3,1993x + 20,988$$

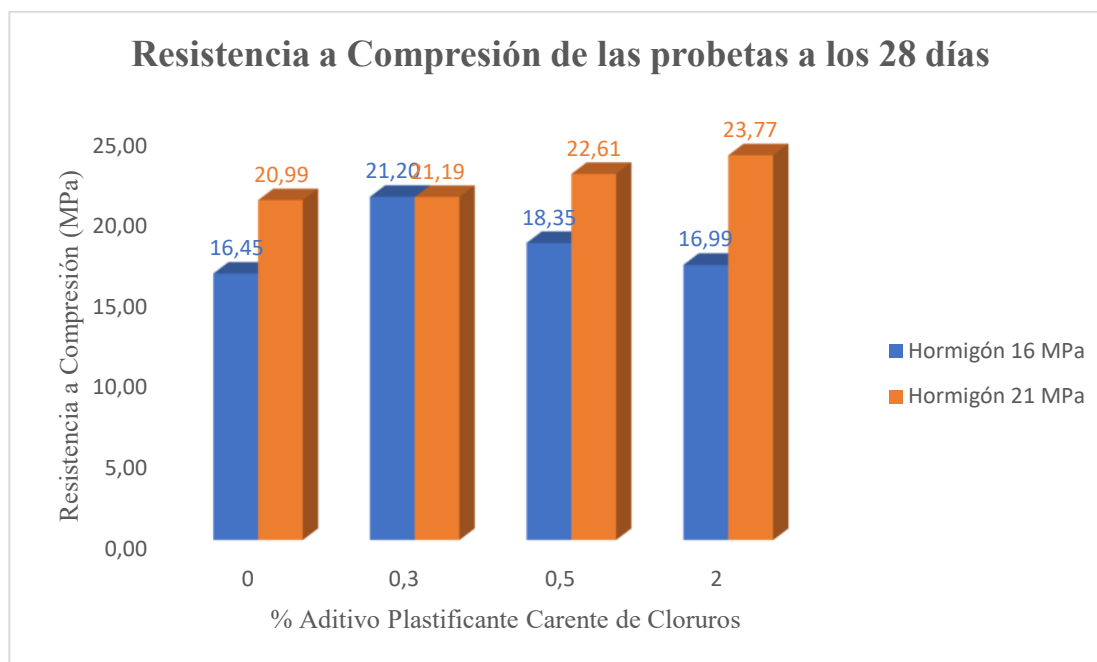
$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a compresión} = 0,77x + 22,225$$

$$R^2 = 1$$

Gráfico N°4.8: Comparación de las Resistencias a Compresión del Hormigón de 16 MPa con el de 21 MPa a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de resistencias a tracción indirecta en las probetas

Conllevará la misma modalidad que el de compresión.

4.4.1 Análisis de los resultados y búsqueda de datos atípicos (Tracción Indirecta)

Es el mismo análisis que se hizo como con los datos de compresión.

En este caso, para el hormigón de 16 MPa patrón (sin adición de aditivo plastificante) a 28 días se encontró que tiene un coeficiente de variación superior al 20% (23,33%, ver Anexo A.24) y con la verificación de las 3 Pruebas ya mencionadas para hallar valores atípicos se confirma que posee un dato inconsistente (ver Anexos: A.31, A.32 y A.33).

Se descarta este dato y se vuelve a realizar las Pruebas como se puede comprobar en los Anexos: A.35, A.39, A.40 y A.41.

Concluido con este análisis, se aceptan los resultados y se pasa al siguiente punto de la investigación.

Coefficiente de correlación (R^2)

De igual manera, se adaptará las gráficas en función a las respuestas que brindaron los resultados de los ensayos.

4.4.2 Evaluación de las resistencias a tracción indirecta

De igual manera, se procede al registro de datos obtenidos en laboratorio.

Nota.- Las resistencias que se muestran en las tablas siguientes se refieren a la media estándar de los datos registrados para cada hormigón en estudio, pudiendo observarse todos los datos de registro en Anexo A.20 para hormigón de 16 MPa y el Anexo A.22 para hormigón de 21 MPa.

Tabla 4.11: Resistencia a tracción indirecta a los 28 días para H-16

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	2,23	3,37	2,89	2,37
Incremento Resistencia tracción indirecta en %	-	51,27	29,45	6,28

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12: Resistencia a tracción indirecta a los 14 días para H-16

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	2,26	2,42	2,69	2,62
Incremento Resistencia tracción indirecta en %	-	6,92	18,70	15,91

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.13: Resistencia a tracción indirecta a los 28 días para H-21

	Aditivo Plastificante al:			
	P.P.	0,3%	0,5%	2%
Resistencia a la tracción indirecta (MPa)	2,92	3,04	3,30	3,53
Incremento Resistencia tracción indirecta en %	-	4	8,78	6,86

Fuente: Elaboración propia

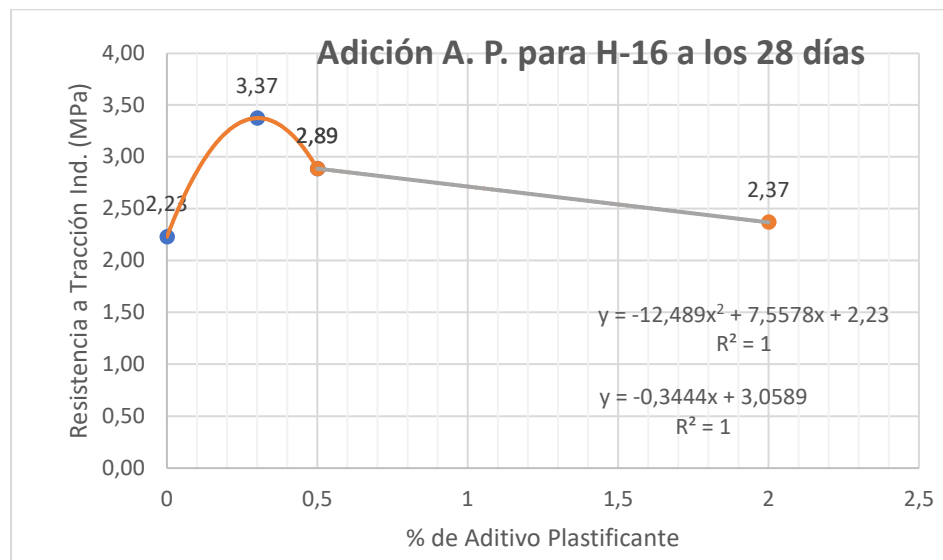
Donde:

P.P. = Probeta Patrón

4.4.3 Determinación de curvas de resistencia a tracción indirecta vs. porcentaje de aditivo plastificante

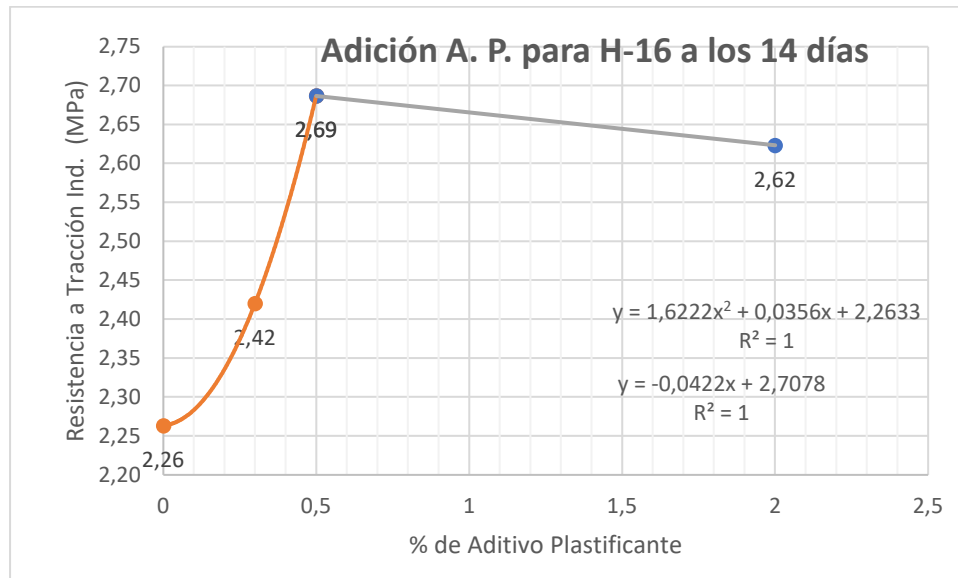
Para realizar el ajuste de los datos adquiridos en los ensayos de tracción indirecta, con el fin de conseguir los gráficos de mejor ajuste a la relación resistencia a tracción indirecta vs. porcentaje de aditivo plastificante en los 2 tipos de hormigones estudiados, se emplea la herramienta Excel nuevamente:

Gráfico N°4.9: Resistencia Hormigón de 16 MPa (28 días) con distintos % aditivo plastificante



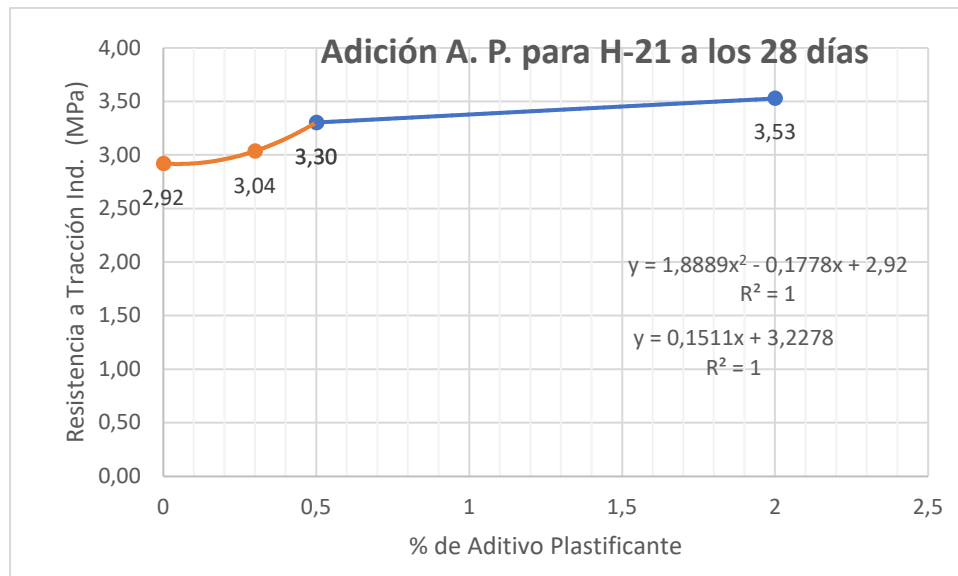
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.10: Resistencia Hormigón de 16 MPa (14 días) con distintos % aditivo plastificante



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.11: Resistencia Hormigón de 21 MPa (28 días) con distintos % aditivo plastificante



Fuente: Elaboración propia

Las gráficas presentan dos tipos de funciones matemáticas, una cuadrada con los % de aditivo del 0%; 0,3% y 0,5% y la segunda es una lineal con los % de aditivo plastificante del 0,5% y 2%. Se lo interpretó de esa manera ya que dentro del intervalo de 0,5% al 2% de aditivo plastificante hay una brecha considerable.

Gráfica 4.9:

- ❖ H-16 a los 28 días + Aditivo Plastificante a 0,3% y 0,5%:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = -12,489x^2 + 7,5578x + 2,23$$

$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = -0,3444x + 3,0589$$

$$R^2 = 1$$

Gráfica 4.10:

- ❖ H-16 a los 14 días + Aditivo Plastificante a 0,3%, 0,5% y 2 %:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = 1,6222x^2 + 0,0356x + 2,2633$$

$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = -0,0422x + 2,7078$$

$$R^2 = 1$$

Gráfica 4.11:

- ❖ H-21 a los 28 días + Aditivo Plastificante a 0,3%, 0,5% y 2 %:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = 1,8889x^2 - 0,1778x + 2,92$$

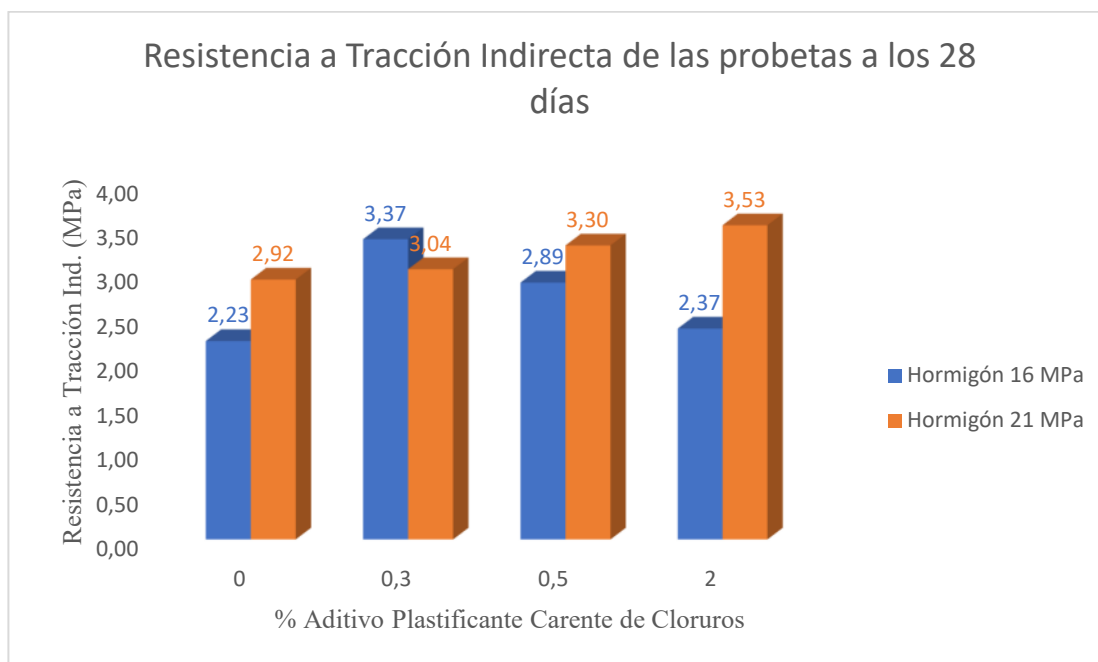
$$R^2 = 1$$

- ❖ Aditivo del 0,5% al 2%:

$$\text{Resistencia a tracción indirecta} = 0,1511x + 3,2278$$

$$R^2 = 1$$

Gráfico N°4.12: Comparación de las Resistencias a Tracción del Hormigón de 16 MPa con el de 21 MPa a los 28 días



Fuente: Elaboración propia

4.5 Análisis de precios entre un hormigón convencional vs porcentaje de aditivo plastificante

Los factores que influyen entre un hormigón convencional y añadiendo aditivos son 2: el aditivo en sí y la maquinaria a emplear, siendo que, al usar el aditivo, el revenimiento del hormigón se incrementa, por lo que su consistencia se vuelve más fluida.

Con una consistencia plástica y fluida, el uso de compactación por vibrado sigue siendo la mejor opción que se puede emplear en obra, por lo que para dosificaciones de aditivo plastificante carente de cloruros al 0,3% y 0,5 % solo incrementará el costo del hormigón a causa de la adición del aditivo en sí.

En cambio, para una dosificación de aditivo plastificante carente de cloruros al 2%, al ser ya de consistencia líquida, emplear vibradores será perjudicial, por lo que se debe compactar por varillado; por ello el costo se incrementa no solo por la adición del

aditivo, sino también por el costo en mano de obra al ejercer un compactado manual, el tiempo se incrementa y por ende el costo.

Aclarando la misma, el análisis de precios unitarios es el siguiente:

TABLA 4.15: Precio Unitario de Hormigón de 16 MPa con 0,3% adición Aditivo Plastificante sin cloruros

DATOS GENERALES				
PROYECTO:		APLICACIÓN DE ADITIVO PLASTIFICANTE CARENTE DE CLORUROS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EN TARIJA		
Actividad:	-	Hormigón de 16 MPa con 0,3% aditivo plastificante sin cloruros	Cantidad:	1,00
Unidad:	m ³		Moneda:	BOLIVIANOS
Cantidad:	1,00			
Moneda:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
			PRODUCTIVO	TOTAL
1.- MATERIALES				
Arena	m ³	0,3260	100,000	32,60
Grava	m ³	0,3520	100,000	35,20
Cemento Portland	kg	367,3800	0,920	337,99
Agua	l	246,1490	0,060	14,77
Aditivo Plastificante sin cloruros	kg	1,1021	18,350	20,22
TOTAL MATERIALES				440,78
2.- MANO DE OBRA				
Capataz	hra	5,0000	25,000	125,00
Peón	hra	25,0000	10,000	250,00
Albañil	hra	25,0000	18,000	450,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA				825,00
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71,18%)		58,00%		478,50
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		194,74
SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS				673,24
TOTAL MANO DE OBRA				1.498,24
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Mezcladora de Hormigón	hra	0,6000	25,000	15,00
Vibradora de inmersión para Hormigón	hra	0,4000	20,000	8,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA		5,00%		74,91
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				97,91
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		10,00%		203,69
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				203,69
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		10%		224,06
TOTAL UTILIDAD				224,06
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = 3,09% DE 1+2+3+4+5 (3,09%)		3,09%		76,16
TOTAL IMPUESTOS				76,16
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6				2.540,84
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2.540,84

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.16: Precio Unitario de Hormigón de 16 MPa con 0,5% adición Aditivo Plastificante sin cloruros

DATOS GENERALES				
PROYECTO:		APLICACIÓN DE ADITIVO PLASTIFICANTE CARENTE DE CLORUROS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EN TARIJA		
Actividad:	-	Hormigón de 16 MPa con 0,5% aditivo plastificante sin cloruros	Cantidad:	1,00
Unidad:	m ³		Moneda:	BOLIVIANOS
Cantidad:	1,00			
Moneda:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
			PRODUCTIVO	TOTAL
1.- MATERIALES				
Arena	m ³	0,3260	100,000	32,60
Grava	m ³	0,3520	100,000	35,20
Cemento Portland	kg	367,3800	0,920	337,99
Agua	l	246,1490	0,060	14,77
Aditivo Plastificante sin cloruros	kg	1,8369	18,350	33,71
TOTAL MATERIALES				454,27
2.- MANO DE OBRA				
Capataz	hra	5,0000	25,000	125,00
Peón	hra	25,0000	10,000	250,00
Albañil	hra	25,0000	18,000	450,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA				825,00
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71,18%)		58,00%		478,50
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		194,74
SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS				673,24
TOTAL MANO DE OBRA				1.498,24
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Mezcladora de Hormigón	hra	0,6000	25,000	15,00
Vibradora de inmersión para Hormigón	hra	0,4000	20,000	8,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA		5,00%		74,91
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				97,91
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		10,00%		205,04
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				205,04
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		10%		225,55
TOTAL UTILIDAD				225,55
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = 3,09% DE 1+2+3+4+5 (3,09%)		3,09%		76,66
TOTAL IMPUESTOS				76,66
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6				2.557,67
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2.557,67

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.18: Precio Unitario de Hormigón convencional de 21 MPa

DATOS GENERALES				
PROYECTO:		APLICACIÓN DE ADITIVO PLASTIFICANTE CARENTE DE CLORUROS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EN TARIJA		
Actividad:	-	Hormigón de 21 MPa convencional	Cantidad:	1,00
Unidad:	m ³		Moneda:	BOLIVIANOS
Cantidad:	1,00			
Moneda:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
			PRODUCTIVO	TOTAL
1.- MATERIALES				
Arena	m ³	0,3010	100,000	30,10
Grava	m ³	0,3520	100,000	35,20
Cemento Portland	kg	445,6520	0,920	410,00
Agua	l	244,0680	0,060	14,64
TOTAL MATERIALES				489,94
2.- MANO DE OBRA				
Capataz	hra	5,0000	25,000	125,00
Peón	hra	25,0000	10,000	250,00
Albañil	hra	25,0000	18,000	450,00
		SUBTOTAL MANO DE OBRA		825,00
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71,18%)		58,00%		478,50
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		194,74
		SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS		673,24
			TOTAL MANO DE OBRA	1.498,24
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Mezcladora de Hormigón	hra	0,6000	25,000	15,00
Vibradora de inmersión para Hormigón	hra	0,4000	20,000	8,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA		5,00%		74,91
			TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	97,91
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		10,00%		208,61
			TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS	208,61
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		10%		229,47
			TOTAL UTILIDAD	229,47
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = 3.09% DE 1+2+3+4+5 (3.09%)		3,09%		78,00
			TOTAL IMPUESTOS	78,00
			TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6	2.602,17
			TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)	2.602,17

Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.20: Precio Unitario de Hormigón de 21 MPa con 0,5% adición Aditivo Plastificante sin cloruros

DATOS GENERALES				
PROYECTO:		APLICACIÓN DE ADITIVO PLASTIFICANTE CARENTE DE CLORUROS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EN TARIJA		
Actividad: -	Hormigón de 21 MPa con 0,5% aditivo plastificante sin cloruros	Cantidad:	1,00	
Unidad:	m ³	Moneda:	BOLIVIANOS	
Cantidad:	1,00			
Moneda:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
			PRODUCTIVO	TOTAL
1.- MATERIALES				
Arena	m ³	0,3010	100,000	30,10
Grava	m ³	0,3520	100,000	35,20
Cemento Portland	kg	445,6520	0,920	410,00
Agua	l	244,0680	0,060	14,64
Aditivo Plastificante sin cloruros	kg	2,2283	18,350	40,89
TOTAL MATERIALES				530,83
2.- MANO DE OBRA				
Capataz	hra	5,0000	25,000	125,00
Peón	hra	25,0000	10,000	250,00
Albañil	hra	25,0000	18,000	450,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA				825,00
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71,18%)		58,00%		478,50
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		194,74
SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS				673,24
TOTAL MANO DE OBRA				1.498,24
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Mezcladora de Hormigón	hra	0,6000	25,000	15,00
Vibradora de inmersión para Hormigón	hra	0,4000	20,000	8,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA 5,00%				74,91
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				97,91
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		10,00%		212,70
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				212,70
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		10%		233,97
TOTAL UTILIDAD				233,97
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = 3,09% DE 1+2+3+4+5 (3,09%)		3,09%		79,53
TOTAL IMPUESTOS				79,53
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6				2.653,18
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2.653,18

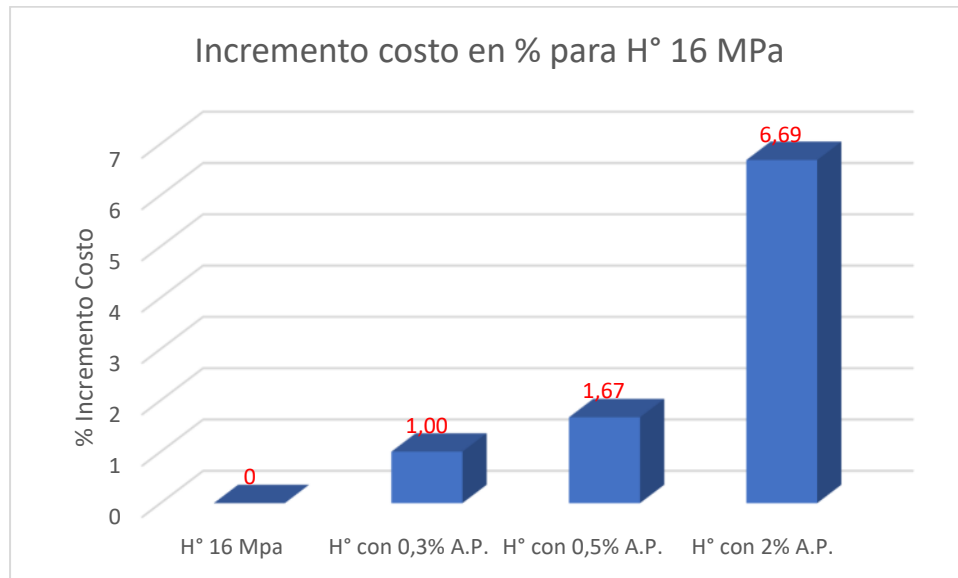
Fuente: Elaboración propia

TABLA 4.21: Precio Unitario de Hormigón de 21 MPa con 2% adición Aditivo Plastificante sin cloruros

DATOS GENERALES				
PROYECTO:		APLICACIÓN DE ADITIVO PLASTIFICANTE CARENTE DE CLORUROS PARA MEJORAR EL RENDIMIENTO Y RESISTENCIA DE ESTRUCTURAS EN TARIJA		
Actividad: -	Hormigón de 21 MPa con 2% aditivo plastificante sin cloruros	Cantidad:	1,00	
Unidad:	m ³	Moneda:	BOLIVIANOS	
Cantidad:	1,00			
Moneda:	BOLIVIANOS			
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO	COSTO
			PRODUCTIVO	TOTAL
1.- MATERIALES				
Arena	m ³	0,3010	100,000	30,10
Grava	m ³	0,3520	100,000	35,20
Cemento Portland	kg	445,6520	0,920	410,00
Agua	l	244,0680	0,060	14,64
Aditivo Plastificante sin cloruros	kg	8,9130	18,350	163,55
TOTAL MATERIALES				653,49
2.- MANO DE OBRA				
Capataz	hra	5,0000	25,000	125,00
Peón	hra	25,0000	10,000	250,00
Albañil	hra	25,0000	18,000	450,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA				825,00
CARGAS SOCIALES = (% DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA) (55% al 71,18%)		58,00%		478,50
IMPUESTOS IVA MANO DE OBRA = (% DE SUMA DE SUBTOTAL DE MANO DE OBRA + CARGAS SOCIALES)		14,94%		194,74
SUBTOTAL CARGAS SOCIALES E IMPUESTOS				673,24
TOTAL MANO DE OBRA				1.498,24
3.- EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				
Mezcladora de Hormigón	hra	0,6000	25,000	15,00
Vibradora de inmersión para Hormigón	hra	0,4000	20,000	8,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE MANO DE OBRA 5,00%				74,91
TOTAL EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				97,91
4.- GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				
GASTOS GENERALES = % DE 1+2+3		10,00%		224,96
TOTAL GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS				224,96
5.- UTILIDAD				
UTILIDAD = % DE 1+2+3+4		10%		247,46
TOTAL UTILIDAD				247,46
6.- IMPUESTOS				
IMPUESTOS IT = 3,09% DE 1+2+3+4+5 (3,09%)		3,09%		84,11
TOTAL IMPUESTOS				84,11
TOTAL PRECIO UNITARIO 1+2+3+4+5+6				2.806,17
TOTAL PRECIO UNITARIO ADOPTADO (Con dos (2) decimales)				2.806,17

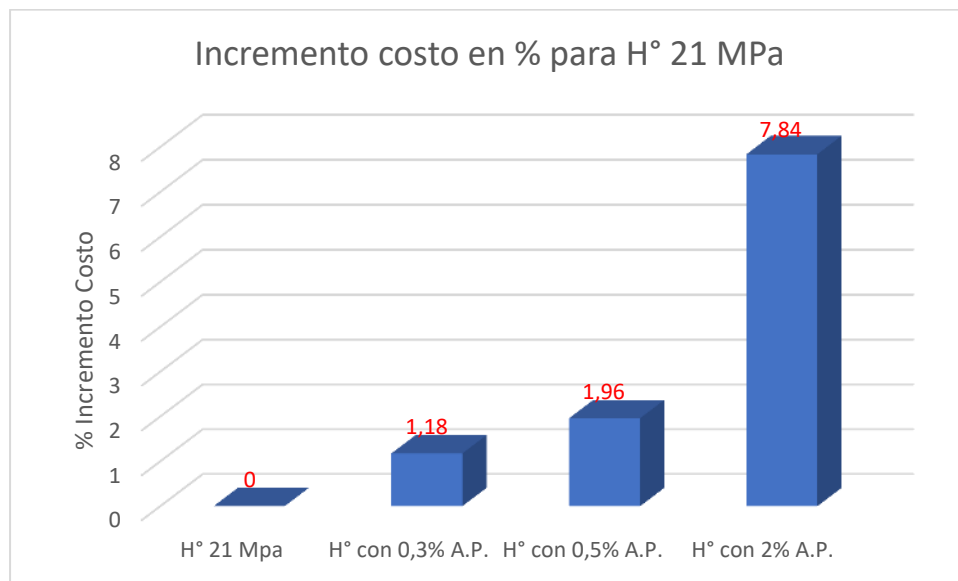
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.13: Incremento del costo del Precio Unitario de 1 m³ de Hormigón de 16 MPa



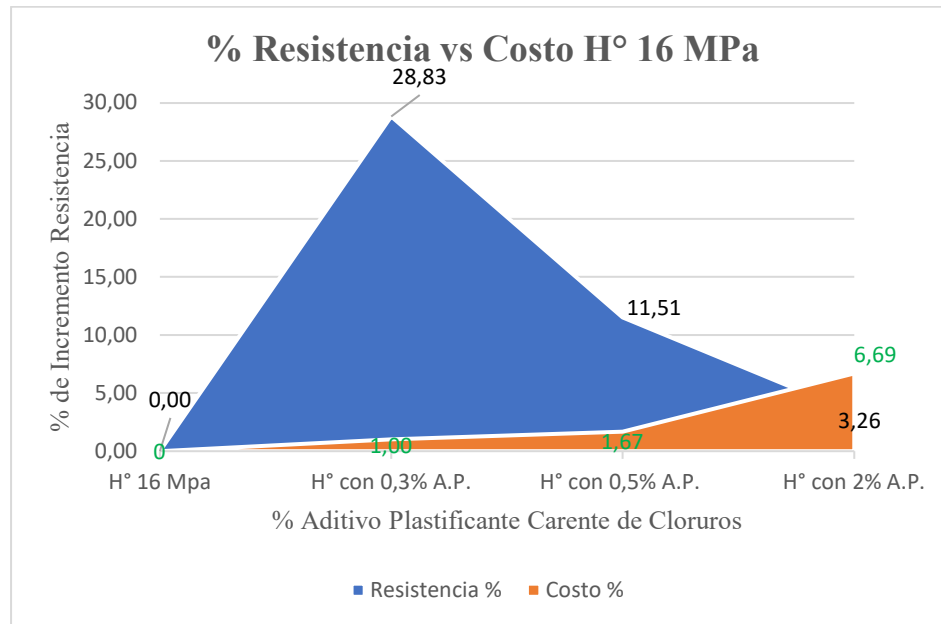
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.14: Incremento del costo del Precio Unitario de 1 m³ de Hormigón de 21 MPa



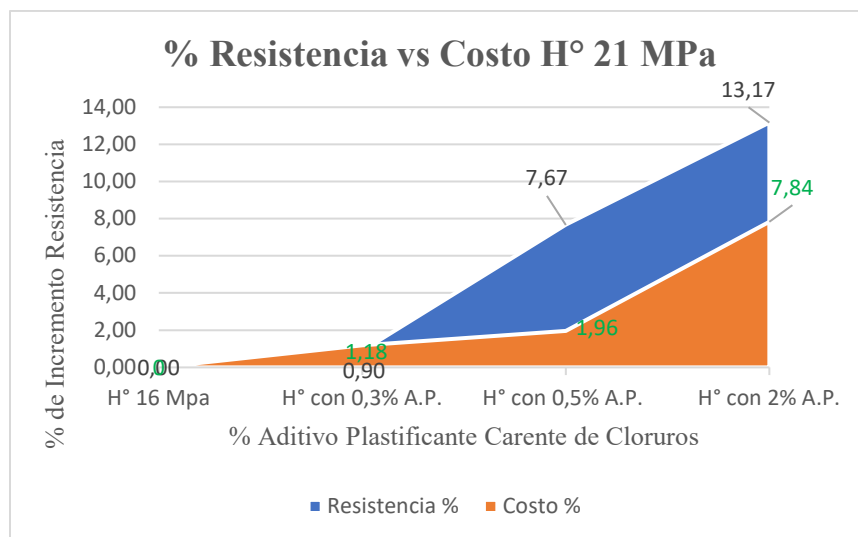
Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.15: Gráfica Comparativa del Incremento de Resistencia vs Costo de 1 m³ de Hormigón de 16 MPa



Fuente: Elaboración propia

Gráfico N°4.16: Gráfica Comparativa del Incremento de Resistencia vs Costo de 1 m³ de Hormigón de 21 MPa



Fuente: Elaboración propia

4.6 Contrastación de hipótesis

La hipótesis resulta ser correcta; pero su porcentaje de mejora difiere de un hormigón de 16 MPa al de uno de 21 MPa, siendo las mismas de la siguiente manera:

En hormigones de 16 MPa, los resultados indican que con los porcentajes más bajos la resistencia se incrementa en mayor proporción, siendo que añadiendo aditivo plastificante sin cloruros en 0,3 % recibe una mejora del 28,83 % de resistencia, siendo este el porcentaje de aditivo más eficiente.

En hormigones de 21 MPa, los resultados indican lo inverso al anterior, siendo que con los porcentajes más altos de aditivo plastificante sin cloruros la resistencia se incrementa en mayor proporción; así que añadiendo aditivo plastificante sin cloruros en 2 % recibe una mejora del 13,17 % de resistencia, siendo este el porcentaje de aditivo que más incrementa la resistencia; sin embargo, el costo para su elaboración es extremadamente alto en comparación con los otros porcentajes.

Para la resistencia a tracción sigue la misma lógica que lo obtenido en compresión, aunque los porcentajes de mejoras son inferiores, siendo que para hormigones de 16 MPa añadiendo aditivo plastificante sin cloruros en 0,3 % recibe una mejora del 51,27 % de resistencia; y para hormigones de 21 MPa añadiendo aditivo plastificante sin cloruros en 2 % recibe una mejora del 6,86 % de resistencia.

Conclusiones

- ✓ Al finalizar los ensayos a cada tipo de hormigón en estudio, en el momento de recopilar toda la información procedente de los resultados de las mismas, se puede apreciar que existe el aumento de resistencia para cada porcentaje de aditivo plastificante añadido; aunque el incremento para el hormigón de 16 MPa es inverso al que tiene el de 21 MPa; es decir, que para el primero se observa que mientras más aditivo se añade, menor es el incremento en la resistencia a compresión que obtendrá, mientras que para el segundo caso mientras más aditivo se añade, mayor es el incremento en resistencia a compresión que ganará.
- ✓ Los resultados obtenidos de laboratorio del ensayo Brasileiro para obtener la resistencia a tracción de los hormigones de 16 MPa y 21 MPa, tienen un carácter y comportamiento similar a los obtenidos con los ensayos de compresión, siendo que para hormigones de 16 MPa la resistencia se incrementa con % de aditivos de menor índole, aunque con 2% de aditivo plastificante el resultado es contraproducente (disminuye la resistencia); mientras que con hormigones de 21 MPa no hay una relación directa, siendo que con el 0,5% se obtiene los mejores resultados, continuando con el 2% y finalizando con el de 0,3%.
- ✓ Tomando como referencia el precio y la facilidad de puesta en obra para cada una de las distribuciones porcentuales efectuadas, se aprecia que utilizar un porcentaje de aditivo plastificante sin cloruro al 0,3% es muy eficiente para hormigones de 16MPa, dado que con un incremento en costo del 1%, la resistencia a compresión del hormigón mejora en un 28,83%.
- ✓ Para hormigones de 21MPa lo mejor es emplear un 0,5% de aditivo plastificante, siendo el incremento en costo del 1,96% y el aumento de resistencia a compresión del hormigón mejora en un 7,67%.
- ✓ Con respecto al costo, en el análisis de precios unitarios se puede observar que el rendimiento de Aditivo plastificante sin cloruros en 2% resulta antieconómico en ambos hormigones, pero a la vez de importante aplicación para fines de incremento en resistencias.

- ✓ La falla de incorporar un 2 % de aditivo plastificante sin cloruros en el hormigón radica en la consistencia líquida que tiene la misma en su estado fresco, puesto que un revenimiento de entre 19-21 cm es contraproducente de efectuar para una compactación por vibrado, viéndose obligado a utilizar la compactación por picado para evitar segregación del hormigón.

Recomendaciones

Con el fin de evitar tener resultados contraproducentes en obra y en cualquier ámbito de ingeniería civil, se puede indicar que:

- ✓ Realizar correctamente todos los ensayos de caracterización de los agregados grueso y fino y ser estricto con el cumplimiento de las Normativas establecidas como base del proyecto, en este caso en particular la Normativa ASTM.
- ✓ El romper probetas a los 14 días de hormigón de 16 MPa de resistencia no tiene correlación con los resultados que se obtienen a los 28 días de rotura, por lo que no se debe confiar en dichas proyecciones.
- ✓ Es recomendable tener un termostato u otro aparato regulador de temperatura en la piscina o el tanque donde se colocarán las probetas para el curado, ya que una temperatura variable y temperaturas bajas pueden acarrear a obtener resultados indeseados en las roturas de las probetas.
- ✓ Se debe de tener gran cuidado en el control de la humedad propia de la zona donde se emplearán los áridos, ya que esta podría afectar la relación agua/cemento del hormigón. En laboratorio no es de gran importancia puesto que previamente se secan las muestras de ensayo antes de la dosificación.
- ✓ Evitar utilizar cemento de empaques abiertos por más de 5 semanas, ya que la humedad del ambiente puede penetrar las partículas del cemento, comprometiendo la calidad y propiedades de la misma.
- ✓ Evitar el empleo de aditivos plastificantes a más del 2%, ya que la consistencia del hormigón sería líquida y la puesta en obra se dificultaría al únicamente poder ser compactada por varillado, ya que un vibrado en estas condiciones produciría segregación de los agregados.

- ✓ Al momento de realizar probetas de hormigón, siempre verificar que estas se encuentren en un terreno liso y firme, y que el enrasado de las mismas se realice diligentemente con el fin de obtener probetas en óptimas condiciones para que al momento de realizar las roturas no se presenten problemas.
- ✓ Cumplir y controlar el equipo de seguridad en el momento de emplear aditivos sin cloruros o cualquier aditivo, ya que estas son de carácter químico y puede ser nocivo para la salud.
- ✓ Consistencias de hormigones frescos de gran revenimiento conlleva a periodos de fraguado más lento, por lo que tener cuidado en el tiempo de desencofrado.
- ✓ El presente trabajo motiva a realizar estudios para resistencias mayores a 210 MPa para clarificar si con resistencias más altas, el porcentaje de incremento de resistencia del aditivo será en menor medida o llegará un punto en donde sea contraproducente.
- ✓ Realizar un estudio dentro del intervalo de adición de aditivo plastificante carente de cloruros del 0,5 % al 2 % para determinar el comportamiento que pueda tener la resistencia en ese rango de dosificación.