

“ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE LA CONTRACCIÓN DEL HORMIGÓN CON ADICIÓN DE ADITIVO”

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN.

El hormigón es la mezcla del cemento, agregados inertes (arena y grava) y agua, la cual se endurece después de cierto tiempo formando una piedra artificial.

Los elementos activos del hormigón son el agua y el cemento de los cuales ocurre una reacción química, después de fraguar alcanza un estado de gran solidez, y los elementos inertes, que son la arena y la grava cuya función es formar el esqueleto de la mezcla, ocupando un gran porcentaje del volumen final de producto, abaratándolo y disminuyendo los efectos de la reacción química de la “lechada”.

El hormigón es el material de construcción más utilizado por las siguientes razones:

- Posee una gran resistencia a la acción del agua sin sufrir un serio deterioro.
- Además que el hormigón puede ser moldeado para dar una gran variedad de formas y tamaño, esto gracias a la trabajabilidad de la mezcla, siendo de gran popularidad entre los ingenieros civiles por su pronta disponibilidad en las obras.
- Los elementos que lo componen al hormigón (cemento, grava y arena) abundan en la naturaleza haciéndolo un material fácil de poder adquirirlo, y su bajo costo.

Durante el proceso de fraguado y de endurecimiento del hormigón ocurre un cambio de volumen conocido como contracción por secado y que generalmente se expresa en unidades de longitud en vez de hacerlo de unidades de volúmenes, esto debido a la facilidad y comodidad del manejo de las unidades longitudinales. Esta contracción se debe principalmente a la pérdida de humedad durante el fraguado donde se podría decir que el hormigón o concreto contiene agua en cinco diferentes estados.

- El agua de cristalización o combinada químicamente.
- El agua de gel.
- El agua intercrystalina o zeolítica.
- El agua absorbida, estando adherida a los granos del árido y pasta formando meniscos.
- El agua capilar o libre.

De estos cinco estados, los tres primeros pueden evaporarse por el calentamiento a temperaturas más elevadas, y los dos últimos pueden sufrir evaporaciones a temperatura normal.

Pero además existen otros factores que influyen en este fenómeno como ser:

- El tipo de cemento a utilizar, obteniendo una mayor contracción en los cementos de mayor resistencia y los de fraguado rápido.
- A mayor finura del cemento tenemos una contracción mayor.
- La presencia de finos en el concreto, resultandoun apreciable aumento de la contracción.
- La cantidad de agua de amasado está relacionada directamente con la contracción, aumento con la relación agua / cemento, es decir, a mayor agua se obtendrá mayor contracción lineal.
- Dependiendo del espesor del elemento que se encuentre en contacto con el medio ambiente la contracción se afectara de manera directamente proporcional por el efecto de desecación con relación al volumen de la pieza.
- El hormigón armado tiene una menor contracción que el hormigón en masa debido a que el acero de refuerzo se opone a esta acción. A mayor acero de refuerzo tenemos una menor efecto en la contracción del hormigón

La contracción y las restricciones del hormigón provocan esfuerzos de tenciones, y por consiguiente agrietamiento. Y aun cuando se cuenta con juntas de contracción este fenómeno puede pelearse, pero no se puede evitar de forma total, de manera que habrá

veces que se podrán aceptar estas fisuras siempre y cuando no perjudiquen a los elementos estructurales.

Para la contracción existen valores medios determinados en el caso de que no sea necesario una evaluación más precisa, obteniéndose para el caso de hormigón en masa de 0.35 mm por metro y para el hormigón armado de 0.25 mm por metro.

La necesidad de obtener un hormigón de buenas características y que no sufra grandes deformaciones en sus propiedades físicas se hace cada vez más importante debido a la gran cantidad de volúmenes que se utiliza de este material en las obras de ingeniería de hoy, es por esta razón que se recurre a la mezclas del hormigón con aditivos para mejorar las características y propiedades del hormigón y así llegar a obtener mejores resultados.

Los aditivos se definen como un material distinto del agua, el cemento y los agregados, que se utiliza como ingrediente del hormigón para modificar y crear condiciones inexistentes en la mezcla y que se añade a la mezcla antes o durante el mezclado.

1.2. ANTECEDENTES.

Los antecedentes más remotos de los aditivos químicos se encuentran en los concretos romanos en los cuales se incorporó sangre y clara de huevo. La fabricación del cemento portland alrededor de 1850 y el desarrollo del concreto armado, ocasionó la necesidad de regular el fraguado con el cloruro de calcio, patentado en 1885. Al inicio del siglo se efectuaron intentos de estudiar diferentes productos sin éxito comercial. El primer antecedente de los aditivos químicos modernos se encuentran en el empleo ocasional del sulfonato naftaleno formaldeído, que en 1930 fue utilizado para actuar como dispersante en concretos, con adiciones de negro de humo, destinados a carriles de pavimentos que por su coloración pudieran llamar la atención de los conductores de vehículos.

Posteriormente los aditivos químicos fueron aplicados en la década de los 60 habiendo adquirido recientemente nueva presencia. Se emplean principalmente sales de litio en porcentajes vecinos al 1% y sales de bario, entre 2 y 7%, en relación a la masa de

cemento. La expansión de esta técnica está limitada por el costo de los aditivos y la prevención que existe por la modificación de la resistencia.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.

El agua que viene hacer uno de los recursos más importantes del planeta, cada vez es más escasa y la utilización de la misma cada vez es más necesario para el ser humano; en las obras civiles se emplea grandes cantidades de agua, y más que todo en aquellas obras realizadas con hormigón o concreto, llegando en algunos casos a hacer el uso indiscriminado de este líquido vital.

Con el uso de aditivos reductores de agua de amasado en el hormigón se puede reducir la cantidad de agua que se requiera para la elaboración de cualquier obra civil.

De este modo se puede decir que el uso de aditivos en el hormigón beneficia en la durabilidad indudablemente desde un punto de vista técnico, cubriendo de esta manera la necesidad de obtener un hormigón de buenas características.

Con la problemática que plantea este estudio y de acuerdo a las características que presenta este aditivo **PLASTIMENT^R BV**), se desea realizar los ensayos necesarios que permitan conocer las magnitudes de los agrietamientos y la resistencia a compresión de los correspondientes hormigones elaborados con este aditivo.

1.4. OBJETIVOS.

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

El objetivo general es realizar un análisis experimental de la incidencia de la contracción del hormigón, con la incorporación del uso de un aditivo reductor de agua (**PLASTIMENT^R BV**), para reducir el fenómeno de la contracción, y así observar si se dan cambios en las características mecánicas del hormigón.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Determinar la resistencias a compresión de los cilindros de hormigón a los 14, 21, y 28 días y de igual manera realizar una comparación de los hormigones simple (probeta testigo) y el hormigón incorporado con el aditivo (**PLASTIMENT^R BV**).
- Realizar la observación y las mediciones respectivas de las grietas por efecto de la contracción en los hormigones simples y los hormigones incorporados con el aditivo (**PLASTIMENT^R BV**), mediante un ensayo denominado anillo de contracción restringida con instrumentos calibrados para esta medición.
- Realizar un análisis comparativo de agrietamiento que sufre el hormigón por la contracción, en los hormigones simples y los hormigones incorporados con el aditivo (**PLASTIMENT^R BV**).
- Analizar las ventajas y desventajas de aplicación de hormigones con aditivo.

1.5. JUSTIFICACIÓN.

Muchos investigadores han intentado minimizar el agrietamiento utilizando varios tipos de fibras como las de acero, polipropileno, productos químicos (aditivos) e incluso haciendo combinaciones entre estas, seleccionando distintas dosificaciones hasta encontrar el porcentaje necesario para disminuir la contracción, analizando las propiedades del hormigón como su trabajabilidad y su resistencia mediante pruebas de laboratorio como la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura entre otras pruebas experimentales de laboratorio.

Con los cambios de temperaturas que sufre este medio en la actualidad, los materiales de construcción se han visto afectados, especialmente las estructuras elaboradas de hormigón alterando considerablemente sus propiedades físicas y provocando daños a los elementos estructurales y este a su vez provoca gastos en demasía al propietario de la obra.

Esta investigación viene a hacer de gran importancia en nuestro medio, puesto que podremos obtener datos y resultados únicos que están directamente relacionados con las

temperaturas ambientales de nuestra zona. También conoceremos mas a profundidad el comportamiento a la contracción del hormigón simple y del hormigón agregando un aditivo reductor de agua como es el (**PLASTIMENT^R BV**), los efectos que este produce en nuestras obras civiles ya su vez también podemos decir como poder minimizar el daño que pueden llegar a tener las estructuras de hormigón para realizar un mejor cuidado y posteriormente tener hormigones de buena calidad.

1.6. ALCANCE.

Con el desarrollo de la presente investigación se busca experimentar que la mezcla de cemento, arena, grava, y agua, con un aditivo de la línea de productos **SIKA** llamado (**PLASTIMENT^R BV**) que es un aditivo plastificante y reductor de agua en la razón A/C en la elaboración del hormigones; cuanto se puede mitigar el fenómeno de la contracción añadiendo este producto y que a la vez éste funcione adecuadamente, de igual manera que cumpla con las expectativas establecidas.

En el presente trabajo de investigación se pretende realizar un desarrollo adecuado de cada capítulo, limitando cada uno de estos de acuerdo a las necesidades más básicas que se tenga en el desarrollo del mismo.

El alcance de éste trabajo pretende desarrollar actividades netamente prácticas para posteriormente realizar un análisis más profundo del tema estudiado.

Lo que se pretende realizar en el laboratorio es estudiar el fenómeno de la contracción como éste se manifiesta en el hormigón simple y en el hormigón con incorporación del aditivo (**PLASTIMENT^R BV**) en hormigones elaborados con este aditivo.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.

2.1. FUNDAMENTO TEÓRICO.

2.1.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN.

El Hormigón o concreto, es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentren embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado¹.

El cemento, mezclado con agua, se convierte en una pasta moldeable con propiedades adherentes, que en pocas horas fragua y se endurece tornándose en un material de consistencia pétreo.

El agregado es la fase discontinua del hormigón debido a que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida.

Las propiedades del hormigón están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del hormigón.

$$\text{HORMIGÓN} = \text{CEMENTO} + \text{AGREGADOS} + \text{AIRE} + \text{AGUA}$$

Entre los factores que hacen del concreto un material de construcción universal son los siguientes:

- a) La facilidad con que puede colocarse dentro de los encofrados de casi cualquier forma mientras aún tiene una consistencia plástica.
- b) Su elevada resistencia a la compresión lo que le hace adecuado para elementos sometidos fundamentalmente a compresión, como columnas y arcos.
- c) Su elevada resistencia al fuego y a la penetración del agua.

¹ “Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López. Pág.8

Pero el hormigón también tiene desventajas como por ejemplo:

- a) Con frecuencia el hormigón se prepara en el sitio en condiciones en donde no hay un responsable absoluto de su producción, es decir el control de calidad no es tan bueno.
- b) El hormigón es un material de escasas resistencia a la tracción. Esto hace difícil su uso en elementos estructurales que están sometidos a tracción por completo (como los tirantes) o en parte de sus secciones transversales (como vigas u otros elementos sometidos a flexión)

2.1.1.1. MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

2.1.1.1.1. CEMENTO.

Los cementos son productos comerciales de fácil adquisición los cuales cuando se mezclan con agua tienen la propiedad de reaccionar lentamente tanto en contacto con el aire como sumergido en agua hasta formar una masa endurecida.

El cemento no es un compuesto químico simple que es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos conforman el 90% más del peso del hormigón y son: el silicato tricálcico, el silicato dicálcico, el aluminio tricálcico y el aluminoferrito tetracálcico.

Tabla 2.1: Compuestos químicos que forman al cemento

COMPONENTES	ABREVIACIÓN
Silicato tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	C_3S
Silicato dicálcico ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)	C_2S
Aluminio tricálcico ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)	C_3A
Aluminoferrito tetracálcico ($4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)	C_4AF

Fuente: TECNOLOGIA DEL CONCRETO (Ing. Flavio Abanto Castillo)Pág.16

En el mercado existen distintos tipos de cementos para ser empleados por el usuario y la mayoría de ellos proporcionan adecuados niveles de resistencia y durabilidad en las obras usuales.

Como por ejemplo la norma española establece los siguientes tipos de cementos:

- cementos comunes.
- los resistentes a los sulfatos.
- los resistentes al agua de mar.
- los de bajo calor de hidratación.
- los cementos blancos.
- los de usos especiales y los de aluminato de calcio.

El grupo más importante se encuentran los cementos comunes porque su comercialización es mucho mayor y dentro de ellos el Pórtland es el habitual.

El segundo factor además del tipo de cemento que determina la calidad del cemento, es su clase o resistencia a compresión a 28 días, Esta se determina en un mortero normalizado y expresa la resistencia mínima, la cual debe ser siempre superada en la fabricación del cemento. No es lo mismo, ni debe confundirse la resistencia del cemento con la del hormigón, pues la del cemento corresponde a componentes normalizados y la del hormigón dependerá de todos y cada uno de sus componentes.

Pero si el hormigón está bien dosificado a mayor resistencia del cemento corresponde mayor resistencia del hormigón. A continuación en las siguientes tablas se presenta la clasificación y composición de los cementos y además sus categorías resistentes según la Norma Boliviana NB 011.

Según la Norma Boliviana del Cemento NB-011, existen dos denominaciones para la Clasificación de los cementos, estas son: Cemento Pórtland y Cemento Puzolánico, los Cementos Pórtland a su vez se dividen en tres tipos: Cemento Pórtland Tipo I, Cemento,

Pórtland con adición de puzolana Tipo IP y Cemento Pórtland con adición de filler calizo Tipo I

Tabla 2.2: Clasificación de los cementos Norma Boliviana NB 011

CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DE LOS CEMENTOS						
TIPOS DE CEMENTO			PROPIEDADES EN MASA %			
DENOMINACIÓN	DESIGNACIÓN	TIPO	COMPONENTES PRINCIPALES			COMPONENTES ADICIONALES
			CLINKER	PUZOLANA NATURAL	FILLER CALIZO	
CEMENTO PORTLAND	CEMENTO PÓRTLAND	I	95 a 100	-	-	0 a 5
	CEMENTO PÓRTLAND CON PUZOLANA	IP	60 a 94	6 a 40	-	0 a 5
	CEMENTO PORTLAND CON FILLER O CALIZA	IF	80 a 94	-	6 a 20	0 a 5
CEMENTO PUZOLANICO		P	45 a 60	40 a 55	-	0 a 5

Fuente: Norma Boliviana del hormigón NB 011. http://www.cesip.org/es/enlaces-bdd/trabajos/bolivia/2003/nieto_cemento.pdf / <http://www.ibnorca.org/> Fecha 16/08/2010

La Norma Boliviana distingue y clasifica a los cementos de acuerdo a sus resistencias

Tabla 2.3: Clasificación de los cementos Norma Boliviana NB 011

CATEGORÍAS RESISTENTES DE LOS CEMENTOS				
NB 011				
CATEGORÍAS RESISTENTES		RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN (MPA)		
		MÍNIMAS A 3 DIAS	MÍNIMAS A 7 DIAS	MÍNIMAS A 28 DIAS
ALTA	40	17	25	40
MEDIA	30	10	17	30
BAJA	25	-	15	25

Fuente: Norma Boliviana del hormigón NB 011. http://www.cesip.org/es/enlaces-bdd/trabajos/bolivia/2003/nieto_cemento.pdf/ <http://www.ibnorca.org/> Fecha 16/08/2010

El cemento se encuentra en polvo y la finura de su molido es determinante en sus propiedades conglomerantes, influyendo decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas de su fraguado y primer endurecimiento. Al mezclarse con el agua los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm, por lo que si los granos fuesen muy gruesos el rendimiento de la hidratación sería pequeño al quedar en el interior un núcleo inerte. Sin embargo una finura excesiva provoca una retracción y calor de hidratación elevados. Además dado que las resistencias aumentan con la finura hay que llegar a una solución de compromiso, el cemento debe estar finamente molido pero no en exceso.

El almacenamiento de los cementos a granel se realiza en depósitos herméticos que no permitan la contaminación del cemento y deben estar protegidos de la humedad. En los cementos suministrados en sacos, el almacenamiento debe realizarse en locales cubiertos, ventilados, protegidos de la lluvia y del sol. Un almacenamiento prolongado puede provocar la hidratación de las partículas más finas por meteorización perdiendo su valor hidráulico y que supone un retraso del fraguado y disminución de resistencias.

2.1.1.1.1.1. FABRICACIÓN DEL CEMENTO.

Para la fabricación del cemento Pórtland se procede, esquemáticamente, de la siguiente manera:

La materia prima, material calizo y material arcilloso, se tritura, mezcla y muele hasta reducirla a un polvo fino. Los procedimientos de mezcla y molido pueden efectuarse en seco o en húmedo. La dosificación de los materiales debe ser la adecuada a fin de evitar perjuicio en la calidad.

El polvo fino pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente hasta el punto de clinkerización. En la etapa inicial de proceso de calentamiento el agua y el Anhídrido Carbónico son expulsados. Al acercarse la mezcla a las regiones más calientes del horno se producen las reacciones químicas entre los constituyentes de la mezcla cruda. Durante estas reacciones se forman nuevos compuestos, algunos de los cuales alcanzan el punto de fusión.

El producto resultante, clinker cae a uno de los diversos tipos de enfriadores o se deja enfriar al aire. Posteriormente se combina con un porcentaje determinado de yeso y el conjunto se muele hasta convertirlo en un polvo muy fino al que se conoce como cemento Pórtland.

2.1.1.1.1.2. MATERIAS PRIMAS.

Los dos materiales principales con que se fabrica el cemento Portland son: la piedra caliza y arcilla.

Las calizas, esencialmente silicatos cálcicos, y arcillas, principales apartadoras de sílice junto con sus intermedias las margas, apartadores de alúmina y hierro, constituyen de las que pudiera llamarse materias primas principalmente para la fabricación del cemento.

Cuantitativamente el componente más importante del cemento es la cal, siguiéndola a gran distancia sílice, a esta la alúmina y finalmente el óxido de hierro.

Como ya se ha indicado el grupo de los componentes principales incluye²:

Sílice (anhídrido silícico).....	SiO ₂	17% al 25%
Cal (óxido cálcico).....	CaO.....	60% al 67%
Alúmina (óxido aluminio).....	Al ₂ O ₃	3% al 8%
Oxido Férrico.....	Fe ₂ O ₃	0.5% al 6%

A continuación se describe cada uno de estos componentes:

- **La Cal:**

La cal cuantitativamente es el componente más importante del cemento la roca caliza es la que proporciona principalmente el CaCO₃, el cual a su vez proporciona la cal que interviene en la formación de los cuatro compuestos principales del cemento³.

La roca caliza al recalentarse se disocia en cal viva (CaO) y en anhídrido carbónico (CO₂). Este proceso se efectúa rápidamente a 1000°C, cuando el material adquiere un color rojo vivo. La cal viva remanente no difiere mucho en su aspecto inicial pero ha experimentado una pérdida de peso del 44% debido al desprendimiento del anhídrido carbónico. Por ese motivo su porosidad es mayor que la de la caliza original.

- **Tipos de Cal hoy disponibles:**

- La **Cal grasa o aérea**.-Exclusivamente para acabados. La cal aérea es más fina, flexible y fácil de trabajar, que la cal hidráulica natural, pero también menos resistente, por eso solo sirve para acabados. Existen 2 tipos:
 - Cal grasa/aérea **normal** - para el revocado (enlucido) final de paredes.

² "Naturaleza y materiales del Concreto", Enrique Rivva López. Pág.34

³ "Naturaleza y materiales del Concreto", Enrique Rivva López. Pág.34

- Cal grasa/aérea **mineralizada** - repele el agua, no la deja penetrar a la pared, es impermeable y permite además que la pared sea lavable.

- **Cales hidráulicas naturales.**- Procedente de rocas calizas con arcillas (margas) y diferentes elementos como hierro, aluminio y sobre todo sílice que al cocerse le confieren su carácter hidráulico.

Son capaces de fraguar como el cemento incluso endurecerse debajo del agua. Ideales para trabajos de restauración. Para morteros y revestimientos con cualidades bioclimáticas (retención del calor, transpiración, etc.). Hoy día se producen cales hidráulicas con baja y alta hidraulicidad formando 3 clases de resistencia:

- **Cal Hidráulica Natural NHL 5.**- La más común y la cal hidráulica natural más resistente (contenido de arcilla entre 15-20 %). Color beige-gris, para morteros y revestimientos de alta resistencia, cimentaciones, exteriores. La más resistente al agua (más hidráulica), puede fraguar incluso bajo el agua. Ideal para exteriores y estructuras sólidas (cimientos, suelos, paredes). Se puede usar en todos los usos del cemento Pórtland.

-**Cal Hidráulica Natural NHL 3.5.**- (contenido de arcilla 8-15 %).- Color beige claro. Ideales para acabados y revocado de paredes. Se puede usar con arenas coloreadas para dar un color específico.

-**Cal Hidráulica Natural NHL 3.5 blanca.**- Ideales para acabados finos y acabados con pigmentos. Es la más pegajosa. Para segundas o terceras capas de enlucido, para el revocado final quedando la pared blanca.

-**Cal Hidráulica Natural NHL 2.**- La menos común, con un contenido muy bajo de arcilla y una resistencia final a la compresión poco superior a la de una cal aérea.

- **Factores que influyen en las propiedades de la cal obtenida:**

Muchas de las propiedades de la cal dependen de la calidad de la caliza utilizada como también del proceso de calcinado, y de estas propiedades, dependen los usos que se le dé a la cal aquí hay un breve resumen de estos factores que influyen en las propiedades de la cal obtenida:

- La dureza de la cal obtenida, depende de las impurezas de la caliza utilizada como también de la temperatura de calcinación, una impura, da una cal dura si se calcina a temperaturas elevadas.
- La porosidad, y como consecuencia la densidad de las cales también depende de la temperatura de calcinación, a mayor temperatura menor porosidad y por lo tanto una mayor densidad, como consecuencia de esto a mayor temperatura, la cal va perdiendo actividad química, es por esta razón que conviene sintetizar la cal a temperaturas lo más cercanas a la temperatura de disociación de la caliza.
- Las calizas que contienen entre un 15 – 30 % de materia arcillosa produce cales altamente hidráulicas (cales cementicias)

- **La Sílice:**

La sílice se presenta en forma más o menos pura como cuarzita, arenisca, o arena de cuarzo. La sílice es un material muy resistente completamente insoluble en agua, resistente al ataque de los ácidos excepto el fluorhídrico. Por acción del calor puede sufrir transformaciones en su forma cristalina, acompañadas de notables variaciones en volumen. Químicamente no sufre variación alguna. Al alcanzar los 1900° C se funde y al enfriarse se endurece constituyendo una masa vítrea, conocida como vidrio de cuarzo⁴.

⁴ “Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López. Pág.35

- **Alúmina:**

La alúmina u óxido de alúmina (Al_2O_3) se relaciona con la arcilla que contiene dicho óxido en cantidad considerable. Se considera en la composición normal de la arcilla que el porcentaje de sílice es aproximadamente el doble del correspondiente a la suma de la alúmina y el óxido férrico, y el de la alúmina es el doble del de óxido férrico⁵.

En la química de los cementos la alúmina tiene importancia ya que al igual que la sílice puede unirse en combinación geliforme con la cal y el agua.

- **Óxido de Hierro:**

El óxido férrico es el integrante más importante de los minerales férricos y la mayor parte de los minerales lo contienen. Todos los cementos poseen, aun en muy pequeñas cantidades, óxido férrico. Excepto el cemento blanco que debe estar libre de este óxido⁶.

En la fabricación del cemento es necesaria la presencia del óxido férrico, en muy pequeña cantidad, para evitar dificultades en la fabricación del cemento dado que el Fe_2O_3 actúa como fundente permitiendo que las combinaciones químicas indispensables para la elaboración del cemento se efectúen a temperaturas muy inferiores a aquellas que de otro modo serían necesarias.

2.1.1.1.2. AGREGADOS.

Los agregados se definen como materiales granulares que constituyen entre el 60 y el 80 por ciento del volumen total del hormigo y se usan con un medio cementante como la lechada, para formar hormigón o mortero.

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos

⁵ "Naturaleza y Materiales del Concreto", Enrique Rivva López. Pág.36

⁶ "Naturaleza y Materiales del Concreto", Enrique Rivva López. Pág.36

absorbidos , recubrimientos de arcillas y otros materiales finos que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento.

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

Debido a esto influyen mucho en el costo económico y en las propiedades del hormigón fresco, como en el endurecido. Las propiedades físicas que podrían ser afectadas influyen en peso unitario, la manejabilidad, el módulo de elasticidad, resistencia, contracción, flujo plástico, comportamiento térmico y durabilidad.

Dentro de los agregados encontramos dos clasificaciones, los agregados gruesos o gravas y los agregados finos o arenas.

2.1.1.1.2.1. AGREGADO GRUESO.

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz ITINTEC 4.75 mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.⁷.

El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el hormigón tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores.

El número de tamaño de la granulometría (o tamaño de la granulometría) se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo de malla.

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% al 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla 19 mm todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

⁷“Tecnología del Concreto”, Ing. Flavio Abanto Castillo. Pág.26

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro del hormigón.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del peralte de la losas

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (El uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de éstas varían de acuerdo con la región o país). Los porcentajes de sustancias perjudiciales en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de hormigón, no deberán superar los siguientes límites:

Tabla 2.4: Porcentajes de sustancias perjudiciales en cada fracción de agregado grueso

SUSTANCIA	Límite máximo (%)
Arcilla	0,25%
Partículas blandas	5,00%
Material más fino que la malla N° 200	3,00%
Carbón y Lignito:	
a). Cuando el acabado superficial importa	0,50%
b). Otros concretos	1,00%

Fuente: NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRTEO (Enrique Rivva López) Pág.184

2.1.1.1.2.2. AGREGADO FINO.

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8”) y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037⁸.

El árido fino o arena constituye de hecho la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón. Dicho porcentaje usualmente supera el 60% del peso en el hormigón fraguado y endurecido.

⁸ “Tecnología del Concreto”, Ing. Flavio Abanto Castillo. Pág. 23

La adecuación de un árido para la fabricación de hormigón debe cumplir un conjunto de requisitos usualmente recogidos en las normas. Dichos requisitos se refieren normalmente a la composición química, la granulometría, los coeficientes de forma y el tamaño. En general, el agregado fino o arena deberá cumplir con los requisitos establecidos en la norma, es decir, no deberá contener cantidades dañinas de arcilla, limo, álcalis, mica, materiales orgánicos y otras sustancias perjudiciales.

El máximo porcentaje en peso de sustancias dañinas no deberá exceder de los valores siguientes, expresados en porcentaje del peso:

Tabla 2.5: Porcentajes de sustancias perjudiciales en cada fracción de agregado fino

SUSTANCIA	Límite máximo (%)
Lentes de arcillas y partículas desmenuzables	3,00%
Material más fino que la malla N° 200	
a). Concreto sujeto a abrasión	3,00%
b). Todos los otros concretos	5,00%
Carbón y Lignito:	
a). Cuando el acabado superficial del concreto importa	0,50%
b). Otros concretos	1,00%
Mica	0,00%
Partículas deleznales	3,00%
<i>Fuente: NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRTEO (Enrique Rivva López) Pág.181</i>	

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la Norma ASTM. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme y continua, se recomienda para el agregado fino los siguientes límites.

Tabla 2.6: Límites de granulometría según la Norma A.S.T.M.

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)		
3/8"	9.5 mm	100		
Nº 4	4.75 mm	95	a	100
Nº 8	2.36 mm	80	a	100
Nº 16	1.18 mm	50	a	85
Nº 30	600 µm	25	a	60
Nº 50	300 µm	10	a	30
Nº 100	150 µm	2	a	10

Fuente: TECNOLOGÍA DELCONCRTEO (Ing. Flavio Abanto Castillo) Pág.24

2.1.1.1.2.3. PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.

Como ya se sabe, las propiedades de los agregados, tienen una gran importancia en el hormigón por el volumen que ocupan en éste, por lo cual se menciona a continuación algunas de sus propiedades más importantes.

- **Resistencia:**

Los agregados deben tener una resistencia a compresión superior a la resistencia de la pasta endurecida.⁹

La determinación de la dureza de un agregado se hace sometiendo a un proceso de desgaste por abrasión. El ensayo más empleado en el método de los Ángeles, realizado de acuerdo con lo especificado en la Norma ASTM C 131. Este método combina procesos de desgaste por abrasión y frotamiento.

- **Densidad:**

La densidad de los agregados depende tanto de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo.

- **Peso específico:**

El peso específico también se expresa como densidad, y su importancia se da cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite. Además es un indicador de

⁹“INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGON”, Fernando M. Cerruto. Pág.2-20

calidad, cuando se tienen valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento.

- **Dureza:**

Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión, abrasión, o en general, el desgaste; la dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Su determinación se realiza sometiendo al agregado a un proceso de desgaste por abrasión.

- **Granulometría:**

Se define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas de agregado. Ello se logra separando el material por procedimiento mecánico, empleando tamices de aberturas cuadradas determinadas¹⁰.

- **Propiedades térmicas:**

El coeficiente de expansión térmica, el calor específico y la conductividad térmica, son tres propiedades del agregado que, en determinados casos pueden ser importantes para establecer la calidad del mismo en relación con el comportamiento del hormigón.

Como por ejemplo: el calor específico y la conductividad térmica son importantes en construcciones masivas en las que es necesario un cuidadoso control de la elevación de la temperatura.

Existen otras propiedades que influyen en menor o igual manera que las ya mencionadas, que sólo serán nombradas, como: el peso unitario, la porosidad, el módulo de elasticidad, la textura superficial, la humedad y absorción, el esponjamiento, el módulo de fineza, etc.

2.1.1.1.3. AGUA.

El agua cumple dos funciones vitales en el desarrollo del concreto, como agua de mezclado y la segunda como agua de curado. Para la primera, casi cualquier agua natural que pueda

¹⁰“Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López. Pág.162

beberse, sin tener un sabor u olor notable puede servir para el mezclado, ya que el agua cuando funciona como un ingrediente en la fabricación de la mezcla ocupa entre en 10% y 25% de cada metro cubico producido.

El general el agua que tenga como total menos de 2.000 ppm (partes por millón) de sólidos disueltos puede usarse satisfactoriamente para hacer hormigón y tratar de evitar a toda costa que esté contaminada de sulfatos que son agresivos al cemento.

Si no se tiene cuidado en eliminar la impurezas excesivas contenidas en el agua de mezcla, pueden afectar no sólo el tiempo de fraguado, la resistencia de hormigón, la constancia de volumen. Sino que a su vez pueden producir eflorescencia o corrosión del acero.

El agua presente en la mezcla del hormigón reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- a) La formación del gel.
- b) Permitir que el conjunto de la masa adquiriera las propiedades que:
 - En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
 - En estado endurecido la convierten en un producto de las propiedades y características deseadas.

También se puede encontrar aceites, algas e incluso azúcar en el agua de mezcal, por lo que se describe a continuación el efecto que causan.

El azúcar en pequeñas cantidades, de un 0.03% a 0.15% en peso del cemento retarda el fraguado del cemento y cuando aumenta a un 0.20% acelera el proceso de fraguado. La resistencia a los 7 días puede reducirse, y los 28 días puede mejorarse, pero si se tiene un contenido de 0.25% de cantidad de azúcar o más en peso del cemento producen un rápido fraguado y una notable reducción en la resistencia a los 28 días.

Cuando se encuentra ocasionalmente aceite mineral (petróleo) que no esté mezclado con aceites animales o vegetales, produce un efecto menor en el desarrollo de la resistencia que

otros aceites. Pero si las concentraciones de aceites minerales superan el 2% en peso de cemento pueden reducir la resistencia del hormigón en más del 20%.

Las algas que se encuentran presentes en el agua de mezcla pueden causar una pérdida excesiva de la resistencia al introducir una gran cantidad de aire en el hormigón, o reduciendo la adherencia de este.

Por tanto se considera que si el agua es clara y no tiene algún sabor pronunciado, puede ser usada como agua de mezclado o de curado para hormigón, sin necesidad de mayores pruebas.

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

Tabla 2.7: Valores máximos admisibles de las sustancias existentes en el agua a utilizarse en la preparación del hormigón

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm.
Sulfatos	300 ppm.
Sales de Magnesio	150 ppm.
Sales Solubles	500 ppm.
pH	Mayor de 7
Sólidos en Suspensión	1500 ppm.
Materia Orgánica	10 ppm.

Fuente: TECNOLOGÍA DELCONCRTEO (Ing. Flavio Abanto Castillo) Pág.21

2.1.2. ADITIVO.

2.1.2.1. DEFINICIÓN.

Un aditivo es definido, tanto por el comité 116 R del American Concrete Institute como por el Norma ASTM C 125, como “un material que no siendo agua, agregado, cemento, o

fibras de refuerzos, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado¹¹

Los aditivos son materiales utilizados como componentes del hormigón, los cuales se añaden a éstos durante el mezclado a fin de:

- a) Modificar una o algunas de sus propiedades, a fin de permitir que sean más adecuadas al trabajo que se está efectuando.
- b) Facilitar su colocación.
- c) Reducir los costos de operación.

En la decisión sobre el empleo de aditivos debe considerarse en qué casos:

- a) Su utilización puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados.
- b) Los objetivos deseados pueden lograrse, con mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de la mezcla.

2.1.2.2. RAZONES DE EMPLEO.

Entre las principales razones de empleo de aditivos, para modificar las propiedades del hormigón no endurecido, se puede mencionar:

1. Reducción en el contenido de agua de la mezcla.
2. Incremento en la trabajabilidad sin modificación del contenido de agua, o disminución del contenido de agua sin modificación de la trabajabilidad.
3. Reducción, incremento o control del asentamiento.
4. Aceleración o retardo del tiempo de fraguado inicial.
5. Modificación de la velocidad y/o magnitud de la exudación.
6. Reducción o prevención de la segregación, o desarrollo de una ligera expansión.
7. Mejora en la facilidad de colocación y/o bombeo de las mezclas.

¹¹“Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López. Pág.264

Entre las principales razones de empleo de los aditivos para modificar las propiedades de los hormigones, morteros y lechadas endurecidos se puede mencionar:

1. Retardo en el desarrollo del calor de hidratación o reducción en la magnitud de este durante el endurecimiento inicial.
2. Aceleración en la velocidad de desarrollo de la resistencia inicial y/o final del hormigón y en el incremento de la misma.
3. Incremento en la durabilidad, incluyendo su resistencia a condiciones severas de exposición.
4. Disminución de la permeabilidad del hormigón.
5. Control de la expansión debida a la reacción álcali-agregados.
6. Incremento en la adherencia acero-hormigón, y hormigón antiguo-hormigón fresco.
7. Incremento en la resistencia al impacto y/o la abrasión.
8. Control de la corrosión de los elementos metálicos embebidos en el hormigón.
9. Producción de hormigones o morteros celulares.
10. Producción de hormigones o morteros coloreados.

2.1.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS.

Una clasificación de aditivos en función de sus efectos no es fácil debido a que ellos pueden ser clasificados genéricamente o con relación a los efectos característicos derivados de su empleo; pueden modificar más de una propiedad de hormigón, así como a que los diversos productos existentes en el mercado no cumplen las mismas especificaciones .

Adicionalmente debe indicarse que los aditivos comerciales pueden contener en su composición materiales los cuales, separadamente podrían ser incluidos en dos o más grupos, o podrían ser cubiertos por dos o más Normas ASTM o recomendaciones ACI.

De acuerdo a la Norma ASTM C 494, los aditivos e clasifican en:

- Tipo A Reductores de agua.
- Tipo B Retardadores de fraguado.
- Tipo C Acelerantes.
- Tipo D Reductores de agua-retardadores de fraguado.
- Tipo E Reductores de agua-acelerantes.

- Tipo F Súper reductores de agua.
- Tipo G Súper reductores de agua-Acelerantes.

La recomendación ACI 212 clasifica a los aditivos en los siguientes grupos:

Tabla 2.8: Clasificación de los aditivos según ACI 212

TIPOS DE ADITIVO	EFFECTOS DESEADOS EN EL HORMIGÓN
Acelerantes	Los cuales tienen por finalidad incrementar significativamente al desarrollo inicial de la resistencia en compresión y/o acortar el tiempo de fraguado. Deberá cumplir con las Normas ASTM C494 ó C1017.
Inclusores de aire	Los cuales tienen por objeto mejorar el comportamiento del concreto frente a los procesos de congelación y deshielo que se producen en sus poros capilares cuando él está saturado y sometido a temperaturas bajo 0 centígrados. Estos aditivos deberán cumplir con los requisitos de la Norma ASRM C260.
Reductores de agua y controladores de fraguado	Los cuales tienen por finalidad reducir los requisitos de agua de la mezcla o modificar las condiciones de fraguado de la misma, o ambas. Deberán cumplir con los requisitos de las Normas ASRM C494 ó C1017.
Aditivos Minerales	Ya sean cementantes o puzolanicos, los cuales tienen por finalidad de mejorar el comportamiento al estado fresco de mezclas deficientes en partículas muy finas y, en algunos casos, incrementar la resistencia final del concreto. Las puzolanas y las cenizas deberán cumplir con los requisitos de la Norma C618. Las escorias de alto horno finalmente molidas y las microsílces deberán cumplir con los requisitos de la Norma C989. A los aditivos de este grupo en la actualidad se les considera como adiciones.
Generadores de Gas	Los cuales tienen por finalidad controlar los procesos de exudación y asentamiento mediante la liberación de burbujas de gas en la mezcla fresca.
Aditivos para Inyecciones	Los cuales tienen por finalidad de retardar en tiempo de fraguado en cimentaciones especiales en las que las distancias de bombeo son muy grandes.
Productores de Expansión	Los cuales tienen por finalidad minimizar los efectos de la contracción por secado del concreto.

Ligantes	Los cuales tienen por única finalidad incrementar las propiedades ligantes de mezclas mediante la emulsión de un polímero orgánico.
Ayuda para Bombeo	Los cuales tienen por finalidad mejorar la facilidad de bombeo del concreto por incremento de la viscosidad del agua de la mezcla.
Colorantes	Los cuales tienen por finalidad producir en el concreto el color deseado sin afectar las propiedades de la mezcla.
Floculantes	Los cuales tienen por finalidad incrementar la velocidad de exudación y disminuir el volumen de esta, al mismo tiempo que reducen el flujo e incrementar la cohesividad y regidización inicial de la mezcla.
Fungicidas; Insecticidas y Germicidas	Los cuales tienen por finalidad inhibir o controlar el crecimiento de bacterias y hongos en pisos y paredes.
Impermeabilizantes	Los cuales tienen por finalidad contribuir a controlar las filtraciones a través de las grietas, reduciendo la penetración del agua, en un concreto no saturado, desde el lado húmedo al lado seco.
Reductores de Permeabilidad	Los cuales tienen por finalidad reducir la velocidad con la cual el agua puede circular a través de un elemento de concreto saturado, bajo una gradiente hidráulica mantenida externamente.
Controladores de la reacción Alkali-Agregado	Los cuales tienen por finalidad reducir, evitar o controlar la reacción entre los álcalis del cemento y elementos que puedan estar presentes en los agregados reactivos.
Inhibidores de la Corrosión	Los cuales tienen por finalidad inhibir, retardar o reducir la corrosión del acero de refuerzo y elementos metálicos embebidos en el concreto.
Superplastificantes	También conocidos como aditivos reductores de agua de alto rango. Los cuales tienen por finalidad reducir en forma importante el contenido de agua del concreto manteniendo una consistencia dada y sin producir efectos indeseables sobre el fraguado. Igualmente se emplean para incrementar el asentamiento sin necesidad de aumentar el contenido de agua de la mezcla.
<i>Fuente: NATURALEZA Y MATERIALES DEL CONCRETO (Enrique Rivva López) Pág.268</i>	

2.1.3. CLASIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.

Los hormigones se clasifican en:

- Por su consistencia.
- Por su resistencia.
- Por su peso unitario, las mismas que se mencionarán a continuación.

2.1.3.1. POR SU CONSISTENCIA.

Está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada.

Es una medida indirecta de la trabajabilidad y se mide por medio de un ensayo de asentamiento.

Tabla 2.9: Clasificación del hormigón por su consistencia

CONSISTENCIA		ASENTAMIENTO EN CONO DE ABRAMS (cm.)
SECA	(S)	0 a 2
PLASTICA	(P)	3 a 5
BLANDA	(B)	6 a 9
FLUIDA	(F)	10 a 15
LIQUIDA	(L)	≥16

Fuente: HORMIGÓN ARMADO (P. Jiménez Montoya, A. García Messeguer, F. Morán Cabré) Pág.90

2.1.3.2. POR SU RESISTENCIA.

Tomando en cuenta la resistencia a la compresión a los 28 días del hormigón el mismo se clasifica en los siguientes:

Tabla 2.10: Clasificación del hormigón por su resistencia

TIPO DE HORMIGON	RESISTENCIA Kg/cm²
Hormigón normal	140-350
Hormigón de alta resistencia	350-1000
Hormigón de ultra alta resistencia	≥ 1000

Fuente: [htt://www.monografias.com](http://www.monografias.com). Fecha 28/08/2010

2.1.3.3. POR SU PESO UNITARIO.

Se denomina peso volumétrico o peso unitario, al peso que alcanza un determinado volumen unitario; este valor en el hormigón es influenciado por los agregados, de los cuales se considera: su origen, gravedad específica, granulometría, textura superficial, condición de humedad y su grado de compactación en masa.

Tabla 2.11: Clasificación del hormigón por su peso unitario

TIPO DE HORMIGON	PESO POR UNIDAD DE VOLUMEN (Kg/m³)
De peso liviano	400-1700
De peso normal	2300-2500
De peso pesado	2800-6000

Fuente: TECNOLOGÍA DELCONCRTEO (Ing. Flavio Abanto Castillo) Pág.13

2.1.4. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.

2.1.4.1. PROPIEDADES DE UN HORMIGÓN FRESCO.

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres factores¹²:

1. La sólida (áridos y cemento).
2. La líquida (agua),
3. La gaseosa (aire ocluido).

A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Entre las propiedades del hormigón fresco podemos citar, como más importantes que son,

- a) La consistencia.
- b) La docilidad.
- c) La homogeneidad.
- d) La masa específica o densidad.

a) Consistencia:

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

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo los más empleados el cono de Abrams, la mesa de sacudidas y el consistómetro Vebe.

El cono de Abrams es un molde troncocónico de 30 cm. de altura que se rellena con el hormigón objeto de ensayo. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca de hormigón una vez desmolda, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

La mesa de sacudidas sirve para someter a una masa de hormigón fresco, de forma determinada, a una serie de sacudidas normalizadas, midiéndose el escurrimiento

¹²“HORMIGON ARMADO” P. Jiménez Montoya, A García Messeguer, F. Morán Cabré. Pág.89

experimentado. Es un método más preciso que el anterior y por tanto, es preferible cuando se trata de instalaciones fijas.

El consistómetro Vebe es una variante del cono de Abrams que se emplea para hormigones muy secos (que darían un asentamiento nulo). La consistencia se mide por el número de segundos necesarios para que el tronco de cono formado por el hormigón con el molde de Abrams experimente, sometido a vibración en mesa, un asentamiento determinado.

Ninguno de los métodos mencionados debe usarse con tamaños de árido superiores a 40 mm., en cuyo caso es necesario tamizar previamente por el tamiz de dicha abertura y prescindir del material retenido.

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

b) Docilidad:

La docilidad, concepto de difícil definición, puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone. Esta trabajabilidad del hormigón está relacionada con su deformabilidad (consistencia), con su homogeneidad, con la trabazón de sus distintos componentes y con la mayor o menor facilidad que la masa presente para eliminar los huecos de la misma (aire ocluido), alcanzando una compacidad máxima.

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

1. De la cantidad de agua de amasado. Cuanto mayor sea ésta, mayor será la docilidad.
2. De la granulometría de los áridos, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor. Pero por otra parte, a más cantidad de árido fino corresponde más agua de amasado necesaria y por tanto, menor resistencia.
3. La docilidad es mejor con áridos redondeados que con áridos procedentes de machaqueo.

4. La docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de éste.
5. El empleo de un plastificante aumenta la docilidad de un hormigón, al igual de las restantes características.

c) Homogeneidad:

Es la cualidad por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que dos muestra tomadas de distintos lugares de la misma resulten prácticamente iguales. La homogeneidad se consigue con un buen amasado y para mantener se requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

La homogeneidad puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra) o por decantación (los granos gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie, cuando la mezcla es muy líquida). Ambos fenómenos aumentan con el contenido de agua, con el tamaño máximo del árido, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre.

d) Peso Específico:

Un dato de gran interés como índice de la uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra, es la masa específica (densidad) del hormigón fresco, sea sin compactar, sea compactado.

La variación de cualquiera de ambos valores, que repercuten en la consistencia, indica una alteración de la granulometría de los áridos, del contenido de cemento o del agua de amasado, por lo que debe dar origen a las correcciones oportunas.

2.1.4.2. PROPIEDADES DE UN HORMIGÓN ENDURECIDO.

Entre las propiedades del hormigón endurecido se tiene las siguientes:

- a) La densidad
- b) la compacidad.
- c) la permeabilidad.
- d) la resistencia al desgaste, las cuales se desarrollan a continuación.

a) Densidad:

La densidad o masa específica del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de la granulometría y del método de compactación empleado. Será tanto mayor cuanto mayor sea de la de los áridos utilizados y mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de densidad del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor 2300 Kg/m^3 para los hormigones en masa y 2500 Kg/m^3 para los armados. Los valores indicados corresponden a hormigones normales. Los hormigones pesados, fabricados con áridos de barita o metálicos, tienen densidades de 3000 a 3500 Kg/m^3 y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiaciones. Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez, arlita u otros áridos de pequeña masa específica, tienen densidades del orden de 1300 Kg/m^3 e incluso inferiores a mil.

Mención aparte merece el hormigón estructural ligero, fabricados con áridos a base de arcillas o escorias expandidas, cuya densidad es del orden de 1800 Kg/m^3 . Este tipo de hormigón se emplea precisamente en Norteamérica para placas de forjados, consiguiéndose un ahorro de peso propio de hasta un 30% y resistencias del orden de 28 N/mm^2 .

b) Compacidad:

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

Es evidente la relación que existe entre la compacidad y sus resistencias mecánicas, por cuanto dicha compacidad aumenta con el volumen de materias sólidas que componen el hormigón, en relación con los volúmenes ocupados por el agua y el aire.

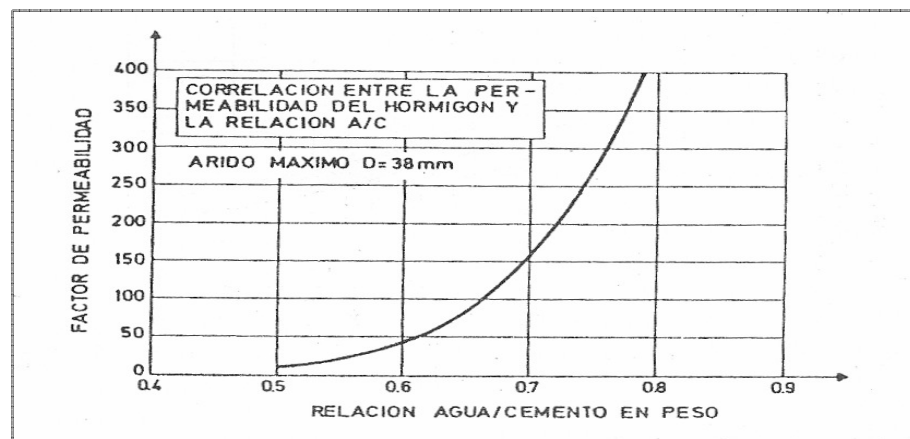
Una buena compactación no solo proporciona una mayor resistencia mecánica (frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, etc.), sino también una mayor resistencia física (efecto de la helada) y química frente a las acciones agresivas, ya que, al contener una menor cantidad de huecos o porosidades, las vías de penetración de los agentes exteriores son también mínimas.

c) Permeabilidad:

Los factores que influyen en la permeabilidad son los mismos que hacen variar su red capilar.

El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad; mientras que para una relación agua/cemento igual a 0,5 el factor permeabilidad es aproximadamente 15, para 0,8 es alrededor de 450, o sea, treinta veces mayor, como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 2.1: Correlación entre la permeabilidad del hormigón y la relación cemento



Fuente: *HORMIGON ARMADO* (P. Jiménez Montoya, A. García Messeguer, F. Morán Cabré)
Pag.49

Medir la permeabilidad de un hormigón es un problema difícil, que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen diversos métodos, unos dedicados a la permeabilidad bajo presión y otros a la permeabilidad por succión (absorción). Las medidas se efectúan por diferencia de pesada, o por el tiempo requerido para que el

agua atraviere de una cara a otra, o por medición por superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc.

Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre las medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón.

Por otra parte, los ensayos sólo pueden realizarse sobre probetas obtenidas in situ del hormigón endurecido, no sirviendo de nada utilizar probetas enmoldadas, que nunca son representativas desde el punto de vista de la permeabilidad.

Existen distintos procedimientos para aumentar la impermeabilidad del hormigón, en todos ellos es imprescindible partir de un hormigón compacto. Aparte del empleo de impermeabilizantes de masa o de superficie, cabe aplicar recubrimientos a base de chapas metálicas, filtro asfaltado, etc., o simplemente, revocar la superficie con un buen mortero de cemento, de 10 a 20 mm de espesor.

Todo lo dicho, que se refiere a la permeabilidad al agua, puede aplicarse igualmente a la permeabilidad al aire, característica que interesa en hormigones para protección contra radiaciones nucleares.

d) Resistencia al Desgaste:

En ciertos casos, como sucede en los pavimentos de carretera o interiores de construcciones industriales, interesa que el hormigón presente una gran resistencia al desgaste. Para conseguirlo, la primera condición es emplear un hormigón seco, ya que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastable y productor de polvo.

Es también imprescindible utilizar arena silíceo y no caliza, al menos en una proporción no inferior al 30% de la arena total.

Mayores garantías se obtienen aplicando un revestimiento delgado de alta resistencia al desgaste, que puede ser un mortero de cemento con árido fino especial (carborundo, corindón, sílice molida, granalla de hierro inoxidable, etc.) o un mortero especial de materias plásticas, resina epoxi, etc.

Puede aplicarse también tratamientos superficiales endurecedores, como impregnación por fluosilicatos, silicatación, ocratación o carbonatación.

2.1.5. CONTRACCIÓN.

2.1.5.1. DEFINICIÓN.

La contracción es un fenómeno aparente simple del hormigón o concreto cuando este pierde agua.

Estrictamente hablando la contracción es una deformación tridimensional, pero se expresa comúnmente como una deformación lineal, esto se debe porque en la mayoría de los elementos estructurales de hormigón expuestos, una o dos dimensiones son mucha más pequeñas que la tercera y el efecto de la contracción es mayor en la dimensión más grande.

En el uso común el término de contracción por secado es la abreviatura para la expresión contracción por secado en el hormigón endurecido expuesto este al ambiente con una humedad relativa menor al 100%.

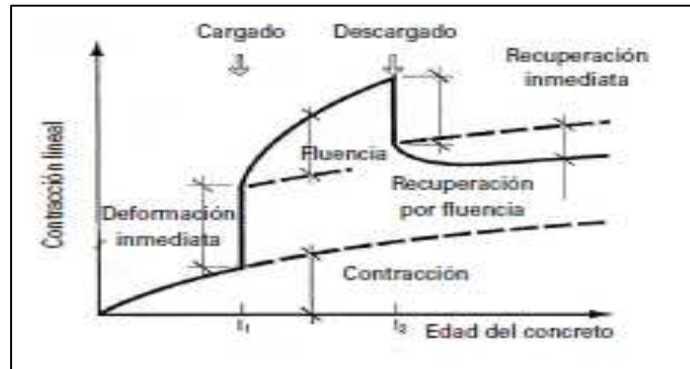
2.1.5.2. MECANISMO DE LA CONTRACCIÓN POR SECADO.

Cuando el hormigón es expuesto a su ambiente de servicio tiende a alcanzar un equilibrio con ese ambiente.

Si el medio ambiente es una atmósfera seca, la superficie expuesta del hormigón pierde agua por evaporación. La velocidad de evaporación dependerá de la humedad relativa, la temperatura, área de la superficie expuesta del hormigón.

La contracción por secado constituye una porción del total de la deformación que se observa en un elemento del hormigón. La figura 2.2 muestra los componentes de la deformación, excluyendo el movimiento térmico.

Figura 2.2: Componentes de la deformación



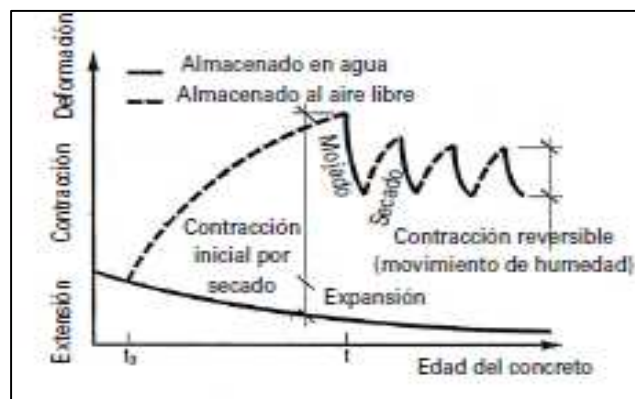
Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

La deformación por contracción es dependiente del tiempo y no es inducida por carga.

Si el ambiente es húmedo, el flujo de la humedad se dará desde el medio ambiente al hormigón, resultando un incremento de volumen o expansión. En la figura 2.3 se muestra una descripción esquemática de los cambios en el volumen del hormigón debido a ciclos alternos desecado y mojado.

El movimiento de contracción más grande ocurre en el primer secado. Una parte considerable de esta contracción es irreversible, es decir, que no se puede recuperar por un mojado subsecuente.

Figura 2.3: Concreto inicialmente seco, y luego sujeto a ciclos de secado y mojado



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

2.1.5.3. TIPOS DE CONTRACCIÓN.

Existen otros tipos de deformaciones por contracción, las cuales, dependiendo de las circunstancias, pueden o no ocurrir simultáneamente o independientemente una de otras las cuales son:

2.1.5.3.1. Contracción Plástica.

La contracción plástica ocurre a medida que el hormigón fresco pierde humedad después de la colocación y antes de que ocurra cualquier desarrollo de resistencia.

La cantidad de este agrietamiento depende de la temperatura del aire, la humedad relativa, la temperatura del hormigón y la velocidad del viento.

2.1.5.3.2. Contracción Por Secado.

La contracción por secado es lo que la mayoría considera “la verdadera contracción”. Este tipo de contracción involucra el movimiento y pérdida de agua dentro de los poros extremadamente pequeños de la pasta hidratada del cemento y desde el interior de la estructura de los productos de hidratación o gel.

A medida que el hormigón se seca, éste pierde humedad desde estos poros muy pequeños y se forman meniscos. La tensión superficial del agua asociada a estos meniscos atrae los poros uno hacia el otro y da como resultado una pérdida de volumen en el hormigón.

2.1.5.3.3. Contracción Autógena.

La contracción autógena ocurre dentro de la masa del hormigón, esto es, sin contacto con el medio ambiente, es también conocida como contracción por auto desecación o contracción química.

2.1.5.3.4. La Contracción Térmica.

La contracción térmica resulta de una disminución en la temperatura del hormigón diferente al tiempo de colocado.

2.1.5.3.5. Contracción Por Carbonatación.

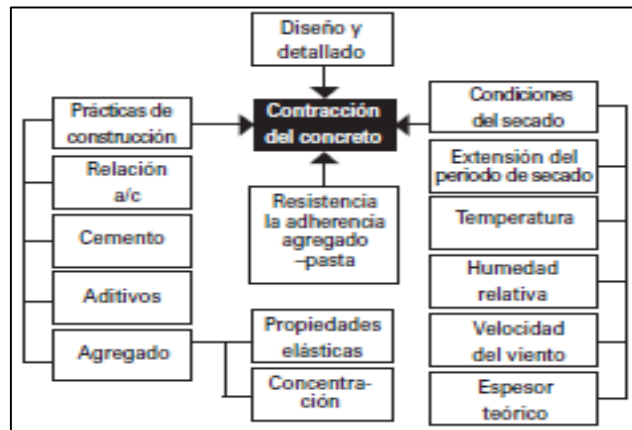
La contracción por carbonatación que ocurre de la relación del cemento hidratado con el dióxido de carbono en el aire en presencia de la humedad.

Cuando todos estos tipos de contracción ocurren simultáneamente al mismo tiempo se lo conoce como contracción total.

2.1.5.4. FACTORES QUE AFECTAN LA CONTRACCIÓN POR SECADO.

Puesto que la contracción por secado está relacionada con la pérdida de humedad del hormigón, es influida por factores externos que afectan el secado y también por factores internos relacionados con hormigón y sus constituyentes. Como podemos observar el al figura 2.4.

Figura 2.4: Factores que afectan la contracción por secado



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

2.1.5.4.1. FACTORES EXTERNOS.

Los factores externos que afectan la pérdida de humedad del hormigón son las condiciones ambientales, así como el tamaño y la forma del elemento del hormigón o concreto.

2.1.5.4.1.1. Condiciones ambientales.

La temperatura del aire, la humedad relativa y la velocidad del viento afectan la pérdida de humedad de la superficie del hormigón, cualquier combinación de estos factores afecta la velocidad de evaporación.

Las condiciones ambientales diferentes en los lados opuestos de un elemento dan como resultado un secado diferencial hacia afuera, y por tanto, una contracción diferencial con la posible consecuencia de alabeo.

En resumen, es de esperarse una mayor contracción por secado cuando se eleva la temperatura ambiental, disminuye la humedad relativa, se incrementa la velocidad del viento alrededor del hormigón y cuando aumenta el periodo de tiempo en el que el hormigón está sujeto a condiciones de secado. En la figura 2.5 se muestra el efecto de la humedad relativa.

Figura 2.5: Efecto de la humedad relativa en la contracción por secado



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

2.1.5.4.1.2. Geometría de los elementos.

Los elementos del hormigón o concreto grandes y de mayor sección se secan más lentamente que los pequeños y delgados. Como resultado, para el mismo periodo de secado, la contracción de los elementos de gran tamaño es menor que para los de menor tamaño, en los cuales su núcleo se puede secar más rápidamente. El efecto de la geometría del elemento del hormigón o concreto sobre la contracción por secado está representado en la mayoría de los reglamentos y normas por su “espesor teórico” o el espesor hipotético que se define como dos veces el área de la sección transversal del elemento de hormigón dividido por el perímetro expuesto de la sección transversal. De aquí se sigue que un espesor teórico más grande estará asociado con una menor contracción por secado.

2.1.5.4.2. FACTORES INTERNOS.

Los factores internos que afectan la contracción por secado del hormigón y aquéllos relacionados con sus constituyentes son cementos, agregados, aditivos; diseño de la mezcla del hormigón, relación agua cemento y contenido de agua, propiedades de los volúmenes, y aquéllos vinculados con la construcción del concreto: colocación, compactación y curado.

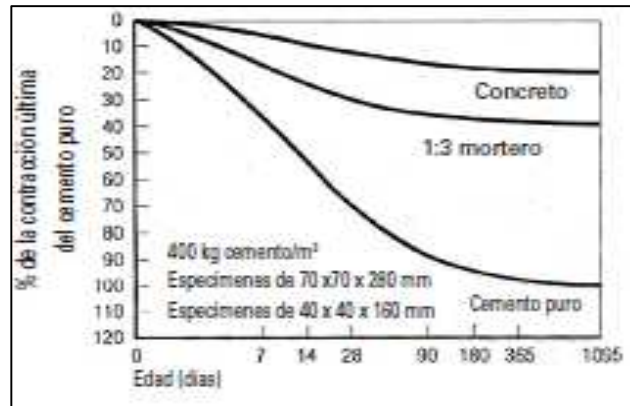
2.1.5.4.2.1. Cementos.

Aunque generalmente se concluye que la composición del cemento puede afectar la contracción por secado, el efecto no se ha determinado por completo. Se ha observado que el contenido de aluminio tricalcico C3A y álcali tiene un efecto dominante. A su vez, el efecto del contenido de aluminio tricalcico C3A y álcali sobre la contracción es influido por el contenido de yeso del cemento, es decir, la contracción de cementos del mismo contenido de aluminio tricalcico C3A difiere para diferentes contenidos de yeso. Esto ha conducido al desarrollo de un cemento caracterizado en términos de comportamiento por contracción como “cemento de contracción compensada”. Los ingenieros y los especificadores no deben preocuparse mucho con los complejos detalles de la química del cemento, ya que lo importante es el rendimiento final. Debe precisarse que el uso de cemento de contracción compensada por sí mismo no garantiza la producción de concreto de baja contracción, hay que considerar otros factores involucrados, pues éstos pueden tener un peso mayor que el efecto del cemento en la contracción por secado del hormigón.

2.1.5.4.2.2. Agregados.

Los agregados tienen un efecto restrictivo en la contracción. Este efecto se ilustra en la figura 2.6 y muestra que algunos tipos de agregados, si se contraen más que la pasta, incrementan la contracción del hormigón significativamente. Hay una relación razonablemente directa entre la contracción de un agregado y su capacidad de absorción. Es decir, los agregados de buena calidad y baja contracción generalmente están caracterizados por una baja absorción. Si el agregado se contrae menos que la pasta, entonces el agregado restringe la contracción, y ésta disminuirá al incrementarse la fracción del volumen del agregado.

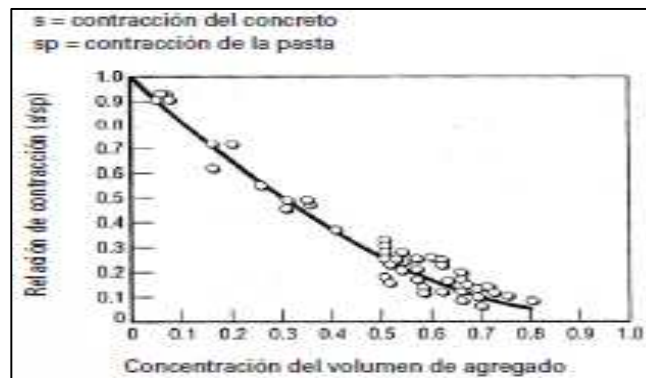
Figura 2.6: Comparación de la contracción por secado del concreto, mortero y pasta limpia de cemento a 50% de su humedad relativa



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

El efecto de la fracción del volumen del agregado en la contracción por secado se muestra en la figura 2.7.

Figura 2.7: Efecto de la concentración del volumen de agregado en la contracción



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

Tanto la figura 2.6 como la figura 2.7 ilustran el sustancial efecto de restricción de los agregados en la contracción por secado de la pasta. Tal como puede verse, la contracción del hormigón puede ser de únicamente 20% de la correspondiente a la pasta de cemento.

Otras propiedades del agregado, tales como la granulometría, el tamaño máximo, la forma y la textura, afectan la contracción por secado indirectamente.

En la práctica, la variación en cualquiera de estas propiedades puede conducir a un cambio en la demanda de agua y/o el contenido de pasta y su efecto sobre la contracción por secado sólo es medible en términos de los cambios que causan a la mezcla del hormigón. Los agregados pueden estar contaminados por otros materiales como sedimentos, arcilla, carbón, madera o materia orgánica. La mayoría de estos materiales no restringe la contracción y, de hecho, puede incrementarla, especialmente en el caso de la arcilla que absorbe la humedad y se contrae considerablemente al secarse. La mayoría de estos materiales contaminantes pueden ser removidos lavando el agregado. Y densos, con poca absorción y alto módulo de elasticidad, son importantes para la producción de hormigón de baja contracción por secado.

El efecto del agregado en la restricción de la contracción por secado del hormigón está regido por:

- La fracción de volumen del agregado
- El módulo de elasticidad del agregado
- La contracción del agregado al secarse

2.1.5.4.2.3. Aditivos.

Existen muchos tipos de aditivos para su incorporación en el hormigón para lograr y aumentar ciertas propiedades, o economizar, o para ambas cosas.

Generalmente, los aditivos afectan la contracción del hormigón en un grado variable, dependiendo de su formulación, su interacción con el cemento y con otros aditivos en la mezcla, y en las variaciones o ajustes que provocan en las proporciones de la mezcla del hormigón. Ha quedado bien establecido que los aditivos que contienen cloruro de calcio pueden incrementar la contracción por secado del hormigón.

Por ejemplo cuando se emplea acelerantes del tipo cloruro de calcio aumenta la contracción hasta en un 50% de la contracción total, pero en casos de aditivos fluidificantes o reductores de agua no se producen alteraciones.

Los **aditivos plastificantes** son los más utilizados en nuestro medio, y permiten que la trabajabilidad del hormigón fresco mejore considerablemente, por lo que se los suele

utilizar en hormigones que van a ser bombeados y en hormigones que van a ser empleados en zonas de alta concentración de armadura de hierro. Estos mismos aditivos pueden conseguir que, manteniendo la trabajabilidad de un hormigón normal, se reduzca la cantidad de agua de amasado mejorando con ello la resistencia y minimizando la contracción por secado del hormigón.

Existen **aditivos Superplastificantes** (también se los conoce en el mercado como **reductores de agua de alto rango**) que pueden convertir a un hormigón normal en un **hormigón fluido**, que no requiere de vibración para llenar todos los espacios de las formaletas, inclusive en sitios de difícil acceso para el hormigón. Así mismo, si se mantiene una trabajabilidad normal, estos aditivos permiten la reducción de la relación agua/cemento hasta valores cercanos a 0.30, consiguiéndose **hormigones de mediana resistencia** (entre 350 Kg/cm² y 420 Kg/cm²) y **hormigones de alta resistencia** (mayores a 420 Kg/cm²).

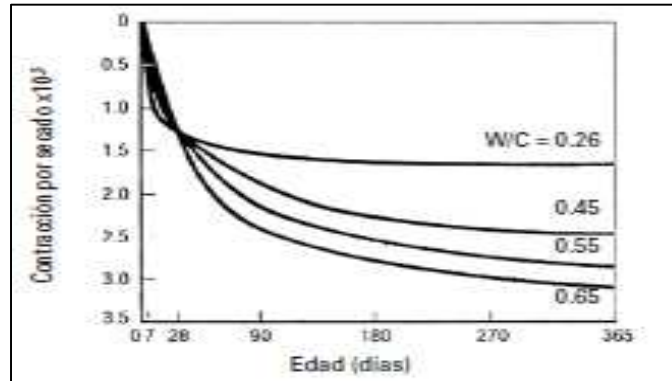
2.1.5.4.2.4. Contenido de agua.

La contracción por secado del hormigón se incrementa al aumentar el contenido de agua. La variación en la contracción con el contenido de agua puede explicarse por la diferencia en los tipos de pérdidas de agua o en las etapas del secado mencionadas antes, también asociado con el módulo de elasticidad del hormigón.

El hormigón con alto contenido de agua (y alta relación agua-cemento) tiene una resistencia inferior y un menor módulo de elasticidad, y por tanto, tiene una mayor tendencia a la contracción.

El efecto de la relación agua-cemento en la contracción por secado se ilustra en la figura 2.8. Como puede notarse, a edades mayores de 28 días, una superior relación de agua-cemento conduce a un incremento significativo en la contracción por secado.

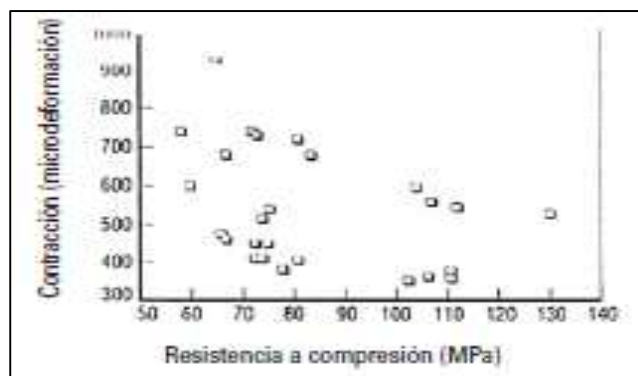
Figura 2.8: Efecto de la relación agua-cemento en la contracción de las pastas de cemento



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

Se ha defendido la idea de que un alto contenido de cemento siempre conduce a una mayor contracción por secado, esto no es estrictamente correcto, como puede ilustrarse en la figura 2.9, la cual muestra que un hormigón de alto comportamiento y alta resistencia que puede ser caracterizado por un alto contenido de cemento, menor contenido de agua (y por tanto, relación baja de agua-cemento) y buena calidad de agregados, puede tener características de baja contracción.

Figura 2.9: Contracción por secado de concreto de alta resistencia



Fuente: INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO Fecha 14/09/2010

2.1.5.4.2.5. Prácticas de construcción.

La colocación, la compactación y el curado del concreto, son factores importantes para minimizar la magnitud de la contracción por secado.

Al agregar más agua en el sitio durante la colocación del hormigón para restablecer el revenimiento o para ayudar al acabado final, se incrementará la contracción por secado del hormigón o concreto.

Se requiere de compactación y curado apropiado para producir un hormigón denso de capilares reducidos y/o con capilares discontinuos, que da como resultado una pérdida reducida de humedad del hormigón y baja la contracción por secado.

Al aplicar apropiadas medidas de curado inmediatamente después del acabado del hormigón, se evitará el secado de la superficie del hormigón, en especial en condiciones de clima caliente.

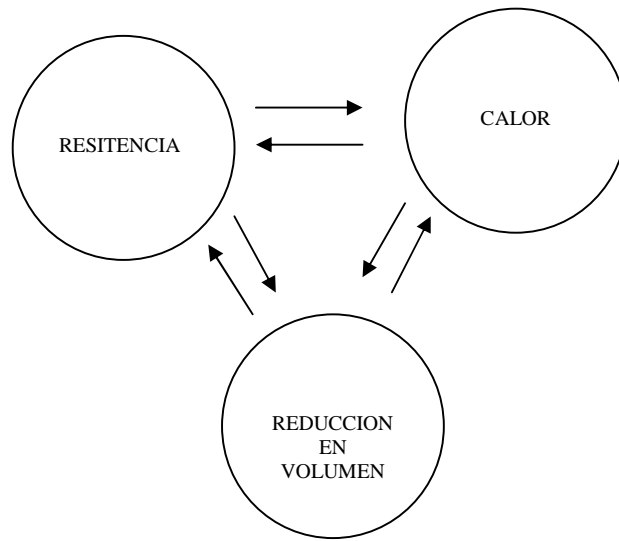
2.1.5.5. EL TRIÁNGULO ETERNO.

Las reacciones de hidratación vinculan la generación de calor y la reducción de volumen en la pasta de cemento, así estas dos reacciones, generación de calor y reducción de volumen se desarrollan al mismo tiempo que el hormigón va adquiriendo resistencia.

Este “Triangulo Eterno” representado en la figura 2.10, enfatiza la naturaleza concomitante de los tres fenómenos, dos de ellos, generación de calor y reducción de volumen pueden considerarse nocivos.

Sin embargo estos dos fenómenos pueden ser tolerables, siempre y cuando se haya aprendido a manejar sus efectos en las construcciones del hormigón.

Figura 2.10: El Triángulo Eterno



Los términos globales hidratación del cemento y calor de hidratación están directamente relacionados con la contracción, aunque pueden confundirse si no se reconoce que el cemento es un material multifacético cuya composición puede variar con una amplia gama.

Además el cemento se utiliza conjuntamente con otro material cementicio, la situación se vuelve más compleja. Sin embargo todas las reacciones químicas involucradas son de naturaleza exotérmica, resultando un incremento en la temperatura del hormigón, a menos que se le induzca calor externo lo cual producirá condiciones isotérmicas o una reducción en su temperatura.

2.1.5.6. GENERACIÓN DE CALOR.

La cantidad de calor generada en el desarrollo de la resistencia del hormigón se ve influenciada por varios factores, destacando entre ellos las respectivas proporciones de los cuatro principales componente del cemento, el área específica del elemento, la temperatura inicial del hormigón, la temperatura ambiente durante el proceso de hidratación y el tamaño y forma del elemento del hormigón.

Por tanto la hidratación del cemento siempre es acompañada por la generación de calor, que resulta en un incremento de la temperatura del hormigón, aunque la magnitud de este incremento depende de varios factores como el contenido de cemento en la mezcla, el tipo de cemento, las propiedades térmicas de los agregados, la temperatura del hormigón al momento de su colocación y las condiciones de curado.

Desde el punto de vista térmico hay dos tipos de condiciones en el curado del hormigón. El curado isotérmico que se da a temperatura constante y el curado adiabático que se da cuando no hay intercambio de calor con el exterior.

En la práctica el hormigón se encuentra entre estos dos puntos. Usualmente hay un periodo corto durante el cual el incremento de temperatura es insignificante, seguido en el cual el incremento en la temperatura es más o menos rápido y más y menos intenso y reduce gradualmente a la temperatura ambiente.

2.1.5.7. CONTRACCIÓN VERSUS RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.

El hormigón al fraguarse produce en su estructura grietas superficiales, perjudiciales que además le impide al hormigón alcanzar la resistencia especificada o deseada, los agentes más perjudiciales son el sol y el viento.

El hormigón alcanza el 70% de su resistencia especificada a los 7 días del vaciado. La resistencia final del hormigón depende en gran manera de las condiciones de humedad y temperatura durante este periodo inicial.

El 30% o más de la resistencia, puede perderse por un secado prematuro del hormigón o si la temperatura baja a 5° C o menos durante los primeros días. Todo esto hace que sufra el hormigón un agrietamiento en su estructura física por el fenómeno de la contracción, que pone en riesgo de gran manera el alcance a su resistencia especificada.

Para evitar estos peligros en el hormigón, éste debe protegerse de las pérdidas de humedad al menos durante los siete días y en trabajos más delicados hasta catorce días, manteniendo al hormigón continuamente húmedo durante un largo tiempo.

Dicho todo lo anterior, entonces se dice en síntesis lo siguiente:

La contracción por secado viene a influenciar directamente sobre la resistencia del hormigón, haciendo que el mismo pueda disminuir de gran manera su capacidad de resistencia tanto a la compresión como a la resistencia a flexión.

Entonces se dice que a mayor pérdida de agua en el hormigón mayor será la contracción y su resistencia será menor, al contrario de lo mencionado cuando exista una pérdida de agua lenta, menor será la contracción en el hormigón, esto hará que el hormigón adquiera mayor resistencia a cualquier tipo de fuerza expuesto.

2.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS.

2.2.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.

La presente investigación que se va a realizar pertenece al de tipo experimental, esto debido a que se pretende realizar un control de la manipulación intencional de las variables independientes, para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre las variables dependientes.

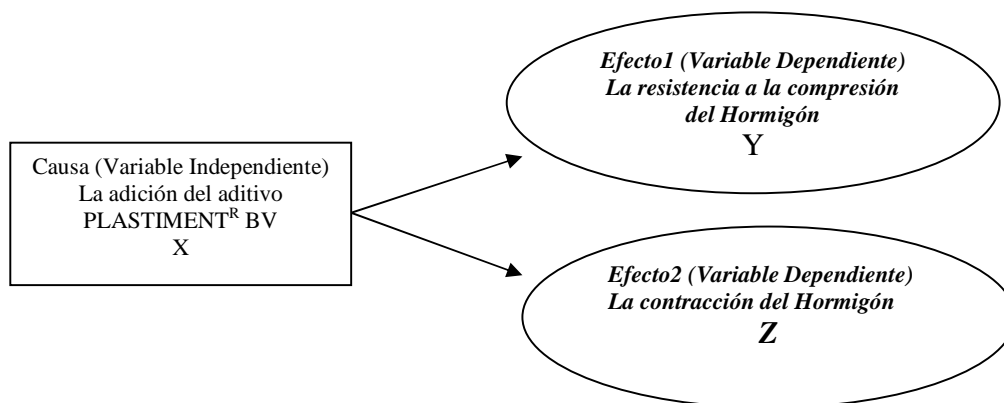
Las características principales de esta investigación se las señalan continuación:

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

2.2.2. VARIABLES.

De acuerdo al objeto de estudio mencionado anteriormente se puede identificar la principal característica de una investigación experimental, la cual debe de constar de una causa o variable independiente (la adición del aditivo **PLASTIMENT^R BV**, a un porcentaje de 0.2%, 0.35% y 0.5% referido al peso del cemento) el cual es manipulado y un efecto o variable dependiente (la resistencia a compresión y la contracción del hormigón) el cual es comparado y analizado. La mezcla predeterminada, permanece sin modificación alguna.

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



2.2.3. HIPÓTESIS.

La incorporación de aditivo **PLASTIMENT^R BV**, a un porcentaje de 0.2%, 0.35% y 0.50% referido al peso del cemento reduce la contracción en el hormigón, la reducción de la contracción permite obtener como resultado un hormigón con mejores características mecánicas, lo que beneficiaría de gran magnitud en la construcción de obras civiles en general.

2.2.4. MUESTRAS Y EQUIPOS.

La selección de los materiales a ser utilizados en la investigación se tomó unas porciones representativas para realizar el estudio de cada una de ellas, y así poder obtener resultados confiables.

Debido a que para determinar las características de los materiales que interfieren en la elaboración del hormigón dependen de aspectos particulares se procedió de la siguiente manera para obtener dichos resultados.

➤ **Agregados.**

Para el caso de los agregados se tomaron muestras mezcladas mediante cuarteo en laboratorio, de tal manera que éstas representen la condición media del agregado.

La cantidad de la muestra representativa varía con el tamaño máximo del agregado y por tal motivo, para la extracción de las muestras se consideró las siguientes cantidades:

Tabla 2.12: Pesos mínimos de las muestras

TAMAÑO MAXIMO DE PARTÍCULAS EN PULGADAS	PESO MÍNIMO DE LA MUESTRA EN KILOS
N° 8	10
N°4	10
2.2/8''	10
1/2''	15
2.2/4''	25
1''	50
1 1/2''	75
2''	100
2 1/2''	125
2.2	150
2.2 1/2''	175

Fuente: Manual para ingenieros "Ensayos de Materiales" Pag.11

Como el tamaño máximo del agregado grueso de la cantera que se pretende estudiar tiene un tamaño máximo de 1 1/2'' en la cual no se presenta mucha variabilidad, se optó por realizar tres veces cada uno de los ensayos requeridos, tomando muestras de 75 Kg. como se indica en la tabla 2.12, de la misma manera se prosiguió con la obtención de las muestras del agregado fino las mismas que tuvieron un peso de entre 10 y 20 Kg.

Es necesario aclarar que en esta investigación tiene por objeto hacer un análisis experimental de la contracción del hormigón en una muestra con mezcla predeterminada (dosificación predeterminaba) conforme se le va incrementando la adición de aditivo **PLASTIMENT^R BV** es por esta razón que los ensayos realizados en los agregados son los necesarios para la constatación de la mezcla a utilizar.

➤ **Aditivo.**

En el caso del aditivo **PLASTIMENT^R BV**, se optó este tipo de aditivo por ser el más usado en este medio, pese a que existen otros aditivos que también son usados pero limita la adquisición puesto que los mismos son más complicados de

encontrarlos, al no contar con una distribuidora en la ciudad, el aditivo **PLASTIMENT^R BV** es un aditivo fácil de adquirirlo ya que cuenta con una casa comercial y distribuidora de productos **SIKA** en esta ciudad de Tarija y por otra parte este aditivo cuenta con ciertas características para dicho estudio a realizarse.

➤ **Hormigón.**

En dicha investigación las muestras de hormigón fueron elaboradas en probetas cilíndricas estandarizadas (de altura igual a dos veces el diámetro), de 6''x 12'' ó 15 x 30 cm., de acuerdo a la norma ASTM C 2.29.

De igual manera se elaboraron moldes para el ensayo de anillo de contracción restringida con las dimensiones del diámetro interno 15 x 15 cm y del diámetro externo 26 x 15 cm.

2.2.5. NÚMERO DE MUESTRAS.

Para la obtención el número de muestras vaciadas en la práctica experimental se tuvo que acudir a una herramienta muy necesaria como es el internet para así elegir el método más confiable en la obtención del número de muestras.

Para tal caso, se empleó la siguiente ecuación, perteneciente a poblaciones finitas;

$$n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon} \right)^2 * p * q \quad \text{Ec.1.}$$

Dónde:

n_0 = Cantidad teórica de elementos de la muestra.

z = Valor estandarizado en función del grado de confiabilidad de la muestra calculada.

ε = Error asumido en el cálculo.

p = Probabilidad que tiene la muestra en poseer las mismas cualidades de la población.

q = Probabilidad de que la muestra no presente las mismas características de la población.

A continuación se presentan algunos valores estandarizados de (z) en función del grado de confiabilidad asumido.

Tabla 2.13: Valores estandarizados en función del grado de confiabilidad

GRADOS DE CONFIABILIDAD (%)	VALOR ESTANDARIZADO (z)
99	2,58 (empleado con frecuencia)
✓ 95	1,96 (el más empleado)
90	1,64

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos42/seleccion-muestra/seleccion-muestra2.shtml> Fecha 22/09/2010

- En este caso se optó por tomar el más empleado es decir $z = 1,96$.
- Como se trata de un número de estratos igual a cuatro se asume un error del 10% donde $\varepsilon = 0.10$.
- Para la selección de (q) se tienen los siguientes valores:

Tabla 2.14: Valores de la probabilidad de la población que no presenta las características

NÚMERO DE ESTRATOS (N)	(q)
✓ $22 \leq N \leq 19$	se asume 0,01
$20 \leq N \leq 29$	De 0,01 hasta 0,02
$2.20 \leq N \leq 79$	De 0,02 hasta 0,05
$80 \leq N \leq 159$	De 0,05 hasta 0,10
$N \geq 160$	De 0,05 hasta 0,20

Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos42/seleccion-muestra/seleccion-muestra2.shtml> Fecha 22/09/2010

Como se tratan de cuatro estratos tenemos $q = 0,01$.

Como $p + q = 1$ tenemos que $p = 1 - q$ por lo tanto $p = 0,99$ lo que indica que hay la probabilidad del 99% de que la muestra represente a la población

Remplazando valores en la Ec.1. Se tiene:

$$n_0 = \left(\frac{1.96}{0.10} \right)^2 * 0.99 * 0.01 = 3.80$$

Ahora se calcula, el número de muestras real, con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:

n = Cantidad real de la muestra a partir de la población o estratos asumidos.

n_0 = Cantidad teórica de elementos de la muestra.

N = Número total que conforma la población o estratos totales de la población.

Considerando que:

- Se quiere comparar 2 tipos de hormigones, el convencional y el hormigón con adición de aditivo **PLASTIMENT^R BV** propuesto, además de tener distintos porcentajes de adición, se tiene un total de 4 estratos, por lo que se tiene:

$$n = \frac{3.80}{1 + \frac{3.80}{4}} = 1.95 \approx 2$$

De acuerdo a lo anterior se estableció, que la muestra representativa de los hormigones a ensayar para cada estrato, son 2. A continuación se presenta la distribución realizada del número de muestras a ser ensayadas para cada condición:

Tabla 2.15: Número de muestras de las probetas cilíndricas a ser ensayadas

Nº DE DÍAS DE CURADO	HORMIGÓN CONVENCIONAL	HORMIGÓN CON ADITIVO PLASTIMENT ^R BV			TOTAL
		0.2% DE ADITIVO	0.35% DE ADITIVO	0.5% DE ADITIVO	
14	2	2	2	2	8
21	5	5	5	5	20
28	13	13	13	13	52
TOTAL	20	20	20	20	80
PROBETAS CILINDRICAS					

El muestreo seleccionado fue el aleatorio estratificado (tipo de muestreo probabilístico), debido a que se desea estudiar distintos grupos homogéneos.

En este caso se obtuvo un total de 80 hormigones a ser vaciados.

Para la obtención de resultados confiables se realizará el vaciado de 20 probetas cilíndricas dosificadas con hormigón convencional, 20 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 0.20. %, 20 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 0.35%, y 20 probetas cilíndricas dosificadas con aditivo al 0.50%, en diferentes casos serán sometidas las probetas a la prueba de resistencia mecánica a compresión.

Para la obtención el número de hormigones vaciados en el ensayo experimental de anillos de contracción restringida se realizó de la misma manera que el de número de probetas:

Para tal caso, también se empleó la siguiente ecuación, perteneciente a poblaciones finitas:

$$n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon} \right)^2 * p * q \quad \text{Ec.1}$$

Donde:

n_0 = Cantidad teórica de elementos de la muestra.

z = Valor estandarizado en función del grado de confiabilidad de la muestra calculada.

ε = Error asumido en el cálculo.

p = Probabilidad que tiene la muestra en poseer las mismas cualidades de la población.

q = Probabilidad de que la muestra no presente las mismas características de la población.

Según el Tabla 2.13 adoptamos el valor estandarizado de (z).

- En este caso se optó por tomar el más empleado es decir $z = 1,96$.
- Como se trata de un número de estratos igual a cuatro se asume un error del 10% donde $\varepsilon = 0.10$.
- Para la selección de (q) tenemos los siguientes valores:

De acuerdo al Tabla 2.14 témenos un valor de q .

Como se tratan de cuatro estratos tenemos $q = 0,01$.

Como $p + q = 1$ tenemos que $p = 1 - q$ por lo tanto $p = 0,99$ lo que indica que hay la probabilidad del 99% de que la muestra represente a la población

Remplazando valores en la Ec.1. Se tiene:

$$n_0 = \left(\frac{1,96}{0,10} \right)^2 * 0,99 * 0,01 = 3,80$$

Ahora se calcula, el número de muestras real, con la siguiente ecuación:

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{Ec.2.}$$

Donde:

n = Cantidad real de la muestra a partir de la población o estratos asumidos.

n_0 = Cantidad teórica de elementos de la muestra.

N = Número total que conforma la población o estratos totales de la población.

Considerando que:

- Se quiere comparar 2 tipos de hormigones, el convencional y el hormigón con adición de aditivo **PLASTIMENT^R BV** propuesto, además de tener distintos porcentajes de adición, se tiene un total de 4 estratos, por lo que se tiene:

$$n = \frac{3.80}{1 + \frac{3.80}{4}} = 1.95 \approx 2$$

De acuerdo a lo anterior se estableció, que la muestra representativa de los hormigones a ensayar para cada estrato, son 2. A continuación se presenta la distribución realizada del número de muestras a ser ensayadas para cada condición:

Tabla 2.16: Números de muestras de anillos de contracción restringida a ser ensayados

Nº DE DÍAS DE CURADO	HORMIGÓN CONVENCIONAL	HORMIGÓN CON ADITIVO PLASTIMENT ^R BV			TOTAL
		0.2% DE ADITIVO	0.35% DE ADITIVO	0.5% DE ADITIVO	
14	2	2	2	2	8
21	5	5	5	5	20
28	13	13	13	13	52
TOTAL	20	20	20	20	80

ANILLOS DE CONTRACCIÓN RESTRINGIDA

El muestreo seleccionado fue el aleatorio estratificado (tipo de muestreo probabilístico), debido a que se desea estudiar distintos grupos homogéneos.

En este caso en particular de los anillos de contracción restringida se obtuvo un total de 80 hormigones a ser vaciados, pero se realizará el vaciado sólo de 20 hormigones, debido a que con esta cantidad de muestras se puede tener datos confiables para dicho estudio.

Para los hormigones de anillo de contracción restringida se realizará el vaciado de 5 anillos con hormigón convencional, 5 anillos de hormigón con aditivo al 0.20%, 5 anillos de hormigón con aditivo al 0.35%, y 5 anillos de hormigón con aditivo al 0.50% en diferentes casos de porcentajes se hará las inspecciones correspondientes y la medición de agrietamientos de los mismos.

Para dicho análisis experimental serán vaciadas 80 probetas cilíndricas y 20 anillos de contracción restringida, haciendo un total de 100 hormigones a vaciar.

➤ **Equipos.**

Todo el equipo necesario que será utilizado para esta investigación fueron facilitados por el laboratorio de suelos y hormigones de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho ya que el mismo al dedicarse al estudio de los mencionados, consta con el material necesario.

El equipo que se menciona a continuación fue el que se utilizó para realizar todos los ensayos necesarios para llevar a cabo esta investigación:

Tabla 2.16: Materiales utilizados en la presente investigación

EQUIPOS E INSTRUMENTOS	DESCRIPCIÓN
Horno	Temperatura máx. 400 °C
Prensa hidráulica	Compact 1500, de 1540 KN de capacidad, Lect. 4 KN/div.
Balanza digital y balanzas manuales.	De diferentes capacidades.
Hormigonera	Mezcladora eléctrica, de capacidad máxima, entre los 45 Lt.
Cono de Abrams	Molde metálico, cono truncado con base de f=200 mm, la parte superior de f=100 mm y una altura de 2.200 mm.
Varilla apisonadora.	
Varilla de compactación de acero	De 15.9 mm de diámetro y aproximadamente 60 cm. de largo, con sus extremos de forma semiesférica.
Herramientas	Manguera, carretillas, palas, bandejas metálicas, juego de espátulas, badilejos, plancha, juego de llaves, fluxómetro, regla metálica, combos de goma, brochas, martillos.
Moldes metálicos para probetas	De 15 cm. de diámetro y 2.20 cm de altura.
Molde cónico	De 72.2 mm. De altura con diámetros de 89 y 2.28 mm.
Instrumentos médico menor	Probetas de 1000 y 25 cc., matraz de 500 ml., pipetas de 10 ml., termómetro de -10 a 200 °C, vasos de precipitación de 1000 cc.
Cesto cilíndrico de tela metálica	De abertura de 4.76 mm. y de 20 cm. De diámetro.
Juego de tamices de abertura cuadrada	2 ½'', 2'', 1 ½'', 1'', ¾'', ½'', 2.2/8'', N° 4, N° 8, N° 16, N°2.20, N° 50, N°100, N° 200, base y tapa.
Cuarateadores metálicos	Para material grueso y fino.

2.2.6. MÉTODO DE DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.

Para la determinación de las cantidades de los materiales componentes de la mezcla de hormigón de propiedades deseadas, se han desarrollado procedimientos semianalíticos de naturaleza empírica, debido a su dependencia de datos tabulados obtenidos de una gran cantidad de números de mezclas de pruebas.

Existen diferentes métodos para la determinación de las cantidades de los materiales que forman parte en la elaboración del hormigón los cuales se cita a continuación:

2.2.6.1. MÉTODO DE LA AMERICAN CONCRETE INSTITUTE ACI 211.1.

El método ACI 211.1 es recomendado para dosificar hormigón normal, pesado y en masa.

El método de American Concrete Institute ACI-211 tiene la ventaja de su simplicidad y puede aplicarse igualmente con agregado grueso, redondeado, como también angular, para el caso del agregado corriente o liviano y para hormigones con o sin aire incluido.

Para materiales dados se mantiene constantes el contenido de agua y el contenido de agregado grueso. Si se mantiene constante el asentamiento y el tamaño máximo del agregado, el contenido de agua será constante independiente de las variaciones de la relación agua/cemento y en el contenido de cemento. Por otra parte el contenido de agregado grueso se mantendrá constante siempre que no varíe el tamaño máximo del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, esto es independiente de la de las partículas.

2.2.6.2. MÉTODO O´REILLY.

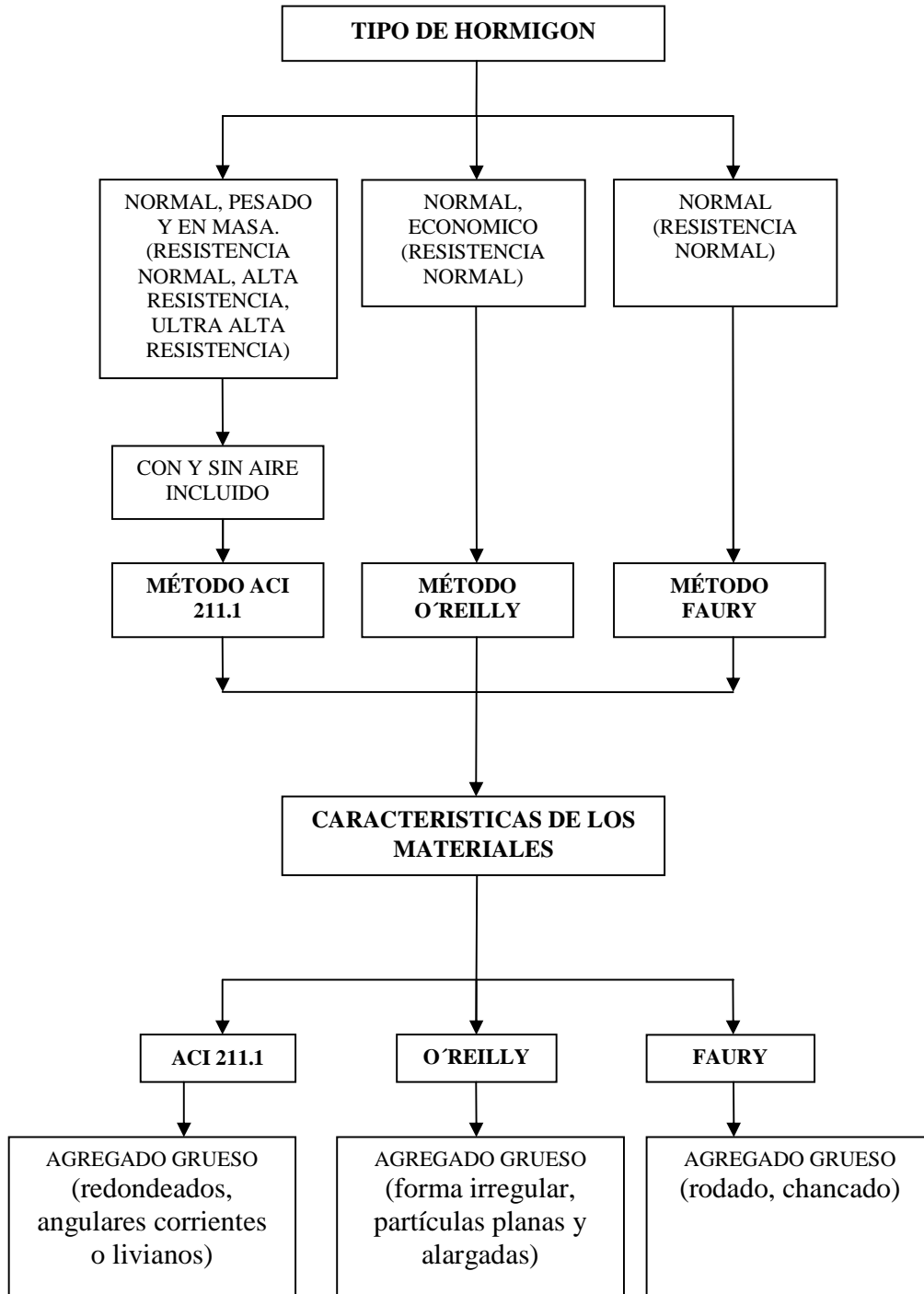
El método puede emplearse en sectores, en los que, por escasez o carencia de agregados de calidad estamos obligados a recurrir al empleo de materiales con requisitos tecnológicos que no cumplen especificaciones convencionales y además se emplean con frecuencia mezclas del hormigón con baja resistencia, el objetivos del método de dosificación son:

- Lograr el máximo ahorro de cemento con las condiciones tecnológicas existentes, sin requerir nuevas inversiones o eventuales importaciones de aditivos químicos para la mezcla de hormigón.
- Garantizar en la práctica una mayor precisión del cálculo de las dosis de cemento fundamentalmente para las mezclas de hormigón con propiedades reológicas.

2.2.6.3. MÉTODO DE FAURY.

El método de Faury para la dosificación de hormigones, se fundamenta en principios granulométricos para determinar las cantidades de los materiales, que permiten otorga a un determinado hormigón las características previstas. Se basa en las experiencias realizadas por su propio autor, las que constituyen una continuación de las que ya anteriormente habían ejecutado sobre principios similares otros investigadores tales como Filler y Bolomey y principalmente Caquot, quien le proporciona el fundamento teórico de los conceptos de mayor importancia contenido en el Método.

Figura 2.11: Flujograma del proceso de diseño de mezcla



2.2.6.4. DOSIFICACIÓN PARA EL ENSAYO EXPERIMENTAL.

El método ACI 211.1 diseña una mezcla para alcanzar una resistencia esperada de las probetas testigo, **“pero en este estudio en particular al utilizar materiales directamente tal cual de banco sin modificar las características de los mismos, hace que la resistencia que se obtendrá en las probetas testigo no alcancen al valor de la resistencia de diseño planteada por el método de dosificación”**.

Es por eso que se considera que el estudio a realizar se centra a la incidencia del aditivo en la resistencia, y en la contracción del hormigón convencional o probetas testigo, no se plantea alcanzar una resistencia esperada para la dosificación del hormigón y por tanto se considera las siguientes premisas:

- En el presente estudio se analizara un hormigón normal, se encuentra entre donde las resistencias del hormigón 140 Kg/cm^2 - 350 Kg/cm^2 por tanto la dosificación
- La dosificación que se utilizara en dicho estudio será una dosificación preestablecida.
- La dosificación será convencional comúnmente usada en el medio.
- La dosificación se la realizara con agregados extraídos directamente tal cual del banco de materiales como se utiliza en obras comunes de nuestro medio.
- Las proporciones de la mezcla a utilizar son 1: 2: 4, la cual contiene las siguientes cantidades de material expresado en peso y en volumen:
 - a) Para este estudio se utilizará $334,77 \text{ kg/m}^3$ aproximadamente de cemento de tipo IP 30 (PUENTE).
 - b) La cantidad de grava será de $1256,82 \text{ kg/m}^3$, este material proviene de canto rodado en condiciones naturales, por tanto la granulometría del mismo se encuentra casi en los límites granulométricos de cuerdo a la Norma ASTM C 33.
 - c) Para este estudio se utilizará una cantidad de 711.38 kg/m^3 de arena, este material está en condiciones naturales, la granulometría de la arena muestra que no está dentro de los límites granulométricos permisibles según la ASTM C 33, se trata de una arena muy fina.
 - d) La cantidad de agua que se utilizará será de $182,62 \text{ lt/m}^3$ aproximadamente.

- e) La cantidad de aditivo que se adicionara a la mezcla estará en función al peso del cemento que es lo que nos indica la ficha técnica del aditivo con relación de 0.20%, 0.35% y 0.50% (de adición de aditivo referido al peso del cemento).

Los materiales componentes de la mezcla serán analizadas en laboratorio para fines referenciales.

Las características físicas de los materiales que forman parte se encuentra en el anexo N° 2.

Para conocer con más profundidad sobre la dosificación de los hormigones ver anexo N° 5.

2.2.7. FASES DE LA INVESTIGACIÓN.

2.2.7.1. FASE I RECOLECCIÓN DE LOS MATERIALES.

- **Recolección de la información**, la misma que es necesaria para poder realizar la investigación de tal manera que se tenga bien clara la estructuración de la misma.
- **Clasificar los materiales**, para poder determinar la calidad de los mismos

2.2.7.2. FASE II ENSAYOS DE MATERIALES EN LABORATORIO.

- **Ensayos para el agregado fino: Análisis granulométrico, módulo de finura, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado.**
- **Ensayos para el agregado grueso: Granulometría, módulo de finura, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso unitario suelto y compactado.**

2.2.7.3. FASE III ELABORACIÓN DE LA MEZCLA, CURADO DE LOS HORMIGONES Y ENSAYO DE LOS HORMIGONES.

- **Ensayos de la elaboración de la mezcla.**
- **Ensayo de curado de los hormigones.**
- **Ensayos a la compresión**, en donde se pondrá a prueba en diferentes edades del hormigón tanto en la muestra testigo como en la adición de aditivo, para poder determinar el porcentaje de adición adecuado en la mezcla.
- **Ensayo de la tendencia del agrietamiento en el hormigón**, en donde se prueba la tendencia que tiene los hormigones al agrietamiento en diferentes edades y con distinto porcentaje de aditivo.

2.2.7.4. FASE IV ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

- **Análisis y comparación de los resultados obtenidos en las prácticas realizadas,** el mismo que es necesario para mostrar si la investigación cumplió con el objetivo planteado.
- **Emitir las conclusiones de la investigación,** en donde se dará a conocer el porqué del fracaso o el éxito de dicho análisis experimental.
- **Se demostrará la hipótesis,** si se cumple con la establecida, o se la rechaza.

CAPÍTULO 3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN:

En el presente capítulo lo que se pretende es desarrollar el presente estudio, mostrando de manera experimental las características de los materiales que forman y que interfieren en la elaboración del hormigón, pero este caso en particular mostrar principalmente cómo se comporta el mismo con la adición del aditivo.

3.1. FASE I RECOLECCIÓN DE LOS MATERIALES.

- **Cemento.-** El cemento que se usó en este estudio fue el cemento El Puente tipo IP-30 se optó por utilizar este tipo de cemento debido a que su obtención es fácil en el mercado y es el más utilizado en el medio, además que la fábrica donde se elabora el mismo se encuentra ubicada en la zona alta del departamento de Tarija más propiamente dicho en la provincia Méndez en la localidad del puente.

- **Agregados:**
 - **Arena.-** La arena que se recolectó y que se utilizó para este estudio en particular, fue extraída tal cual del banco de material, sin modificar las características de la misma. El banco de arena se encuentra ubicada en la provincia Cercado exactamente en la zona La Ventolera ubicada aproximadamente a 23 Km. de la ciudad de Tarija a la derecha de la carretera panamericana. Los materiales de la cantera de La Ventolera provienen del río Tarija. a 1760 m.s.n.m. y entre las coordenadas 21°44'20.07'' - 21°36'30.09'' de latitud sur y 64°36'35.02'' - 64°38'41.03'' de longitud oeste.

 - **La Grava.-** En el caso de del agregado grueso que se utilizó, fue de igual manera tal cual fue extraído del banco de material, no se modificó de ninguna manera las características de la grava. El banco de material de la grava fue de la zona del Temporal que se encuentra ubicada en la provincia Cercado de Tarija aproximadamente a 17 km de la ciudad a 1808 m.s.n.m. y entre las coordenadas 21°35'24.17'' de latitud sur y 64°41'06.27'' de longitud oeste. Los materiales de esta cantera de provienen de canto rodado.

- **Aditivo.-** La obtención del aditivo que se usó en esta investigación de nombre **PLASTIMENT^R BV**, se hizo en el mercado Departamental de Tarija, teniendo como representante de comercialización para los producto SIKA el comercial **CARRASCO** ubicado en la Av. Domingo Paz, 0-256 – P.O. BOX 289 Telf.66-35239 Fax: 3-5539 (Tarija- Bolivia). La hoja técnica se encuentra en el anexo N°10.

3.2. FASE II ENSAYOS DE MATERIALES EN LABORATORIO.

3.2.1. ENSAYOS DE LABORATORIO DEL CEMENTO.

Continuamente, la empresa SOBOCE, realiza ensayos de control del material, se optó por emplear los valores de sus propiedades, del cemento, conseguidos en la empresa, que cuenta con la garantía de certificación de calidad, IBNORCA IP-30; evitando de esta manera realizar los ensayos requeridos sin el equipo adecuado (ver anexo N°1).

A continuación en la tabla 3.1 se presenta, en forma resumida, algunas características físicas y mecánicas del cemento.

Tabla N° 3.1 especificaciones físicas y mecánicas del cemento (SOBOCE).

ESPECIFICACIONES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CEMENTO		
PESO ESPECÍFICO		3,03 gr/cm ³
RESISTENCIA		31,80 MPa.
TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL (min)	2:20
	FINAL (Hrs)	3:20
<i>Fuente: Informe de control de calidad cemento ORJ-JCC-CC-030 (SOBOCE).</i>		

Tabla N° 3.2 Resultados de las especificaciones químicas del cemento.

SIMBOLOGÍA COMPUESTOS QUÍMICOS	COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO %
SIO₂	30,35
AL₂O₃	3,95
Fe₂O₃	2,82
CaO	50,35
<i>Fuente: Informe de control de calidad cemento ORJ-JCC-CC-030 (SOBOCE)</i>	

3.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO.

➤ PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

El procedimiento para la obtención del peso específico y absorción de la arena se realizó en base a la Norma ASTM C 128. El procedimiento detallado del ensayo se encuentra en el anexo N°2. A continuación se presentan los valores de los pesos específicos del agregado fino además de los promedios de los mismos:

Tabla N° 3.3: Resultados de pesos específicos del agregado fino y su porcentaje de absorción.

INCÓGNITAS	VALOR M1 gr/cm³	VALOR M2 gr/cm³	VALOR M3 gr/cm³	VALOR PROM. gr/cm³
PESO ESPECÍFICO AL GRANEL	2,50	2,53	2,39	2,38
PESO ESPECÍFICO SATURADO Y EN SUPERFICIE SECA	2,58	2,62	2,36	2,55
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2,70	2,77	2,57	2,68
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%ABS)	2,89%	3,09%	2,91%	3,0%

El peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo, generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles. En este caso y de acuerdo a los resultados obtenidos se trata de una arena absorbente¹³.

➤ ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO.

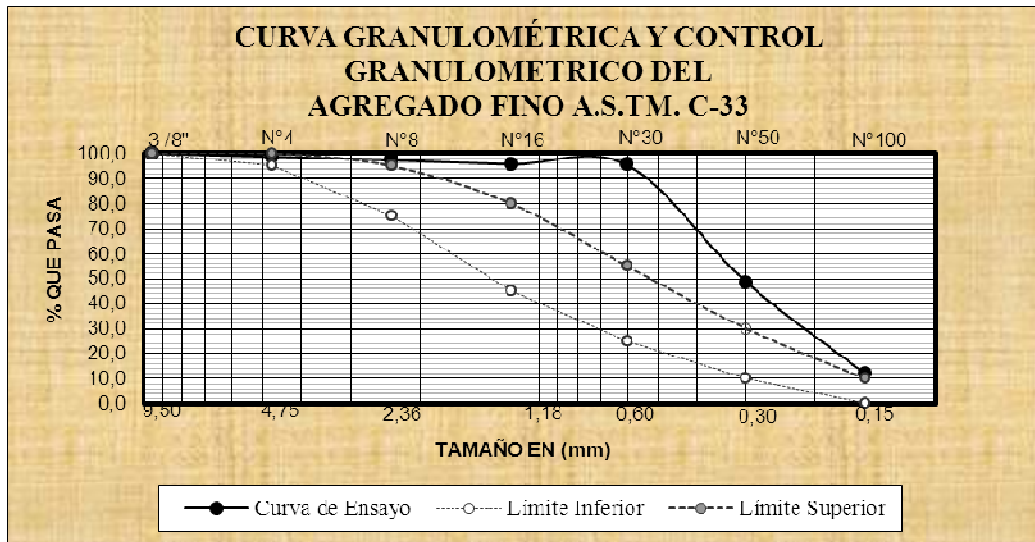
El procedimiento realizado con base en la Norma ASTM C 136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33. El procedimiento se encuentra explicado en el anexo N°2.

Tabla N° 3.4: Resultados promedio del análisis granulométrico del agregado fino % de humedad y modulo de fineza.

PESO TOTAL EN GRAMOS = 1000,00					
DESIGNACIÓN	ABERTURA [mm.]	% PASA (M1)	% PASA (M2)	% PASA (M3)	% PASA PROM
3/8"	9,50	100,00	100,00	100,00	100,00
N°4	4,75	98,70	98,70	98,70	98,70
N°8	2,36	97,40	97,40	97,40	97,40
N°16	1,18	95,70	95,70	95,70	95,70
N°30	0,60	95,40	95,40	95,40	95,40
N°50	0,30	48,60		48,50	48,60
N°100	0,15	12,00	11,90	11,90	12,00
Base	0	0,00	0,00	0,00	0,00
MODULO DE FINEZA		1,52	1,52	1,52	1,52

¹³“Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López. Pág.153

Figura 3.1: Curva granulométrica y control granulométrico del agregado fino.



Como se puede observar en la figura 3.1 la curva granulométrica no cumple con los límites establecidos en las mallas 3/8", N° 8, N°16, N°30, N°50 y N°100, de la Norma A.S.T.M. C-33 por la razón de utilizar la arena fina tal cual del banco.

➤ **DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO.**

El procedimiento de la obtención de estos resultados está según la norma ASTM C 29. El procedimiento se encuentra en el anexo N°2.

Tabla N° 3.5: Resultados de los pesos unitarios compactados del agregado fino.

MUESTRA N°	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm3)
1	1,607
2	1,611
3	1,612
PROMEDIO	1,610

El peso unitario de un agregado, indica el grado de acomodamiento de las partículas y entre menor sea este, menor será el volumen de vacíos entre partículas, lo cual hace que la mezcla sea más económica por requerir menor cantidad de pasta para rellenar dichos vacíos.¹⁴

El peso unitario de los agregados en los hormigones de peso normal generalmente varían entre 1,50 gr/cm³ y 1,70 gr/cm³ Y según los resultados obtenidos de la muestra indica que se trata de un hormigón de peso normal, debido a que su peso unitario compactado es igual a 1,610 gr/cm³.

3.2.3. CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO GRUESO.

➤ PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

Obtenido mediante la Norma ASTM C 127. El desarrollo se encuentra detallado en el anexo N°3.

Tabla N° 3.6: Resultados de los pesos específicos y % de absorción del agregado grueso.

INCÓGNITAS	VALOR M1	VALOR M2	VALOR M3	VALOR PROM
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN %	1,16%	1,15%	1,02%	1,11%
PESO ESP. A GRANEL (Árido Saturado Superficialmente Seco)	2,62 gr/cm ³	2,62 gr/cm ³	2,61 gr/cm ³	2,62 gr/cm³
PESO ESP. A GRANEL (Árido Seco)	2,59 gr/cm ³	2,59 gr/cm ³	2,59 gr/cm ³	2,29 gr/cm³
PESO ESPECÍFICO APARENTE	2,67 gr/cm ³	2,67 gr/cm ³	2,66 gr/cm ³	2,66 gr/cm³

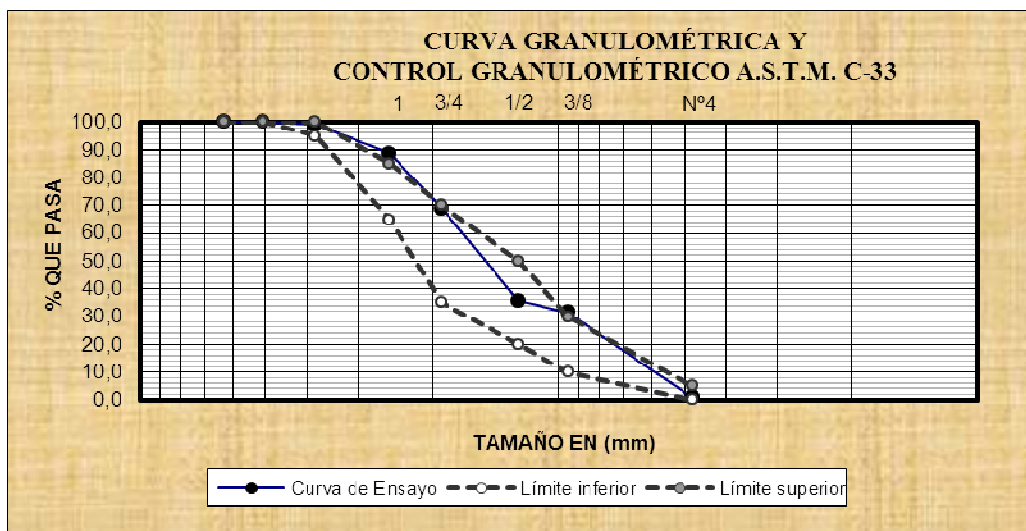
¹⁴“INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGON”, Fernando M. Cerruto. Pág.2-18

➤ **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO.**

Tabla N° 3.7: Resultados promedio del análisis granulométrico del agregado grueso, % de humedad y modulo de fineza.

PESO TOTAL EN GRAMOS 5000,00					
TAMICES	TAMAÑO (mm)	% PASA (M1)	% PASA (M1)	% PASA (M1)	% PASA PROM
2 1/2"	63	100	100	100	100,0
2	50,8	100	100	100	100,0
1 1/2	38,10	99	99	99	99,0
1	25,40	88,7	88,7	88,7	88,7
3/4	19,05	68,9	68,9	68,9	68,9
1/2	12,50	35,8	35,7	35,8	35,8
3/8	9,50	31,5	31,5	31,5	31,5
N°4	4,80	0,9	0,8	0,8	0,9
BASE	0	0	0	0	0,0
MODULO DE FINEZA		2,75	2,75	2,75	2,75

Figura 3.2: Curva granulométrica y control granulométrico del agregado grueso.



Según la Norma A.S.T.M C-33 se observa que el agregado grueso tiende a estar al límite superior debido a que la grava fue analizada tal cual como del banco de material

Procedimiento realizado en base a la Norma ASTM C 136, con los límites recomendados en la Norma ASTM C 33. . El desarrollo se encuentra detallado en el anexo N°3.

➤ **DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO.**

Obtenido según la norma ASTM C 29. El desarrollo se encuentra detallado en el anexo N°3.

Tabla N° 3.8: Resultados de los pesos unitarios compactados del agregado grueso.

MUESTRA N°	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm ³)
1	1,664
2	1,675
3	1,676
PROMEDIO	1,672

3.3. FASE III ELABORACIÓN DE LA MEZCLA, CURADO DE LOS HORMIGONES Y ENSAYO DE LOS HORMIGONES.

3.3.1. ELABORACIÓN DE LOS DE HORMIGONES.

Posteriormente después de haber obtenido ya las proporciones y las cantidades de los materiales se proceda a realizar la elaboración de la mezcla del hormigón.

3.3.1.1. ELABORACIÓN DE LOS HORMIGONES CILÍNDRICOS.

El procedimiento de elaboración de los hormigones cilíndricos se basó en la norma ASTM C-31.

Indicados los procedimientos previos en la elaboración de los hormigones cilíndricos.

- Se elaboraron 20 probetas por día de vaciado, de acuerdo a la disponibilidad del material debido a que el laboratorio no cuenta con los requeridos y sólo cuenta con 18 moldes, los demás moldes fueron prestados.
- El pesado del material se lo realizó 24 horas antes del vaciado al igual que el aditivo, a excepción del cemento, esto para evitar que los mismos adquieran humedad del ambiente.
- Los moldes cilíndricos fueron primeramente limpiados posteriormente ajustados y engrasados con material aislante 24 horas antes del vaciado, esto para no tener dificultad al momento del desencofrado del los hormigones.
- Para evitar que haya una alteración mediante el proceso de vaciado se optó por vaciar el mismo día todas las muestras, esto quiere decir que se elaboró 5 moldes llenados con el hormigón convencional, 5 moldes llenados con el hormigón con adición de aditivo al 0.20%, 5 moldes llenados con el hormigón con adición de aditivo al 0.35%, 5 moldes llenados con el hormigón con adición de aditivo al 0.50%.

3.3.1.2. APARATOS Y EQUIPOS NECESARIOS.

Los equipos empleados para la preparación del hormigón, fueron:

- **Una hormigonera eléctrica:** con capacidad suficiente para la elaboración y el mezclado.
- **Recipiente:** con capacidad mínima de 10 litros (cubeta) impermeable, limpia y no absorbente.
- **Charola:** un recipiente limpio, de acero con la capacidad adecuada para el tamaño de la muestra.
- **Cucharón metálico:** limpio, impermeable, no absorbente con capacidad aproximada de un litro y con los bordes laterales para evitar la pérdida de material por los costados.
- **Cono de Abrams:** molde tronco de cono limpio y en buen estado.
- **Placa de base:** de material no absorbente, limpia, plana y rígida.

- **Varilla de compactación:** barra de acero limpia de sección circular, rígida, lisa y no absorbente con los extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
- **Placa o regla enrasadora:** regla de acero limpia de sección rectangular, rígida, lisa y no absorbente.
- **Probeta graduada:** de vidrio o plástico en buen estado.
- **Mazo de hule de neopreno:** mango de madera con la cabeza de goma.
- **Moldes cilíndricos:** de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto en buen estado.
- **Herramientas auxiliares:** como ser palas, carretilla, cucharas de albañil, recipientes, brochas y cinta métrica, etc.
- **Equipos de seguridad:** guantes y lentes de seguridad.

El proceso de mezclado fue el siguiente:

1. Se prepara una lechada de cemento aproximadamente el 10% de la cantidad de la mezcla con la finalidad de no perder parte de la mezcla que se adhiere a las espas y paredes, antes de incorporar los materiales, se desecha el material no adherido
2. La secuencia de llenado de los materiales en la hormigonera se realizó dependiendo del tipo de mezcla.
 - Para la mezcla de los hormigones convencionales o testigos antes de poner a funcionar la hormigonera se echó el agregado grueso y el agregado fino y se deja girar de 30 a 60 segundos aproximadamente hasta que se homogenizan los agregados.
 - Después se agregó el cemento ya que se ha homogenizado la mezcla se agrega el agua dependiendo del aspecto y consistencia de la mezcla mientras está girando en la hormigonera.
3. Para mezcla con adición de aditivo se sigue el procediendo anterior con la única diferencia que el cierto porcentaje de aditivo está diluido en agua que se va añadiendo a la mezcla.
4. Una vez incorporados todos los materiales en la hormigonera se terminó con un periodo de mezclado durante 2 minutos, el cual se observó la consistencia y el aspecto del hormigón para ajustar el revenimiento o asentamiento requerido.

5. Una parte de la mezcla se vació en un recipiente para realizar el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams, la cantidad de mezcla fue la suficiente para la realización del asentamiento o revenimiento.
6. El procedimiento para determinar la consistencia del hormigón fresco fue de la siguiente manera:
 - Se humedeció el molde y se colocó sobre la placa plana no absorbente que fue de plástico rígido y húmedo, esta placa estuvo nivelada y libre de vibraciones.
 - Se apoyaron los pies en los estribos del cono para mantener al molde firme durante la operación del llenado.
 - A continuación se llenó el cono con el cucharón en tres capas de aproximadamente el mismo volumen. La primera capa a un volumen aproximado de 7 cm de su altura y se compactó con 25 penetraciones de la varilla distribuida uniformemente en el área por lo que en un principio se inclinó la varilla en la zona perimetral y conforme se avanzó en espiral, hacia el centro se compactó con la varilla de forma vertical.
 - La segunda capa de mezcla se colocó a una altura de 15 cm y se compactó de la misma forma que la primera, se procuró que la varilla penetre la capa anterior aproximadamente unos 2 cm.
 - La tercera capa se llenó al extremo del cono o molde colocando un excedente de hormigón por encima de borde superior antes de empezar la compactación. Se procedió a compactar de la misma forma que la segunda capa.
 - Después de terminar la compactación de la última capa, se enrasó en hormigón mediante un movimiento de rodamiento de la regla metálica, se limpió la superficie exterior y se retiró toda la mezcla que cayó sobre la placa.
 - Inmediatamente después se levantó con cuidado el molde del cono en dirección vertical sujetando por sus asas. La operación del levantar el molde se la realizó entre 5 segundos y sin movimiento lateral ni torsional.

- Se midió el revenimiento o asentamiento colocando el molde del cono invertido a un lado del hormigón fresco, se apoyó la regla metálica horizontalmente sobre el borde superior del molde del cono y con una cinta métrica se midió la diferencia de altura entre la parte inferior de la regla metálica y la superficie más baja del hormigón fresco en forma de cono. El mismo que fue en todas las ocasiones de 5 cm esto para evitar que se alteren las características de las diferentes mezclas.
 - Esta operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levantó el molde se la realizó sin interrupciones y en un tiempo no mayor de 2.5 minutos, para evitar que sufra alguna alteración la mezcla.
7. Una vez realizado el control de la mezcla y los moldes limpios y engrasados se prosiguió con el llenado de los moldes cilíndricos de la siguiente manera:
- Los moldes cilíndricos se llenaron con mezcla en una tercera parte de su volumen.
 - Se prosiguió a compactar la primera capa introduciendo la varilla 25 veces en forma de espiral hacia el centro del cilindro.
 - Se golpeó el molde con el mazo de goma para expulsar el aire contenido.
 - Se realizó el mismo procedimiento para llenar la segunda capa, se procuró que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente unos 2 cm.
 - En la tercera capa se llenó el molde colocando un excedente de material que sobrepasó el borde y se compactó de igual manera que las anteriores capas.
 - Con la regla metálica se enrasó y se planchó la parte superior de molde para tener un acabado lizo en el cilindro.

3.3.1.3. CURADO DE LAS PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN.

Se desmoldaron los hormigones después de 24 horas y se los sometió al curado.

El curado de las probetas cilíndricas se lo realizó introduciéndolas en piscinas llenas de agua en donde fueron sumergidas en su totalidad hasta que se realice el ensayo mecánico de resistencia a la compresión el cual se lo realizó en tres diferentes edades de 14, 21 y 28 días en los diferentes hormigones como ser hormigón convencional y los hormigones con adición de aditivo.

No se realizó el ensayo de resistencia a la compresión a los 3, 7 días de edad del hormigón, debido a que algunos hormigones con adición de aditivo retenían humedad y a la vez evitaban la evaporación del agua todo esto por efecto del aditivo que así actúa con el hormigón.

Todo este fenómeno se puede observar con mayor frecuencia en los hormigones con adición de aditivo a un porcentaje de 0.50% y no tanto en los demás porcentajes como el 0.3% y 0.20, es por esto que se trató de uniformizar los días de edad de rotura de los hormigones y así para tener datos más coherentes.

Es importante mencionar que no se dejó probetas cilíndricas a un curado igual que los de anillos de contracción restringida (curado al aire libre), puesto que se pretende realizar el ensayo mecánico de resistencia del hormigón con todo lo óptimo posible en lo que se refiere a este ensayo, y así poder evaluar los materiales que conforman el hormigón ya sea este convencional o con adición de aditivo, pero este proceso de realizar un curado al aire libre para conocer su comportamiento del hormigón a la resistencia a compresión no está libre a un posterior análisis que se pueda dar a futuro.

3.3.1.4. ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.

El ensayo mecánico de resistencia de las probetas cilíndricas, se efectuó según la norma ASTM C 39; donde el esfuerzo a la compresión del hormigón es calculado dividiendo la máxima carga leída durante el ensayo, por el área de la carga axial del mismo.

Para comprender mejor se entiende por resistencia a la compresión a la oposición que presenta un hormigón cilíndrico bajo una carga axial expresada como la fuerza de área generalmente da en kg/cm^2 .

El equipo empleado fue:

- una prensa hidráulica.
- balanzas con juego de pesas.
- Cinta métrica.

El procedimiento del ensayo a la resistencia a la compresión se describe a continuación:

- Se verificó con una cinta métrica las dimensiones de las probetas.

- Todas las probetas fueron pesadas antes del someterlas al ensayo.
- Posteriormente se colocaron las probetas en la parte inferior de la prensa, limpiando ésta con anterioridad.
- Se alineó la muestra, con el centro de la parte superior de la prensa (soporte con cabeza movable), y se verificó que la carga esté en cero.
- Se cerró la puerta de malla metálica de la prensa para mayor seguridad, y se empezó a aplicar la carga continuamente, hasta que la probeta falló, registrando así la máxima carga soportada por la probeta o de rotura. Observando así el tipo de falla que presentaban cada una.

3.3.1.5. ELABORACIÓN DE LOS ANILLOS DE CONTRACCIÓN RESTRINGIDA.

Para la correcta elaboración y curado de los anillos de contracción se siguió el procedimiento que marca la norma de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportacion Officials) con designación PP 31-99.

La elaboración de la mezcla para los anillos de contracción restringida fue de la misma manera que para las probetas cilíndricas.

Los equipos utilizados para la elaboración de los anillos de contracción restringida fueron los siguientes:

- **Anillo de acero:** las caras interiores y exteriores lisas, redondeadas y pulidas. Las dimensiones del anillo que se utilizó tiene un diámetro interior de 14 cm y un diámetro exterior de 15 cm con una altura de 15 cm.
- **Base de madera:** con una dimensión de 32 x 32 cm.
- **Una plancha metálica:** que sirve para colocar el hormigón con un diámetro interior de 26cm.
- **Varilla de compactación:** barra de acero limpia de sección circular, rígida, lisa y no absorbente con los extremo de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.
- **Placa o regla enrasadora:** regla de acero limpia de sección rectangular, rígida, lisa y no absorbente.
- **Mazo de hule de neopreno:** mango de madera con la cabeza de goma.

El procedimiento de llenado de la mezcla en los moldes fue de la siguiente manera:

1. Se engrasaron las paredes de la plancha metálica, base de madera, la pared exterior del anillo de acero no se engrasó para no afectar los efectos de la contracción.
2. Se fijó la plancha metálica y el anillo de acero a la base de madera para darle rigidez al molde, para que el instante del colocado del hormigón no haya movimiento alguno en el molde.
3. Los moldes se llenaron en tres capas aproximadamente del mismo espesor.
 - La primera capa se colocó hormigón a una altura de 5 cm y se compactó de 30 a 35 veces con la varilla de manera uniforme en todo el área de la circunferencia.
 - La segunda capa se colocó hormigón a una altura de 10 cm, y se compactó de la misma forma que la primera, procurando que la varilla penetre en la capa anterior.
 - En la tercera capa se colocó un excedente de hormigón por encima del borde superior se compacta de la misma manera que la segunda.
 - Por cada capa se golpeó con el mazo de hule el molde para asentar el hormigón y eliminar las burbujas de aire adheridas en las paredes del molde.
 - Una vez que se terminó la compactación de la última capa se le dio el acabado final en la superficie del hormigón con ayuda de la regla enrasadora. Se limpió la superficie exterior y se retiró toda la mezcla que haya caído sobre la base de madera.
 - Una vez enrasado los moldes se colocó y cubrió los mismos con hule de nailon durante las primeras 24 horas para evitar la pérdida de humedad.

3.3.1.6. CURADO DE LOS ANILLOS DE CONTRACCIÓN RESTRINGIDA.

Se desmoldaron los hormigones después de 24 horas y se dejaron al curado a medio ambiente, y se monitoreó de forma visual teniendo en cuenta y cuidado que los mismos no sufran el ataque de la lluvia, y así no sufran ninguna alteración al realizar la medición del agrietamiento.

3.3.1.7. ENSAYO DE LA TENDENCIA AL AGRETAMIENTO EN EL HORMIGÓN.

El ensayo mecánico de la tendencia del agrietamiento en el hormigón se efectuó según la norma AASHTO PP 34-99.

Este ensayo tiene la finalidad de poder determinar la tendencia al agrietamiento del hormigón en distintos hormigones y para evaluar el desempeño de los materiales utilizados. El procedimiento es comparativo y está destinado para determinar el tiempo inicial del agrietamiento en el hormigón.

Este método de prueba consiste principalmente en un anillo de hormigón colocado sobre una base de madera que sella la superficie inferior del anillo y la superficie superior es sellada por una capa de silicón, por lo que se crean condiciones simétricas de secado en el hormigón. Cuando el hormigón empieza a endurecer y a secarse, se contrae, y debido a que el anillo de acero restringe la contracción se crea una presión interna uniforme en el hormigón, por lo que aparecen grietas de contracción en la superficie cilíndrica del hormigón.

El equipo empleado fue:

- **Grietómetro:** es una mica de plástico que tiene distintas graduaciones en unidades de milimétricas y de pulgadas para medir el ancho de la grieta.

El procedimiento del ensayo de la tendencia del agrietamiento en el hormigón se describe a continuación:

1. Los hormigones se desmoldaron después de 24 horas, tiempo que permanecieron cubiertos con un nailon para no perder humedad.
2. Posteriormente se colocó en el borde superior del anillo de hormigón una capa de silicón, y el borde inferior del anillo queda sellado al estar en contacto con la base de madera, esto con la finalidad de que el hormigón pierda humedad sólo por la cara frontal o las paredes y así aparezcan las grietas sobre esta parte o cara.
3. Se dejó los hormigones al medio ambiente y se inspeccionaron visualmente hasta que apareció la primera grieta visible, se midió el ancho de la grieta con el Grietómetro y se registra la información.

3.4. FASE IV ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El procedimiento de la obtención de los resultados para realizar el análisis de la resistencia del hormigón en cuanto se refiere a las probetas cilíndricas y anillos de contracción restringida se encuentra explicado más detalladamente en el anexo N°6.

Debido a que utilizó un método comparativo en los anillos de contracción restringida no podemos presentar el procedimiento de los mismos.

A continuación se hace una breve explicación del procedimiento de análisis efectuado con los resultados obtenidos en los hormigones de probetas cilíndricas.

3.4.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO.

➤ *Análisis de la resistencia característica a compresión.*

Para determinar la curva de resistencia característica, se analizaron los datos por tiempo de curado, de las probetas testigos y de las probetas con adición de aditivo al 0.2%, 0.35% y 0.50% asimismo se distribuyeron las observaciones en una tabla de frecuencias (datos de 28 días de curado), para establecer la proporción de observaciones que están encima de ciertos valores o rangos.

Además, a partir de la desviación estándar se determinó con precisión, el porcentaje de observaciones que cae dentro de un rango específico en una distribución normal, que tiene las siguientes premisas:

- Aproximadamente 68% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentra dentro de ± 1 desviación estándar de la media.
- Aproximadamente 95,5% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentra dentro de ± 2 desviaciones estándar de la media.
- Aproximadamente 99,7% de todos los valores de una población normalmente distribuida se encuentra dentro de ± 3 desviaciones estándar de la media.
- Los cálculos que se efectuaron para cada tiempo de curado, son:
 - *Resistencia media a la compresión.-*

$$f_{cm} = \frac{\sum f_{ci}}{n} \quad \text{Ec.3}$$

Dónde:

f_{ci} = Valores de cada observación.

n = Número de elementos de la muestra.

- Desviación estándar.-

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

f_{ci} = Valores de cada observación.

f_{cm} = Media de la muestra.

n = Número de elementos de la muestra.

• Resistencia característica.-

Para determinar la resistencia característica del hormigón, se aplicó ciertos criterios probabilísticos, donde:

La resistencia característica a compresión, es un valor que se define como aquella, para la cual existe un cierto grado de probabilidad de ser superada por las mezclas elaboradas, de las cuales las probetas ensayadas son muestras representativas.

$$f_{ck} = f_{cm} - z * s \quad \text{Ec.5}$$

Según normas, este grado de probabilidad es del 95%, por lo tanto:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1.65 * s$$

- Relación entre resistencias.-

$$\frac{f_{cm}}{f_{ck}} = \frac{1}{1 - 1.65 * \delta} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

δ = Coeficiente de variación.

$$\delta = \frac{s}{f_{cm}} \quad \text{Ec.7}$$

3.4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS.

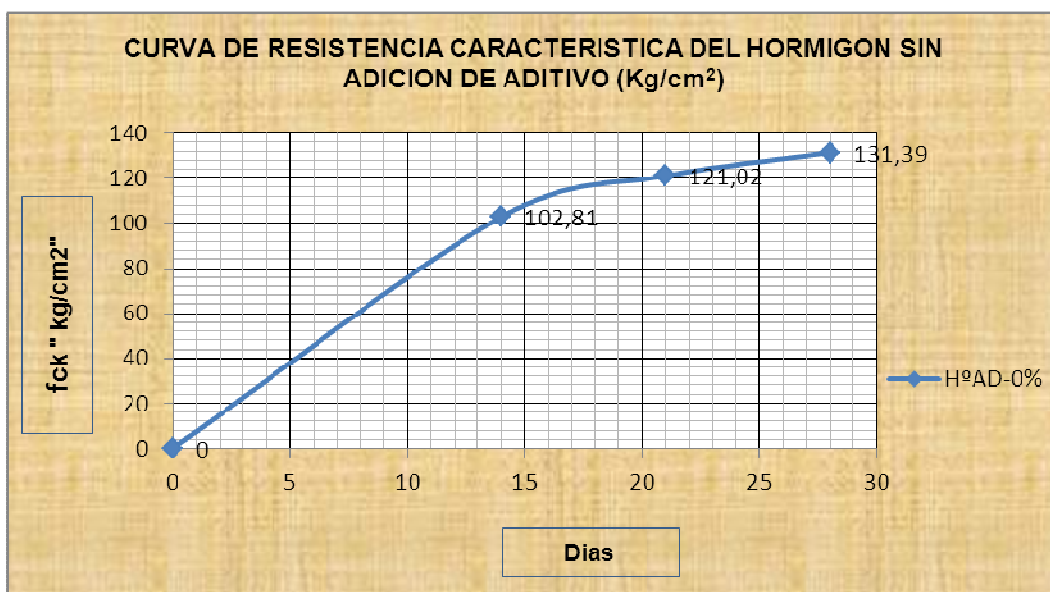
3.4.2.1. RESULTADO DEL ANÁLISIS AL ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

A continuación se muestran los resultados del análisis realizado sobre los hormigones sometidos al ensayo mecánico de resistencia a la compresión a las probetas cilíndricas. El procedimiento se encuentra detallado en el anexo N° 6.

Tabla 3.9: Resultados de las resistencias a compresión del hormigón sin adición (probeta testigo).

TIEMPO DE CURADO (días)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0	0
14	102,81
21	121,02
28	131,39

Figura 3.3: Curva de resistencia característica del hormigón sin adición (probeta testigo).

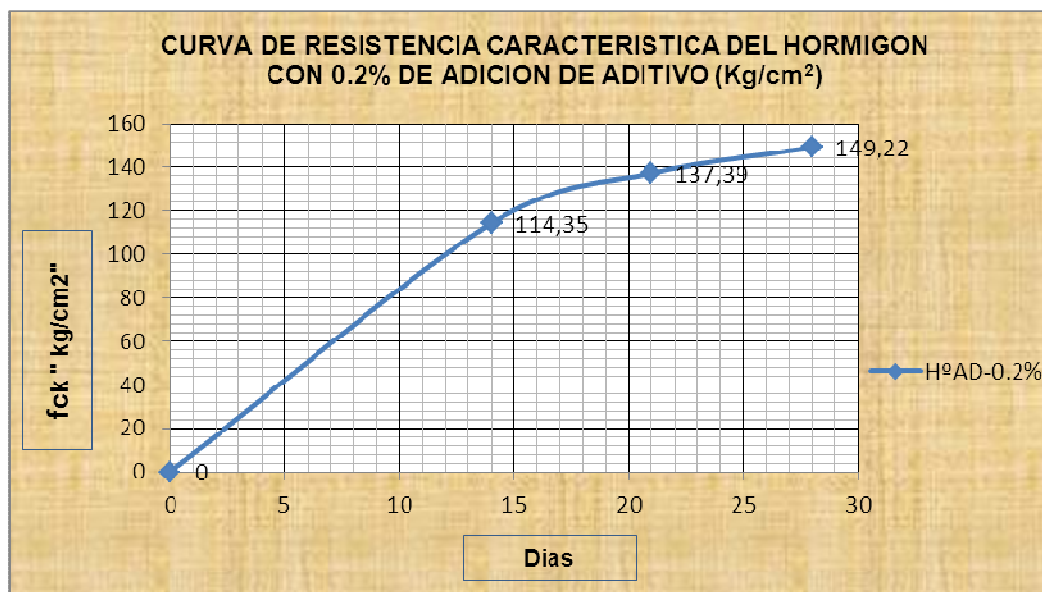


Como se puede observar en la figura 3.3 los resultados de esta gráfica muestra la resistencia característica máxima que puede alcanzar las probetas testigos con la dosificación preestablecida a los 14, 21, y 28 días de edad, estos valores serán sujetos a una comparación con los valores de resistencia característica de los hormigones con 0.2%, 0.35% y 0.5% de adición de aditivo, para conocer el comportamiento de los hormigón con estas características.

Tabla 3.10: Resultados de las resistencias del hormigón con 0.2% de adición de aditivo.

TIEMPO DE CURADO (días)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0	0
14	114,35
21	137,39
28	149,22

Figura 3.4: Curva de resistencia característica del hormigón con 0.2% de adición de aditivo.

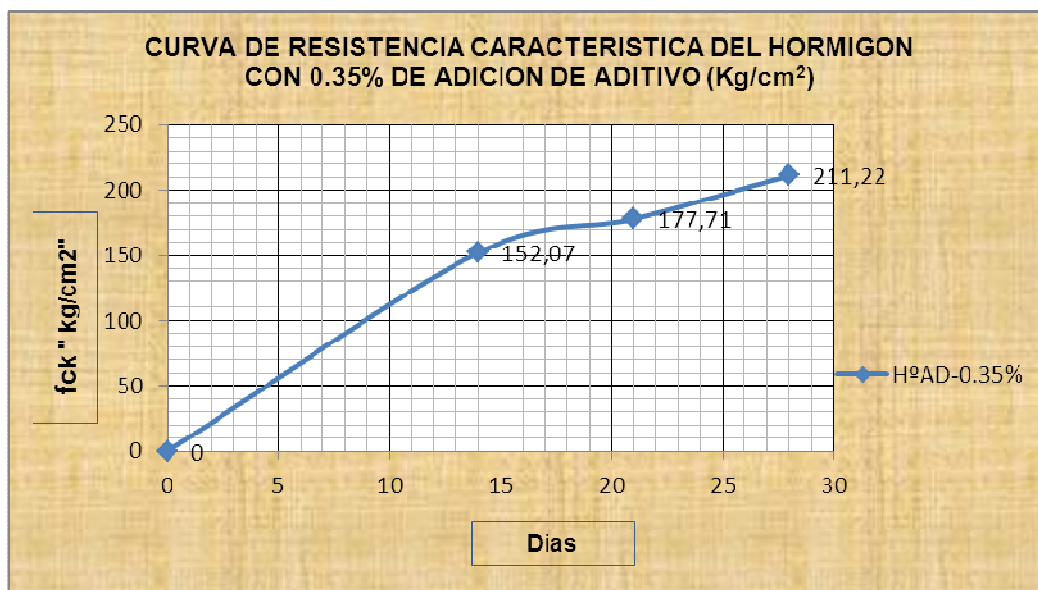


Observando la figura 3.4 los resultados de la resistencia característica del hormigón con 0.2% de adición de aditivo, se puede notar un incremento en los valores de la resistencia característica a diferentes edades, con respecto a los valores obtenidos del hormigón convencional (probetas testigos)

Tabla 3.11: Resultados de las resistencias del hormigón con 0.35% de adición de aditivo.

TIEMPO DE CURADO (días)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0	0
14	152,07
21	177,71
28	211,22

Figura 3.5: Curva de resistencia característica del hormigón con 0.35% de adición de aditivo.

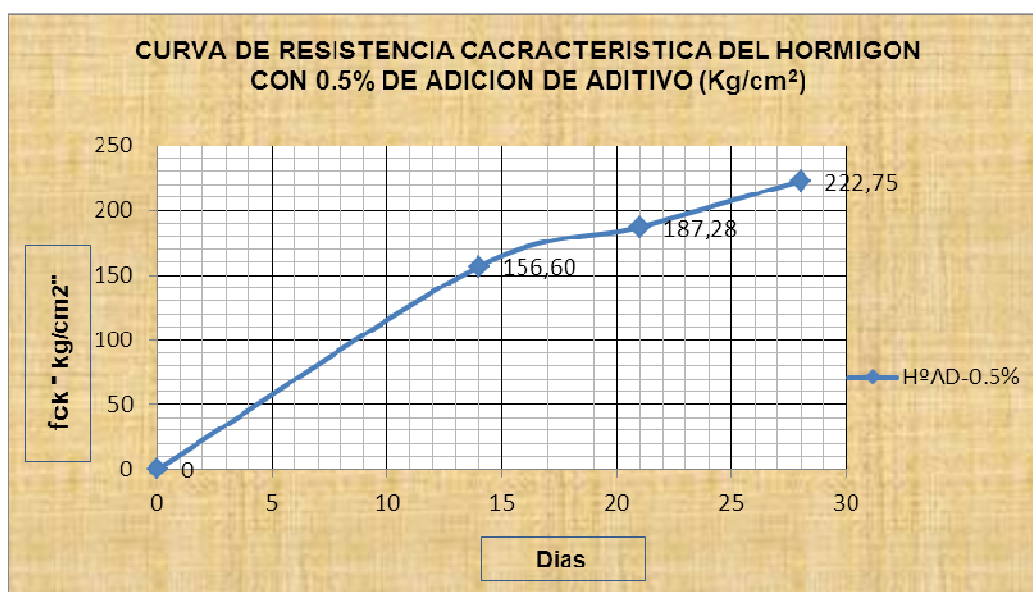


En esta figura 3.5 muestra claramente que el hormigón con 0.35% con adición de aditivo da un valor de la resistencia característica por encima de los anteriores hormigones con 0.2% y el hormigón convencional (probetas testigos), analizando los valores de la presente grafica se alcanza a ver una diferencia considerable de la resistencia del hormigón en los diferentes días de curado.

Tabla 3.12: Resultados de las resistencias del hormigón con 0.5% de adición de aditivo.

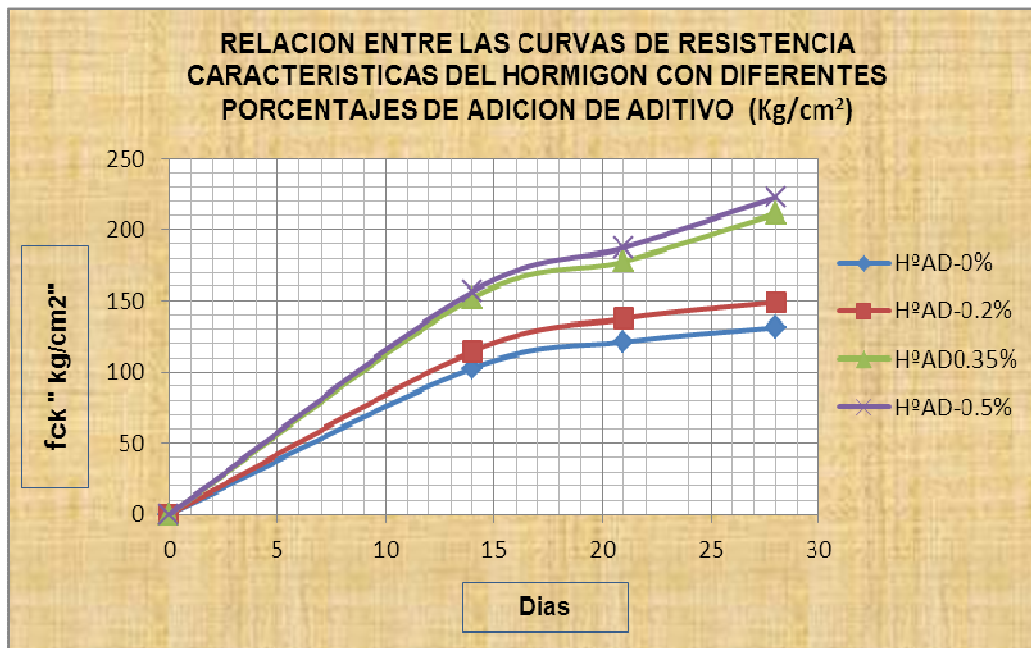
TIEMPO DE CURADO (días)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0	0
14	156,60
21	187,28
28	222,75

Figura 3.6: Curva de resistencia característica del hormigón con 0.5% de adición de aditivo.



En la figura 3.6 se muestra que el hormigón con 0.5% de adición de aditivo supera de gran manera el valor de la resistencia característica del hormigón convencional (probetas testigos), del hormigón con 0.2% de aditivo y del hormigón 0.35% de aditivo

Figura 3.7: Relación entre las curvas de resistencia característica del hormigón con diferentes porcentajes de adición de aditivo.



En la gráfica 3.7 se puede observar claramente la relación y comparación que existe entre las diferentes curvas de resistencia característica del hormigón con diferentes porcentajes de adición con aditivo y sin adición.

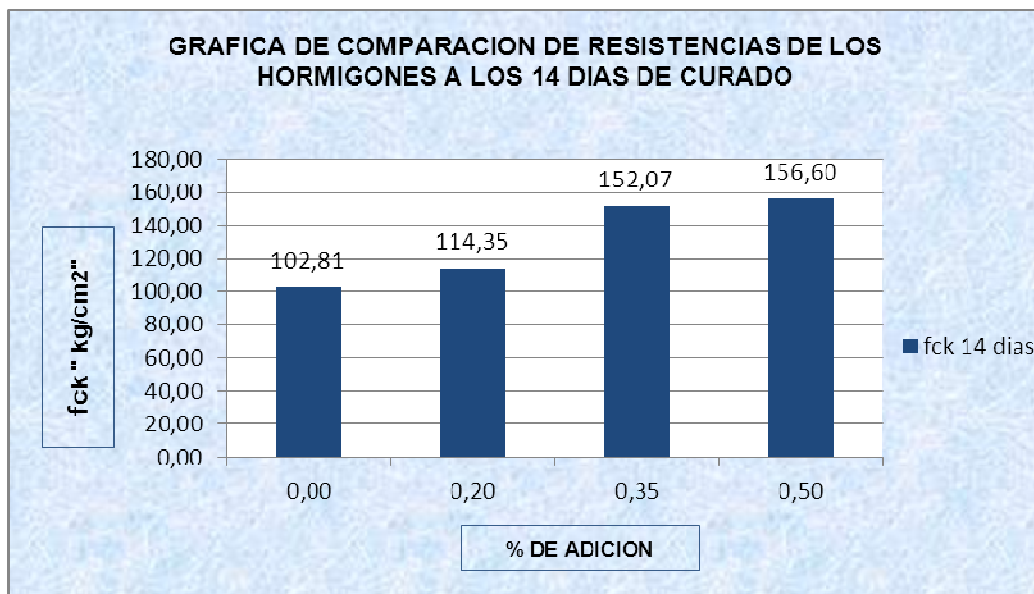
Se puede ver mediante esta grafica en comportamiento a la compresión del hormigón, conforme se le añadió diferente porcentaje de aditivo.

Haciendo un análisis de los resultados en los distintos hormigones, se puede observar que a medida que se aumenta el porcentaje de aditivo al hormigón se incrementa los valores de resistencia a compresión debido a la reacción del aditivo con el hormigón.

Tabla 3.13: Resultados de las resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 14 días de curado.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0,00	102,81
0,20	114,35
0,35	152,07
0,50	156,60

Figura 3.8: Gráfica de comparación entre resistencias y porcentajes de adición para 14 días de curado.

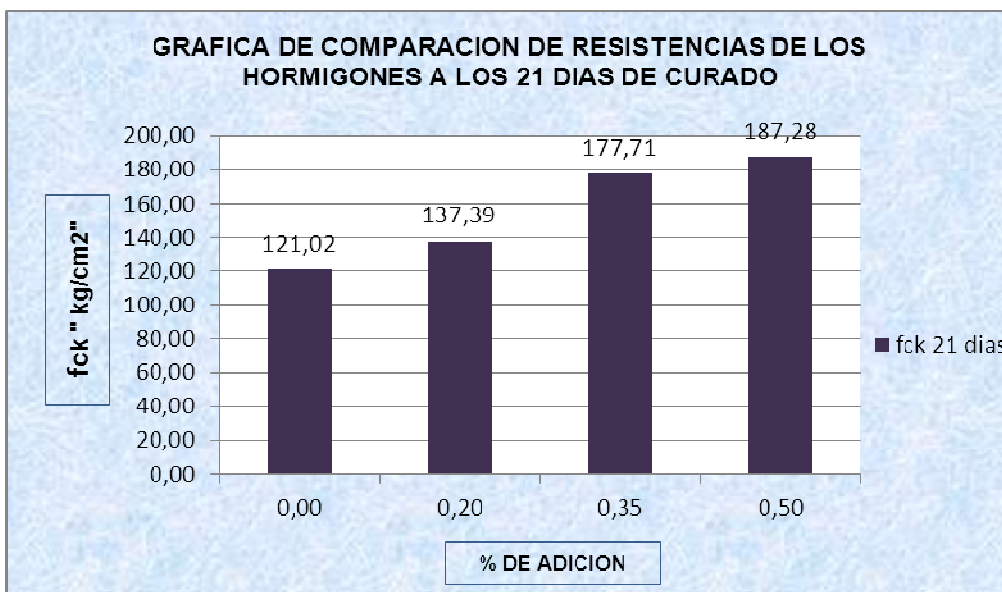


En esta grafica se observa que la diferencia que existe entre las resistencias del hormigón con adición de aditivo en relación al hormigón convencional a los 14 días de curado, se puede ver claramente que los hormigones elaborados con 0.5% de aditivo fueron los que obtuvieron mayor resistencia en esta primera fase de curado, seguidos por los hormigones con 0.35% de aditivo, y en una escala inferior los hormigones con 0.2% de aditivo y por último los hormigones sin adición.

Tabla 3.14: Resultados de las resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 21 días de curado.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm²)
0,00	121,02
0,20	137,39
0,35	177,71
0,50	187,28

Figura 3.9: Gráfica de comparación entre resistencias y porcentajes de adición para 21 días de curado.

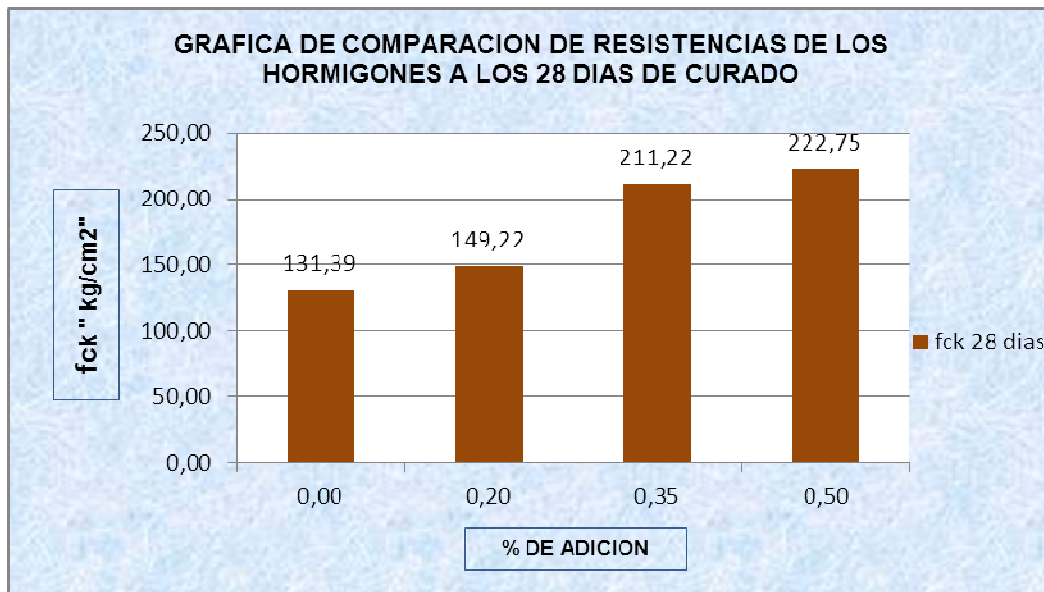


En esta gráfica se muestra la magnitud de diferencia que existe en esta fase de curado entre los valores de resistencias en los diferentes hormigones elaborados, predominando los hormigones con 0.5% de aditivo.

Tabla 3.15: Resultados de las resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 28 días de curado.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)
0,00	131,39
0,20	149,22
0,35	211,22
0,50	222,75

Figura 3.10: Gráfica de comparación entre resistencias y porcentajes de adición para 28 días de curado.

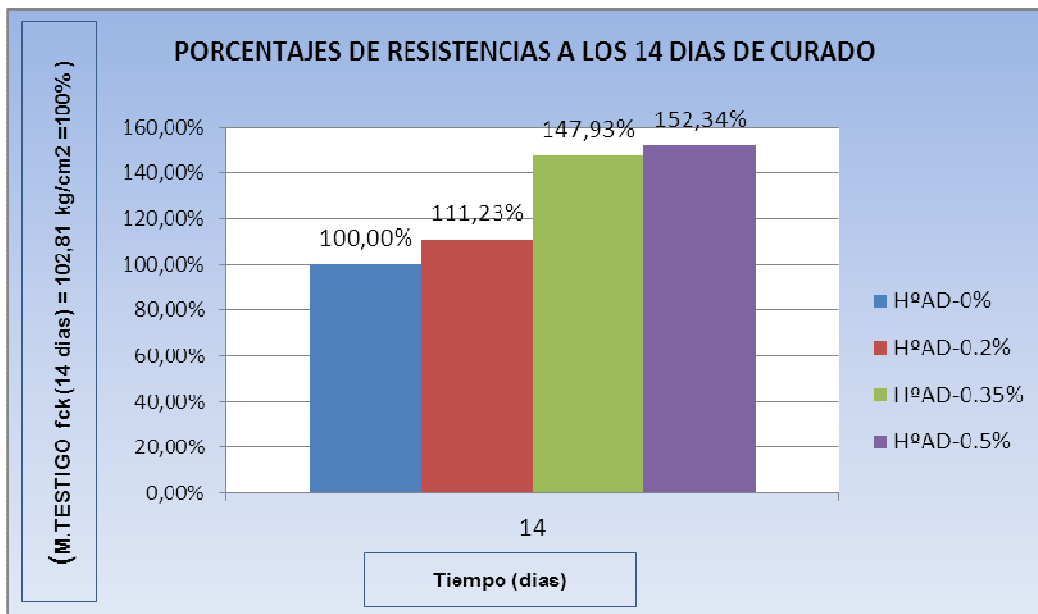


En la presente gráfica que es la última fase de curado a los 28 días se observa que existe una gran diferencia en cuanto se refiere a la resistencia de los hormigones, los hormigones con 0.35% y 0.50% tienen un mayor valor de resistencia con respecto a los hormigones de 0.2% y los hormigones sin adición, entonces se puede decir que los porcentajes al 0.35% y 0.50% vienen a ser los más favorables para el diseño y la construcción.

Tabla 3.16: Resultados de porcentajes de resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 14 días de curado.

TIEMPO DE CURADO (días)	PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)	PORCENTAJES DE RESISTENCIAS (Considerando M. testigo f_{ck} (14 días) 102,81 Kg/cm ² = 100%) (%)
14	0,00	102,81	100,00%
14	0,20	114,35	111,23%
14	0,35	152,07	147,93%
14	0,50	156,60	152,34%

Figura 3.11: Gráfica de comparación de porcentajes de resistencias a los 14 días de curado.



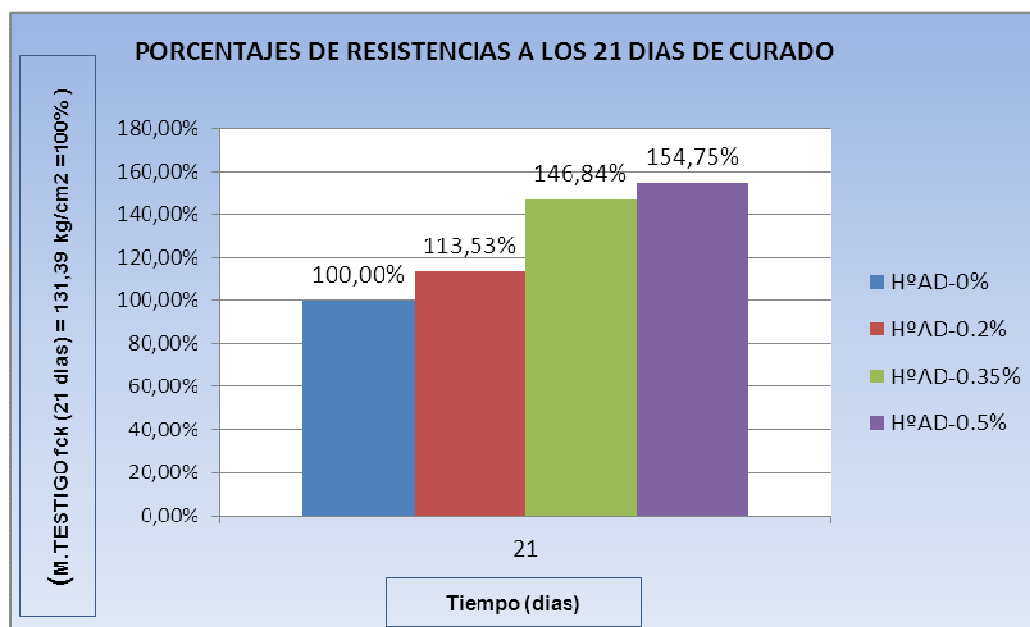
En esta grafica se observa el comportamiento que tuvieron los hormigones con diferentes porcentajes de aditivo a los 14 días de curado, los valores se dan en porcentaje de acuerdo a la resistencia alcanzada, tomando como el 100 % f_{ck} el obtenido del hormigón sin adición o testigos a los 14 días de edad que fue de 102,81 kg/cm². Como se puede ver en la figura

3.11 los hormigones alcanzan mayor resistencia a medida que se va incrementando el porcentaje de aditivo, predominando los hormigones con 0.35% y 0.5% de aditivo.

Tabla 3.17: Resultados de porcentajes de resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 21 días de curado.

TIEMPO DE CURADO (días)	PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)	PORCENTAJES DE RESISTENCIAS (Considerando M. testigo f_{ck} (21 días) 121,02 Kg/cm ² = 100%) (%)
21	0,00	121,02	100,00%
21	0,20	137,39	113,53%
21	0,35	177,71	146,84%
21	0,50	187,28	154,75%

Figura 3.12: Gráfica de comparación de porcentajes de resistencias a los 21 días de curado.



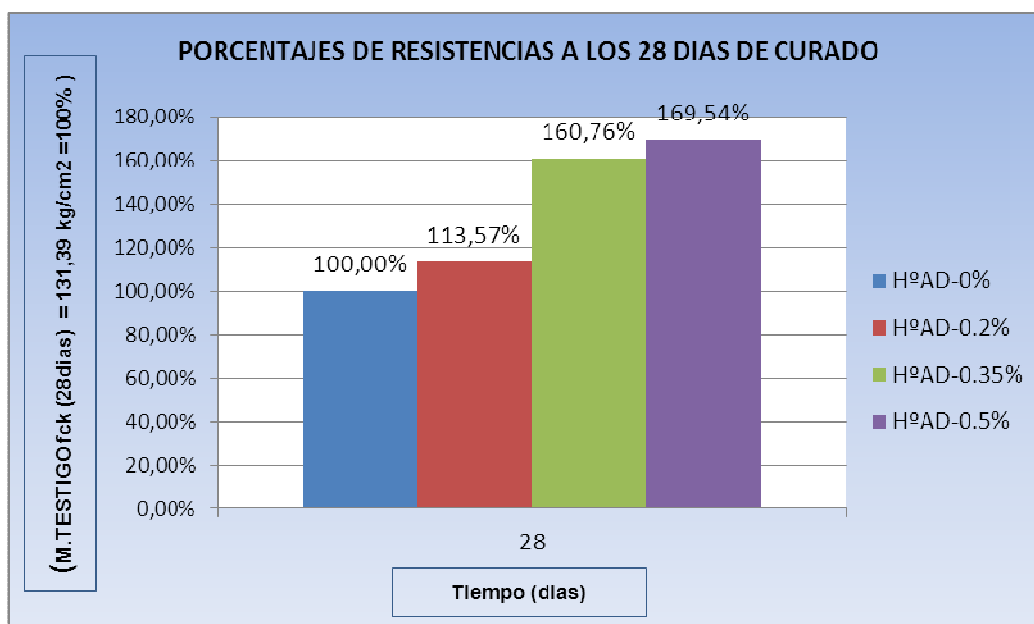
En la figura 3.12 se observa el comportamiento que tuvieron los hormigones con diferentes porcentajes de aditivo a los 21 días de curado, los valores se dan en porcentaje de acuerdo a

la resistencia alcanzada, tomando como el 100 % fck el obtenido del hormigón sin adición o testigos a los 21 días de edad que fue de 121,02 kg/cm². Como se puede ver en la figura 3.12 existe una clara diferencia de porcentajes de resistencias entre los hormigones elaborados con adición de aditivo y los hormigones convencionales

Tabla 3.18: Resultados de porcentajes de resistencias del hormigón con las diferentes adiciones a los 28 días de curado.

TIEMPO DE CURADO (días)	PORCENTAJE DE ADICION (%)	RESISTENCIA CARACTERISTICA f_{ck} (Kg/cm ²)	PORCENTAJES DE RESISTENCIAS (Considerando M. testigo fck (28 días) 131,39 Kg/cm ² = 100%) (%)
28	0,00	131,39	100,00%
28	0,20	149,22	113,57%
28	0,35	211,22	160,76%
28	0,50	222,75	169,54%

Figura 3.13: Gráfica de comparación de porcentajes de resistencias a los 28 días de curado.



En la figura 3.13 se observa los valores que tuvieron los hormigones con diferentes porcentajes de aditivo a los 28 días de curado, los valores se dan en porcentaje de acuerdo a la resistencia alcanzada, tomando como el 100 % fck el obtenido del hormigón sin adición o testigos a los 28 días de edad que fue de 131,39 kg/cm². Como se puede observar en la figura 3.13 los hormigones con un 0.5% de aditivo fueron los que obtuvieron mayor porcentaje en lo que se refiere a la resistencia característica, posteriormente están los hormigones con 0.35% de aditivo y luego los hormigones con 0.2% de aditivo.

3.4.2.2. RESULTADO DEL ANÁLISIS AL ENSAYO DE ANILLOS DE CONTRACCIÓN RESTRINGIDA.

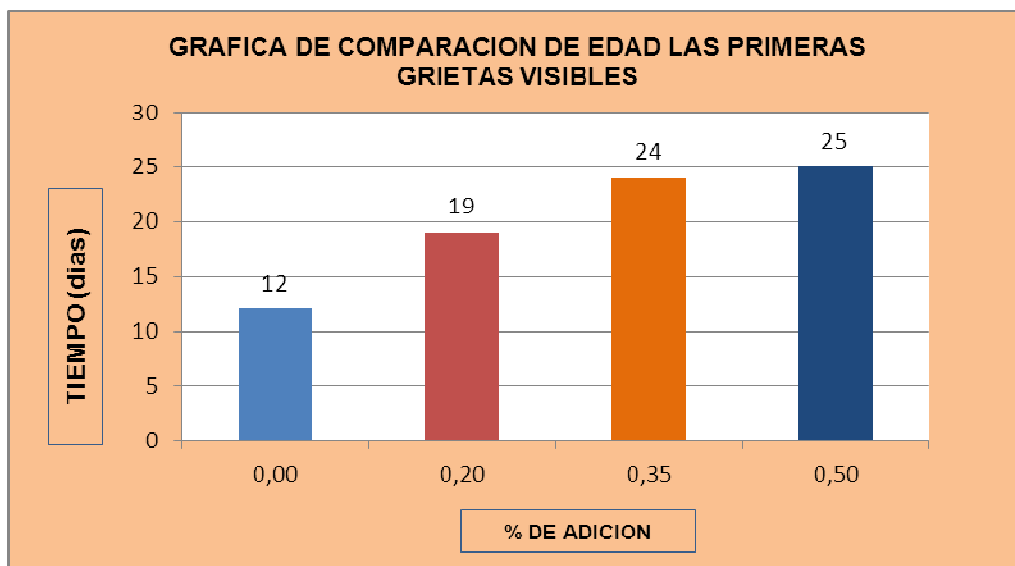
A continuación se muestra los resultados del análisis realizado sobre los hormigones sometidos al ensayo denominado anillo de contracción restringida.

Es importante mencionar que los datos en cuanto se refiere a la temperatura del ambiente, humedad relativa, velocidad del viento, entre otros, fueron proporcionados por el SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA REGIONAL TARIJA, puesto que esta entidad se encarga de monitorear todo lo referente al clima en todo el departamento de Tarija y por tener los equipos calibrados y necesarios para poder obtener datos más confiables para dicho estudio, los resultados y datos se encuentra detallado en el anexo N° 7.

Tabla 3.19: Resultados de edad de las primeras grietas visibles con diferentes porcentajes de adición.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	EDAD DE LA PRIMER GRIETA VISIBLE (días)
0,00	12
0,20	19
0,35	24
0,50	25

Figura 3.14: Gráfica de comparación de edad de las primeras grietas visibles con diferentes porcentajes de adición.

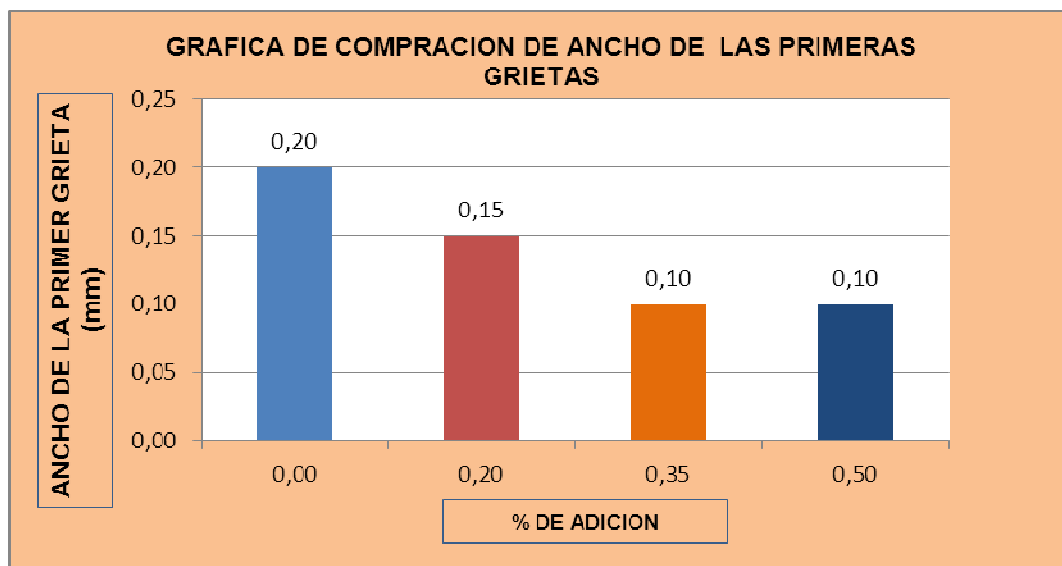


En la figura 3.14 se puede observar con claridad las edades en que aparece la primera grieta en los hormigones con diferentes porcentajes de adición con aditivo. Con la cual se puede decir que el hormigón convencional sufre un agrietamiento más rápido que los hormigones elaborados con cierto porcentaje de aditivo. Esto sucede porque en el hormigón convencional existe una evaporación más rápida del agua haciendo así que el mismo sufra una contracción más rápida y produciendo grietas en edades más tempranas que en los hormigones con un porcentaje de adición.

Tabla 3.20: Resultados del ancho de las primeras grietas visibles con diferentes porcentajes de adición.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	ANCHO DE LA PRIMER GRIETA VISIBLE (mm)
0,00	0,20
0,20	0,15
0,35	0,10
0,50	0,10

Figura 3.15: Gráfica de comparación de ancho de las primeras grietas visibles con diferentes porcentajes de adición.

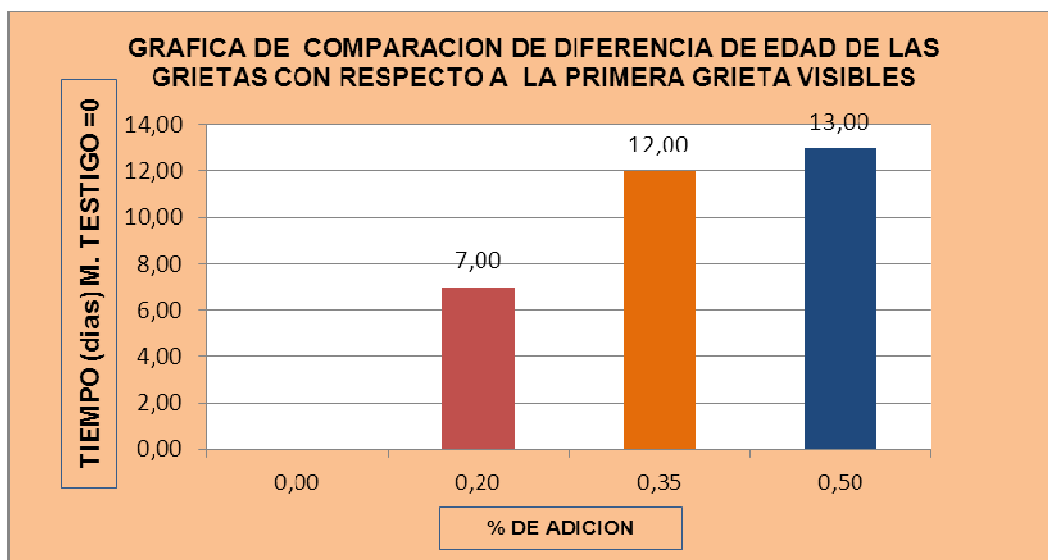


En la figura 3.15 se observa el ancho de las primeras grietas en los hormigones con distintos porcentajes de adición, donde el hormigón sin adición muestra una grieta de 0.20 mm el doble de ancho con respecto al hormigón con 0.35% y 0.5% de adición con aditivo que tienen un valor de grieta de 0.10 mm, el hormigón con 0.2% de adición tiene un valor de grieta de 0.15 mm siendo así un valor medio entre los hormigones anteriormente mencionados.

Tabla 3.21: Resultados de comparación de diferencia de edad de las grietas con respecto a la primera grieta visible.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	DIFERENCIA EDAD DE LAS GRIETAS CON RESPECTO A LA PRIMERA GRIETA VISIBLE (días) (Considerando 12 días = 0)
0,00	0,00
0,20	7,00
0,35	12,00
0,50	13,00

Figura 3.16: Gráfica de comparación de diferencia de edad de las grietas con respecto a la primera grieta visible.



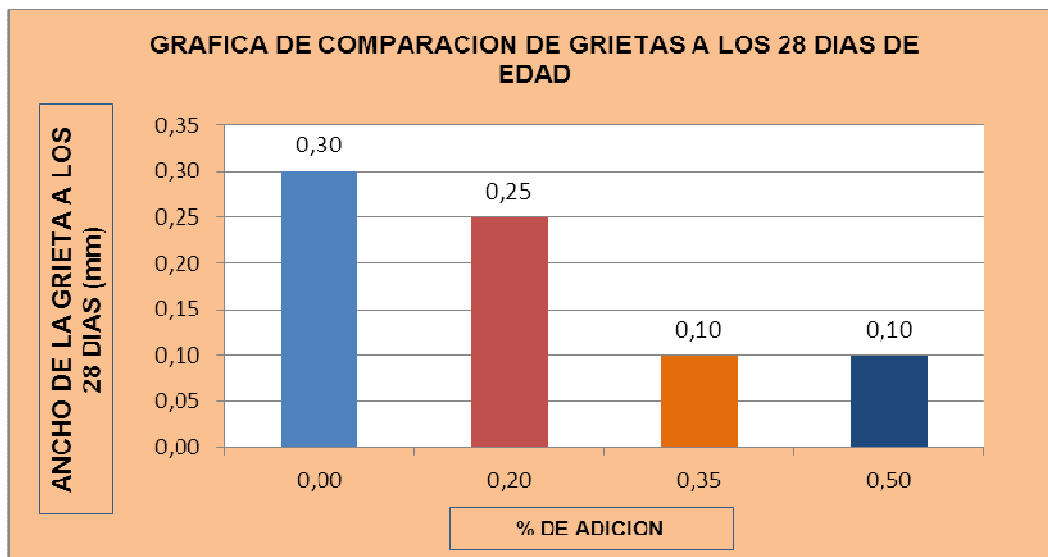
En la figura 3.16 se observa la diferencia de edad de las diferentes grietas de los hormigones con aditivo, con respecto a la grieta del hormigón convencional o sin adición, Se tomó como punto de partida el día en que aparece la primer grieta visible en el hormigón sin adición y que se muestra en la presente grafica como día cero, y contando desde este día el tiempo en que demoraron los demás hormigones en agrietarse, así tenemos que los hormigones que demoraron más tiempo en agrietarse fueron los que tuvieron un porcentaje de adición de 0.35% y 0.5%, el hormigón con 0.35% de adición tardó 12 días después de

que apareció la primera grieta visible en el hormigón convencional, el hormigón con 0.5% de adición tardó 13 días después de que apareció la primera grieta visible en el hormigón convencional, y el hormigón con 0.20% de adición tardó 7 días después de que apareció la primera grieta visible en el hormigón convencional.

Tabla 3.22: Resultados de ancho de las grietas con diferentes porcentajes de adición a los 28 días de edad.

PORCENTAJE DE ADICION (%)	ANCHO DE GRIETA A LOS 28 DIAS (mm)
0,00	0,30
0,20	0,25
0,35	0,10
0,50	0,10

Figura 3.17: Gráfica de comparación de ancho de las grietas con diferentes porcentajes de adición a los 28 días de edad.



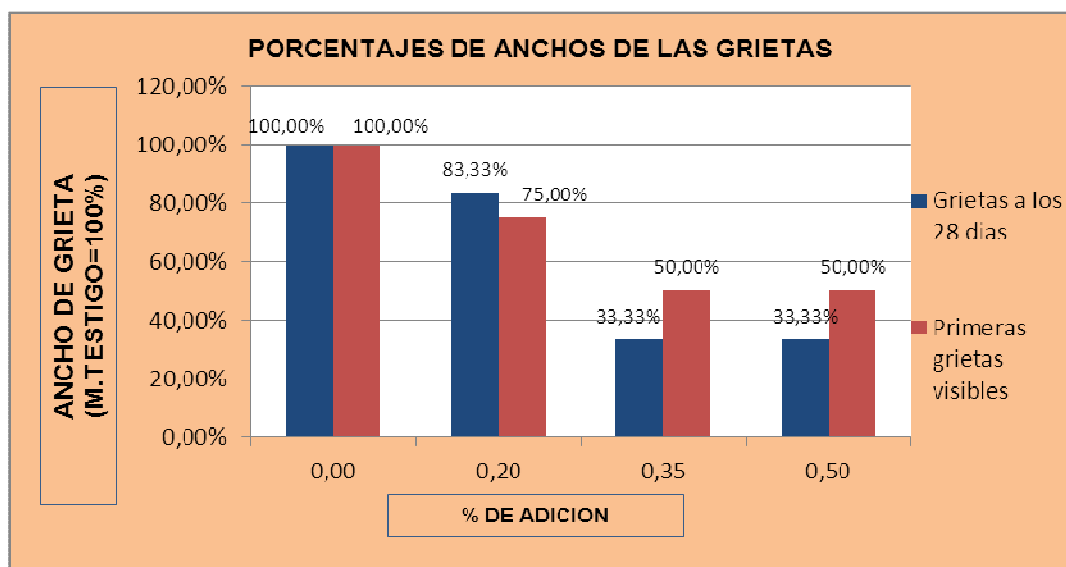
En esta grafica se muestra el ancho de grietas a los 28 días de edad de los diferentes hormigones con distinto porcentaje de adición, como se puede observar con el pasar de los días se ve que el hormigón convencional y el hormigón con 0.2% de adición aumentaron el

ancho de las grietas, mientras que los hormigones con 0.5% y 0.35% de adición las grietas se mantuvieron constantes hasta esta edad.

Tabla 3.23: Resultados en porcentajes de ancho de las grietas con diferentes porcentajes de adición.

PORCENTAJE DE ADICIÓN (%)	PORCENTAJES DE ANCHO DE GRIETAS A LOS 28 DIAS (Considerando 0.30 mm = 100%)	PORCENTAJES DE LAS PRIMERAS GRIETAS (Considerando 0.20 mm = 100%)
0,00	100,00%	100,00%
0,20	83,33%	75,00%
0,35	33,33%	50,00%
0,50	33,33%	50,00%

Figura 3.18: Gráfica de comparación en porcentajes de ancho de las grietas con diferentes porcentajes de adición.



Como se puede observar en la figura 3.18 se tienen los valores que se obtuvieron al medir el ancho de grieta al aparecer la primera grieta visible, y el ancho de grieta a los 28 días de edad. Para el hormigón convencional el ancho máximo de grieta se toma con el 100% y de

ahí se compara con los demás hormigones, siendo los hormigones con 0.5% y 0.35% de adición los que obtuvieron en menor porcentaje de agrietamiento.

En la siguiente tabla 3.24 se muestran los valores más representativos que se registraron de temperatura ambiental, humedad relativa y velocidad del viento, al realizar las pruebas durante todo el proceso experimental del ensayo denominado anillos de contracción restringida.

Tabla 3.24: datos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento

	MAXIMA	MINIMA	PROMEDIO
TEMPERATURA C^o	35	11	23,0
HUMEDAD RELATIVA %	92	19	55,5
VELOCIDAD DEL VIENTO Km/h	50	8	29,0

3.4.3. CAMPO DE APLICACIÓN.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la investigación se puede indicar que a medida de que se adiciona el aditivo a la mezcla para la elaboración de los hormigones, se va obteniendo resultados favorables, los cuales vienen a mejorar las características mecánicas del hormigón

A continuación se muestra una tabla de comparación de rendimientos entre el hormigón con adición de 0.20%, 0.35%, 0.50% y el hormigón convencional para una columna. El detalle del cálculo se encuentra en el anexo 8:

Tabla 3.25: Rendimientos de materiales para una columna.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD	
		HORMIGÓN SIN ADICIÓN	HORMIGÓN CON ADICIÓN
CEMENTO	Kg/m3	278,00	278,00
ARENA	m3/m3	0,40	0,40
GRAVA	m3/m3	0,80	0,80
FIERRO	Kg/m3	120,66	120,66
ALAMBRE	Kg/m3	2,00	2,00
ADITIVO			
0,20%	Kg/m3	-	0,556
0,35%	Kg/m3	-	0,973
0,50%	Kg/m3	-	1,390

3.4.4. DETERMINACIÓN DE LA INCIDENCIA DE COSTOS ENTRE EL HORMIGÓN SIN ADITIVO Y EL HORMIGÓN CON ADITIVO

Para la determinación de costos en volumen de hormigón se basa en un metro cúbico tomando en cuenta todos los porcentajes de adición del aditivo.

Tabla 3.26: Comparación de costos de los materiales del hormigón sin adición entre los del hormigón con adición del 0.20%, 0.35% y 0.50% de aditivo.

MATERIALES	UNIDAD	CANTIDAD		COSTO (Bs)	
		H° SIN ADICIÓN	H° CON ADICIÓN	H° SIN ADICIÓN	H° CON ADICIÓN
CEMENTO	Kg/m3	278,00	278,00	241,86	241,86
ARENA	m3/m3	0,40	0,40	32	32
GRAVA	m3/m3	0,80	0,80	64	64
HIERRO	Kg/m3	120,66	120,66	904,94	904,94
ALAMBRE	Kg/m3	2,00	2,00	20	20
ADITIVO					0
0,20%	Kg/m3	-	0,556	0,00	22,24
0,35%	Kg/m3	-	0,973	0,00	38,92
0,50%	Kg/m3	-	1,390	0,00	55,60
			Σ	1262,80	

Tabla 3.27: Incremento de costo y de resistencia del hormigón con diferentes porcentajes de adición.

TIPO DE HORMIGÓN	COSTO (Bs)	PORCENTAJE DE INCREMENTO	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA (28 DÍAS) f_{ck} (kg/cm ²)	% DE INCREMENTO DE RESISTENCIA
H° SIN ADICIÓN	1262,80	0,00%	131,39	0,00%
H° CON ADICIÓN				
0,20%	1285,04	1,76%	149,22	13,57%
0,35%	1301,72	3,08%	211,22	60,76%
0,50%	1318,40	4,40%	222,75	69,54%

En la tabla 3.27 se muestra el incremento de costos, de los materiales para un metro cúbico de hormigón, el incrementó de resistencias para 0.0% 0.20%, 0.35% y 0.50% de adición de aditivo **PLASTIMENT^R BV** necesario para una columna. Los cálculos detallados se encuentran en el anexo 8.

CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. CONCLUSIONES.

Después de la realización de la presente investigación se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Como primer conclusión se cita que de acuerdo a los ensayos realizados a los distintos hormigones , los más afectados con este fenómeno de la contracción por secado, fueron los que se elaboraron sin adición presentando en corto tiempo ciertas patologías de acuerdo a este fenómeno, los hormigones con 0.2% de adición de aditivo fueron los que menos se opusieron a la contracción en cuanto se refiere a los hormigones elaborados con adición de aditivo, los hormigones elaborados con un porcentaje de 0.35% y 0.5% de aditivo su comportamiento ante la contracción fue de forma similar, mostrando en un tiempo más prolongado las consecuencias producidas por la contracción por secado.
- De acuerdo a los resultados que se obtuvieron en las mediciones de anchos de grietas en los hormigones, se concluye diciendo que los máximos valores registrados fueron los hormigones sin adición de aditivo con un ancho de grieta de 0.20 mm a los 12 días de edad, y posteriormente a los 28 días un ancho de grieta de 0.30 mm, de acuerdo a los datos obtenidos fueron los hormigones con mayor contracción por secado.
- Los hormigones con un 0.35% y 0.5% fueron los que dieron los mejores resultados, ya que los mismos marcaron una amplia diferencia en cuanto a su resistencia con la resistencia máxima del hormigón convencional a los 28 días de edad y fueron los que más se opusieron a la contracción por secado, entonces se dice que estos porcentajes de adición son los más favorables para la construcción.
- los materiales que no cumplen con las especificaciones técnicas de las normas no son aptos para la elaboración de hormigones como es el caso de la arena utilizada en este estudio, que solo la utilizo para fines experimentales.
- La obtención de los resultados muestra que la hipótesis propuesta se cumple en su totalidad, ya que al incorporar diferentes porcentajes de adición de aditivo

PLASTIMENT^R BV al hormigón mejora considerablemente las características mecánicas del mismo.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a la resistencia de los hormigones se refiere, existe un porcentaje considerable del incremento de resistencia, conforme se le adiciona aditivo al hormigón, el costo del mismo de igual manera se incrementa pero en porcentajes no muy elevados esto significa, que se puede mejorar las características mecánicas del hormigón con este tipo de aditivo a un bajo costo.
- De igual manera se pudo llegar a los objetivos planteados, ya que al realizar este análisis sobre el fenómeno de la contracción utilizando el aditivo **PLASTIMENT^R BV** se puede minimizar los efectos que causa la contracción por secado en el hormigón, también se pudo determinar las resistencias a compresión de los hormigones simples y los hormigones con adición de aditivo, se realizó una comparación y observación del agrietamiento en los diferentes hormigones.
- Se concluye diciendo que el uso del aditivo **PLASTIMENT^R BV** tiene más ventajas que desventajas puesto que con este tipo de aditivo se puede mejorar las características del hormigón tanto en su resistencia y contrarrestar el fenómeno de la contracción , como se pudo constatar en dicha investigación, a la vez se puede minimizar el incremento de agua a la mezcla y por qué no decirlo que reduce el agua del curado manteniendo al hormigón con mayor humedad por efecto del aditivo, ahorrando así agua en estas dos fases, una desventaja que se puede mencionar al hacer uso de este aditivo es el cuidado del hormigón al instante del desencofrado puesto que el hormigón con adición de aditivo retiene mas la humedad, en el hormigón y retarda el proceso de fraguado y esto hace que se considere un tiempo mayor para el desencofrado del mismo.
- Con los ensayos realizados en este trabajo a los hormigones podemos concluir diciendo que la contracción es un fenómeno que si bien se puede minimizar no se puede llegar a eliminar en su totalidad es por eso que esta investigación viene a ser una alternativa más para poder contrarrestar a la contracción añadiendo a la mezcla este tipo de aditivo **PLASTIMENT^R BV**.

4.2. RECOMENDACIONES.

Después de llevar a cabo esta investigación se puede recomendar lo siguiente:

- Para la elaboración de cualquier tipo de hormigón se recomienda tener en cuenta que los materiales estén dentro de los límites que nos indican las normas, ya que si se hace caso omiso a las normas y se utiliza materiales que no cumplan con las especificaciones que nos proporcionan las normas se obtendrán malos resultados en el hormigón.
- Se recomienda cuando se procede al vaciado y colocado de la mezcla tener todo el cuidado correspondiente más aun si se trata de un hormigón con adición de aditivo, de igual manera en el proceso de curado del hormigón, ya que si no se sigue un cuidado minucioso tendremos malos resultados con ser en las resistencias a compresión del hormigón y la incrementación de la contracción por secado.
- Para tener el efecto que se desea con la aplicación del aditivo **PLASTIMENT^R BV** se recomienda tener mucho cuidado al momento del pesado del aditivo puesto que si excede el peso recomendado los efectos en el hormigón serian contrarios a los que se quiera obtener.
- No está por demás recomendar que se haga un curado al hormigón con adición del aditivo ya que al realizar un curado adecuado los resultados serán positivos y más favorables en su resistencia y demás características.
- Se recomienda al hacer el uso de aditivos que modifican las características en los hormigones hacer estudios en laboratorio como ser resistencia a la compresión, y de cómo este se comporta ante el fenómeno de la contracción por secado, hacer las mediciones de agrietamientos en los hormigones, para conocer cómo es el comportamiento del mismo en el hormigón, y así no tener efectos no deseados y problemas en el momento de construir.