

I.1. INTRODUCCION

El hormigón es una mezcla que se compone de cemento, arena, agua y grava que al fraguar y endurecer adquiere una consistencia similar a la de las mejores piedras naturales.

Puede considerarse como el conglomerante pétreo artificial que resulta de agregar grava a un mortero. Mientras se mantiene en su estado plástico, la mezcla recibe el nombre de hormigón fresco, después de fraguar y endurecer el hormigón posee muy buenas características a la compresión.

El hormigón elaborado con cemento Pórtland es un material de construcción, que gracias a su fácil moldeo, su composición con elementos que abundan en la naturaleza y su facilidad de incorporar otros materiales, no ha perdido vigencia hasta la fecha y es considerado el material más popular y de mayor uso en la construcción de viviendas, edificios, puentes, presas, vías de comunicación y otras obras de ingeniería civil.

Los ejemplos en la construcción de estructuras de hormigón con problemas, ante sus condiciones de servicio, son abundantes y de diferente naturaleza, éstos se han tenido que explicar, enfrentar y resolver desde diferentes frentes como investigaciones serias, teorías, fórmulas, sistemas constructivos, pruebas de laboratorio y campo, todo ello con el objetivo de diagnosticar problemas de durabilidad y conocer los factores que en ella intervienen.

Las puzolanas son principalmente rocas tobáceas, volcánicas vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumítica. Finamente divididas no poseen ninguna propiedad hidráulica, pero contienen constituyentes (sílice y alúmina) capaces de fijar cal a la temperatura ambiente en presencia agua, formando compuestos de propiedades hidráulicas.

I.2. ANTECEDENTES

El estudio de hormigones de alto desempeño se viene desarrollando en todo el mundo desde hace aproximadamente una década. Actualmente se está abocado al tema de la resistencia. Una de las propiedades mecánicas que incide en la durabilidad, en cualquier tipo de hormigón, es la retracción por secado.

El mayor problema se presenta cuando la retracción o contracción no puede realizarse libremente, es decir el hormigón se encuentra restringido a los cambios volumétricos, ya sea por problemas de vínculos, encofrados, o por la forma del elemento constructivo. Este impedimento puede provocar una importante fisuración, la cual atenta contra la durabilidad y futuro comportamiento del hormigón, por cuanto las fisuras, además de provocar el debilitamiento del material, facilitan su agresión física y química, y especialmente, la de las armaduras, y puede afectar su capacidad para soportar las cargas de diseño, además de dañar su apariencia.

Uno de los materiales comunes clasificados como cementantes (aunque en realidad sólo en forma latente) es la puzolana, que es una material natural o artificial que contiene sílice en forma reactiva. Una definición más formal de la norma ASTM 618-91a describe la puzolana como un material síliceo o síliceo y aluminoso el cual, en sí mismo, posee poco o ningún valor cementante; pero, en forma finamente dividida y en la presencia de humedad reaccionará químicamente con hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes (Silicatos calcicos hidratados).

La cascarilla de arroz es un material de bajo peso específico, por este motivo este material ocupa bastante volumen y se considera como un problema para los molidos. Por ésto, este trabajo trata de buscar que este material procesado en hornos rústicos, incremente su valor agregado, ya que la ceniza de cascarilla de arroz contiene un porcentaje muy alto de sílice como lo respaldan varios ensayos realizados por laboratorios especializados en el tema de hormigones.

La cascarilla de arroz es un tejido vegetal constituido por Celulosa y Sílice, elementos que ayudan a su buen rendimiento como combustible. El uso de la cascarilla como combustible representa un aporte significativo a la preservación de los recursos naturales y un avance en el desarrollo de tecnologías limpias y económicas.

La ceniza de cascarilla de arroz (CCA), presenta una gran variedad de características fisicoquímicas que es preciso estudiar, según la aplicación que se desee.

Las cáscarillas de arroz son un producto natural de desperdicio y hay interés en usar este material en el concreto. Las cascarillas de arroz tienen un contenido de sílice muy alto, y la combustión lenta a una temperatura no mayor a 700 °C da por resultado un material amorfo, con una estructura porosa. Así, la superficie específica (medida por adsorción de nitrógeno) puede ser tan alta como 50000 m²/kg., aún cuando la partícula es grande 10 a 75 μm . Las partículas de ceniza de cáscaras de arroz tienen formas complejas, que reflejan sus orígenes en las plantas, y por eso tienen una alta demanda de agua a menos que sean entre molidas con clínker para descomponer la estructura Porosa. Se ha informado que la ceniza de cáscarillas de arroz contribuye a la resistencia del concreto en el término de 1 a 3 días. (Adam M. Neville Pág. 58)

I.3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El presente trabajo desarrolla la adición de ceniza de cascarilla de arroz como adición en reemplazo parcial del cemento, realizando los controles de calidad necesarios, para posteriormente embase a los resultados obtenidos, realizar la dosificación en el hormigón, teniendo como finalidad demostrar que la ceniza de cascarilla de arroz como material cementante de adición mejora las propiedades del hormigón, sin costos elevados ya que se trata de un producto de desecho agrícola. En su primera parte se revisan todos los conceptos básicos y ensayos mínimos para cementos para su posterior dosificación en el hormigón, luego se hace un breve recuento acerca del desarrollo histórico de este tipo de concreto alrededor del mundo.

Se realizan adiciones de ceniza de cáscara de arroz en diferentes porcentajes en un diseño patrón de mortero, elaborado con cemento “EL PUENTE” Pórtland puro (patrón), como en el IP-30, los parámetros que influyeron fueron las características mas favorables a cada tipo de cemento. Para el cemento Pórtland puro (patrón), fueron influenciadas por sus características físicas Químicas, y el parámetro que influyó para la elección del IP 30 fue la facilidad de compra en el mercado, Los parámetros de elección de los tipos de cemento son muy lejanos ya que el Pórtland puro actualmente no es comercializado, a diferencia del IP 30 que es el que más se utiliza en el ámbito de la construcción.

El problema presentado en este trabajo es la determinación del porcentaje de adición de “CCA” que será necesario para que el hormigón adquiriera mayor resistencia que los hormigones convencionales. Para esto se realizaran ensayos en los cementos con adición de “CCA” en porcentajes que varían de 10, 15, 20, y 25 %, considerando el incremento de agua. Y tomando los porcentajes más adecuados para su posterior dosificación en los hormigones, con el cemento que mejores características a compresión posea, descartando uno de estos porcentajes, el que menor resistencia adquiriera.

Las normativas no dan parámetros para este tipo de material obtenido previa incineración de un subproducto de origen vegetal, del arroz, la ceniza de cascarilla de arroz en si contiene un alto contenido de sílice que es un material puzolánico, además de poseer mayor consumo de agua al momento del fraguado.

I.4. HIPÓTESIS

La hipótesis que se plantea en este trabajo es el incremento de la resistencia de un Hormigón convencional con adición de ceniza de cascarilla de arroz “CCA” al cemento en reemplazo parcial.

La hipótesis se respalda en el alto contenido de sílice de la ceniza de cascarilla de arroz, el fenómeno que se presenta con este tipo de adición es la formación silicatos en un proceso natural de hidratación, en sí mismo la sílice, posee poco o ningún valor cementante; pero,

en forma finamente dividida y en la presencia de humedad reaccionará químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes

El Cuadro N° 1, refleja que la ceniza de cascarilla de arroz tiene un gran contenido sílice; por este motivo se maneja la hipótesis que al adicionar al cemento, este componente como es la ceniza de cascarilla de arroz “CCA” previo tratamiento cuidadoso mediante métodos rústicos puede incrementar las resistencias, como lo indica un artículo en Internet (EVALUACION DEL COMPORTAMIENTO DE LA SILICE OBTENIDA A PARTIR DE UN SUBPRODUCTO INDUSTRIAL EN MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND “<http://redalyc.uaemex.mx>”).

Para la comprobación, se decidió realizar este tipo de investigación ya que además de que dicha ceniza aumenta la resistencia también brinda otras propiedades al hormigón como se indica continuación:

El empleo de adiciones minerales activas, en la elaboración de hormigones se viene desarrollando desde hace unos años, habiendo trabajos publicados. En estos, se concluyó que la incorporación de la ceniza de cascarilla de arroz a los hormigones le brinda, a estos conglomerados de cemento, una serie de beneficios: control del calor de hidratación, mayor compacidad, mayor resistencia.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar, mediante ensayos de control de la calidad la “DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES SOMETIDOS A COMPRESIÓN” y compararla con ensayos estandarizados y/o normalizados con una resistencia de 210 Kg. /cm².

Para alcanzar el objetivo principal de este tema de investigación se realizan los análisis químicos necesarios tanto en la ceniza de cascarilla de arroz como de los cementos en los

laboratorios de la fábrica de cemento El Puente. Además del comportamiento físico mecánico de la adicción en los dos tipos de cemento; tanto como en el cemento Pórtland puro (patrón), como en el IP 30.

I.5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar el análisis químico de la ceniza de cascarilla de arroz para garantizar que el procedimiento de incineración y clasificación de la ceniza de cascarilla de arroz es el adecuado.
- Controlar la calidad en los cementos objeto del estudio y determinar su comportamiento a la compresión.
- Controlar la calidad en los cementos para garantizar su implementación al hormigón.
- Adicionar la ceniza de cascarilla de arroz en los cemento objeto del estudio entre los valores de 10, 15, 20, 25 %, en reemplazo parcial del cemento.
- Determinar el incremento del volumen de agua para los tipos de cementos objeto del estudio con y sin adición de ceniza de cascarilla de arroz.
- Realizar la elección de uno de los dos cementos con los porcentajes de adición que mejor se comporten descartando uno de los % de adición, para realizar un análisis más detallado, incrementando su fluidez, para determinar su comportamiento, para su posterior dosificación al hormigón con estos 3 tipos de adición elegidos previa evaluación de su comportamiento a la compresión

Los objetivos específicos para el desarrollo de este tema de investigación se desglosan en análisis químicos de los cementos y de la ceniza de cascarilla de arroz. Además de las pruebas físico mecánicas de los cementos con y sin adición.

Posteriormente se desarrollan los objetivos específicos referidos al hormigón con los porcentajes de adición que mejor comportamiento tengan a la compresión.

I.5.2.1. Análisis químicos del cemento, y la adición de “CCA”

- Se realizara el análisis químico del cemento según instrucción de trabajo de la fabrica de cemento el puente (OIJ-CCL-CC.029 “ANALISIS QUIMICO”), y según la norma boliviana NB 060 (Disposiciones generales el análisis químico), y NB 061 (Análisis químico).
- Se realizara el análisis de cal libre del cemento, y de la adición de ceniza de cascarilla de arroz según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.027 “DETERMINACION DE CAL LIBRE”).
- Se realizara el análisis de residuo insoluble según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.028 DETERMINACIÓN DE RESIDUO INSOLUBLE”).

I.5.2.2. Análisis Físicos del Cemento con y sin Adición.

A continuación, se desarrollan todos los análisis físicos que se realizarán para alcanzar el objetivo específico del presente trabajo.

- Determinación del peso específico de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.023 y NB 064).
- Determinación de superficie específica Blaine de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.019 y NB 472).
- Determinación de retenido en la malla #325 de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.020).
- Determinación de consistencia normal de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.017 y NB 062).
- Determinación del tiempo de fraguado de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.018 y NB 063).
- Determinación de la expansión autoclave de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.035 y NB 471).
- Determinación de la fluidez de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.021 y NB 473).

- Método para determinar la resistencia a compresión de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.025 y NB 470).

I.5.2.3. Análisis Físicos Mecánicos del Hormigón

- Realizar el estudio y ensayos de los de materiales para la posterior dosificación mediante el método ACI 211. que se describen a continuación.

- 1.- Módulo de Finura de la Arena
- 2.- Peso Unitario Compactado de la Grava
- 3.- Peso Específico de la Arena
- 4.- Peso Específico de la Grava
- 5.- Absorción de la Arena
- 6.- Absorción de la Grava (Ag)
- 7.- Humedad de la Arena
- 8.- Humedad de la Grava
- 9.- Tamaño Máximo Nominal
- 10.- Tamaño Máximo

- Analizar las normas “ACI” de la elaboración del hormigón y aplicar al estudio a realizar.
- Efectuar un buen control de los agregados a utilizar para la elaboración de las probetas de hormigón.
- Comparar los resultados obtenidos en las probetas realizadas mediante norma “ACI” y las elaboradas con los 3 porcentajes de adición de ceniza de cascarilla de arroz, de las pruebas de control de calidad realizadas de los cementos.

I.6. JUSTIFICACIÓN

La composición química de la cascarilla y su ceniza se presenta a continuación como una justificación del trabajo que se pretende realizar. Ya que la ceniza al contener sílice que es un material puzolánico que la reaccionar con el hidróxido de calcio presente en el cemento reacciona al hidratarse éstos a temperatura ambiente, en presencia de agua formando compuestos de propiedades hidráulicas formando silicatos calcico hidratado. En

experiencias realizadas con este tipo de materiales silicios, se obtiene hormigones de mayores resistencias. En el Cuadro 1.1 se muestra la composición química de la cascarilla de arroz como de su ceniza.

Cuadro° 1.1. Composición Química de la Cascarilla y su Ceniza

Componente	Cascarilla de Arroz Contenido Porcentual	Ceniza de Cascarilla de Arroz Contenido Porcentual
SiO ₂	14.60	90.00
Al ₂ O ₃	0.08	0.01
Fe ₂ O ₃	0.02	0.20
CaO	0.11	0.40
MgO	0.40	0.82
K ₂ O	0.66	1.27
Na ₂ O	0.16	0.14
SO ₃	0.10	0.11
Pérdida	83.2	6.23
P ₂ O ₅	0.10	0.41
Otros	0.18	0.18

Fuente: *Reacción álcali - Árido en el Hormigón una Rápida Evaluación* E-mail heguez@lcn.com.ec

- En la actualidad la industria de la construcción requiere hormigones de alta resistencia es por este motivo que se desarrolla el estudio de este tipo de alternativa para determinar la influencia de la ceniza de cascarilla de arroz en la obtención de hormigones alta resistencia.

1.7.- ALCANCE

El alcance al cual se pretende llegar con este trabajo de investigación es la “DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DE ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES SOMETIDOS A COMPRESIÓN”.

Abarcar todos los aspectos relacionados con la elaboración y ejecución de hormigones realizando controles de calidad en los cementos objeto de este estudio.

Se realizaron análisis químicos para la determinación de los componentes de la ceniza de cascarilla de arroz como de los cementos para garantizar su comportamiento en el hormigón.

- Los agregados que se utilizan son los empleados en nuestro medio extraídos de La Ventolera.
- Estudio del agregado grueso y fino a emplear en los ensayos de laboratorio como ser granulometría, peso específico, peso unitario, módulo de finura, absorción, etc.
- La cascarilla de arroz será traída de Bermejo y su incineración será hecha en hornos rústicos, teniendo cuidado que todo el material orgánico sea incinerado.
- Realizar el análisis químico de la ceniza de cascarilla de arroz para garantizar que el procedimiento de incineración y clasificación de la ceniza de cascarilla de arroz sea adecuado.
- La finura de molido o superficie específica Blaine se mantendrá como la de un cemento Pórtland tipo IP 30, se mantuvo el parámetro del IP 30 con finura de molido de 4000 a 4300 cm²/gr.
- Tomar en cuenta para la dosificación en hormigones los porcentajes óptimos de adición, y la relación agua cemento que mejores resultados alcancen en la resistencia a compresión del control de calidad efectuado en los cementos con adición.
- Definir el porcentaje en peso de adición de ceniza de cascarilla de arroz para obtener una resistencia óptima o mayor a la resistencia de diseño y esto dependerá

del porcentaje de sílice y de otros componentes que contenga la ceniza de cascarilla de arroz.

- Realizar el control de elaboración del hormigón en sus diferentes etapas desde la provisión de los materiales (componentes del hormigón) hasta su curado y correspondiente verificación a la compresión.
- Efectuar la comparación de los resultados obtenidos en laboratorio elaborando y analizando los diferentes ensayos.
- Se realizara la comparación de los resultados de las pruebas a compresión de los morteros de cemento y se determinara cual es el porcentaje de adición que mejor se comporta y la relación agua cemento necesaria.
- Se efectúa un análisis estadístico y se dibujara una gráfica que determine en qué proporción es el incremento de la resistencia del hormigón que es objeto del estudio.
- La determinación de la influencia de adición de ceniza de cascarilla de arroz en hormigones sometidos a compresión, solo abarcara un estudio como máximo a los 28 días del periodo de evolución de morteros y hormigones.

II.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN.

¹El Hormigón, también denominado Concreto, es una mezcla de cemento Pórtland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

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

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

Su empleo es habitual en obras de arquitectura e ingeniería, tales como edificios, puentes, diques, puertos, canales, túneles, etc. Incluso en aquellas edificaciones cuya estructura principal se realiza en acero, su utilización es imprescindible para conformar la cimentación.

II.2. MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGON

II.2.1. CEMENTO

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

Sin embargo, esta definición incluye gran cantidad de materiales cementantes y los que realmente importan desde el punto de vista de la construcción son los cementos hidráulicos; llamados así porque tienen la peculiaridad de desarrollar sus propiedades (fraguado y

¹ “Tecnología del Concreto”, Ing. Flavio Abanto Castillo

endurecimiento) cuando se encuentran en presencia de agua en virtud a que experimentan una reacción química en ella.

El cemento constituye entre el 7 y el 15% de volumen total del concreto, y es el componente activo de la mezcla y por tanto influye en todas sus características.

Cada tipo de cemento está indicado para unos usos determinados; también las condiciones ambientales determinan el tipo y clase del cemento afectando a la durabilidad de los hormigones. Los tipos y denominaciones de los cementos y sus componentes están normalizados y sujetos a estrictas condiciones. La norma española establece los siguientes tipos: 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. Los cementos comunes son el grupo más importante y dentro de ellos el Pórtland es el habitual.

Además del tipo de cemento, el segundo factor que determina la calidad del cemento, es su clase o resistencia a compresión a 28 días. Ésta 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.

<i>Tabla 2.1. Clasificación de los Cementos Norma Boliviana NB 011</i>						
CLASIFICACION Y COMPOSICION DE LOS CEMENTOS						
			PROPIEDADES EN MASA %			
TIPOS DE CEMENTO			COMPONENTES PRINCIPALES			COMPONENTES ADICIONALES
DENOMINACIÓN	DESIGNACIÓN	TIPO	CLINKER	PUZOLANA NATURAL	FILLER CALIZO	
CEMENTO PORTLAND	CEMENTO PORTLAND	I	95 a 100	-	-	0 a 5
	CEMENTO PORTLAND CON PUZOLANA	IP	60 a 94	6 a 40	-	0 a 5
	CEMENTO PORTLAND CON FILLER O CALIZA	IF	80 a 94	-	6 a 20	0 a 5
CEMENTO PUZOLÁNICO		P	45 a 60	40 a 55	-	0 a 5

Fuente: Norma Boliviana NB 011

<i>Tabla 2.2. Clasificación de los Cementos Norma Boliviana NB 011</i>				
CATEGORIAS 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 NB 011

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 silos estancos 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.

II.2.1.1. 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.

II.2.1.1.1. MATERIAS PRIMAS

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

²Como ya se ha indicado el grupo de los componentes principales incluye:

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

Donde a continuación se describe cada uno de estos componentes:

La Cal:

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

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.

² “Naturaleza y materiales del Concreto”, Enrique Rivva López

La Sílice:

³La 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 cuarzo.

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 férrico.

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.

Oxido 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 óxido.

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.

³ “Naturaleza y Materiales del Concreto”, Enrique Rivva López

II.2.1.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

Como anteriormente se menciona las materias primas del cemento son (cal, sílice, alúmina, y óxido de hierro), interactúan en el horno hasta alcanzar un estado de equilibrio químico para formar una serie de productos más complejos. Dichos productos se mencionan en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Compuestos del Cemento Pórtland

COMPUESTO	FÓRMULA QUÍMICA	ABREVIATURA USADA
SILICATO TRICÁLCICO	3CaOSiO_2	C_3S
SILICATO DICÁLCICO	2CaOSi_2	C_2S
ALUMINATO TRICÁLCICO	$2\text{CaOAl}_2\text{O}_3$	C_3A
FERROALUMINATO TETRACÁLCICO	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	CA_4F

Fuente: Tecnología del Hormigón Ing. O'Reill Vitervo ASTM C 150

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

Los constituyentes C_3S y C_2S forman del 70 al 80% del cemento Pórtland son los más estables y los que más contribuyen a la resistencia del cemento.

El C_3S se hidrata más rápidamente que el C_2S y por tanto contribuye al tiempo de fraguado y a la resistencia inicial, su acción hidratadora está comprendida entre las 24 horas y 7 días, provocando endurecimiento normal de la pasta de cemento y sus elevadas resistencias al séptimo día.

La contribución del C_2S toma lugar muy lentamente su acción endurecedora está comprendida entre los 7 a 28 días y puede continuar por encima de un año.

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

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

II.2.1.2.1. COMPONENTES INDESEABLES EN EL CEMENTO

Los cuatro componentes principales del cemento son la cal, sílice, alúmina, y el óxido férrico, como ya se describió previamente. Los restantes componentes puede decirse que son los indeseables en el cemento. A continuación se comentan brevemente.

a) Óxido cálcico libre, CaO

La cal libre y el hidróxido cálcico coexisten normalmente en el cemento anhidro. Una parte de la primera se hidrata y pasa a la segunda durante el amasado, pero si el contenido en CaO libre del cemento es superior al 1,5 o 2 %, queda otra parte capaz de hidratarse en el transcurso del endurecimiento, es decir, a edades medias o largas, lo que puede producir fenómenos expansivos.

b) Óxido magnésico, MgO

La magnesia MgO puede presentarse en el clínker en estado vítreo (por enfriado enérgico) o en estado cristalizado (periclasa), siendo esta última forma realmente peligrosa, debido a su lenta hidratación para pasar a hidróxido magnésico Mg(OH), en un proceso de carácter expansivo. Por ello se limita el contenido en magnesia a un 5 % como máximo.

c) Trióxido de azufre SO_3

El azufre proviene de la adición de piedra de yeso que se hace al clínker durante la molienda para regular su fraguado, pudiendo también provenir del combustible empleado en el horno. Un exceso de SO_3 , puede conducir al fenómeno de falso fraguado, por lo que

conviene ser estricto en la comprobación de que no se rebasa la limitación impuesta por el pliego correspondiente. Un contenido en SO_3 , inferior al 4 % es aceptable.

d) Pérdida al fuego

Cuando su valor es apreciable, la pérdida al fuego proviene de la presencia de adiciones de naturaleza caliza o similar, que no suele ser conveniente. Si el cemento ha experimentado un prolongado almacenamiento, la pérdida al fuego puede provenir del vapor de agua o del CO_2 presentes en el conglomerante, siendo entonces expresiva de una meteorización del cemento.

e) Residuo insoluble

Proviene de la presencia de adiciones de naturaleza silíceas. No debe superar el 5 % para el Pórtland I.

f) Alcalis

Proviene en general de las materias primas y se volatilizan en buena parte, encontrándose luego en el polvo de los humos de las fábricas de cemento. No suelen superar el 0,8 %.

II.2.1.3. Cemento Pórtland TIPO I

El cemento Pórtland es un producto comercial de fácil adquisición, que cuando se mezcla con el agua, ya sea sólo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar lentamente hasta formar una masa endurecida. Esencialmente es un clínker, finamente molido, producido por la cocción a elevadas temperaturas, de mezclas que contienen cal, alúmina, hierro y sílice en proporciones determinadas.

II.2.1.3.1. Características del Cemento Pórtland

El cemento Pórtland es un polvo de color gris, más o menos verdoso, se vende en bolsas que tienen un peso neto de 50 Kg. y un pie cúbico de capacidad. En aquellos casos en que

no se conozca el valor real, se tienen que realizar los ensayos para determinar el peso específico del cemento. Generalmente se toma el valor 3.15 gr. /cm^3 .

II.2.1.3.2. Clasificación del Cemento Pórtland

Los cementos Pórtland, se fabrican en cinco tipos, cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de normas para el cemento Pórtland (C-150).

TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación.

TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial. El concreto hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días para concretos hechos con tipo I o tipo II.

TIPO IV: Es el cemento que se requiere bajo calor de hidratación.

TIPO V: Es el cemento del que se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas al agua de mar.

II.2.1.3.3. Fraguado y Endurecimiento

El fraguado es la pérdida de plasticidad que sufre la pasta de cemento, hay dos etapas de fraguado:

- **Fraguado inicial:** Cuando la masa empieza a perder plasticidad.
- **Fraguado final:** Cuando la pasta de cemento deja de ser deformable y se convierte en un cuerpo rígido.

II.2.1.3.4. Calor de Hidratación:

Durante el proceso de endurecimiento se producen reacciones que generan calor. Cuando las reacciones son pequeñas y el calor puede liberarse, el calor de hidratación no es importante, pero al vaciar grandes volúmenes de concreto y cuando el calor no puede liberarse fácilmente, resulta un factor a tenerse muy en cuenta; la temperatura que genera la hidratación llega a los 50 °C en presas. Algunos investigadores han observado temperaturas mayores. Como la temperatura ambiente es menor, se producen descensos bruscos de ésta, ocasionando contracciones y en consecuencia, rajaduras.

En el vaciado de grandes volúmenes es indispensable controlar este aspecto, si no se desea sufrir desagradables sorpresas. Se debe usar cemento de bajo calor de hidratación y/o puzolanas. El calor de hidratación del cemento se mide en calorías gramo, cuanto menor sea el calor de hidratación del cemento menor será la temperatura a que se eleve el concreto.

II.2.1.3.5. Función del Yeso en el Cemento

La velocidad con que se desarrolla el endurecimiento del cemento, debe de ser controlada dentro de ciertos límites para que se sea un producto útil en la construcción. Si las reacciones fuesen demasiado rápidas, el concreto endurecería rápidamente y no podría ser transportado y colocado sin ocasionarle daño.

Si las reacciones fuesen demasiado lentas, la demora en adquirir resistencia sería objetable. Por lo tanto, la velocidad de reacción debe controlarse. Esto se logra dosificando cuidadosamente la cantidad de yeso que se agrega al clínker durante la molienda.

II.2.1.3.6. Almacenamiento del cemento en obra

El cemento no debe ser guardado sin usarse mucho tiempo, pues conforme avanza el tiempo va perdiendo resistencia; esto es válido para todos los tipos de cemento.

Para el caso de cementos en sacos, bien guardados en almacenes cerrados y sobre tablillas de madera, la pérdida de resistencia probable es en 3 meses 15%, y en 6 meses 25% y así aumenta sucesivamente.

En el cemento guardado se forman grumos, la cantidad de éstos es un índice de su probable utilidad, si hay muchos grumos y éstos no pueden deshacerse con la presión de los dedos, generalmente quiere decir que el cemento va a dar pérdida apreciable de resistencia. En general, un límite apropiado de utilidad para el cemento en sacos es de 3 meses para cuando está en silos herméticos. Después del tiempo indicado es importante hacer pruebas antes de usarlo.

Los límites proporcionados son para el caso de cemento bien almacenado, para cemento a la intemperie los límites son mucho menores, sobre todo si el tiempo es malo o lluvioso, en este caso puede inutilizarse en pocos días, si no se guarda convenientemente.

Para subsanar la pérdida de resistencia por almacenaje deberá incrementarse la dosificación en peso del cemento y mantener invariable la dosificación de los otros componentes de la mezcla.

II.2.1.4. Pruebas de las Propiedades del Cemento

II.2.1.4.1. Determinación del Peso Especifico

Se coloca en el frasco volumétrico de Le Chatelier, uno de los líquidos mencionado en la norma boliviana NB 064, hasta enrasar en una división comprendida entre las marcas 0 a 1 ml. se seca la parte interior del frasco en el baño termorregulador a la temperatura ambiente, donde permanece hasta que su contenido haya alcanzado la temperatura del baño, momento en el cual se efectúa la primera lectura.

La variación de la temperatura del líquido del frasco volumétrico no debe ser mayor de 0.2 °C. se pesa en un recipiente de vidrio, aproximadamente 64 gr. De cemento, secado

previamente hasta peso constante a una temperatura de $105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$, se agrega el cemento a temperatura ambiente al líquido contenido en el frasco; se debe evitar que salpique el líquido y que el cemento quede adherido a las paredes interiores del frasco, por encima del nivel del líquido.

Estas operaciones se pueden realizar con la ayuda de un vibrador o empleando un embudo de vidrio de cuello largo. Inmediatamente después de esta operación se tapa el frasco.

Se toma el frasco por su parte superior. Se hace rotar inclinando alternadamente en uno y en otro sentido, hasta que colocado en posición vertical dejen de aparecer burbujas de aire.

Se sumerge el frasco nuevamente en el baño termostático y una vez alcanzado el equilibrio de temperatura, se realiza la lectura final.

La densidad del cemento se calcula mediante la ecuación descrita en la norma boliviana NB 064. El frasco volumétrico de Le Chatelier debe tener la forma y dimensiones indicadas en la figura 2.1.

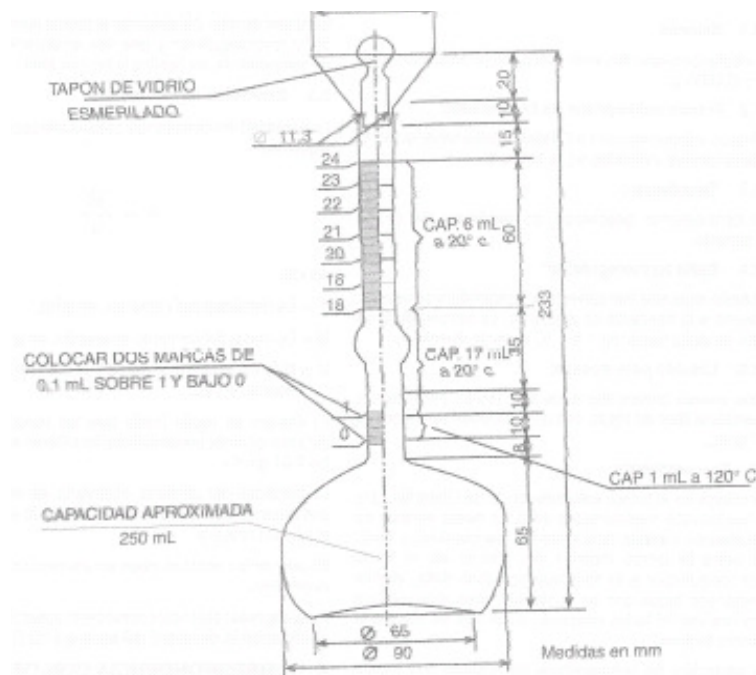


Figura 2.1. Frasco de Le Chatelier

II.2.1.4.2. Determinación de la Superficie Específica Blaine

El tubo de permeabilidad se conecta herméticamente con el manómetro (véase Nota 4 NB 472), teniendo cuidado de que la capa de cemento no se altere. Se quita el aire contenido en la rama del manómetro, succionando con una pera de goma hasta que el líquido alcance la marca superior; luego se cierra herméticamente la válvula y se permite el pasaje de aire a través de la capa de cemento compactado. El cronómetro se pone en marcha en el momento en que el menisco del líquido en el manómetro, llegue a la segunda marca, es decir, a la marca que sigue la superior y el cronómetro se detiene en el momento en que el menisco llegue a la marca inferior. El lapso observado se anota en segundos, se anota también la temperatura ambiente en la que se hizo el ensayo, en grados centígrados. Para la calibración del aparato, se hacen como mínimo, tres determinaciones del tiempo de flujo, empleando respectivamente, tres porciones diferentes de la misma muestra (véase Nota 5 NB 472). La calibración debe hacerla el mismo operador que efectúe las determinaciones de la superficie específica

II.2.1.4.3. Consistencia de la Pasta Normal

La consistencia se mide por medio del aparato de Vicat, representado en la figura 2.2, utilizando un émbolo de 10 mm. de diámetro acondicionado dentro de un soporte de agujas.

Una pasta experimental de cemento y agua se mezcla en la forma prescrita y se coloca en el molde. En seguida, se pone el émbolo en contacto con la superficie superior de la pasta y se suelta. Por la acción de su propio peso, el émbolo penetra en la pasta, la profundidad de penetración depende de la consistencia. Esto se considera una norma, de acuerdo con la Norma Boliviana NB 062, cuando el émbolo penetra en la pasta hasta un punto distante de 10 ± 1 mm . El contenido de agua de la pasta estándar se expresa como porcentaje por masa de cemento secó, y el valor normal varía entre 26 y 33 por ciento del peso del cemento.

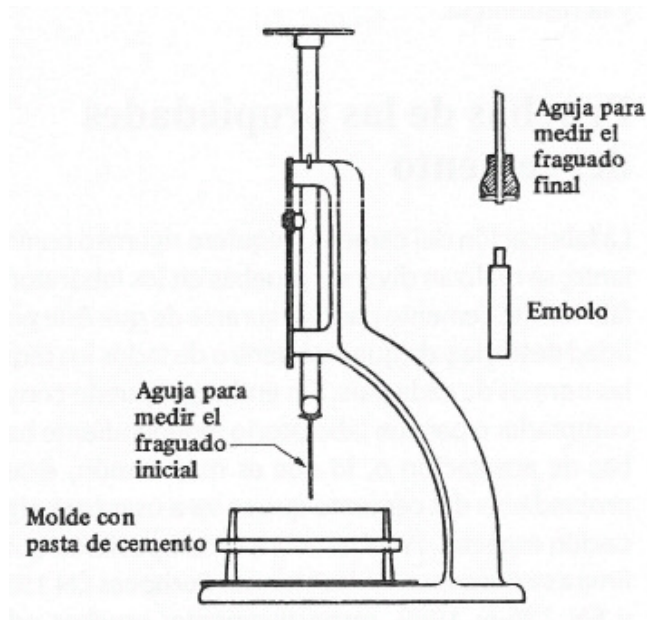


Figura 2.2. Aparato de Vicat

II.2.1.4.4. Tiempo de Fraguado

El proceso físico del fraguado se explicó anteriormente en este mismo capítulo; aquí se hablará brevemente acerca de la determinación real del tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado se mide empleando el aparato de Vicat (figura 2.2) con distintos accesorios de penetración. El método de prueba es prescrito por la Norma Boliviana NB 063.

II.2.1.4.4.1. Tiempo de Fraguado Inicial

Para determinar el fraguado inicial se utiliza una aguja de Vicat con un diámetro de 1 mm. Esta aguja penetra en la pasta de consistencia normal, Colocada en un molde especial, bajo un peso prescrito.

La Norma Boliviana describe al tiempo de fraguado inicial como al tiempo transcurrido entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el que marca una penetración de 25 mm. Su determinación se hace por la interpolación del resultado obtenido en las penetraciones registradas.

II.2.1.4.4.2. Tiempo de Fraguado Final

El fraguado final se determina por medio de la misma aguja adaptada de 1mm de diámetro, se toma como fin de fraguado el tiempo transcurrido entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el momento en el cual la aguja no deja marca visible en la pasta, realizando esta verificación en ambas bases de la muestra.

II.2.1.4.5. Sanidad del Cemento

Es esencial que la pasta de cemento, una vez que ha fraguado, no sufra gran cambio en su volumen. En particular, no debe haber una expansión apreciable, la cual, en condiciones de restricción, podría ocasionar una ruptura de la pasta de cemento endurecida. Tal expansión puede tener lugar debido a una hidratación retardada o lenta, o a otra reacción, de algún compuesto presente en el cemento endurecido, particularmente la cal libre, la magnesia libre o el sulfato de calcio.

Si las materias primas que se añaden al horno contienen mayor cantidad de cal de la que puede combinarse con los óxidos, ácidos, o si el enfriamiento o la calcinación son insatisfactorios, la cal en exceso permanecerá en estado libre. Esta cal fuertemente calcinada se hidrata sólo en forma muy lenta y, puesto que la cal apagada ocupa mayor volumen que el óxido de calcio original, tiene lugar una expansión. A los cementos que experimentan esta expansión se los conoce como cementos sin sanidad. La cal que se agrega al cemento no produce variación de volumen, debido a que se hidrata rápidamente, antes de que la pasta haya fraguado. Por otra parte, la cal libre presente en el clínker se inter cristaliza con otros componentes y se expone sólo parcialmente al agua durante el tiempo anterior al fraguado de la pasta. Un cemento también puede tener variaciones de volumen debidas a la presencia de MgO, el cual reacciona con el agua de manera similar al CaO. Sin embargo, sólo periclasa, o sea MgO cristalino totalmente calcinado, es perjudicialmente reactivo, y el MgO presente en el vidrio es inofensivo. Hasta aproximadamente 2 % de periclasa (por masa de cemento) se combina con los principales compuestos, pero la periclasa en exceso generalmente causa expansión y puede conducir a separación lenta.

El sulfato de calcio es el tercer compuesto capaz de causar expansión. En este caso, se forma sulfoaluminato de calcio.

Debemos recordar que un hidrato de sulfato de calcio el yeso se agrega al clinker del cemento para evitar un fraguado relámpago; sin embargo, si el contenido de yeso sobrepasa la cantidad que puede reaccionar con el C_3A durante el fraguado, se presentará una variación de volumen en forma de expansión lenta. Por esta razón, las normas limitan de manera estricta la cantidad de yeso que se puede añadir al clinker, los límites son cautelosos en lo que respecta al peligro de falta de sanidad.

Puesto que la falta de sanidad del cemento no se manifiesta, sino después de un período de meses o años, es esencial probar de manera apresurada la sanidad del cemento: una prueba efectuada por Le Chatelier está prescrita por la EN 196-3: 1987. El aparato de Le Chatelier se representa en la Figura 2.3, y consiste en un pequeño cilindro de bronce con una hendidura a lo largo de la generatriz. Dos indicadores con extremidades en punta se fijan al cilindro a ambos lados de la hendidura; de esta manera, se amplifica la abertura de la hendidura causada por la expansión del cemento, y se puede medir fácilmente. El cilindro se coloca sobre una placa de vidrio, se llena con una pasta de cemento de consistencia estándar y se cubre con otra placa de vidrio. El montaje total se sumerge en agua a 20 ± 1 °C durante 24 horas. Al final de este periodo se mide la distancia entre los indicadores y el molde se sumerge nuevamente en agua y se lleva gradualmente a ebullición en 30 minutos. Después de hervirlo durante 3 horas, se saca el molde y, una vez que se ha enfriado, se mide nuevamente la distancia entre los indicadores.

El aumento en la distancia representa la expansión del cemento, que para cementos Pórtland está limitado a 10 mm por ENV 197-1:1992. Si la expansión excede este valor, se realiza la prueba siguiente después que el cemento haya sido expuesto y aireado durante siete días. En este tiempo, una parte de la cal puede hidratarse o aún carbonatarse, y también puede producirse una degradación física en su tamaño. Al final del período de siete días, se repite la prueba de Le Chatelier, y la expansión del cemento aireado no debe

exceder los 5 mm. Un cemento que no satisfaga por lo menos uno de estos criterios no debe usarse.

La prueba de Le Chatelier detecta sólo variaciones de volumen debidas a la cal libre. Rara vez se encuentran cantidades mayores de óxido de magnesio en la materia prima con la cual se fabrica el cemento pero en otros países sí se encuentra. Un ejemplo es la India, donde la caliza de bajo contenido en óxido de magnesio se encuentra sólo en cantidades limitadas. La masa de cemento resultante tiene, por lo tanto, un alto contenido de MgO, pero la expansión puede reducirse apreciablemente mediante la adición de algún material silíceo, como ceniza volante o arcilla calcinada finamente molida.

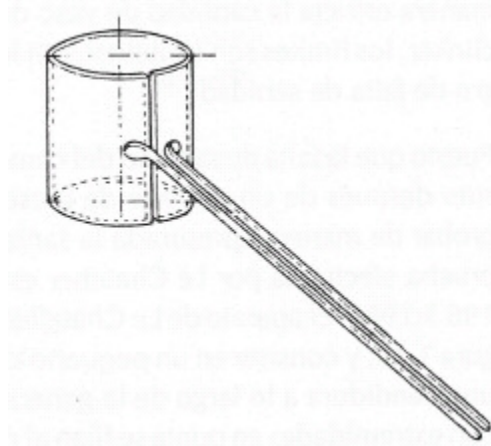


Figura 2.3. Aparato de Le de Chatelier

Debido a la importancia de evitar la expansión retardada, en Estados Unidos por ejemplo, se determina la consistencia del cemento mediante la prueba en autoclave, la cual es sensible tanto al óxido de magnesio como a la cal libre. En esta prueba, prescrita por la Norma ASTM 151-93a, una barra de cemento puro de 25 mm. de sección transversal cuadrada, con una longitud calibrada de 250 mm. se cura en aire húmedo durante 24 horas. Luego se coloca la barra en un autoclave (un hervidor de vapor de alta presión) que se eleva a una temperatura de 216 °C (con una presión de vapor de 20.5 ± 0.7 kg./cm² o 2 ± 0.07 MPa.) durante un periodo de 60 ± 15 minutos, y luego se mantiene a esta temperatura durante tres horas. La alta presión de vapor acelera la hidratación, tanto de la cal como del óxido de magnesio.

La expansión de la barra debida al tratamiento en autoclave no debe exceder de 0.8 %. Los resultados de la prueba en autoclave se ven afectados no solamente por los compuestos que causan expansión, sino también por el contenido de C₃A y por los aditivos del cemento, y por otras anomalías a las que está sujeta. Esta prueba proporciona, por consiguiente, sólo una indicación en términos generales del riesgo que representa en la práctica una expansión a largo plazo, pero ella es por lo regular excesivamente severa a medida que algo de MgO permanece inerte; la prueba así yerra por seguridad.

No existe ninguna prueba para detectar variaciones de volumen debidas a un exceso de sulfato de calcio, pero su contenido puede determinarse fácilmente por medio de un análisis químico.

II.2.1.4.6. Determinación de la Resistencia a Compresión

➤ Gradación de la arena

La arena usada para elaborar las probetas de ensayo, debe ser arena natural de sílice (mínimo 98%) con la siguiente composición granulométrica.

Tabla 2.4. Gradación de la Arena

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO
150 μm	98 \pm 2
300 μm	75 \pm 5
425 μm	30 \pm 5
600 μm	2 \pm 2
1.18 μm	0

Fuente: Norma Boliviana NB 470

Las probetas que van a ser ensayadas a las 24 hrs. se sacan de la cámara húmeda e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba; sí se sacan varias al mismo tiempo, deben cubrirse con una toalla húmeda hasta el momento de iniciar el ensayo. Si se saca del recipiente de almacenamiento más de una probeta a la vez para ser ensayadas, Se las debe

mantener en agua a una temperatura de $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una profundidad suficiente de manera que queden completamente cubiertas hasta el momento del ensayo. Todas las probetas correspondientes a una determinada edad de ensayo se romperán dentro de la tolerancia permisible indicada a continuación.

Tabla 2.5. Tolerancia para Ensayos a Compresión

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 Hr.	± 0.5 Hr.
3 Días	± 1 Hr.
7 Días	± 3 Hr.
28 Días	± 12 Hr.

Fuente: Norma Boliviana NB 470

Las superficies de los cubos deben secarse y los granos de arena sueltos o las incrustaciones, deben retirarse de las caras que van a estar en contacto con los bloques de apoyo de la máquina de ensayo; se debe comprobar, mediante una regla, que estas caras sean planas (véase Nota 1 NB 470). En caso de que tengan una curvatura apreciable deben rasparse hasta obtener superficies planas y si esto no es posible se deben desechar las probetas.

II.2.1.4.7. Determinación de la Fluidéz

Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, colocando en seguida el molde en su centro. Usando el palustre, se coloca una capa de mortero, de unos 25 mm de espesor, cuya fluidéz se quiere determinar y se apisona con 20 golpes del compactador, uniformemente distribuidos. Con una segunda capa de mortero, se llena totalmente el molde y se apisona como la primera capa.

La presión del compactador debe ser tal que asegure el llenado uniforme del molde. Se enrasa el mortero con la parte superior del molde, empleando el palustre. Después de llenar el molde de acuerdo con la norma NB 473, se limpia y se seca la plataforma de la mesa, teniendo cuidado de eliminar el agua que queda alrededor de la base del molde, Después de

un minuto de terminada la operación de mezclado, se quita el molde por medio de un movimiento vertical y se deja caer la plataforma desde una altura de 12,7 mm. (1/2”), 25 veces en 15 segundos. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra a lo largo de cuatro direcciones uniformemente distribuidas y se calcula el diámetro promedio.

La expresión de los resultados se indica en la Norma Boliviana NB 473. En La Figura 2.4 y 2.5 se representa el equipo utilizado en este ensayo según la Norma Boliviana NB 473.

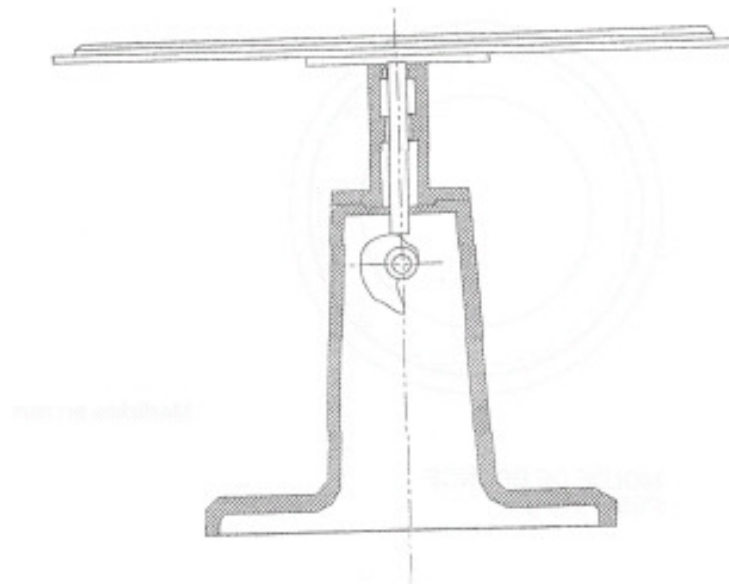


Figura 2.4 Mesa de sacudidas

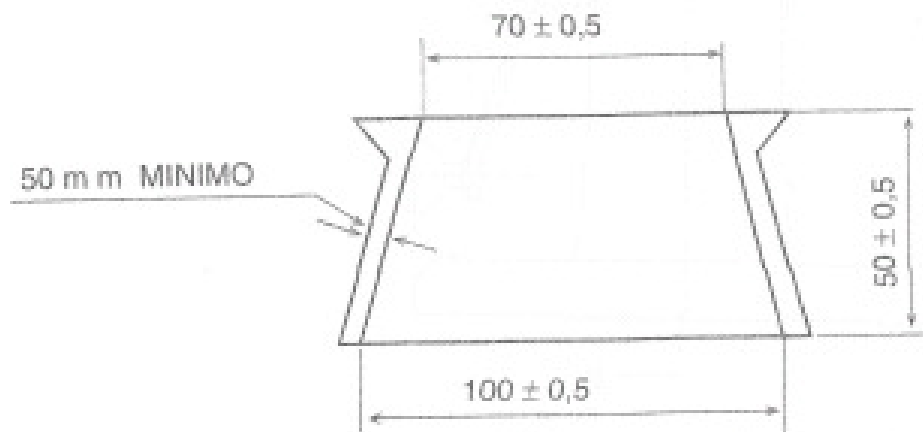


Figura 2.5. Molde Mesa de Sacudidas

II.2.2. AGUA

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, está relacionada con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

II.2.2.1. El Agua en el Concreto

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

II.2.2.2. Requisitos que debe cumplir

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

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

Tabla 2.6 Requisitos que debe Cumplir el Agua

Sustancias Disueltas	Valor Máximo Admisible
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales Solubles	1500 ppm
P.H.	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: Norma ASTM D

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

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

II.2.3.AGREGADOS

II.2.3.1. Ubicación, Antecedentes y Descripción de la Cantera.

El presente trabajo de investigación utilizó materiales granulares extraídos de la Ventolera, departamento de Tarija.

La metodología de extracción del material fue la siguiente:

El material se extrae como grava arenosa, luego se procede al zarandeado, separando los finos de los gruesos.

Las características del material extraído son muy buenas, ya que la arena presenta un módulo de finura de 2.5 (media), además cumple requisitos de granulometría y no es una arena lajeada.

El único defecto que presenta la arena es que por la metodología de extracción presenta muchos limos y arcillas haciéndose imprescindible el lavado del material antes de su uso.

II.2.3.1.1. Definición

Llamados también áridos, son materiales inertes que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros.

La importancia de los agregados radica en que constituyen alrededor del 75% en volumen, de una mezcla típica del concreto.

II.2.3.1.2. Clasificación

Los agregados naturales se clasifican en:

Agregados finos

- Arena fina.
- Arena Gruesa.

Agregados Gruesos

- Grava
- Piedra

II.2.3.2. Agregado Fino

II.2.3.2.1. Definición

Se considera como agregados finos a la arena o a la piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ ") y que cumple con los límites establecidos en la Norma ASTM.

Las arenas provienen de la desintegración natural de rocas; y que arrastrados por corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados.

II.2.3.2.2. Requisitos de Uso

El agregado fino será arena natural. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes.

El agregado fino deberá estar libre cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica u otras sustancias perjudiciales. Debe cumplir las normas sobre su granulometría.

Se recomienda que las sustancias dañinas, no excedan los porcentajes máximos siguientes:

- 1º) partículas deleznable 3%
- 2º) material más fino que la malla N° 200: 5%

II.2.3.2.3. Granulometría (límites según la ASTM).

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena. La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas.

Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son las N°4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Los requerimientos en cuanto a granulometría que debe cumplir la arena de acuerdo a la ASTM es el que se da en la tabla 2.7.

Tabla 2.7 Límites de Granulometría para la Arena Según la ASTM

MALLA		Porcentaje acumulado que pasa	
$\frac{3}{8}$ "	9.5 mm.	-	100
N° 4	4.75 mm.	95	100
N° 8	2.36 mm.	80	100
N° 16	1.18 mm.	50	85
N° 30	600 μ m.	25	60
N° 50	300 μ m.	10	30
N° 100	150 μ m.	2	10

Fuente: Norma C 136 – 04

La Norma ASTM, exceptúa los concretos preparados con más de 300 Kg. /m³ de cemento los porcentajes requeridos para el material que pasa las mallas N° 50 y N° 100 que, en este caso pueden reducirse a 5% y 0% respectivamente.

Esta exposición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la plasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino.

Además, la norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor al 45% del total de la muestra. De esta manera se tiene una granulometría más regular.

En general, en cuanto a granulometría se refiere, los mejores resultados se obtienen con agregados de granulometrías que queden dentro de las normas y que den curvas granulométricas suaves.

II.2.3.3. Agregados Gruesos

II.2.3.3.1. Definición

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm (N°4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas, y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM.

El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

II.2.3.3.2. Clasificación

- **GRAVAS:**

Comúnmente llamadas “canto rodado”, es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la disgregación natural de las rocas, por acción del hielo y

otros agentes atmosféricos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositados de forma natural .

Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en forma más o menos redondeadas.

Las gravas pesan de 1600 a 1700 Kg. /m³.

- **PIEDRA PARTIDA O CHANCADA:**

Se denomina así, al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente.

Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda.

El peso de la piedra chancada se estima en 1450 a 1500 Kg. /m³

II.2.3.3.3. Requisitos de Uso

El agregado grueso deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular o semi - angular, duras o compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa.

II.2.3.3.4. Granulometría (límites según la ASTM).

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C-33, los cuales están indicados en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Requerimientos de Granulometría del Agregados Grueso

ASTM N°	Tamaño Nominal	% que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm 4"	90 mm 3½"	75 mm 3"	63 mm 2½"	50 mm 2"	37.5 mm 1½"	25 mm 1"	19 mm ¾"	12.5 mm ½"	9.5 mm ¾"	4.75 mm N°4	2.36 mm N°8	1.18 mm N°1 6	
1	90 a 37.5 mm 3½" a 1½"	100	90- 100		25-60		0-15		0-5						
2	63 a 37.5 mm 2½" a 1½"			100	90- 100	35-70	0-15		0-5						
3	50 a 25.0 mm 2" a 1"				100	90- 100	35-70	0-15		0-5					
357	50 a 4.75 mm 2" a N°4				100	95- 100		35-70		10-30		0-5			
4	37.5 a 19mm 1½" a ¾"					100	90- 100	20-55	0-15		0-5				
467	37.5 a 4.75mm 1½" a N°4					100	95- 100		35-70		10-30	0-5			
5	25 a 12.5 mm 1" a ½"						100	90- 100	20-55	0-10	0-5				
56	25 a 9.5 mm 1" a ⅜"						100	90- 100	40-85	10-40	0-15	0-5			
57	25 a 4.75 mm 1" a N°4						100	95- 100		25-60		0-10	0-5		
6	19 a 9.5 mm ¾" a ⅜"							100	90- 100	20-55	0-15	0-5			
67	19 a 4.75 mm ¾" a N°4							100	90- 100		20-55	0-10	0-5		
7	12.5 a 4.75mm ½" a N°4								100	90- 100	40-70	0-15	0-5		
8	9.5 a 2.36mm ⅜" a N°8									100	85- 100	10-30	0-10	0-5	

Fuente: ASTM C 33-82

II.2.3.4. Características de los Agregados

II.2.3.4.1. Modulo de Fineza (MF)

El modulo de finura es un parámetro que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de la serie de tamices especificados que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz 149 μ (N°100) en adelante hasta el tamaño máximo presente y divididos por 100.

El módulo de finura se puede considerar como el tamaño promedio ponderado de un tamiz, del grupo, en el cual el material es retenido, siendo el 149 μ (N°100) el primer tamiz del grupo, el 297 μ (N°50) el segundo, el 59 μ (N°30) el tercero, etc. Así por ejemplo, un MF de 3.0 significa que el tamiz 595 μ (N°30) es el tamaño promedio (es el tercer tamiz del grupo). Sin embargo, un número infinito de gradaciones pueden tener un mismo valor del MF y por consiguiente, este parámetro sólo debe ser usado para la comparación de materiales cuya gradación sea similar, y resulta valioso para medir ligeras variaciones en un agregado procedente de una misma fuente, o sea, una verificación periódica.

En América es más frecuente el uso del MF de la arena (o sea la suma de los porcentajes acumulados desde el tamiz 149 μ o N°100 hasta el N°4 y dividido por 100) para evaluar qué tan fina o gruesa es una arena, pero también es muy empleado como parámetro para el diseño de mezclas. Si se considera que el MF de una arena adecuada para producir concreto debe de estar entre 2.3 y 3.1, donde un valor menor que 2 indica una arena fina, 2.5 una arena de finura media y más de 3.0 una arena gruesa.

II.2.3.4.2. Tamaño máximo del agregado grueso (TM)

Se define como la abertura del menor tamiz por el cual pasa el 100% de la muestra. Como su nombre lo indica, es el tamaño de las partículas más grandes que hay dentro de la masa de agregados y que en algunos casos puede ser único.

II.2.3.4.3. Tamaño Máximo Nominal (TMN)

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

- El TMN no debe ser mayor que 1/5 de la dimensión menor de la estructura.
- El TMN no debe ser mayor que 1/3 del espesor de una losa.
- El TMN no debe ser mayor que $\frac{3}{4}$ del espaciamiento libre máximo entre las barras de refuerzo.

II.2.3.4.4. Humedad Natural.

El contenido de agua dentro de un agregado, expresado en porcentaje es por definición:

$$\% \text{Humedad} = \%w = (H - S) / S * 100$$

Donde:

$\%w$ = porcentaje de humedad

H = peso del agregado húmedo.

S = peso del agregado en condición seca.

II.2.3.4.5. Porcentaje de Absorción.

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

$$\% \text{ absorción} = \%a = (D - S) / S * 100$$

Donde:

$\%a$ = % de absorción

D = peso del agregado saturado y superficialmente seco

S = peso del agregado en condición seca.

II.2.3.4.6. Humedad Superficial

La humedad superficial viene dada por la diferencia entre el contenido de humedad (%w) y el porcentaje de absorción (%a)

Casos que se presentan:

Si %w > %a

En este caso el agregado aporta agua a la mezcla (agua libre) y dicha cantidad debe ser disminuida del agua para encontrar el agua efectiva o neta.

Si %w < %a

En este caso el agregado tomará agua de la mezcla (agua que le falta) para llegar a la condición ideal, debiendo aumentarse dicha cantidad de agua a la mezcla para no modificar el agua de diseño.

II.3. MATERIALES PUZOLANICOS

II.3.1. GENERALIDADES.

Las puzolanas son materiales silíceos o aluminosilíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se encuentran finamente divididos y están en presencia de agua, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes".

En Europa, en forma similar se utiliza la definición de puzolanas dada por Massaza en el Quinto Congreso Internacional de la Química del cemento del año 1974, que dice: "se define como puzolanas a aquellos materiales naturales o artificiales, ricos en sílice y alumina, capaces de reaccionar con cal en presencia de agua y formar por esta reacción compuestos con propiedades cementantes".

Del análisis de las definiciones previas surgen como necesarios para la reacción puzolánica una determinada finura del material, que se expresa fundamentalmente por la superficie específica de sus partículas; un activador como el hidróxido de calcio que genere un ambiente con elevado pH a fin de lograr la solubilización de los compuestos silíceos o aluminosos de débil cristalinidad y la presencia de agua en el medio reaccionante.

II.3.2. TIPOS DE PUZOLANAS.

Básicamente existen dos tipos de puzolana, llamadas puzolanas naturales y artificiales.

- Las puzolanas naturales esencialmente son cenizas volcánicas de actividades volcánicas geológicamente recientes.
- Las puzolanas artificiales son el resultado de diversos procesos industriales y agrícolas, generalmente como subproductos. Las puzolanas artificiales más importantes son arcilla cocida, cenizas de combustible pulverizado (pfa), escoria de altos hornos granulada y molida (ggbfs) y ceniza de cáscara de arroz (CCA).

II.3.3. PUZOLANAS NATURALES.

II.3.3.1. Cenizas volcánicas:

Se forman por erupciones de carácter explosivo, en pequeñas partículas que son templadas a temperatura ambiente, originando la formación del estado vítreo.

II.3.3.2. Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)

Producto de la acción hidrotermal sobre las cenizas volcánicas y de su posterior cementación diagenética.

II.3.3.3. Tierras de diatomeas (diatomitas)

Puzolanas de origen orgánico. Depósitos de caparzones silíceos de microscópicas algas acuáticas unicelulares (diatomeas).

A continuación el autor presenta una descripción más amplia referente a las cenizas volcánicas, debido a la importancia de las mismas.

II.3.3.4. Cenizas Volcánicas.

- Materiales sedimentarios químicos: sedimentos silicios como la ftanita y el pedernal constituidos por 95 % o más de sílice fibrosa micro cristalina y sílice amorfa y cuarzo cripto cristalino, cuyo origen se debe a la precipitación de la sílice contenida en el agua de mar. Tierras silíceas, de diatomeas, constituidas por caparazones de diatomeas o radiolarios marinos, formados por sílice amorfa.
- Materiales volcánicos: se genera a partir de la roca cuarteada y separada en partículas diminutas durante un episodio de actividad volcánica explosiva. La naturaleza normalmente violenta de una erupción, incluyendo chorros de vapor de agua (*erupción freática*), produce como resultado una gran cantidad de magma y tal vez roca sólida que rodea el viento volcánico, torneando las partículas hasta reducirlas al tamaño de granos de arena.

La pluma que se ve a menudo sobre un volcán en erupción está compuesta principalmente de cenizas y vapor. La eyección de grandes cantidades de ceniza provoca un cono de cenizas. La acumulación de cenizas tiende a cementarse hasta formar capas de una roca llamada toba volcánica. Las partículas más finas pueden ser arrastradas por el viento a lo largo de muchos kilómetros, que dan al paisaje un aspecto "polvoriento" al depositarse.

- Materiales Piroclásticos: El vidrio volcánico está también presente en tobas, tufas, y bombas volcánicas. Estas últimas se encuentran presentes en diversas proporciones en los sedimentos pampeanos como consecuencia de la actividad volcánica cordillerana de fines del Terciario y del Cuaternario (5 millones de años).

El término piroclasto se refiere a cualquier material volcánico sólido arrojado al aire durante una erupción.

La primera puzolana natural empleada en construcciones fue la ceniza volcánica del Monte Versubio (Italia), encontrada cerca de la ciudad Pozzuoli, que le dio el nombre.

Aunque los compuestos químicos son similares, el material vidrioso formado por el lanzamiento violento de la magna fundida en la atmósfera, es más reactiva con la cal, que la ceniza volcánica formada por erupciones menos violentas.

La generación de puzolanas naturales adecuadas está, por lo tanto, limitada a sólo a algunas regiones del mundo.

Las buenas puzolanas a menudo se encuentran como cenizas finas, pero también en forma de grandes partículas o tufos (ceniza volcánica solidificada), que deben ser triturados para emplearse como puzolana. Sin embargo, la calidad de dichas puzolanas puede variar grandemente, incluso dentro de un mismo depósito.

II.3.4. TIPOS DE PUZOLANAS ARTIFICIALES.

II.3.4.1. Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante):

Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.

Comparando los procesos de producción de ceniza de combustible pulverizado (pfa), más conocida como ceniza volante, y de cemento Pórtland, ordinario (OPC), queda claro por que razón la pfa puede emplearse como sustituto parcial de éste último.

El carbón de piedra finamente molido es inyectado a gran velocidad con un chorro de aire caliente (aproximadamente. 1500°C) en un horno en las estaciones de generación de electricidad. El contenido carbónico se quema instantáneamente, y la materia restante (que comprende sílice, alúmina y óxido de hierro) se funde en suspensión, formando finas partículas esféricas por el rápido enfriamiento mientras son llevados por los gases de combustión.

Las partículas esféricas, huecas, vidriosas de pfa tienen la misma finura que el OPC, por lo que no es necesaria una mayor molienda. La adición de pfa genera un concreto fresco más trabajable (probablemente debido al efecto de cojinete de bolas de las partículas esféricas) y homogéneo (dispersando el cemento y distribuyendo uniformemente el agua).

Otras ventajas de emplear la pfa son:

Con el incremento del tiempo, se desarrollan mayores resistencias que el concreto sin pfa.

La pfa no influye negativamente el comportamiento estructural de las piezas de concreto.

Comparada con el concreto de OPC, el concreto de pfa es más liviano, menos permeable (debido a su compactación más densa) y con un mejor acabado

El concreto de pfa es además más resistente al ataque del sulfato y a la reacción sílice-álcali.

Los concretos en los cuales se reemplaza entre 35 a 50% del peso de OPC por pfa han mostrado comportamientos satisfactorios.

Los áridos derivados de la ceniza volátil muestran una excelente adhesión en concretos de pfa, contribuyendo favorablemente a su comportamiento y durabilidad.

En territorio boliviano no existe prácticamente producción de cenizas volantes, ya que no existen las usinas térmicas, por no haber plantas de este tipo.

II.3.4.2. Escoria de Alto Horno Granulada Molida:

Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.

La escoria de alto horno es un material fundido que se asienta sobre el lingote de arrabio en la parte inferior del horno. Esta es producida por los diversos componentes en el horno cuando se llega a los 1400° a 1600°C.

Un enfriamiento lento de la escoria genera un material cristalino, empleado con árido Un rápido enfriamiento con aire o agua bajo presión forma pelotillas vidriosas (escoria

expandida > 4 mm., adecuado con árido ligero) y gránulos menores de 4 mm., que poseen propiedades hidráulicas cuando se muelen finamente.

La escoria triturada se mezcla con OPC para producir cemento Pórtland, de alto horno (PBFC), en el que el contenido de escoria puede llegar al 80%. Sin embargo, ya que el PBFC es más lento para reaccionar que el OPC, la reactividad se reduce a mayor porcentaje de escoria.

Aunque la resistencia temprana de los concretos de PBFC generalmente es menor que de los concretos de OPC, es probable que la resistencia final sea mayor. La más lenta reactividad del PBFC genera menos calor y puede ser ventajoso en donde el agrietamiento térmico es un problema.

Además de hacer más trabajable el concreto fresco, el PBFC tiene gran resistencia al ataque químico y su capacidad de proteger el refuerzo de acero la hace adecuada para emplear en concretos reforzados y pretensado.

II.3.4.3. Ceniza De Cáscara De Arroz:

La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar, cuando son quemados convenientemente, permiten obtener un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

La combustión de los residuos agrícolas elimina la materia orgánica y, en la mayoría de los casos, produce una ceniza rica en sílice. De los residuos agrícolas comunes, las cáscaras de arroz producen la ceniza de mayor cantidad (también llamado horno Paddy) alrededor del 20% del peso - que también tiene el mayor contenido de sílice alrededor del 93% del peso.

Es su gran contenido de sílice lo que le da a la ceniza sus propiedades puzolánicas.

Sin embargo, sólo la sílice amorfa (no cristalina) posee estas propiedades, es por esta razón que la temperatura y duración de la combustión son importantes en la producción de la ceniza de cáscara de arroz (CCA). La sílice amorfa se obtiene quemando la cascarilla a una temperatura menor de 700°C. Una combustión sin control de las cáscaras de arroz, ej.:

cuando son usadas como combustible o quemada en un montón, generalmente a temperaturas mayores de 800°C, genera la cristalización de la sílice, que es menos reactiva.

La ceniza reactiva es de gris oscura a blanca, dependiendo del carbón residual en ella, que no tiene efecto negativo si es menor de 10%. Para mejorar su reactividad, la ceniza es pulverizada en un molino de bolas por aproximadamente una hora, o más si contiene sílice cristalina. La ceniza puede reemplazar hasta 30% del cemento de un mortero o concreto. Alternativamente, puede ser mezclada con 30 a 50% de cal hidratada para ser empleada como cemento en morteros, enlucidos y concreto en masa.

En otro proceso, la ceniza obtenida del quemado del montón o la de producción del arroz pre cocido se mezcla con 20 a 50% (del peso) de cal hidratada. Ésta es triturada durante seis o más horas en un molino de bolas para producir ASHMOH, un aglomerante hidráulico adecuado para obras de mampostería, cimientos y obras de concreto en general diferentes al concreto armado. Una variación de éste es el ASHMENT, en el cual se sustituye la cal por cemento Pórtland.

También se ha desarrollado un método que emplea lodo de cal, residual obtenido de la refinación de azúcar. Este es secado y mezclado con una cantidad igual (de peso) de cascarilla de arroz triturada y algo de agua. Se hacen trozos a mano del tamaño de pelotas de tenis y se secan bajo el sol. Éstos son quemados sobre una parrilla en un horno abierto, para producir un polvo blando, que se muele en un molino de bolas. El aglomerante hidráulico es empleado de la misma manera que el ASHMOH.

Una variante de este método utiliza suelo con un contenido mínimo de arcilla de 20% en lugar de lodo de cal. El aglomerante resultante puede emplearse como una mezcla de 30% con cemento Pórtland, para hacer cemento Pórtland, puzolánico. Las pruebas han mostrado que la puzolana es mejor si la arcilla es bauxítica.

En el National Building Research Institute, Karachi, Pakistan: La primera casa de bajo costo para ser construida con cal y ceniza de cáscarilla de arroz, reemplazando completamente el cemento en la producción de bloques aligerados resistente a la carga,

mortero y enlucido. El 30% del cemento Pórtland, de los dinteles de concreto prefabricados y de las viguetas de techo fue reemplazado por “CCA”.

II.3.4.3.1. Características de la Cascarilla de Arroz y de la Ceniza

La cascarilla de arroz calcinada presenta un alto contenido de sílice. La importancia de la adición de materiales es la relación de precios existente entre el cemento y la ceniza de cáscara de arroz en países en vías de desarrollo. A partir de allí se ensayan hormigones aptos para ser aplicables en viviendas de muy bajo costo. Con este objetivo se abordan trabajos experimentales destinados a conseguir hormigones a base de desechos agrícolas con un previo tratamiento para lograr la eliminación del material biodegradable.

II.3.4.4. Cenizas de Caña De Azúcar:

Obtenidas durante la producción del azúcar de caña, quemadas a temperaturas de 800° a 1000 ° C.

II.3.4.5. Sílice Condensada:

Partículas esféricas de elevada área superficial y tamaño menor a una micra, generadas por la condensación de vapores en la producción de carburo de silicio.

II.3.4.6. Sílice Geotérmica:

Partículas de tamaño submicrónico, de elevada área superficial, producidas como incrustaciones en líneas de vapor geotermal en plantas de generación de electricidad.

II.3.4.7. Arcillas Termo-Activadas:

Por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.

II.3.5. CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS SEGÚN NORMA ASTM C 618.

Según la Norma ASTM C 618 las puzolanas se clasifican de la siguiente manera.

Clase N: Puzolanas naturales crudas o calcinadas, tal como las diatomitas; tufos y cenizas volcánicas, calcinadas o sin calcinar; y materiales que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias.

Clase F: son cenizas volantes con menos del 10% de óxido de calcio, resultantes de la combustión de la antracita y carbón bituminoso. Presentan un alto contenido de aluminio silicatos amorfos y en menor proporción aluminio silicatos cristalinos, cuarzo, magnetita, hematita y hasta un 10 % de carbón sin quemar. Presentan solo actividad puzolánica.

Clase C: de alto contenido de óxido de calcio (entre 15 y 35%), resultantes de la combustión del lignito y carbón sub bituminoso. Presentan elevados contenidos de aluminio silicatos amorfos y pequeñas cantidades de minerales cristalinos como aluminatos tricálcicos y sulfatos alcalinos con menos de un 1% de carbón sin quemar. Un elevado porcentaje de los minerales cristalinos presentes resulta reactivo y le confiere a la ceniza propiedades cementantes, las que se suman a la actividad puzolánica

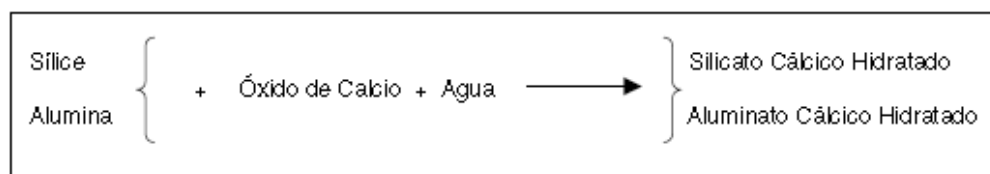
II.3.6. PROPIEDADES DE LA PUZOLANA.

Las propiedades de las puzolanas dependen de la composición química y la estructura interna. Se prefiere puzolanas con composición química tal que la presencia de los tres principales óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) sea mayor del 70%. Se trata que la puzolana tenga una estructura amorfa.

En el caso de las puzolanas obtenidas como desechos de la agricultura (cenizas de la caña de azúcar y el arroz), la forma más viable de mejorar sus propiedades es realizar una quema controlada en incineradores rústicos, donde se controla la temperatura de combustión, y el tiempo de residencia del material.

II.3.7. LA REACCIÓN PUZOLÁNICA

La reacción puzolánica consiste en la solubilización de los compuestos de sílice y alúmina, amorfos o débilmente cristalizados en un medio altamente alcalino como el creado por una solución de hidróxido de calcio, generándose aluminosilicatos di cálcicos y tricálcicos similares a los obtenidos en el fraguado del cemento Pórtland. **Es decir que es un proceso natural de formación de cemento.** Esta reacción es irreversible y puede escribirse esquemáticamente del siguiente modo:



II.3.7.1. EFECTOS DE LAS PUZOLANAS EN EL HORMIGÓN.

a). Resistencia Mecánica a la Compresión:

El Hormigón elaborado a partir de una puzolana presenta un desarrollo de resistencia más lento no obstante conforme van pasando los días va adquiriendo una resistencia mayor que la resistencia de un hormigón elaborado con cemento Pórtland.

b). Permeabilidad:

Los hormigones elaborados con puzolanas tienen una menor permeabilidad por lo que son más resistentes al ataque de los sulfatos.

c) Tendencia a la Fisuración:

El uso de puzolanas en la elaboración del hormigón hace que la misma tienda a bajar su velocidad de exudación, aumentando relativamente la tendencia a la fisuración por retracción plástica. No obstante, la ejecución de una adecuada protección y curado minimizan o eliminan la posibilidad de este tipo de fisuras.

II.4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN

II.4.1. Resistencia a Compresión y Característica del Hormigón

La resistencia a compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas. Ahora bien, los valores de ensayos que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable de una obra a otra, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón; y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El problema puede plantearse así: dados n resultados obtenidos al ensayar a compresión simple n probetas cilíndricas 15 x 30 cm. de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y por consiguiente, del propio hormigón.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética f_{cm} de los n valores de roturas, llamada resistencia media. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

Si tenemos dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda de que es más fiable aquel que presenta menor dispersión. Por consiguiente, el coeficiente de seguridad que se adopte en el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso. La conclusión que se extrae es que, el adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de la ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado modernamente el concepto de resistencia característica del hormigón, que es una medida estadística que tiene en cuenta no sólo el valor de la media aritmética f_{cm} de las roturas de las diversas probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación δ , de la serie de valores.

Se define, como resistencia característica f_{ck} , del hormigón a aquel valor que presenta un grado de confianza del 95 por 100, es decir, que existe una probabilidad de 0,95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que f_{ck} . De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal (Fig. 2.5), la resistencia característica viene dada por la expresión:

$$f_{ck} = f_{cm} - 1.65 * s \quad (2.1) \text{ (Resistencia característica)}$$

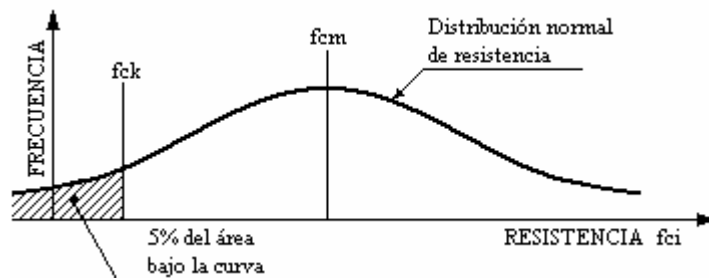


Figura 2.6. Definición de Resistencia Característica (f_{ck})

Donde f_{cm} es la resistencia media y δ el coeficiente de variación de la población de resistencias:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (2.2) \text{ (La media)}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \quad (2.3) \text{ (desviación estándar)}$$

$$\delta = \frac{S}{f_{cm}} \quad (2.4) \text{ (Coeficiente de variación)}$$

No debe confundirse la expresión dada para f_{ck} , que es una definición (válida para $n = \infty$), con los estimadores de la resistencia característica, que se emplean para aceptar o rechazar un hormigón determinado en obra, a partir de un número relativamente pequeño de determinaciones.

El valor del coeficiente de variación δ depende de las condiciones de ejecución del hormigón. Para los hormigones fabricados en central el coeficiente de variación suele

oscilar entre 0,08 y 0,20, según la calidad de la planta. Un coeficiente de variación superior a 0,20 es propio de los hormigones fabricados a mano o en pequeñas hormigoneras de obra, los cuales no son aconsejables salvo para obras de pequeña importancia.

El concepto de resistencia característica se refiere, por antonomasia, a la resistencia a compresión medida sobre probetas cilíndricas 15 x 30 de veintiocho días de edad, fabricadas, conservadas y rotas según métodos normalizados; pero puede hacerse extensivo a cualquier tipo de ensayo, clase de probeta, modo de conservación y edad del hormigón, ya que se trata de una definición de tipo estadístico. Siempre que se hable, en esta obra, de resistencia característica, nos referimos a la primera definición, salvo advertencia en contrario.

➤ **Influencia de la edad del concreto**

En la práctica, normalmente se especifica que el concreto alcanza la máxima resistencia a la compresión a la edad de 28 días. La explicación es porque durante ese tiempo el aumento de resistencia es muy bajo.

Si se toma como base la resistencia máxima a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo es aproximadamente la que se indica en tabla 2.9.

Tabla 2.9 Incremento Aproximado Promedio de la Resistencia a la Compresión del Concreto con el Tiempo

EDAD (días)	% RESISTENCIA CON RESPECTO A LA DE 28 DÍAS
1	12
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125

Fuente: Tecnología del Hormigón Ing. O'Reill Vitervo ASTM C 150

III.1.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se desglosa la metodología utilizada para la obtención de datos, el acopio de materiales y metodologías para que este trabajo de investigación sea desarrollado, y siguiendo una secuencia de pasos preestablecidos para cumplir con los objetivos de este tema.

La investigación que se va a realizar es de tipo experimental 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 son:

- 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 quiere determinar cual es el porcentaje que mejor se comporta a compresión de uno de los dos cementos objeto del estudio para su posterior comparación en hormigones con los porcentajes que más favorables y con la cantidad de agua óptima.

III.2. OBJETO DE ESTUDIO.

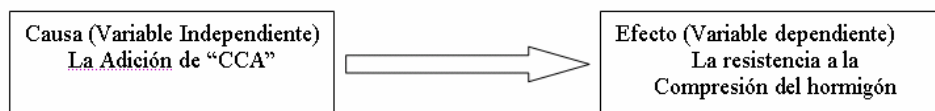
El objeto en esta investigación es el análisis del comportamiento de la resistencia a la compresión de los dos cementos “Pórtland puro (patrón) El Puente y el IP 30 El Puente” , conforme se le va incrementando la adición de ceniza de cascarilla de arroz, en reemplazo parcial del cemento en porcentajes de 10, 15, 20, 25%; para su posterior dosificación al hormigón con el cemento que mejor se comporte a compresión, con los porcentajes más favorables de adición descartando uno de los 4 el de menor actividad puzolánica. Y con la cantidad de agua obtenida del comportamiento analizado por fluidez en el Cemento previamente elegido.

III.3. VARIABLES

De acuerdo al objeto de estudio mencionado anteriormente podemos identificar la principal característica de una investigación experimental, que debe de constar de una causa o variable independiente (la adición de ceniza de cascarilla de arroz) la cual es manipulada y un efecto o variable dependiente (la resistencia a la compresión del hormigón) que es comparado y analizado.

Las variables objeto de este estudio son la adición de ceniza de cáscara de arroz al cemento variando en porcentajes del 10, 15, 20, 25% en reemplazo parcial de cemento., determinando el incremento de agua para que la adición reaccione con el cemento y así ayudar también en la resistencia del hormigón. Cabe resaltar que primero será determina la resistencia a compresión del cemento para su posterior dosificación en el hormigón con los porcentajes que mejor comportamiento tengan a la compresión con la cantidad requerida de agua para un desarrollo satisfactorio de la resistencia a compresión.

De acuerdo a los objetivos del estudio mencionado anteriormente podemos identificar la principal característica de una investigación experimental, que debe de constar de una causa o variable independiente. Posible de ser manipulada y un efecto o variable dependiente (la resistencia a la compresión del hormigón) el cual es comparado y analizado.



III.4. HIPÓTESIS

Una de las hipótesis que se planten en este trabajo es el incremento de la resistencia de un Hormigón convencional con adición de ceniza de cáscara de arroz "CCA" al cemento en reemplazo parcial.

La hipótesis se respalda en el alto contenido de sílice de la ceniza de cascarilla de arroz, el fenómeno que se presenta con este tipo de adición es la formación silicatos en un proceso

natural de hidratación, se sabe que en sí mismo la sílice, posee poco o ningún valor cementante; pero, en forma finamente dividida y en la presencia de humedad reaccionará químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes, y de este modo incrementar la resistencia de un hormigón.

III.5. MUESTREO DE LOS MATERIALES

Para la selección de los materiales a ser utilizados en esta investigación se tomaran muestras 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 estos resultados.

III.5.1. AGREGADOS

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 3.1 Pesos Mínimos de las Muestras

TAMAÑO MAXIMO (Pulg.)	PESO DE LA MUESTRA EN (Kg.)
Nº 8	10
Nº4	10
3/8''	10
1/2''	15
3/4''	25
1''	50
1 1/2''	75
2''	100
2 1/2''	125
3	150
3 1/2''	175
<i>Fuente: Manual para ingenieros "Ensayos de Materiales"</i>	

Como el tamaño máximo del agregado grueso de la cantera que se pretende estudiar tiene un tamaño máximo de 1 ½” 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 3.1 de la misma manera se procedió con la obtención de las muestras del agregado fino las mismas que tuvieron un peso de 10 Kg.

III.5.2. CASCARILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz acopiada para esta investigación es de grano largo “Padi Abang gogo” producida en la zona de Bermejo, en la comunidad de Villa Nueva, la producción anual se describe en el Cuadro 3.2. Cabe aclarar que la producción de arroz en Tarija es muy baja y por tal motivo la obtención de este tipo de material no es fácil.

Cuadro 3.1 Tamaño de la Propiedad en Has. y Principal Actividad en las Comunidades

Comunidad	Uso de suelo	Tamaño de propiedades		
		Mayor superficie	Menor Superficie	Mayoría
Barretero	Caña, Frutícola	40	2	5
Candado Grande	Frutícola, Hortalizas	50	0,5	2
San Luis El Anta	Frutícola, Caña	20	1	7,5
Quebrada Chica	Frutícola, Caña	42	5	10
Cabecera El Nueve	Caña	20	10	10
Villa Nueva	Arroz, Maní, Frutícola	39	5	17,5
La Talita	Frutícola, Hortícola	40	0,50	3,5
Cañadón Buena Vista	Frutícola, Caña	50	40	45
La Florida	Frutícola, Arroz	10	2	4
Quebrada El Cinco	Frutícola, Maíz	59	0,5	3
El Nueve	Caña, Agricultura	80	0,16	1
Naranjitos	Frutícola, Caña	26	2	4
Cercado	Frutícola, Caña	4	0,25	3
Los Pozos	Caña, Frutícola	10	3	5
El Toro	Frutícola, Agricultura	300	1	15
Alto Calama	Frutícola, Caña	40	0,12	1
Arrozales	Frutícola, Caña	700	2,5	17,5
Santa Rosa	Frutícola	50	5	12,5
Colonia Linares	Frutícola, Caña	25	3	7
Flor de Oro	Frutícola, Caña	25	0,5	3

Fuente: SEDAG “BERMEJO”

Cuadro 3. 2 Volumen Estimado de Producción Agrícola, Municipio de Bermejo

Cultivos	Superficie (Has.)	Porcentaje %	Unidad	Volumen de Producción
Caña de Azúcar	11.424,00	70,00	Tm.	571.200,00
Cítricos	2.040,00	12,50	Unid.	183.600.000,00
Mango	143,62	0,88	Unid.	2.010.624,00
Papaya	133,82	0,82	Unid.	468.384,00
Palta	130,56	0,80	Unid.	1.827.840,00
Maíz	571,20	3,50	qq.	34.272,00
Maní	326,40	2,00	qq.	9.792,00
Arroz	244,80	1,50	qq.	8.568,00
Papa	408,00	2,50	qq.	77.520,00
Tomate	408,00	2,50	Cajas	326.400,00
Yuca	130,56	0,80	qq.	15.667,20
Arveja	81,60	0,50	qq.	7.996,80
Sandías	143,62	0,88	Unid.	182.392,32
Otros	133,82	0,82	qq.	4.014,72
Total	16.320,00			

Fuente: SEDAG "BERMEJO"

La cascarilla de arroz es un subproducto de las industrias de gramínea es un material de origen vegetal que en su parte externa, constituida de celulosa, se nuclea la sílice, y este material al ser incinerado y obtenido como ceniza posee gran cantidad de sílice, es muy importante saber en que estado se encuentra esta sílice ya que se puede presentar como amorfo o cristalino, además no debe contener Residuos insolubles que será un material que no aportara ningún tipo de beneficio al hormigón

La adición de ceniza de cascarilla de arroz es un material con alto contenido de sílice, es por este motivo que se desarrolla esta investigación, ya que este es un material puzolánico, se sabe que en sí mismo la sílice, posee poco o ningún valor cementante; pero, en forma finamente dividida y en la presencia de humedad reaccionará químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementantes, y de este modo incrementar la resistencia de un hormigón.

Para garantizar la calidad de la ceniza de cascarilla de arroz se realizará el análisis químico. Como para su obtención no se contó con materiales para controlar la temperatura de incineración, este análisis servirá como respaldo para garantizar su contenido de sílice y residuo insoluble.

III.5.3. MORTEROS

El muestreo seleccionado fue el aleatorio estratificado (tipo de muestreo probabilística), debido a que se desea estudiar distintos grupos homogéneos. Para tal caso, se empleó la siguiente ecuación, perteneciente a poblaciones finitas:

$$n_0 = \left(\frac{z}{\varepsilon}\right)^2 * p * q \quad \text{Ec.3.1}$$

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.

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

Tabla 3.2 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

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 5 se asume un error del 10% donde $\varepsilon = 0.10$

Para la selección de (q) tenemos los siguientes valores:

Tabla 3.3. Valores de la probabilidad de la población que no presenta las características

NUMERO DE ESTRATOS (N)	(q)
$3 \leq N \leq 19$	se asume 0,01
$20 \leq N \leq 29$	se asume 0,01 hasta 0,02
$30 \leq N \leq 79$	se asume 0,02 hasta 0,05
$80 \leq N \leq 159$	se asume 0,05 hasta 0,10
$N \geq 160$	se asume 0,05 hasta 0,20

Como se tratan de cinco estratos se obtiene $q = 0,01$.

Como $p + q = 1$ resulta 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

Aplicando la Ec. 3.1. Resulta:

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

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

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{N}} \quad \text{Ec.3.2.}$$

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 morteros, el convencional con el que se encuentra con la adición de ceniza de cascarilla de arroz propuesto, además de tener distintos porcentajes de adición, hay un total de 5 estratos, por lo que:

$$n = \frac{3.80}{1 + \frac{3.80}{5}} = 2.16 \approx 3$$

De acuerdo a lo anterior se estableció, que la muestra representativa de las probetas a ensayar para cada estrato, son 3. A continuación se presenta la distribución realizada del número de muestras a ser ensayadas para cada condición:

Tabla 3.4. Numero de Morteros de Cemento Pórtland puro (patrón) con y sin Adición

# de días	Resistencia de 31 (MPa.)				
	Estándar	10% ceniza	15% ceniza	20% ceniza	25% ceniza
7	6	3	3	3	3
14	6	3	3	3	3
28	6	3	3	3	3
Total	18	9	9	9	9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3.5. Numero de Morteros de Cemento Pórtland IP 30 con y sin Adición

# de días	Resistencia de 30 (MPa.)				
	Estándar	10% ceniza	15% ceniza	20% ceniza	25% ceniza
7	6	3	3	3	3
14	6	3	3	3	3
28	6	3	3	3	3
Total	18	9	9	9	9

Fuente: Elaboración Propia

III.5.3.1 Determinación del Contenido Óptimo de Agua

Esta determinación se realizará con el cemento que mejor comportamiento a compresión obtenga. Para evitar ser ampulosos en esta determinación se descartará uno de los porcentajes, el de menor resistencia a la compresión. Para trabajar y desarrollar toda esta investigación sólo con tres porcentajes de adición de “CCA”.

III.5.4. HORMIGONES

El análisis para hormigones tiene las mismas características que para los morteros a excepción del número de estratos.

Para la elaboración de hormigones se descartó el % más desfavorable de adición, como se indica en la determinación del contenido óptimo de agua, para quedar con un número de estratos igual a cuatro.

Cabe resaltar que este trabajo de investigación esta dirigido a la influencia que sufre el hormigón con la adición de ceniza de cascarilla de arroz al cemento, Por tal motivo, el estudio previo de los cementos con adición, arrojarán resultados de las pruebas a compresión del cemento. Los porcentajes que se estudian en cementos son cuatro (10, 15, 20, y 25%), uno de los cuales será descartado de acuerdo al comportamiento que tengan en las pruebas de resistencia a compresión.

El hormigón será elaborado 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 39.

Para tener una muestra representativa del número exacto de probetas cilíndricas es complicado, por tal motivo se hizo uso de la estadística, como se muestra a continuación.

Se quieren comparar 2 tipos de hormigones, el convencional con el que se encuentra con la adición de ceniza de cascarilla de arroz propuesto, además de tener distintos porcentajes de adición, se obtiene un total de 4 estratos, por lo que resulta:

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

De acuerdo a lo anterior, se estableció, que la muestra representativa de las probetas 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 3.6. Numero de probetas de Hormigón

# de Días	Resistencia de 210 Kg./cm ²			
	Estándar	¿? % “CCA”	¿? % “CCA”	¿? % “CCA”
7	4	4	4	4
14	4	4	4	4
28	8	8	8	8
Total	16	16	16	16

Fuente: Elaboración Propia

III.6. ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO

Con el fin de comparar resultados de otras investigaciones similares, u otros investigaciones que desean realizarse para duplicar o continuar el presente trabajo, el desarrollo de los ensayos se vaso en las normas A.S.T.M. Parte 14 “Manual de Ensayos Para Agregados y Concreto”. Donde el procedimiento seguido para cada uno de los ensayos se describen en forma completa y suficientemente clara, por lo tanto en lo presente capitulo se presenta como referencia la codificación de las pruebas realizadas en los componentes del hormigón y en el concreto.

III.6.1 CEMENTO

III.6.1.1 Análisis Químicos del Cemento, y la Adición de “CCA”

- Análisis químico según instrucción de trabajo de la Fabrica de Cemento El Puente (OIJ-CCL-CC.029 “ANÁLISIS QUÍMICO”), y según la Norma Boliviana NB 060 (Disposiciones Generales: Análisis Químico), y NB 061 (Análisis Químico). ASTM C 114-91 ANÁLISIS QUÍMICO

III.6.1.2 Análisis Físicos del Cemento con y sin Adición

A continuación se presentan todos los análisis físicos que se realizaran para alcanzar el objetivo específico del presente trabajo.

- Determinación del peso específico de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.023 y NB 064).
- Determinación de superficie específica Blaine de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.019 y NB 472). ASTM C 204 - 91
- Determinación de retenido en la malla 325 de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.020).
- Determinación de consistencia normal de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.017 y NB 062).ASTM C 187 - 91
- Determinación del tiempo de fraguado de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.018 y NB 063). ASTM C 183
- Determinación de la expansión autoclave de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.035 y NB 471). ASTM C 151 - 91
- Determinación de la fluidez de los cementos con y sin adición según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.021 y NB 473). ASTM C 230 - 91
- Método para determinar la resistencia a compresión de los cementos con y sin adición, según instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.025 y NB 470). ASTM C 230-91.

Cabe aclarar que las normativas bolivianas están basadas en las Normas ASTM, y en normativas UNE, y que las instrucciones de trabajo son una compilación de estas dos, para su mejor entendimiento.

III.6.2 AGUA

El agua usada para la elaboración tanto del los morteros para medir las resistencia de los cementos y los hormigones fue agua destilada ya que esta agua es pura y según instrucción de trabajo de la fábrica, debe utilizarse esta agua para el control de calidad de todos los cementos y/o hormigones

III.6.3 AGREGADOS

Las especificaciones los ensayos que se realizaron en los agregados fueron los siguientes:

- ASTM D 75-82 MUSTREO DE AGREGADOS
- ASTM C 702-80 REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE CAMPO A TAMAÑO DE ENSAYO
- ASTM C 33-82 ESPECIFICACIÓN DE AGREGADOS PARA CONCRETO
- ASTM C 136-82 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADOS FINOS Y GRUESO
- ASTM C 127-81 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO GRUESO
- ASTM C 128-79 PESO ESPESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN AGREGADO FINO.
- ASTM D 2419-79 EQUIVALENTE DE ARENA PARA AGREGADO FINO.
- ASTM C 29-78 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS PARA AGREGADOS GRUESO Y FINO.

III.6.4 CONCRETO

- ASTM C 470-81 ESPECIFICACIONES PARA MOLDES CILÍNDRICOS.

- ASTM C 192-81 FABRICACIÓN Y CURADO DE PROBETAS DE HORMIGÓN EL LABORATORIO
- ASTM C 172-82 MUSTREO DE CONCRETO FRESCO.
- ASTM C 143-78 SLUM PARA CONCRETO DE CEMENTO PORTLAND
- ASTM C 138-81 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS PARA CONCRETO
- ASTM C 617-76 CAPINADO EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO.
- ASTM C 39-81 ENSAYO A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILINDRICAS
- ASTM C 670-81 PREPARACIÓN DE INFORME DE PRECISIÓN EN ENSAYOS PARA MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

III.7 TEORIA ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS

III.7.1 CÁLCULO DEL ERROR EXPERIMENTAL PROMEDIO

Existen muchos métodos para determinar el error experimental, pero se aconseja utilizar el cálculo de error de Gauss, que sea un método sencillo de aprender, aplicar y que permita extraer el valor medio y el error promedio de una serie de mediciones experimentales dadas, usando las conocidas fórmulas estadísticas:

$$MEDIA = X = \frac{\sum X_i}{n} \text{ Ec. (3.3)}$$

$$DES\ V. \text{ STD. } = s = \left(\frac{\sum (X_i - X)^2}{(n-1)} \right)^{\frac{1}{2}} \text{ Ec. (3.4)}$$

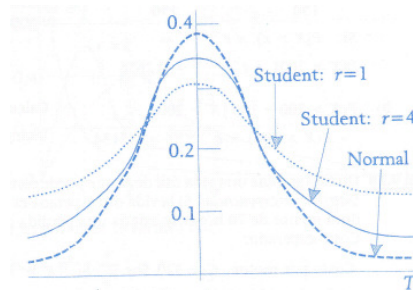
$$\text{ERROR EXPERIMENTAL} = \delta = \frac{\left(\frac{\sum (X_i - X)^2}{(n-1)} \right)^{\frac{1}{2}}}{\frac{\sum X_i}{n}} \text{ Ec. (3.5)}$$

III.7.2 DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES

Para la determinación de la resistencia característica se utilizó la tabla de de “t” de student ya que este método es aplicable para cualquier número de ensayos; a continuación se presenta la teoría distribución de “t” de student.

La gráfica adjunta muestra a la Distribución t de Student .Es una curva simétrica respecto de 0. Se la compara con la curva normal, note que es ligeramente más achatada que la curva normal. Sus correspondientes colas que se extienden a izquierda y derecha son ligeramente más altas que en la curva normal.

Grafica 3.1 Curva Normal, Curvas “t” de student



La Distribución “t” de Student con r grados de libertad es adecuada cuando el numero de elementos de una muestra es pequeño (En la práctica menor a 30).

La distribución “t” de Student se aproxima a una Distribución Normal $N(0,1)$, cuando r tiende ∞ , En la práctica se considera buena la aproximación para $N > 30$.

En la práctica la Distribución “t” de Student se emplea en la TEORÍA DE LAS PEQUEÑES MUESTRAS y particularmente cuando se estudia la CONFIABILIDAD.

GRADOS DE LIBERTAD se entiende por grados de libertad a las opciones que se presentan en la estimación de un cálculo.

III.7.3 DEFINICIÓN DE RESISTENCIA MEDIA Y RESISTENCIA CARACTERÍSTICA

➤ *Resistencia media*

Dado un conjunto de n probetas cilíndricas, hechas con hormigón de una cierta calidad, las cuales son ensayadas a compresión, se obtendrá un conjunto de n valores de la tensión de rotura del material generalmente distintos entre si, se define como resistencia media.

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ Ec. (3.6)}$$

Donde:

f_{cm} : Resistencia media

n: numero de probetas ensayadas

f_{ci} : Tensión de rotura para cada probeta

➤ *Desviación estándar*

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}} \text{ Ec.3.8.}$$

Donde:

f_{ci} = *Valores de cada observación.*

f_{cm} = *Media de la muestra.*

n = *Número de elementos de la muestra*

➤ *Resistencia característica*

La resistencia media es un valor que representa mejor la calidad del hormigón que cualquiera de los resultados aislados de cada probeta, sin embargo no da una idea precisa de la homogeneidad de la calidad del hormigón. Con el propósito de tener en cuenta este problema se introdujo el concepto de resistencia característica del hormigón. Que se define:

$$f_{ck} = f_{cm} - K * s \text{ Ec. (3.7)}$$

Donde:

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón

s: Desviación estándar

El valor de K para encontrar la resistencia característica del hormigón es un valor tal que es igualado o superado, como mínimo, por el 95% de las probetas ensayadas. En la tabla N° 3.7 se indica los valores de K.

Tabla 3.7. Distribución “t” de Student (Grado de confiabilidad 95%)

Numero de ensayos menos uno	K	Numero de ensayos menos uno	K
1	6.31	17	1.74
2	2.92	18	1.73
3	2.35	19	1.73
4	2.13	20	1.72
5	2.02	21	1.72
6	1.94	22	1.72
7	1.90	23	1.71
8	1.86	24	1.71
9	1.85	25	1.71
10	1.81	26	1.71
11	1.80	27	1.7
12	1.78	28	1.7
13	1.77	29	1.7
14	1.76	30	1.7
15	1.75	Mayor a 30	1.64
16	1.75		

Fuente: Estadística y probabilidades “Shaum” y Hormigón Armado Autor: Pozzi Azzaro

IV.1. FASE I: SELECCION DE LOS MATERIALES

IV.1.1 CEMENTO

Se utilizó cemento Pórtland puro (patrón) y el cemento IP-30 “El Puente” para evitar la variación de fabricación de este componente se realizó el muestreo, la cantidad necesaria para el desarrollo de toda la tesis, los ensayos de esta partida en su totalidad se desarrollaron en el laboratorio de la Fábrica de Cemento El Puente. Los resultados de los mismos se encuentran en los Anexo 1, 2, 3. Para la determinación de las propiedades químicas y físicas de los cementos con y sin adición de la ceniza de cascarilla de arroz; se siguió con las instrucciones de trabajo de la Fábrica de Cemento El Puente y de las normas bolivianas del cemento “Extracción y Preparación de muestras, métodos de ensayos”.

IV.1.2. CASCARRILLA DE ARROZ

La cascarilla de arroz acopiada para esta investigación es de grano largo “Padi Abang gogo” producida en la zona de Bermejo, en la comunidad de Villa Nueva, como se detalla en los cuadros 3.1 y 3.2, proporcionados por SEDAG BERMEJO.

La cascarilla de arroz es un subproducto de las industrias de gramínea es un material de origen vegetal que contiene en sus estructura externa celulosa donde se nuclea la sílice y este material, al ser incinerado y obtenido como ceniza posee gran cantidad de sílice. Es muy importante saber en qué estado se encuentra esta sílice ya que puede presentarse en forma cristalina y en este estado no aporta resistencia al hormigón a menos que sea finamente dividida.

IV.1.3 AGREGADOS

Para esta tarea, se planificó ir al sitio, para tomar muestras que en este caso, La Ventolera, la toma de muestra se realizara de acuerdo a lo que detalla las normas ASTM. Utilizando la técnica de recolección de material denominada cuarteo.

Los materiales de la cantera “LA VENTOLERA” proviene de canto rodado del río Camacho y Guadalquivir, por lo que para su explotación como grava gravilla o arena deben ser separados por medio de mallas convencionales.

La ubicación geográfica de esta zona de explotación se sitúa aproximadamente a 23 km. de la ciudad de Tarija sobre la carretera a Bermejo entre 34 y 35 ° longitud este y 99 latitud norte.

Para el muestreo se hizo uso la Norma ASTM D 75-92, según la ASTM. Por las razones descritas se procedió al muestreo del material, tomando en cuenta todas las precauciones que esta norma indica, sin perder el temor de obtener muestras heterogéneas que puedan alterar en gran medida el objetivo del presente estudio.

Luego de acopiado este material, se procedió al tamizado por los tamices de 1 ½”. Para separar el agregado de desecho, y por el tamiz N° 4 para así obtener la porción de grava y arena respectivamente como, lo indican los manuales de laboratorio y las normas.

IV.2. FASE II: PROCESAMIENTO DE LA CASCARILLA

Esta tarea se realizó una vez que el material fue comprado de un proveedor de la ciudad de BERMEJO. Para la obtención de ceniza de cáscara de arroz se tratara de proceder como se especifico anteriormente:

La puzolana natural empleada, como se especificó en el apartado anterior, fue ceniza de cascarilla de arroz. La misma se obtuvo por la quema de cascarilla de arroz a una temperatura no mayor a 700 °C. Es la temperatura en la que se recomienda realizar este proceso para su mejor comprensión se detalla el proceso que sigue la cascarilla de arroz al ser incinerada:

Previo a la quema de la cascarilla se la debe hacer secar para eliminar su humedad superficial, y de este modo reducir el tiempo de quema en el horno.

Las investigaciones realizadas para la incineración nos dan pautas para la quema de la cascarilla, al no contar con los medios o con hornos para controlar las temperaturas la incineración fue realizada en hornos rústicos, con ayuda de leña para ayudar a elevar las temperaturas dentro del horno, para evitar de que el material se mezcle o se dañe con el carbón producido por la leña se lo introdujo en un tanque cortado en su lateral como se muestra en la figura N° 4.1.



Figura 4.1. Proceso de producción de ceniza de cascarilla de arroz



Figura 4.2. Proceso de producción de ceniza de cascarilla de arroz

Posteriormente, se lo introdujo en el horno para obtener carbón por un tiempo aproximado de una hora , este carbón, al estar expuesto al aire libre en condiciones normales, produce la ceniza de cascarilla de arroz como lo muestra la figura N° 4.3, el tiempo expuesto al aire libre es de 2 días ya que una vez obtenida la ceniza se debe tomar en cuenta que la retención del calor de la ceniza es alto, por este motivo para su preselección se debe esperar hasta que la ceniza pierda calor .

Posterior a la obtención de la ceniza se realizo una selección del material con el tamiz N° 30, 40, y 50 una vez obtenida la ceniza preseleccionada con estos tamices . Se procedió a su molienda en un molino de bolas con capacidad de 5 Kg. Como se muestra en la figura 4.4.



Figura 4.3 preselección del material



Figura 4.4 Molino de bolas

El control de finura de molido se realizo mediante el permeabilímetro Blaine, como se muestra en la figura N° 4.5, Controlando su finura aproximada mediante el peso para un cemento IP-30 ($m=2.7562$ g) ya que esta determinación de la masa se realiza con el peso especifico del cemento una vez que este alcance la finura deseada.



Figura 4.5. Permeabilímetro Blaine

Para alcanzar la finura deseada se realizaron controles cada 10 minutos, en el molino de bolas mostrado en la figura 4.4, hasta alcanzar una finura entre 4000 a 4300 cm^2/gr . Este es uno de los parámetros prefijados ya que un cemento Pórtland IP 30, tiene esta finura y para evitar que este aspecto influya en la determinación de la resistencia se optó por obtener esta finura de molido. ya que a mayor finura del cemento se obtienen mayores resistencias a menores edades.

IV.3. FASE III: ENSAYOS DE LABORATORIO DE LOS AGREGADOS

A continuación se muestra los análisis granulométricos de los agregados, todos los demás ensayos necesarios para la dosificación se encuentran en los anexos siguientes:

- Características físicas mecánicas del agregado fino Anexo 4
- Características físicas mecánicas del agregado grueso Anexo 5

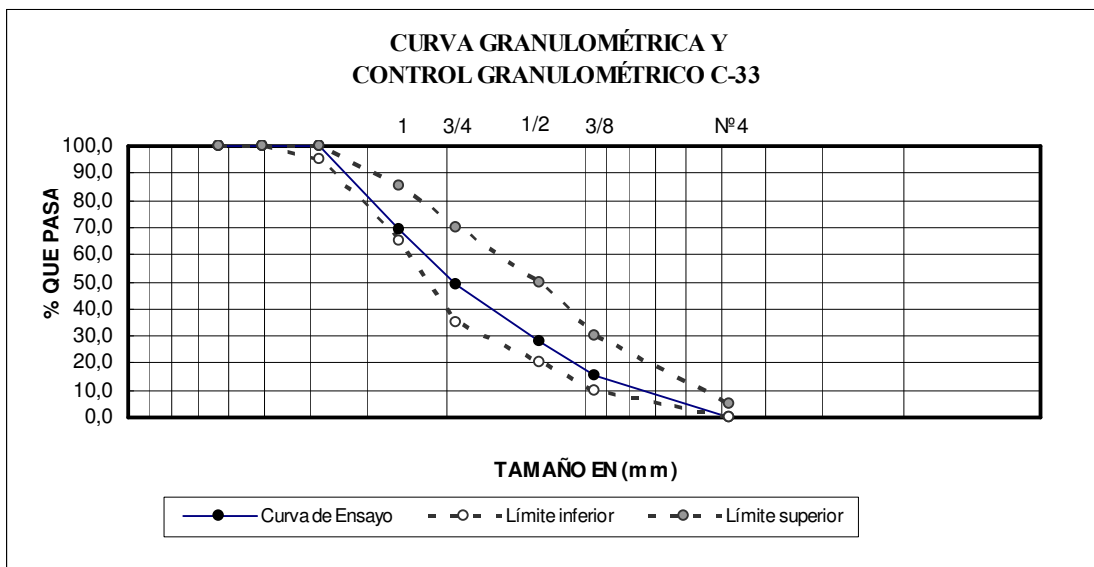
IV.3.1.- Análisis Granulométrico para Agregado Grueso

Tabla 4.1. Análisis granulométrico agregado grueso

Tamices	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM	
	(gr.)	(%)			
2 1/2"	0,00	0,00	100,0	100	100
2	0,00	0,00	100,0	100	100
1 1/2	0,00	0,00	100,0	95	100
1	4630,98	30,87	69,1	-	-
3/4	7704,39	51,36	48,6	35	70
1/2	10804,32	72,03	28,0	25	55
3/8	12642,18	84,28	15,7	10	30
Nº4	14952,01	99,68	0,3	0	5
BASE	14956,21	99,71	0,0		

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 4.1. Curva granulométrica agregado grueso



IV.3.2.- Análisis Granulométrico para Agregado Fino

Tabla 4.2. Análisis Granulométrico Agregado Fino

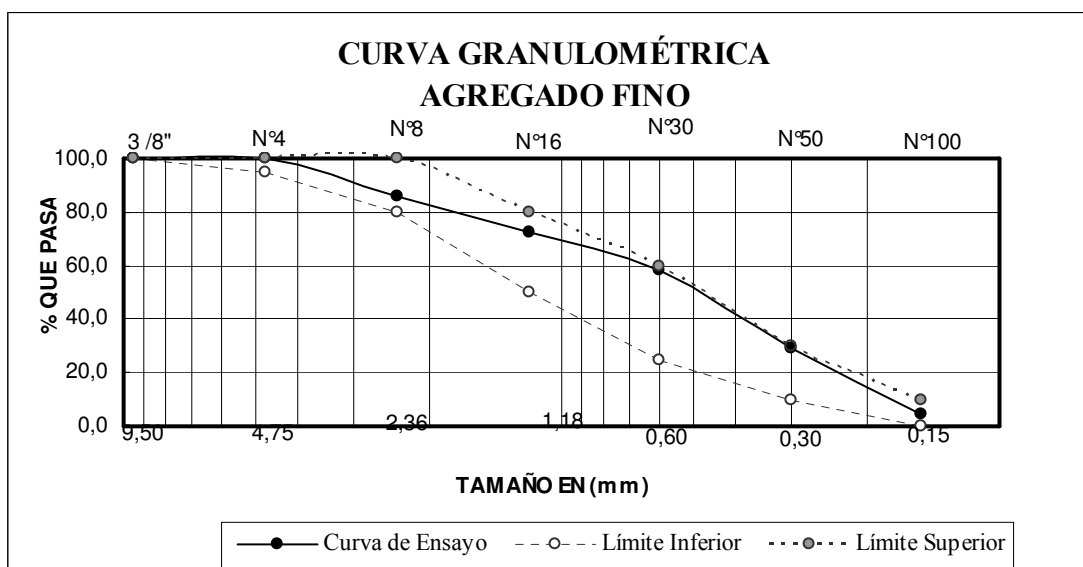
Tamices	Ret. Acum	% Ret	% Que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
3/8	0,00	0,00	100,0	100	100
Nº 4	0,00	0,00	100,0	95	100
Nº 8	72,11	14,42	85,6	80	100
Nº 16	138,92	27,78	72,2	50	85
Nº 30	207,62	41,52	58,5	25	60
Nº 50	354,52	70,90	29,1	10	30
Nº 100	478,34	95,67	4,3	2	10
BASE	499,62	99,92	0,1		

Fuente: Elaboración Propia

El modulo de finura se define como la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz #100 en adelante hasta el tamaño máximo presente y divididos por 100

$$MF = \frac{95.67 + 70.9 + 41.52 + 27.78 + 14.42}{100} = 2.5$$

Grafica 4.2 Curva Granulométrica Agregado Fino



IV.4. FASE IV: ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS CEMENTOS Y LA ADICION DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ

Previo a la realización de todos los ensayos físicos químicos de los cementos con y sin adición de “CCA” se realizó la homogenización de la mezcla en el molino de bolas mostrado en la Figura 4.4. por un periodo de 15 minutos.

IV.4.1. ANÁLISIS QUÍMICO

IV.4.1.1 ANÁLISIS QUÍMICO DE LA “CCA”

El procedimiento para el desarrollo de este análisis está detallado en las siguientes Normas:

- Norma Boliviana NB 061 y NB 062.
- Instrucción de trabajo (OIJ-CCL-CC.029 “ANÁLISIS QUÍMICO”)

Tabla 4.3 Composición Química de la Ceniza de Cascarilla de Arroz

N°	Componente	Ceniza de cascarilla de arroz		Media	Observación
		Contenido Porcentual			
		Muestra 1	Muestra 2		
1	SiO ₂	93,94	93,32	93,63	1,82 R.I.
2	Al ₂ O ₃	0,67	0,23	0,45	
3	Fe ₂ O ₃	0,10	0,14	0,12	
4	CaO	0,90	1,12	1,01	
5	MgO	0,10	0,06	0,08	
6	SO ₃	0,18	0,64	0,41	
7	PPF	3,91	4,35	4,13	
8	R ₂ O ₃	0,77	0,34	0,56	
9	Cal libre	0	0	0	
10	Residuo Ins.	1,84	1,8	1,82	

Fuente: Elaboración Propia

Este análisis es el respaldo para la obtención de la ceniza, mediante el procedimiento explicado anteriormente para la obtención de la ceniza, ya que en este estudio se puede evidenciar el alto contenido de sílice. Otro de los factores que influye para el buen comportamiento de este material es su bajo residuo insoluble, se entiende por residuo insoluble a aquel material que no aporta en la reacción química producida en el cemento, otro de los factores determinante es su porcentaje de cal libre igual a 0%, por este motivo este tipo de ceniza es primordial en el proceso de fraguado del cemento ya que no aporta cal libre, esta cal es la que produce expansión en el cemento y mayor calor de hidratación por ese motivo las normas no permiten más del 2% de este. Cabe aclarar que para este estudio se siguió con los mismos procedimientos de análisis que para un cemento. Los análisis químicos de los cementos se encuentran detallados en el Anexo 1, (análisis químico) en la figura 4.6 se muestra la sílice obtenida de los ensayos químicos.



Figura 4.6 Contenido de Sílice en la “CCA”

Los cuatro parámetros fundamentales que respaldan este trabajo es el contenido de sílice de la “CCA”, residuo insoluble, pérdida por fuego, y el contenido de cal libre en los cementos para que la sílice reacciones, ya que estos parámetros son los que más van a influir en el periodo de evolución de los hormigones con este tipo de adición.

El análisis químico de los cementos se detalla en el Anexo 1, donde se podrá verificar que el cemento que mejores características químicas tiene, es el cemento Pórtland puro (patrón), esto va dando pautas de cual será el cemento que se comporte mejor a los ensayos destructivos del mortero y hormigones.

IV.4.2. ANÁLISIS FÍSICOS

IV.4.2.1 Determinación del Peso Específico

El peso específico de los cementos con y sin adición se realizó en una matraz de Le Chatelier con querosene como se indica en la Norma Boliviana NB 064, llevando el líquido a un baño de temperatura constante de 20 °C, leyendo a esta temperatura el volumen inicial entre las marcas 0 a 1 ml. luego adicionando el material; posteriormente leyendo el volumen final en el baño de temperatura constante, y finalmente se obtiene el peso específico, dividiendo el peso del cemento por el volumen desplazado.

Tabla 4.4 Pesos Específicos

Cemento	% Adicción	Peso específico
		(gr./ml)
Patrón	0	3,14
Patrón	10	3,11
Patrón	15	3,09
Patrón	20	2,97
Patrón	25	2,74
IP - 30	0	3,03
IP - 30	10	2,91
IP - 30	15	2,82
IP - 30	20	2,66
IP - 30	25	2,62

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.7 Ensayo de Peso específico

IV.4.2.2 Determinación de la Superficie Específica Blaine

El ensayo se basa en el hecho de que la velocidad de paso del aire a través de una capa de material, con determinada porosidad, es función del número y del tamaño de los vacíos existentes en la capa, los cuales dependen del tamaño de las partículas del material y por lo tanto, de la superficie específica de éste, la fórmula para la obtención de la masa se la obtiene previa calibración del aparato mostrado en la figura 4.5

Fórmula para determinar la masa de la muestra

$$\text{Calibración Blaine} \longrightarrow M = 1,8193047 \cdot d \cdot 0,5 \quad \text{Ec. 4.1}$$

$$\text{Determinación Blaine} \longrightarrow B \left(\frac{\text{cm}^2}{\text{g}} \right) = \sqrt{t_{(s)}} \cdot 432,3 \quad \text{Ec. 4.2}$$

Tabla 4.5 Determinación de la Superficie Específica Blaine

MOLIENDA (Minutos)	Cemento	% Adicción	Peso Especifico (gr./ml)	Peso de muestra (gr.)	Tiempo (seg.)	Blaine (cm ² /gr.)
-	Patrón	0	3,14	2,8608	90	4101,16
15	Patrón	10	3,11	2,8280	99	4301,33
15	Patrón	15	3,09	2,8077	98	4279,55
15	Patrón	20	2,97	2,6993	97	4257,66
15	Patrón	25	2,74	2,4922	100	4323,00
-	IP - 30	0	3,03	2,7594	86	4008,99
15	IP - 30	10	2,91	2,6444	95	4213,54
15	IP - 30	15	2,82	2,5624	90	4101,16
15	IP - 30	20	2,66	2,4210	92	4146,48
15	IP - 30	25	2,62	2,3816	93	4168,95
60	CENIZA	100	1,94	1,7639	82	3914,64

Fuente: Elaboración Propia

Este ensayo es muy importante, ya que si las finuras de molino no están en los rangos de un cemento Pórtland IP 30, se corre el riesgo de no estar midiendo con los mismos parámetros los diferentes tipos de adición a los cementos. Como al tener mayor finura el cemento, se obtendrá mayores resistencias a menores edades, este fenómeno nos puede conducir a errores en la medición de la resistencia de los morteros como de los hormigones.

IV.4.2.3 Determinación Retenido malla N° 325

El objetivo de este ensayo es la determinación del porcentaje de retenido en la malla 325 para controlar su finura de molido, el porcentaje de retenidos en la malla #325 se determina mediante la fórmula de calibración de malla que se detalla en el Anexo 2.

Tabla 4.6 Determinación Retenido Malla #325

Cemento	% Adicción	Retenidos (gr.)	Retenidos (%)
		Malla #325	Malla #325
Patrón	0	0,0625	12,9931
Patrón	10	0,0653	13,5752
Patrón	15	0,0697	14,4899
Patrón	20	0,0762	15,8412
Patrón	25	0,0811	16,8599
IP - 30	0	0,0778	16,1738
IP - 30	10	0,0798	16,5896
IP - 30	15	0,0789	16,4025
IP - 30	20	0,0892	18,5438
IP - 30	25	0,0981	20,3940
CENIZA	100	0,0548	11,3924

Fuente: Elaboración Propia

IV.4.2.4 Determinación Consistencia Normal

El objetivo de este ensayo es el de determinar la cantidad de agua necesaria para que en la pasta se evalúen los tiempos de fraguado y la expansión de los cementos con y sin adición, respectivamente.

La consistencia normal de una pasta de cemento se la determina preparando varias pastas hasta obtener la pasta que obtenga una penetración del vástago del aparato de Vicat de 10 ± 1 mm. en 30 segundos, la medición de la penetración se la realiza 30 segundos después de que la pasta fue preparada.

Tabla 4.7 Determinación de la Consistencia Normal

Cemento	% Adicción	Peso	Peso	Consistencia
		Cemento (gr.)	Agua (gr.)	Normal
Patrón	0	450	114,00	0,253
Patrón	10	450	144,00	0,320
Patrón	15	450	159,00	0,353
Patrón	20	450	174,00	0,387
Patrón	25	450	189,00	0,420
IP - 30	0	450	124,00	0,276
IP - 30	10	450	135,00	0,300
IP - 30	15	450	145,00	0,322
IP - 30	20	450	155,00	0,344
IP - 30	25	450	165,00	0,367

Fuente: Elaboración Propia

IV.4.2.5 Determinación Del tiempo de fraguado

La finalidad de este estudio es la de determinar el tiempo de fraguado inicial y final y que cumplan con las normas establecidas en el capítulo anterior.

Tabla 4.8 Determinación del Tiempo de Fraguado Inicial y Final

Cemento	% Adicción	TIEMPOS DE FRAGUADO	
		Inicial (Hrs:min)	Final (Hrs:min)
Patrón	0	0:55	3:20
Patrón	10	1:15	3:50
Patrón	15	1:39	4:05
Patrón	20	2:17	4:21
Patrón	25	2:49	4:35
IP - 30	0	1:56	4:00
IP - 30	10	2:24	4:35
IP - 30	15	2:59	4:55
IP - 30	20	3:12	5:26
IP - 30	25	3:32	5:46

Fuente: Elaboración Propia

La normativa indica que el tiempo de fraguado inicial no debe ser menor a 45 minutos para evitar que en la puesta en obra este material fragüe. Además de que pueden presentarse anomalías en el proceso de endurecimiento.

En el tiempo de fraguado final, se indica que no debe ser mayor a 12 horas, ya que si no se cumple con este parámetro se obtienen resistencias bajas (especialmente a cortas edades).

IV.4.2.6 Determinación de la estabilidad del volumen AUTOCLAVE

Este ensayo es realizado para determinar la estabilidad del volumen, además de medir la expansión de la muestra mediante el micrómetro mostrado en la figura 4.8, nos referimos a estabilidad ya que el fenómeno de expansión no es sólo debido al cal libre, sino también a la presencia de álcalis.

Tabla 4.9. Determinación de la Expansión Autoclave

Cemento	% Adicción	Edad	Longitud	Longitud	Expansión
		(días)	Inicial (mm.)	Final (mm.)	(%)
Patrón	0,00	1	250,00	251,98	0,79
Patrón	10,00	1	250,00	251,89	0,76
Patrón	15,00	1	250,00	251,68	0,67
Patrón	20,00	1	250,00	251,42	0,57
Patrón	25,00	1	250,00	251,30	0,52
IP - 30	0,00	1	250,00	251,85	0,74
IP - 30	10,00	1	250,00	251,62	0,65
IP - 30	15,00	1	250,00	251,43	0,57
IP - 30	20,00	1	250,00	251,25	0,50
IP - 30	25,00	1	250,00	251,02	0,41

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.8. Micrómetro



Figura 4.9. Ensayos de expansión

IV.4.2.7 Gradación de la arena

La gradación de la arena se la realiza de acuerdo a la Norma Boliviana y orden de trabajo de la fábrica, para el control de calidad de los cementos como se describe a continuación:

Tabla 4.10 Gradación de la Arena

TAMIZ	PORCENTAJE RETENIDO	PESO DE LA ARENA (gr.)
(+#100)	-	40
150 μm (#100)	98 \pm 2	470
300 μm (#50)	75 \pm 5	915
425 μm (#40)	30 \pm 5	570
600 μm (#30)	2 \pm 2	40
1.18 μm (#16)	0	-

Fuente: Fabrica de Cemento El Puente

IV.4.2.8. Determinación de la Resistencia en Cementos

Para la determinación de la resistencia a compresión de los cementos se utilizan las fórmulas detalladas en el Capítulo III, donde explican detalladamente las variables de cada una de las fórmulas. Los resultados de estos ensayos se encuentran en el anexo 3.

➤ *Resistencia media*

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \text{ Ec. (3.6)}$$

➤ *Desviación estándar*

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n-1}} \text{ Ec.3.8.}$$

➤ *Resistencia característica*

$$f_{ck} = f_{cm} - K * s \text{ Ec. (3.7)}$$

El valor de K para encontrar la resistencia característica del hormigón es un valor tal que es igualado o superado, como mínimo, por el 95% de las probetas ensayadas. En la tabla 3.7 se indican los valores de K.

➤ Determinación de la fluidez

Éste es el parámetro que se debe tomar muy en cuenta en la elaboración de morteros ya que con este método podemos medir el % de fluidez, la grafica 4.10 y 4.11 muestra los componentes de la mesa de flujo.



Figura 4.10 Mesa de flujo



Figura 4.11 Medición de diámetros

El % de fluidez se determina promediando los diámetros y reemplazando en la siguiente formula:

$$\%Fluidez = \left(\frac{DIÁMETRO...PROMEDIO - DIÁMETRO...ORIGINAL}{DIÁMETRO..ORIGINAL} \right) * 100 \quad \text{Ec. 4.1}$$

La determinación de la fluidez se realiza con el mortero previo, a ser moldeadas.

IV.4.2.8.1 Resistencia a compresión en cementos con fluidez 110 ± 5

En esta sección es donde se elegirá con cuál cemento se trabajara de acuerdo al comportamiento a la resistencia a compresión de los morteros trabajando con una porcentaje de fluidez constante según norma, de 110 ± 5 . Después de estos ensayos se determinará cuál de los dos cementos se comportan mejor y en qué porcentajes para pasar a realizar un análisis haciendo variar la fluidez y determinar el contenido de agua más óptimo, y su posterior dosificación en hormigones y precisar la influencia de la adición de “CCA” en hormigones sometidos a compresión.

El incremento del porcentaje de fluidez se analiza ya que las premisas indican que este tipo de adición incrementa el consumo de agua y todos los estudios hasta aquí realizados solo mantienen el contenido de agua de un cemento normal, y esto provoca pérdida de trabajabilidad o menor porcentaje de fluidez.

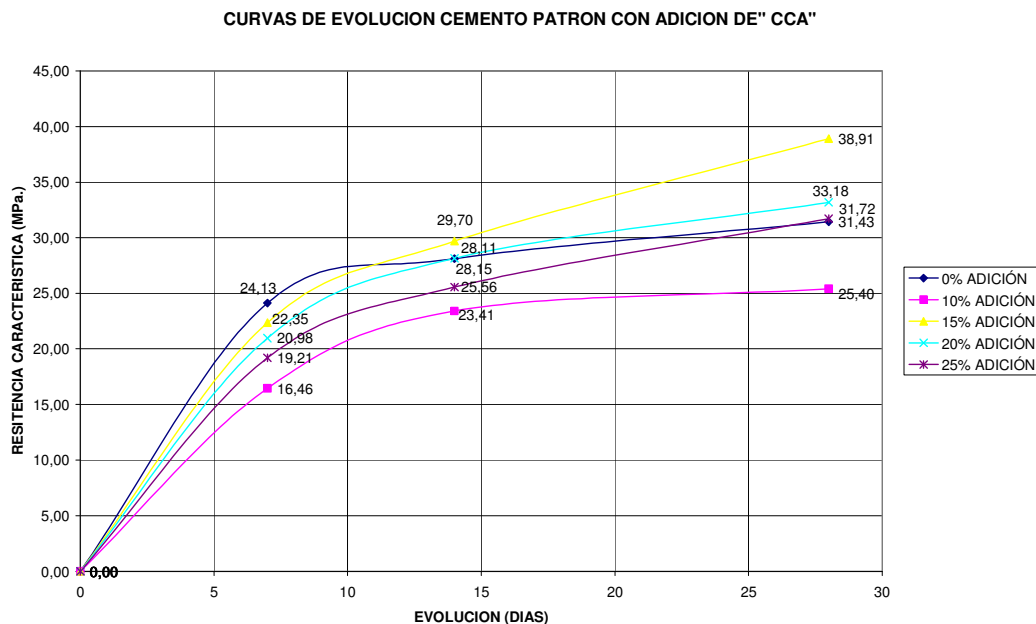
IV.4.2.8.1.1 Resistencia a compresión cemento Patrón, con y sin adición

Tabla 4.11 Resistencias Cemento Patrón Fluidez 110 ± 5

PERÍODO DE EVOLUCIÓN (Días) "X"	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA fck (MPa.)				
	% de adición de "CCA" al cemento Patrón				
	0	10	15	20	25
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	24,13	16,46	22,35	20,98	19,21
14	28,11	23,41	29,70	28,15	25,56
28	31,43	25,40	38,91	33,18	31,72

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.3 Curva de evolución Cemento Patrón fluidez 110 ± 5



En la grafica 4.3 se puede notar el comportamiento que tiene la adición de ceniza de cascarilla de arroz en sus diferentes porcentajes. Es evidente que el 10% de adición de “CCA” tiene un comportamiento muy bajo a lo largo de su periodo de evolución, ésto nos indica que la sílice no está reaccionando y en ves de ayudar a la resistencia este porcentaje de adición, está inactivo. El 15% de adición es el porcentaje que mejor se comporta de todos teniendo un incremento considerable de resistencia a los 28 días, y manteniendo un comportamiento muy parecido a los 7, y 14 días, este fenómeno se debe a que este porcentaje esta reaccionando con el hidróxido de calcio presente en el cemento.

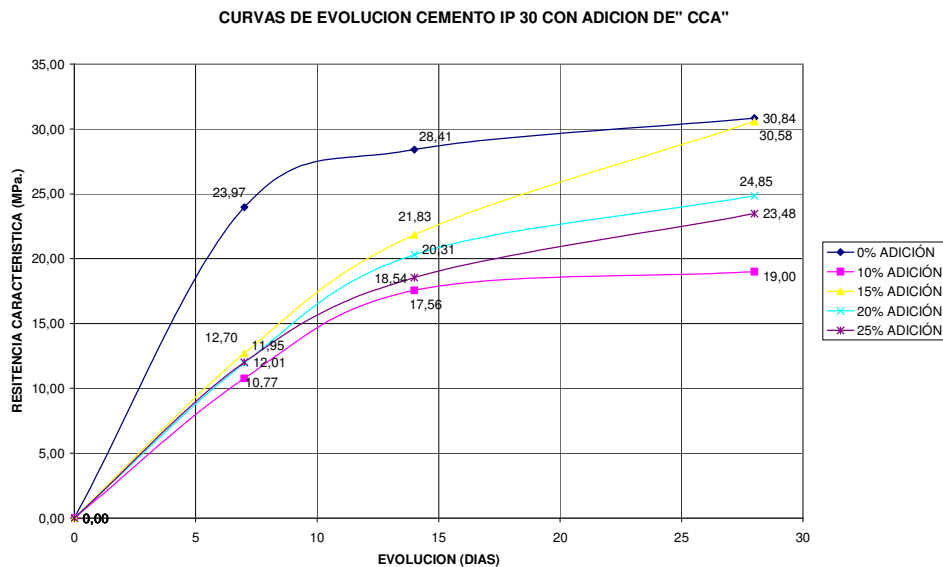
IV.4.2.8.1.2 Resistencia a Compresión Cemento Pórtland IP 30 con y sin Adición

Tabla 4.12 Resistencias Cemento IP 30 Fluides 110 ± 5

PERIODO DE EVOLUCION (Días) "X"	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA fck (MPa.) % de adición de "CCA" al cemento IP 30				
	0	10	15	20	25
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	23,97	10,77	12,70	11,95	12,01
14	28,41	17,56	21,83	20,31	18,54
28	30,84	19,00	30,58	24,85	23,48

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.4 Curva de Evolución Cemento IP 30 Fluides 110 ± 5



Se puede evidenciar que el porcentaje que mejor se comporta con el cemento IP 30, es el 15% de adición llegando a adquirir una resistencia muy próxima a la de cemento mismo. Los otros porcentajes de adición presentan muy bajas resistencias, debido al alto contenido de residuo insoluble, este parámetro es el que afecta en la evolución del hormigón. Hay una alta pérdida al fuego, y el contenido de tritóxido de azufre (SO₃), además de que estos compuestos están en mayor proporción en el IP 30 que en el cemento patrón, este fenómeno es debido a que el cemento IP 30, ya cuenta con un tipo de adición que no es objeto de este estudio (toba), cabe aclarar que cada cemento nunca tendrá las mismas características.

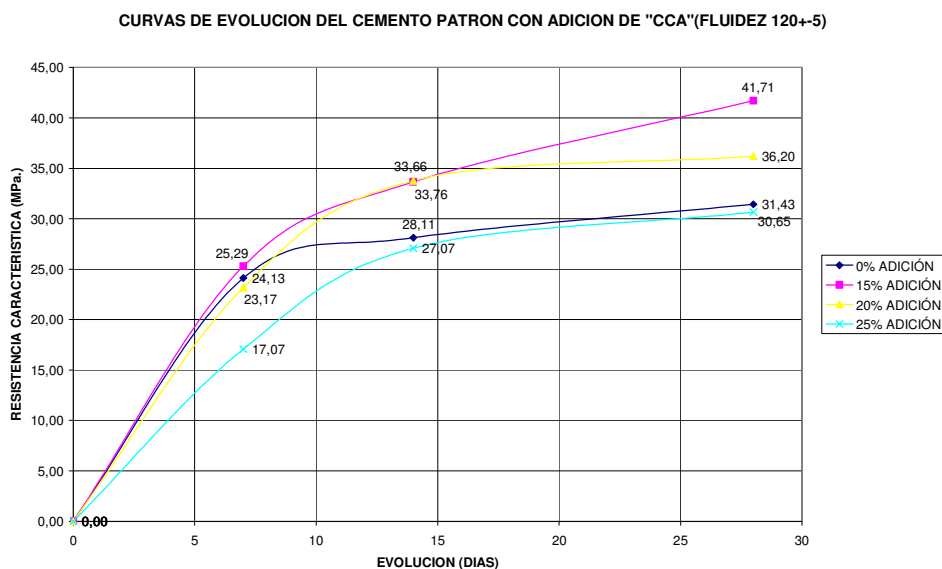
IV.4.2.8.2 Resistencia a compresión Cemento Patrón, con y sin adición fluidez 120 ± 5

Tabla 4.13 Curvas de Evolución Cemento Patrón Fluidez 120 ± 5

PERÍODO DE EVOLUCIÓN (Días) "X"	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA fck (MPa.)			
	% de adición de "CCA" al cemento Patrón			
	0	15	20	25
0	0,00	0,00	0,00	0,00
7	24,13	25,29	23,17	17,07
14	28,11	33,66	33,76	27,07
28	31,43	41,71	36,20	30,65

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.5 Curva de Evolución Cemento Patrón Fluidez 120 ± 5



Se puede observar en la grafica 4.5 que el porcentaje que mejor se comporta es el de 15% de adición al Cemento Patrón, la curva de evolución de este porcentaje evoluciona favorablemente, a los 7 días describe una resistencia parecida al del cemento patrón, a los 14 días se observa que su resistencia sigue incrementando para seguir evolucionando a los 28 días y adquirir una resistencia mayor a la patrón. Este fenómeno se debe a que la sílice necesita estar en medio acuoso (% fluidez 120), para desarrollar una evolución favorable. Los demás porcentajes adquieren menor resistencia debido a que no existe más cal libre para que reaccionen.

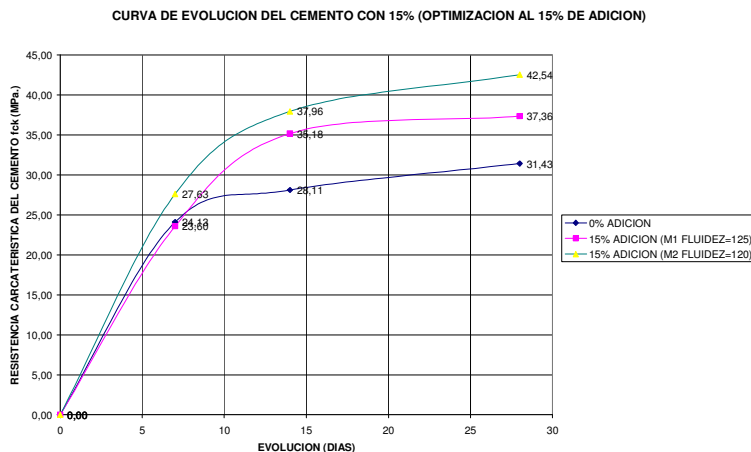
IV.4.2.8.2.1 Resistencia a compresión Cemento Patrón, con y sin adición fluidez 120 ± 5 (comprobaciones del 15 %)

Tabla 4.14 Curva de Evolución Cemento Patrón Fluidez 120 ± 5 (comprobaciones)

PERIODO DE EVOLUCION (Dias) "X"	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA fck (MPa.)		
	% de adición "CCA" al cemento Patrón		
	fluidez 110	fluidez 125	fluidez 120
	0	15(M1)	15(M2)
0	0,00	0,00	0,00
7	24,13	23,60	27,63
14	28,11	35,18	37,96
28	31,43	37,36	42,54

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.6. Curva de Evolución Cemento Patrón Fluidez 120 ± 5 (Comprobaciones)



Con estos ensayos de comprobación se puede determinar que el incremento de porcentaje de fluidez hasta 120, se obtienen buenos resultados, llegando a tener mayor resistencia. Este fenómeno fue explicado por el personal de SOBOCE, sección “CONTROL DE CALIDAD”, e indica, que la sílice necesita estar en un ambiente acuoso para el desarrollo satisfactorio de la resistencia.

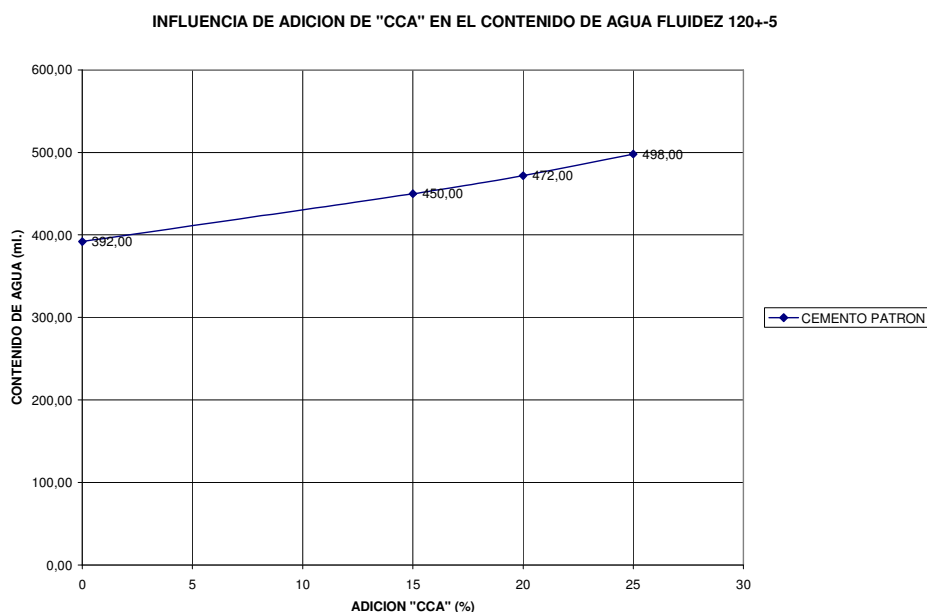
IV.4.2.8.2.2. Determinación del Incremento de Agua

Tabla 4.15 Incremento de agua por % de adición

Cemento	% Adición	Contenido de	fluidez	Incremento
		agua (ml.)	(%)	
Patrón	0	392,00	110,00	0
Patrón	15	450,00	120,00	14,8
Patrón	20	472,00	119,00	20,41
Patrón	25	498,00	125,00	27,05

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.7 Incremento de Agua en Morteros fluidez 120± 5



La Tabla 4.15 indica los porcentajes de incremento de agua óptimos para una fluidez de 120 ± 5 , ya que con esta fluidez el contenido de agua se incrementa beneficiando a la evolución del cemento. Por tal motivo estos porcentajes de agua serán los que se incrementaran en los hormigones. Cabe aclarar que en los morteros no se calcula el porcentaje de absorción de la arena, ni el contenido de humedad, para tal motivo se tendrá que realizar la corrección, sin tomar en cuenta el incremento de agua por corrección en la arena. Este es un aspecto que se debe tomar muy en cuenta antes de realizar la dosificación con estos porcentajes y factores antes mencionados. La grafica 4.7, indica el comportamiento de la adición con el contenido de agua para una fluidez de 120 ± 5 en los morteros.

IV.5. FASE V: DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

IV.5.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN

Tabla 4.16 Características de los agregados

ENSAYO	Unidad	Valor
1.- Modulo de Finura de la Arena (MF)	s/u	2,50
2.- Peso Unitario Compactado de la Grava (PUC)	Kg./m ³	1660
3.- Peso Específico de la Arena (γ_f)	gr./cm ³	2,56
4.- Peso Específico de la Grava (γ_g)	gr./cm ³	2,70
5.- Absorción de la Arena (Aa)	%	2,06
6.- Absorción de la Grava (Ag)	%	1,3
7.- Humedad de la Arena (Ha)	%	1,05
8.- Humedad de la Grava (Hg)	%	0,49
9.- Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg.	1 1/2"
10.- Tamaño Máximo (TM)	pulg.	1 1/2"
11.- Peso Específico del Cemento	gr./cm ³	3,14

Tabla 4.17 Características del Diseño

Resistencia de diseño (f_{ck}')	210	Kg./cm ²
Resistencia Característica (f_{ck}) (Tabla 11.12)	295	Kg./cm ²
Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	4	pulg.
Relación Agua / Cemento (a/c) (Tabla 11,13)	0,47	s/u

Tabla 4.18 Datos de Tablas

Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 11.15)	0,74	s/u
Requerimiento de Agua (A) (Tabla 11.6)	164	Kg./m ³

CÁLCULOS

Peso Agregado Grueso (P_{ag})	= (b/bo)xPUC	
	1228,474	Kg./m ³
Peso cemento (P_c)	= A / (a/c)	
	348,94	Kg./m ³
Volumen de Agregado Grueso (V_{ag})	= P_{ag}/γ_g	
	455,43	lt/m ³
Volumen del cemento (V_c)	= P_c/γ_c	
	111,13	lt/m ³
Volumen de Arena (V_{af})	= 1000 - V_c - A - V_{ag}	
	269,44	lt/m ³
Peso del agregado fino (P_{af})	= $V_{af} \times \gamma_f$	
	689,23	kg/m ³

Tabla 4.19. Dosificación Patrón Materiales Secos

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE CONCRETO

Ingrediente	Peso Seco Kg./m³	Volumen Absoluto lt/m³	Peso específico gr./cm³
<i>Cemento</i>	348,94	111,13	3,14
<i>Agua</i>	164	164	1
<i>Grava</i>	1228,474	455,43	2,70
<i>Arena</i>	689,23	269,44	2,56
TOTAL	2430,64	1000,00	

PESOS HÚMEDOS DE LOS MATERIALES

Peso Húmedo de la arena (Pha)	= Paf x (1 + Ha)	
		696,47 kg/m ³
Peso Húmedo de la Grava (Phg)	= Pag x (1 + Hg)	
		1234,50 kg/m ³

CORRECCIÓN DEL AGUA

Agua corregida a la grava (Acg)	= Pag x (Ag - Hg)	
		10,30 lt/m ³
Agua corregida a la Arena (Acf)	= Paf x (Aa - Ha)	
		6,98 lt/m ³
Total Agua Corregida (Atc)	= Acg + Acf	
		17,28 lt/m ³

Tabla 4.20. Dosificación Patrón Materiales Húmedos

PESOS HÚMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGÓN

Ingrediente	Peso Seco Kg./m³	Peso Húmedo Kg./m³
<i>Cemento</i>	348,94	348,94
<i>Agua</i>	164	181,28
<i>Grava</i>	1228,474	1234,50
<i>Arena</i>	689,35	696,47
<i>TOTAL</i>	<i>2430,64</i>	<i>2461,18</i>

Fuente: Elaboración Propia

IV.5.2 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON ADICIÓN

IV.5.2.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 15% DE ADICIÓN “CCA”

Tabla 4.21. Dosificación con 15% de “CCA” Materiales Húmedos

PESOS HÚMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGÓN

Ingrediente	Peso Seco Kg./m³	Peso Húmedo Kg./m³	Peso agua Corregida (Kg./m³)
<i>15% “CCA”</i>	52.34	52.34	-
<i>Cemento</i>	296.6	296.6	-
<i>Agua</i>	164	174,30	200,09
<i>Grava</i>	1228,474	1234,50	-
<i>Arena</i>	689,35	696,60	-
<i>TOTAL</i>	<i>2430,76</i>	<i>2454,33</i>	

Fuente: Elaboración Propia

IV.5.2.2 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 20% DE ADICIÓN “CCA”

Tabla 4.22. Dosificación con 20% de “CCA” Materiales Húmedos

PESOS HUMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGON

Ingrediente	Peso Seco kg/m ³	Peso Húmedo kg/m ³	Peso agua Corregida (kg/m ³)
20% “CCA”	69.79	69.79	
Cemento	279.15	279.15	-
Agua	164	174,30	209,87
Grava	1228,474	1234,50	-
Arena	689,35	696,60	-
<i>TOTAL</i>	<i>2430,76</i>	<i>2454,33</i>	

Fuente: Elaboración propia

IV.5.2.3 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 25% DE ADICIÓN “CCA”

Tabla 4.23. Dosificación con 25% de “CCA” Materiales Húmedos

PESOS HUMEDOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE HORMIGON

Ingrediente	Peso Seco Kg./m ³	Peso Húmedo Kg./m ³	Peso agua Corregida (Kg./m ³)
25% “CCA”	87.24	87.24	
Cemento	261.71	261.71	-
Agua	164	174,30	221,45
Grava	1228,474	1234,50	-
Arena	689,35	696,60	-
<i>TOTAL</i>	<i>2430,76</i>	<i>2454,33</i>	

Fuente: Elaboración propia

IV.6. FASE VI: ELABORACIÓN Y CURADO DE HORMIGONES

IV.6.1 ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE HORMIGÓN.

Después de haber obtenido ya las cantidades de los materiales, se procedió a realizar la elaboración de la mezcla. El procedimiento de elaboración de los especímenes cilíndricos se basó en la norma ASTM C-211.

Los materiales y equipos empleados para la preparación del hormigón, fueron: una hormigonera eléctrica, un cono de Abrams y base, varilla compactadora, regla enrasadora, probetas de vidrio de 20 ml., brochas, recipientes, cucharas, badilejos, baldes, guantes y material de limpieza (secadores, escobas, detergentes, etc.).

El proceso de mezclado fue el siguiente:

- Para el mezclado de los materiales en la hormigonera se introdujo en el tambor una pequeña porción del agua de mezcla, aproximadamente un 10%, añadiendo luego los materiales sólidos grava, cemento, arena en este orden, conjuntamente con el 80% del agua. El 10% de agua restante se termina de introducir cuando todos los materiales se encuentran en la mezcladora. El tiempo de mezclado depende en gran parte de la eficiencia de la mezcladora pero un tiempo de minuto y medio se considera satisfactorio.
- Una parte de la mezcla se la vació en el recipiente para realizar en el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams el mismo que fue llenado en tres capas, apisonando cada una de ellas con 25 golpes, una vez llenado el cono se lo enrasó con la regla y se midió el asentamiento.
- Una vez realizado el control de la mezcla se prosiguió con el llenado de los moldes de la siguiente manera:
- Se llenaron los moldes con hormigón en tres capas iguales apisonando cada capa con 25 golpes y también vibrando cada capa con un combo de goma dando 15 golpes en el exterior esto con el fin de eliminar las burbujas de aire. La tercera capa se la enrasa con el borde del molde con la regla y un badilejo.

IV.6.2. CURADO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN

El curado de las probetas se lo realizó introduciendo las misma en piscinas con agua y cal en donde se encontraron sumergidas en su totalidad, hasta que se realice el ensayo mecánico de resistencia a la compresión el mismo que se lo realizó en tres diferentes edades de 7, 14 y 28 días.

IV.6.3. 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 espécimen es calculado dividiendo la máxima carga leída durante el ensayo, por el área de la cara axial del mismo.

El equipo empleado fue: una prensa hidráulica, balanzas eléctrica, un flexo metro.

El procedimiento ejecutado se describe a continuación:

- Se verificó con un flexo metro las dimensiones de las probetas.
- Todas las muestras fueron pesadas antes de su respectivo ensayo.
- Luego 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.
- Inmediatamente se cerró la prensa, y 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.

IV.7. FASE VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS

IV.7.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN

➤ *Análisis de la resistencia característica a compresión.*

- *Resistencia media a la compresión.*

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci}$$

Donde:

f_{cm} : Resistencia media

n: Número de probetas ensayadas

f_{ci} : Tensión de rotura para cada probeta

- *Desviación estándar*

$$s = \sqrt{\frac{\sum (f_{ci} - f_{cm})^2}{n - 1}}$$

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, según la distribución de probabilidades de “t” de student, donde:

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

Donde:

f_{ck} : Resistencia característica del hormigón

s: Desviación estándar

El valor de K para encontrar la resistencia característica del hormigón es un valor tal que es igualado o superado, como mínimo, por el 95% de las probetas ensayadas. En la tabla N° 3.7 se indica los valores de K.

IV.7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS

IV.7.2.1 Resultados del Análisis de Hormigones con Adición de “CCA”

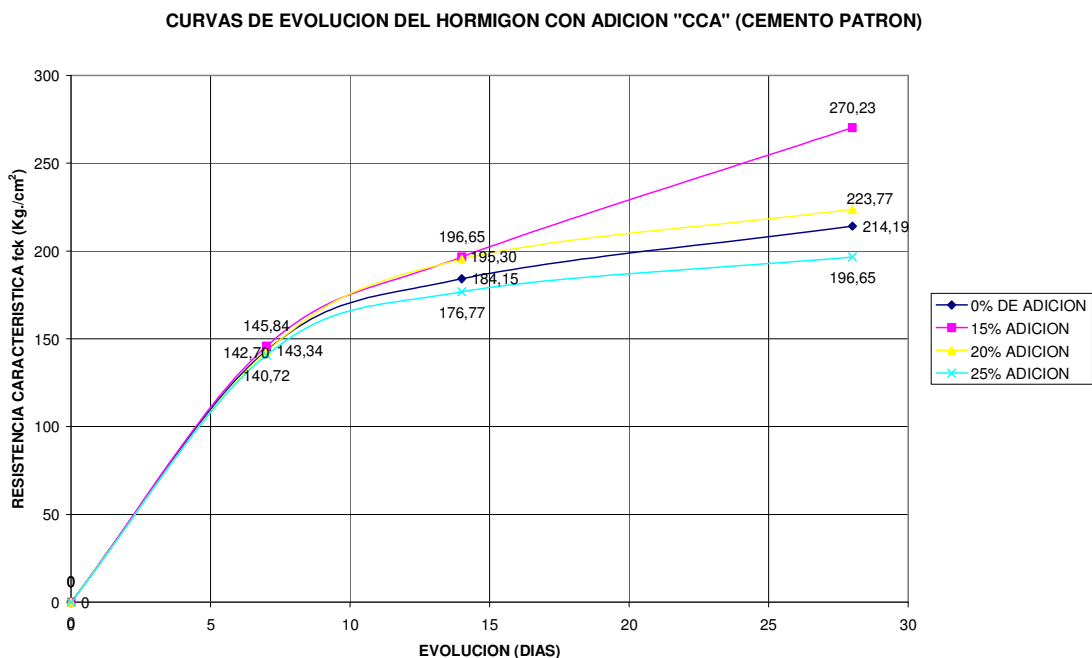
Para un mejor entendimiento se presenta la grafica con el hormigón convencional y con sus diferentes porcentajes de adición para realizar un estudio comparativo mas detallado.

Tabla 4.24. Resistencias del Hormigón con % de Adición de “CCA”

PERIODO DE EVOLUCION (Dias) "X"	RESISTENCIA CARACTERISTICA "f _{ck} "(kg/cm ²)			
	% de adición de "CCA" al cemento Patrón			
	0	15	20	25
0	0	0	0	0
7	143,34	145,84	142,70	140,72
14	184,15	196,65	195,30	176,77
28	214,19	270,23	223,77	196,65

Fuente: Elaboración Propia

Grafica 4.8 Curvas de evolución del hormigón con y sin adición de “CCA”



Como se puede observar en la Grafica 4.8, el hormigón convencional tiene mayor resistencia para la que fue calculado esto, debido a la mayoración que se le da para garantizar que llega a una resistencia de diseño real.

Se puede observar claramente que el hormigón con adición del 15% por ciento se comporta muy bien, adquiriendo una mayor resistencia que la del hormigón convencional además de que su periodo de evolución es muy favorable, puesto que a los 7 días adquiere una resistencia muy parecida a la del hormigón convencional, a los 14 días se ve un incremento muy considerable pero cercano al hormigón convencional. Además, se puede observar una curva muy bien definida evolucionando a lo largo del tiempo de manera muy favorable.

La adición del 20% genera una curva muy parecida a la del 15%, excepto a los 28 días que llega a una resistencia muy parecida a la del hormigón convencional, debido a que hay un porcentaje de adición en exceso que no está reaccionando.

La otra adición del 25% adquiere un comportamiento a los 7 días, muy parecido a los otros hormigones, pero existe un descenso a los 14 días y a los 28 días una resistencia por debajo del hormigón convencional. Este fenómeno se debe a que ya existe un 10% de adición sin reaccionar, y éste 10% está afectando a la resistencia ya que está como un material sin ninguna actividad puzolánica.

IV.7.3. ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE ADICIÓN DE CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ EN HORMIGONES SOMETIDOS A COMPRESIÓN

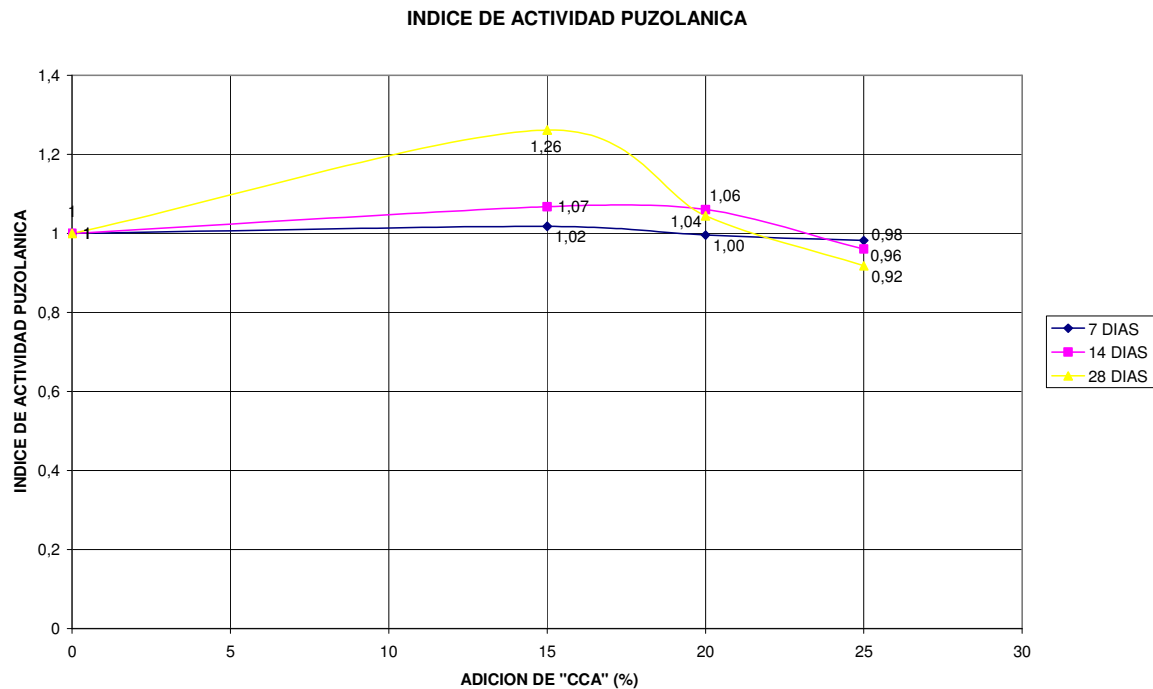
IV.7.3 .1. Índice de Actividad Puzolánica

Tabla 4.25. Índice de Actividad Puzolanica con % de Adición de "CCA"

		INDICE DE ACTIVIDAD PUZOLÁNICA			
Evolución (Días)	f _{ck} (Kg./cm ²) Patrón	% de Adición de "CCA" al Hormigón (cemento patrón)			
		0	15	20	25
0	0,00	0	0	0	0
7	143,34	1	1,02	1,00	0,98
14	184,15	1	1,07	1,06	0,96
28	214,19	1	1,26	1,04	0,92

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.9 Curvas de actividad puzolanica con y sin adición de "CCA"



Se puede apreciar en la curva de evolución de los 7 días, que el porcentaje que mayor índice de actividad puzolánica presenta es el 15% llegando a alcanzar un 1.02 en otras palabras un 2% de incremento, y sigue evolucionando llegando a un incremento a los 14 días del 1.07 de actividad puzolánica un 7 % de incremento, y a los 28 días llegando a evolucionar favorablemente hasta alcanzar un 1.26 de actividad puzolánica un 26% de incremento con respecto al hormigón convencional.

En la curva de los 7 días se observa que los porcentajes de adición se van comportando de diferente manera en 15% hay un incremento del 2%, con adición de 20% el incremento en la actividad puzolánica es 0%, y con adición de 25% la actividad puzolánica desciende, debido a que hay mucho material sin reaccionar en este periodo de tiempo se ven resultados muy favorables.

La curva de evolución de los 14 días muestra un incremento de actividad puzolánica con 15% de adición en un 1.07, con un 20% de adición muestra un incremento del 1.06, y con una adición de 25% muestra un descenso a 0.98, en esta gráfica se puede observar que las adiciones que mejor se comportan son con 15, y 20% llegando a obtener incrementos considerables.

La curva de los 28 días se puede observar que con adición del 15% el índice de actividad puzolánica se eleva a 1.26, con una adición del 20% el índice de actividad desciende a 1.04, y con 25 % el índice desciende aún más 0.92, el comportamiento de curva indica que aún con 15% de adición hay actividad puzolánica, y con 20% ya no existe una considerable actividad puzolánica puesto que va descendiendo pero aun es mayor que la resistencia de hormigón convencional, y con el 25% de adición aún en el índice de actividad desciende aún más llegando a un 0.92 de actividad.

IV.7.3.2 Análisis Pesos Específicos del Hormigón (cemento patrón)

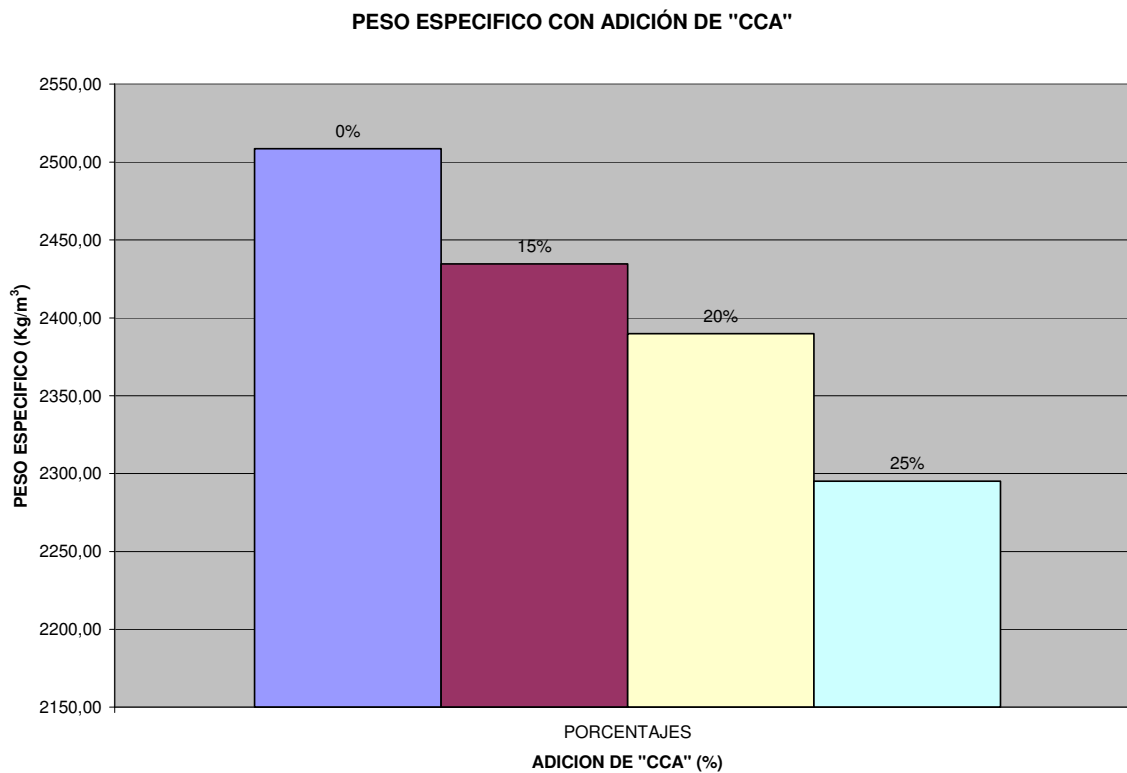
IV.7.3.2.1 La Media de los Pesos Específicos

Tabla 4.26. Pesos Específicos del Hormigón

Adición (%)	Peso Esp. (Kg./m ³)
0	2508,576
15	2434,704
20	2389,905
25	2295,037

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 4.10 Influencia de la Adición de "CCA" en el Peso Especifico del Hormigón



En la Gráfica 4.10 se puede observar que los porcentajes de adición influyen en el peso específico de los hormigones; este fenómeno ocurre gracias al bajo peso específico de la

adición de ceniza de cascarilla de arroz, bajando su peso específico con adición de 15% de ceniza de cascarilla de arroz en un 3% con respecto al peso de un hormigón convencional este fenómeno es beneficioso, ya que a menor peso específico del hormigón resultan hormigones más ligeros, y por consiguiente se podrán superar mayores luces, ya que éste es lo que impide a un hormigón convencional para superar grandes luces.

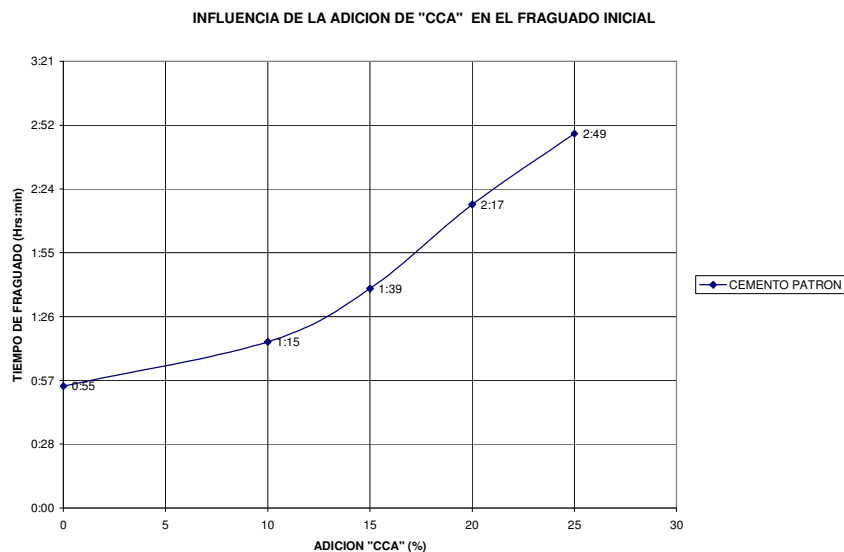
IV.7.3.3 Influencia en el Tiempo de Fraguado

Tabla 4.27. Tiempos de Fraguado Inicial y Final

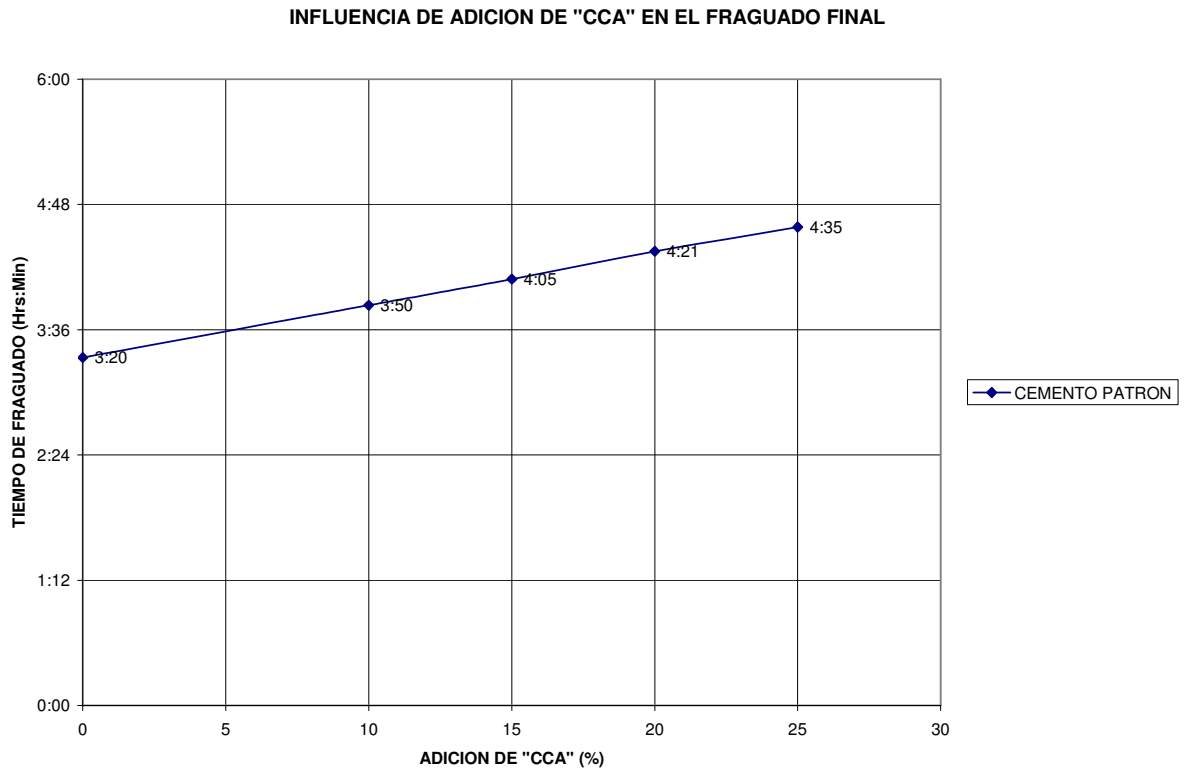
Cemento	% Adicción	TIEMPOS DE FRAGUADO	
		Inicial (Hrs:min)	Final (Hrs:min)
Patrón	0	0:55	3:20
Patrón	10	1:15	3:50
Patrón	15	1:39	4:05
Patrón	20	2:17	4:21
Patrón	25	2:49	4:35

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.11 Influencia de la Adición de "CCA" en el Fraguado Inicial



Grafica 4.12 Influencia de la Adición de "CCA" en el Fraguado Final



Cabe resaltar que los tiempos de fraguados fueron medidos en el control de calidad de los cementos, ya que no se cuenta con la metodología para realizar este parámetro de fraguados inicial, y final en el hormigón.

Se observa que los tiempo de fraguado tanto inicial como final sufren un incremento considerable pero se ajustan a los tiempos requeridos por las normativas que indican que para un tiempo de fraguado inicial debe ser mayor a 45 minutos, y un tiempo final de fraguado menor de 12 horas.

Además, en la grafica se puede observar que el tiempo de fraguado inicial según el tipo de adición adquiere una curva que no está muy bien definida, y por el contrario el tiempo de fraguado final según el porcentaje de adición, adquiere un comportamiento más definido parecido mas a una recta.

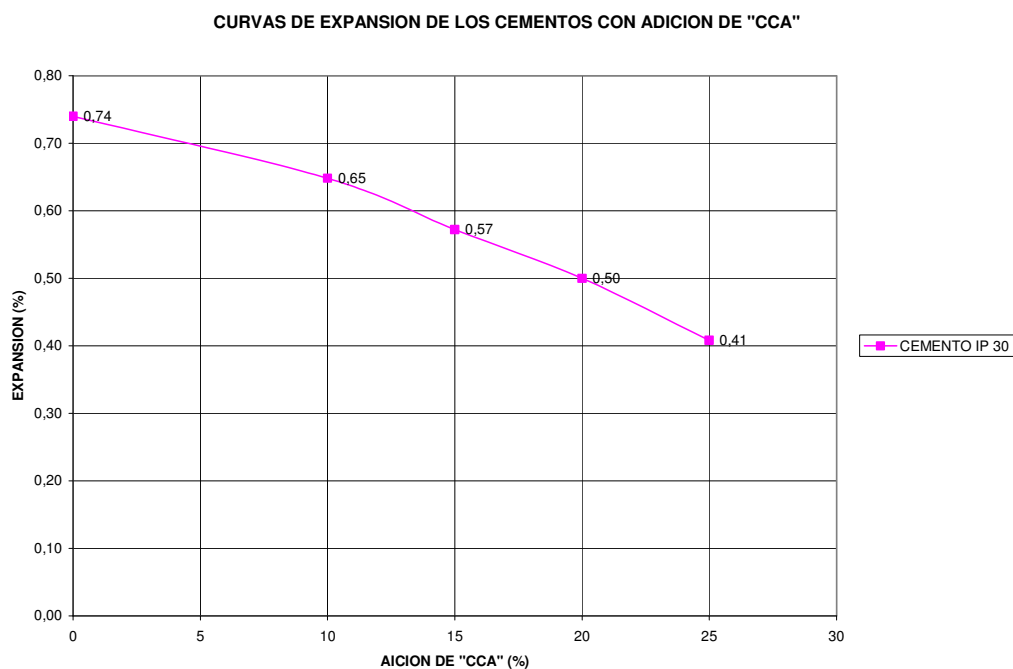
IV.7.3.4 Influencia en la Expansión

Tabla 4.28. Expansión de los Cemento con Adición de "CCA"

Cemento	% Adicción	Edad	Longitud	Longitud	Expansión
		(días)	Inicial (mm)	Final (mm)	(%)
Patrón	0	1	250,00	251,98	0,79
Patrón	10	1	250,00	251,89	0,76
Patrón	15	1	250,00	251,68	0,67
Patrón	20	1	250,00	251,42	0,57
Patrón	25	1	250,00	251,30	0,52

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.13 Influencia de la Adición de "CCA" en la Expansión



Este parámetro fue medido en el control de calidad de los cementos con el método de ensayo estabilidad del volumen, en autoclave.

La influencia de la adición en la expansión de los cementos como de los hormigones con adición de ceniza de cascarilla de arroz es muy favorable, ya que la expansión se reduce.

Este fenómeno de expansión se produce por el calor de hidratación de los cementos y al ser la ceniza un material puzolánico reduce esta propiedad, además de incrementar el consumo de agua, este fenómeno del incremento de agua es favorable para reducir la expansión en los cementos en el proceso de hidratación; además de aportar con esto también es favorable en el proceso de evolución reduciendo la expansión puesto que los álcalis reaccionan a largo plazo y la sílice presente en la ceniza de cascarilla de arroz.

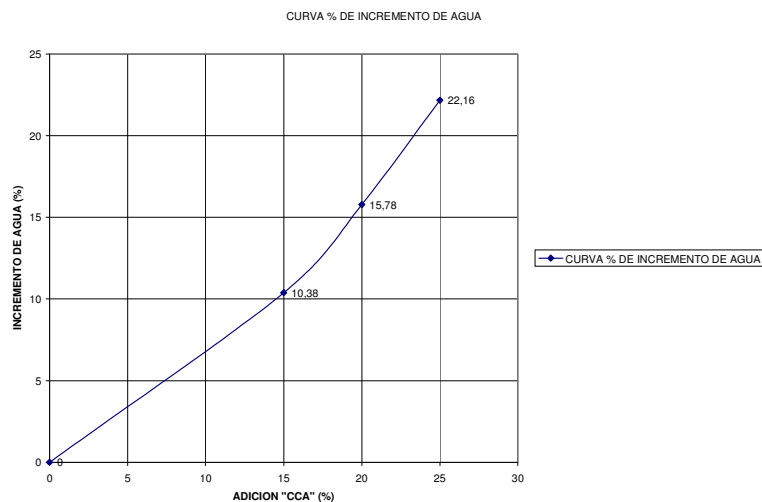
IV.7.3.5. Influencia en el Incremento de Agua

Tabla 4.29. Incremento de Agua de Acuerdo al % de Adición

Cemento	% Adicción	Contenido de	Incremento
		agua (ml.)	(%)
Patrón	0	181,27	0
Patrón	15	200,09	10,38
Patrón	20	209,87	15,78
Patrón	25	221,45	22,16

Fuente: Elaboración propia

Grafica 4.14 Influencia de la adición de "CCA" en el incremento de agua en Hormigones



El incremento de agua es considerable con un 15% de adición se maneja un incremento de 10.38% del total del agua utilizada en un hormigón convencional, debido a que la sílice contenida en la ceniza de cascarilla de arroz necesita estar en un medio acuoso para reaccionar favorablemente, y de este modo incrementar su resistencia a lo largo de su periodo de evolución. Además, este incremento de agua es favorable, puesto que habrá menor calor de hidratación.

IV.8. CAMPO DE APLICACIÓN

De acuerdo con los resultados obtenidos de las pruebas a compresión del hormigón se determino que el porcentaje más favorable de adición de ceniza de cascarilla de arroz es el 15%, este tipo de adición incrementa su resistencia en un 26% como lo demuestra el índice de actividad puzolanica a los 28 días con 15% de "CCA".

A continuación se realizara un análisis comparativo del hormigón convencional con una resistencia de 265 Kg./cm² (la dosificación esta detallada en el Anexo 6), con un hormigón con una dosificación 210 Kg./cm² con adición del 15% de ceniza de cascarilla de arroz como se desarrollo la investigación. Se realizara un análisis de precios de la obtención de la ceniza de cascarilla, y se realizara una comparación para un metro cúbico de Hormigón

Tabla 4.30. Analisis de Precios: Obtencion de "CCA"

Peso Material		
Cascarilla (gr.)	Ceniza(gr.)	Peso (%)
5000	950,6	19,01
5000	1050,8	21,02
5000	1100,4	22,01
	Media	20,68

Fuente: Elaboración propia

Unidad	Peso (Kg.)	Precio (Bs.)	Tratamiento	Total (Bs.)	Ceniza (Kg.)
BOLSA	20	5	3	8	4,14

$$4.14Kg. \rightarrow 8Bs.$$

$$1Kg. \rightarrow X$$

$$X = 1.93Bs / Kg.$$

Tabla 4.31. Análisis Precios para Hormigón con Adición de "CCA"

Resistencia 210 (Kg./cm ²), con "CCA" 265 (Kg./cm ²)				
Material	(Kg./m ³)	Rendimiento(m ³)	Precio Unitario(Bs.)	Precio total(Bs.)
Cemento	296,6	296,6	1	296,60
Ceniza	52,34	52,34	1,93	101,02
Grava	1228,47	0,64	110	70,47
Arena	689,23	0,36	110	39,53
Precio total (Bs.)				507,62

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.32. Análisis Precios para Hormigón Convencional sin "CCA"

Resistencia 265 (Kg./cm ²)				
Material	(Kg./m ³)	Rendimiento(m ³)	Precio Unitario(Bs.)	Precio total(Bs.)
Cemento	410	410	1	410
Grava	1228,47	0,66	110	72,33759977
Arena	639,6	0,34	110	37,66240023
Precio total (Bs.)				520,00

Fuente: Elaboración propia

El planteamiento de la evolución del hormigón 210 Kg./cm² con adición de ceniza de cascarilla de arroz en un porcentaje de 15% , como ya se determino en el análisis comparativo adquiere una resistencia de 265 Kg./cm². Es por este motivo que se realizo una dosificación para un hormigón convencional de 265 Kg./cm², en este análisis se puede determinar que el metro cúbico de hormigón con adición del 15%, es mas barato o de menor costo en comparación con el hormigón convencional, teniendo una diferencia de costos de 12.38 Bs. por metro cúbico de hormigón.

Este tipo de hormigón además de ser mas barato, también brinda al hormigón menor calor de hidratación, mayor tiempo de puesta en obra, y además de brindar mayor fluidez.

V.1 CONCLUSIONES

Al cabo de toda la investigación, y el control de calidad de los cementos, y los agregados se pudieron llegar a las siguientes conclusiones:

- La ceniza de cascarilla de arroz en un 15 % de adición al cemento Pórtland puro (patrón) en reemplazo parcial, con el porcentaje de sílice mostrado en el Anexo 1 (análisis químico), y siguiendo el procedimiento de obtención detallado en el Capítulo IV, se obtuvieron buenos resultados de resistencia a la compresión, se concluye que la adición del 15% de ceniza de cascarilla de arroz, en reemplazo parcial del cemento Pórtland puro (Patrón), da muy buenos resultados a la compresión, además de muchos otros beneficios, como control de expansión, mayor compactación, menor peso específico, mayor trabajabilidad, mayor docilidad.
- Se concluye que el cemento Pórtland puro (Patrón) es el más adecuado para realizar este tipo de adición, ya que este cemento es de mejor calidad, puesto que no contiene aún ningún tipo de adición, como el IP 30 que ya tiene una adición de Toba, que es un material síliceo aluminoso. Por este motivo es que el cemento IP 30 no adquiere buenas resistencias a lo largo de su período de evolución, ya que el cemento IP 30 objeto de este estudio, contiene gran cantidad de residuo insoluble.
- La ceniza de cascarilla de arroz en un 15 % de adición en reemplazo parcial del cemento disminuye la expansión de los hormigones, controlando el calor producido por la hidratación de las partículas del cemento, y resultando menores expansiones y por consiguiente se podrá vaciar volúmenes mas grandes de hormigón ya que esta ceniza controla el calor de hidratación.
- La adición de la ceniza de cascarilla de arroz en un 15 % en sustitución del cemento genera mayor tiempo de fraguado tanto inicial como final que están dentro de la normativa que prescribe la utilización de este cemento.

- Esta ceniza según la ASTM, se la clasifica como Clase N, por su alto contenido de sílice,
- Se concluye que uno de los aspectos que influye para que este tipo de adición reaccione convenientemente es su bajo contenido de residuo insoluble puesto que si es muy alto la sílice contenida en la ceniza no reaccionara ya que el residuo insoluble esta ligado directamente al contenido de sílice.
- Uno de los aspectos principales para que la sílice contenida en la ceniza reaccione es el contenido de cal libre, puesto que se sabe que la sílice contiene, poca o ninguna reacción cementante, y es la presencia de la cal libre, hace que la sílice reaccione.
- Al ser la ceniza de cascarilla de arroz “CCA” un material síliceo, esto permite la formación de silicatos calcicos hidratados cuando reacciona el hidróxido de calcio, además de la formación de silicatos hidratados, existe otro fenómeno, ya que la sílice contenida en la ceniza reacciona con los álcalis formando silicatos de alcali de calcio, este fenómeno es muy favorable al hormigón ya que estos álcalis son expansivos, generalmente estos álcalis son favorables en el proceso fabricación de cemento ya que estos ayudan a fusión esta adición es muy favorable para controlar este fenómeno, y a la formación de silicatos, pero estos son destructivos en el cemento por esto, la adición es muy favorable al cemento, como al hormigón.

V.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones para el uso de este tipo de adición se detallan a continuación:

- Para que el hormigón alcance una mayor resistencia se recomienda el reemplazo del cemento Pórtland puro por un 15% de “ceniza de cascarilla de arroz”.
- Para garantizar el contenido de sílice, en la ceniza se recomienda que se realicen los ensayos químicos detallados en el Anexo 1.
- Para el estudio de este tipo de ceniza se recomienda usar equipo preventivo ya que este tipo de ceniza contiene gran contenido de sílice, esta sílice contenida en la ceniza de cascarilla o cualquier otro tipo de sílice son cancerígenas. Por tanto se recomienda el uso de equipo de protección personal.
- Aún no se recomienda el uso de este tipo de adición en obras importantes ya que los estudios realizados en este trabajo de investigación, fueron desarrollados a cortos plazo. Se trabajaron con tiempos de evolución de 7, 14, y 28 días, a pesar de que la prueba en autoclave acelera los ataques químicos y físicos, y estos dieron buenos resultados, este tipo de adición aun no se aconseja ya que se tiene que evaluar su comportamiento a largo plazo.
- Para una posterior utilización de la ceniza de cascarilla de arroz en cualquier tipo de obra se recomienda realizar estudios a largo plazo, para determinar su comportamiento.