



PONTIFICIA **UNIVERSIDAD CATÓLICA** DEL PERÚ

Esta obra ha sido publicada bajo la licencia Creative Commons
Reconocimiento-No comercial-Compartir bajo la misma licencia 2.5 Perú.

Para ver una copia de dicha licencia, visite
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE MATERIALES DE DESECHO DE PROCESOS MINEROS EN APLICACIONES PRÁCTICAS CON PRODUCTOS CEMENTICIOS

Tesis para optar el Título de Ing. Civil, que presenta el bachiller:

Gerson Alfredo Anicama Acosta

ASESOR: Enrique Pasquel Carbajal

Lima, Junio del 2010

RESUMEN DE TESIS

ESTUDIO EXPERIMENTAL DEL EMPLEO DE MATERIALES DE DESECHO DE PROCESOS MINEROS EN APLICACIONES PRÁCTICAS CON PRODUCTOS CEMENTICIOS

En el actual contexto “ecológico” de la minería moderna, uno de los principales problemas que tiene la industria es la adecuada disposición y almacenaje de los subproductos del procesamiento de los minerales, comúnmente denominados “relaves”. A diferencia de las escorias que son un subproducto de la fundición de la mena para purificar los metales, los relaves mineros no son tan utilizados y se desconocen sus posibles aplicaciones.

El impacto en costos tanto económicos como sociales del manejo de estos materiales, cobra tal importancia que cualquier alternativa que permita reciclar o reutilizar el relave minero sin afectar al medio ambiente reduciría la contaminación, incrementaría el tiempo de servicio de los depósitos de relave y generaría menores costos; siendo de gran interés para las operaciones mineras en general.

Una de las alternativas para realizar este reciclaje del relave, consiste en incorporarlo en la construcción de estructuras que resistan los efectos ambientales e intemperismo, como por ejemplo losas, muros de contención, cimientos, presas, etc. siendo el material ideal para este propósito el concreto.

Tomando en cuenta lo anterior, el presente estudio propone incorporar relave minero en mezclas de concreto, con objetivos específicos de reciclar relave minero y encontrarle usos sostenibles en las poblaciones cercanas a las operaciones mineras. La incorporación de relave puede hacerse como relleno volumétrico o como adicionado puzolánico.

Los ensayos realizados en el presente estudio contemplan ensayos a los materiales involucrados (agregados, cemento, relaves), ensayos al concreto en estado fresco y ensayos al concreto en estado endurecido. Siendo los principales y más importantes los ensayos de resistencia a la compresión (ASTM C39 C39M), tracción por compresión diametral (ASTM C496 C496M) y abrasión (ASTM C944 C44M).

Nuestra investigación nos lleva a descartar el uso del relave minero como relleno volumétrico, debido a que siendo éste material tan fino (M.F. alrededor de 0.60) tendríamos que usar mayor

cantidad de aditivo para conseguir una mezcla trabajable, además dicho material también presenta mucha cantidad de sulfatos en su composición (alrededor de 1000 ppm.) que podrían degenerar en problemas potenciales de durabilidad para el concreto. Se podría concebir usar relave minero en cantidades grandes para aplicaciones temporales, por ejemplo en sostenimiento temporal de túneles como shotcrete.

La metodología para el uso del relave como adicionado puzolánico consistió en preparar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por relave (se han propuesto reemplazos del orden del 10%, 15% y para algunos casos reemplazos de 20% y 25%). Se evaluó la resistencia a compresión a 3, 7 y 28 días; y para los ensayos de tracción por compresión diametral y abrasión se evaluaron sólo a 28 días de edad.

En base a los resultados obtenidos se propone usar concretos con relave incorporado para construir losas con poco tránsito y veredas. Se propone también investigar la aplicabilidad de los relaves mineros como morteros para asentado de muros de albañilería, bloques de concreto vibrado, cimientos corridos, falsas zapatas, shotcrete y presas de concreto rolado; para intentar así tener un abanico más amplio de aplicaciones de estos materiales.

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1	Introducción.	1
1.2	Objetivos de estudio	6
1.3	Plan de trabajo	7

CAPÍTULO 2: MATERIALES E INSUMOS INVOLURADOS

2.1	Introducción.	10
2.2	Definiciones.	10
2.3	Características de los materiales involucrados.	11

CAPÍTULO 3: DISEÑOS DE MEZCLA.

3.1	Introducción.	32
3.2	Diseños de mezcla.	32

CAPÍTULO 4: EJECUCIÓN DE ENSAYOS

4.1	Introducción.	40
4.2	Ensayos en concreto fresco.	40
4.3	Ensayos en concreto endurecido.	41

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1	Resultados físicos de los relaves.	48
5.2	Resultados en concreto fresco.	48
5.3	Resultados en concreto endurecido.	51

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1	Conclusiones.	53
6.2	Recomendaciones.	56

BIBLIOGRAFÍA	58
---------------------	-----------

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN.

La minería es una industria que traslada muchos recursos económicos a zonas rurales alejadas, para construir carreteras, viviendas, instalaciones eléctricas, redes de agua y desagüe, postas de salud, etc. La realización de esta gran cantidad de obras genera empleo para los pobladores del lugar, y beneficios directos e indirectos para las comunidades cercanas a las minas y también para los pobladores de la región y el país.

La minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa el 59.2% del valor total de nuestras exportaciones haciendo un total de 18657 millones de dólares al año¹ (véanse figuras 1 y 2). En los últimos 10 años, el sector, ha incrementado sus exportaciones llegando en algunos casos hasta el 62%.

La minería representa también un 4.78% del PBI de nuestro país¹ y a lo largo de los últimos 10 años ha permanecido en un promedio de 5.42% (véanse figuras 3 y 4).

¹ Fuente Banco Central de reserva del Perú (año 2008)



Figura 1

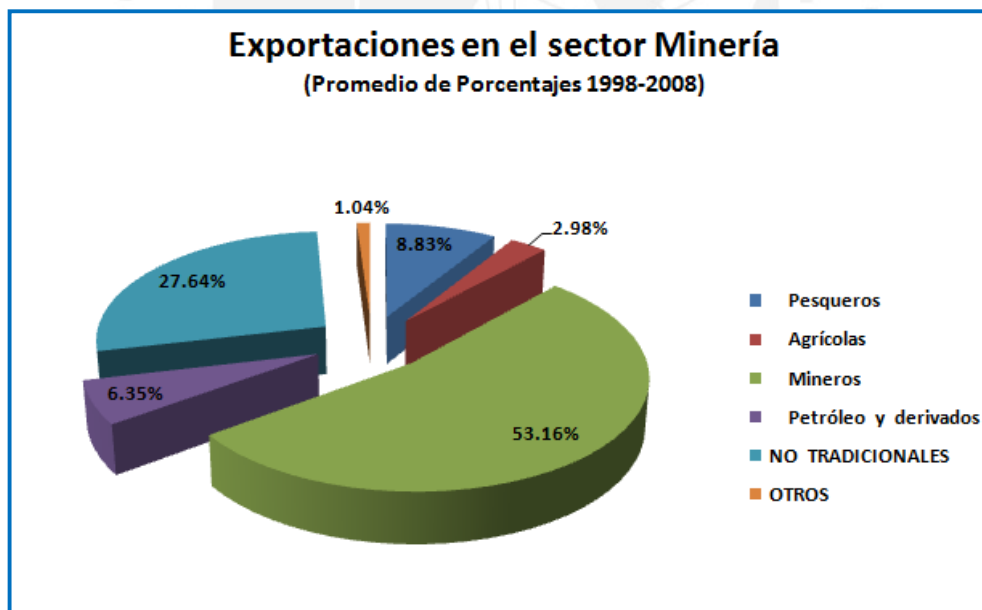


Figura 2

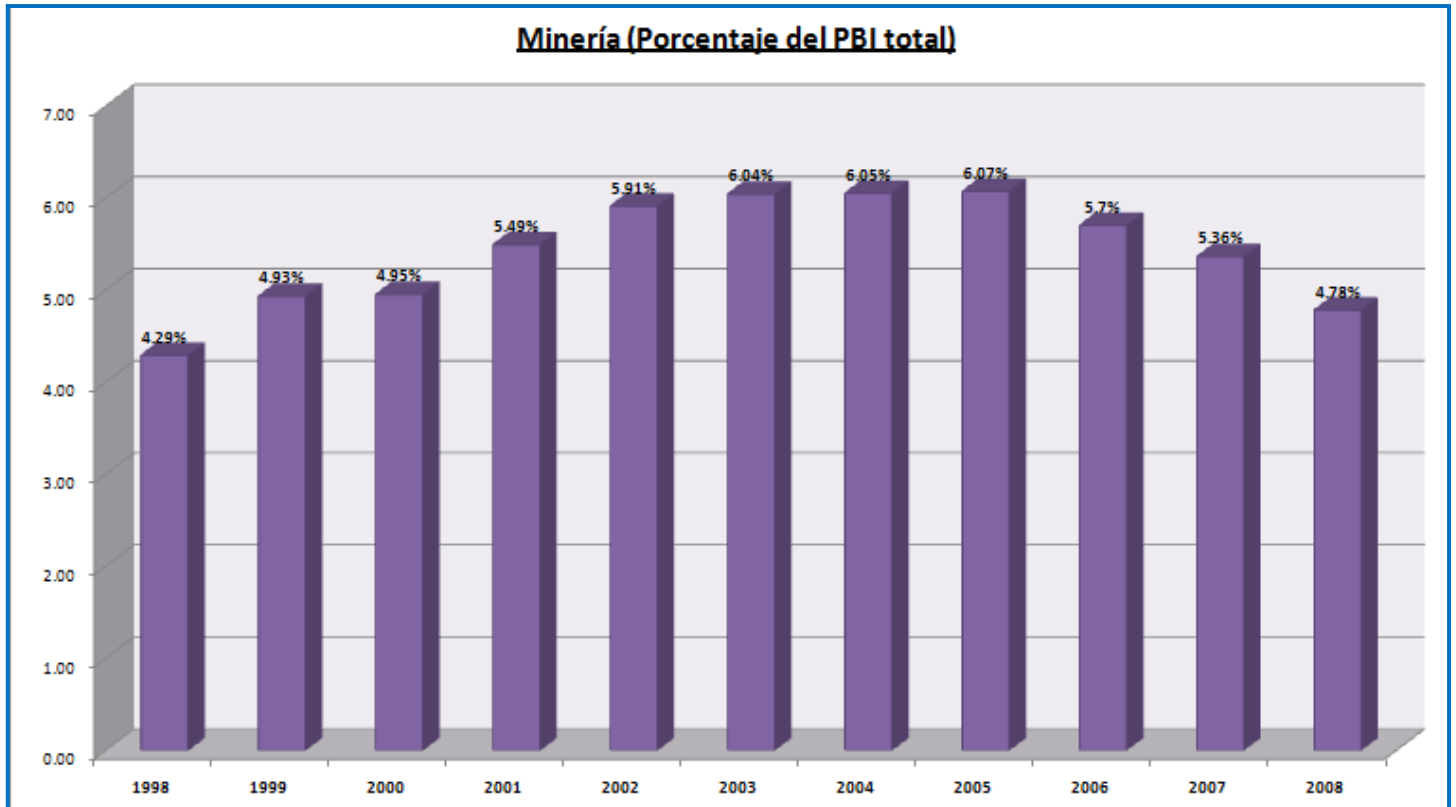


Figura 3

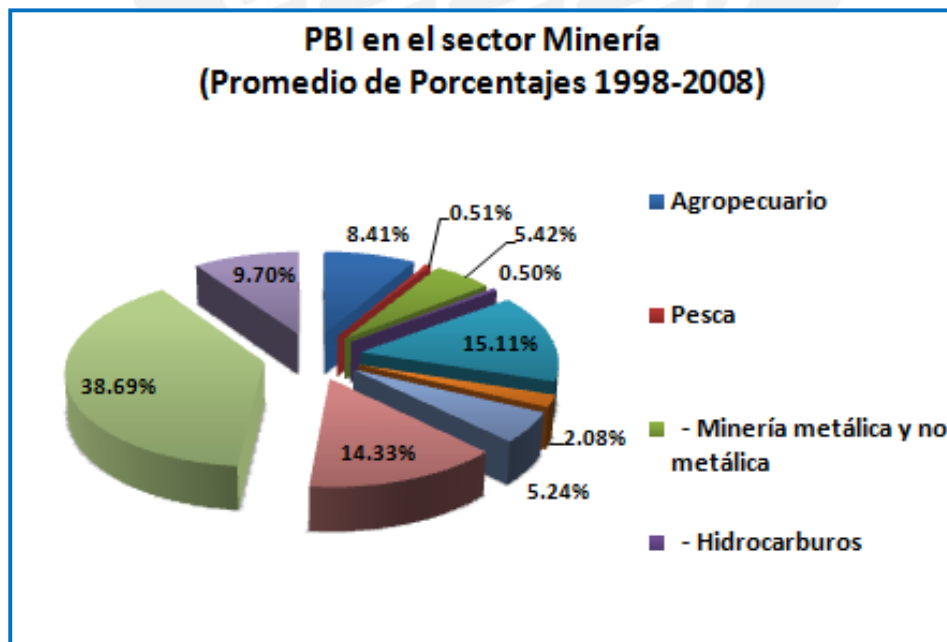


Figura 4

Viendo el impacto económico que tiene el sector minero en nuestra sociedad, apostar por tecnologías nuevas y limpias que reduzcan posibles consecuencias negativas en el medio ambiente nos favorece a todos.

Con respecto a los relaves mineros, éstos son variados y sus características dependen del mineral específico que se extrae. Los relaves son los residuos resultantes del proceso de recuperación selectivo de ciertos minerales. Una vez que las rocas con contenido mineral han sido chancadas y molidas, éstas pasan a través de un conjunto de procesos físicos y químicos conocidos como concentración o beneficio para recuperar dichos elementos minerales útiles para la industria y el hombre. Una vez finalizado el mismo, se obtiene el componente con valor que es el concentrado y por otro lado lo que queda es el relave o desecho.

El relave está compuesto por material sólido de tamaño muy pequeño, incluso menor al de la arena, y agua formando un compuesto similar al lodo. Tiene características especiales dependiendo del tipo de mineral que involucre su proceso productivo. Estas características serán las que indiquen el método mediante el cual se deben tratar y su posterior almacenamiento. Como el relave es un material que ha pasado por procesos químicos y tienen contenido de agua, es importante que sea sometido a un tratamiento especial que permita recuperar su contenido de agua, la cual por lo general es reutilizada para el proceso productivo de la operación minera.

Luego del procesamiento adecuado que reduce el contenido de agua y estabiliza el contenido químico existente en la mezcla, el relave es depositado en lo que se conoce como canchas de relave, las cuales tienen en su fondo capas compactadas de material de

permeabilidad muy baja y capas de geomembrana, con la finalidad de evitar el contacto de los relaves con el suelo o el agua.

Cabe señalar que los relaves reciben un tratamiento continuo para que, una vez que la mina finaliza sus operaciones, puedan reposar en la zona donde fueron ubicados sin alterar el ambiente, siendo incluso re vegetados (todo este procedimiento se encuentra detallado en el plan de cierre de cada mina (Ver anexo 7). Un caso especial se da en las minas subterráneas (de socavón), en las cuales los relaves pueden eventualmente ser usados como relleno para cubrir los túneles abiertos para acceder al mineral, al mismo tiempo de garantizar la estabilidad de la estructura de la roca.

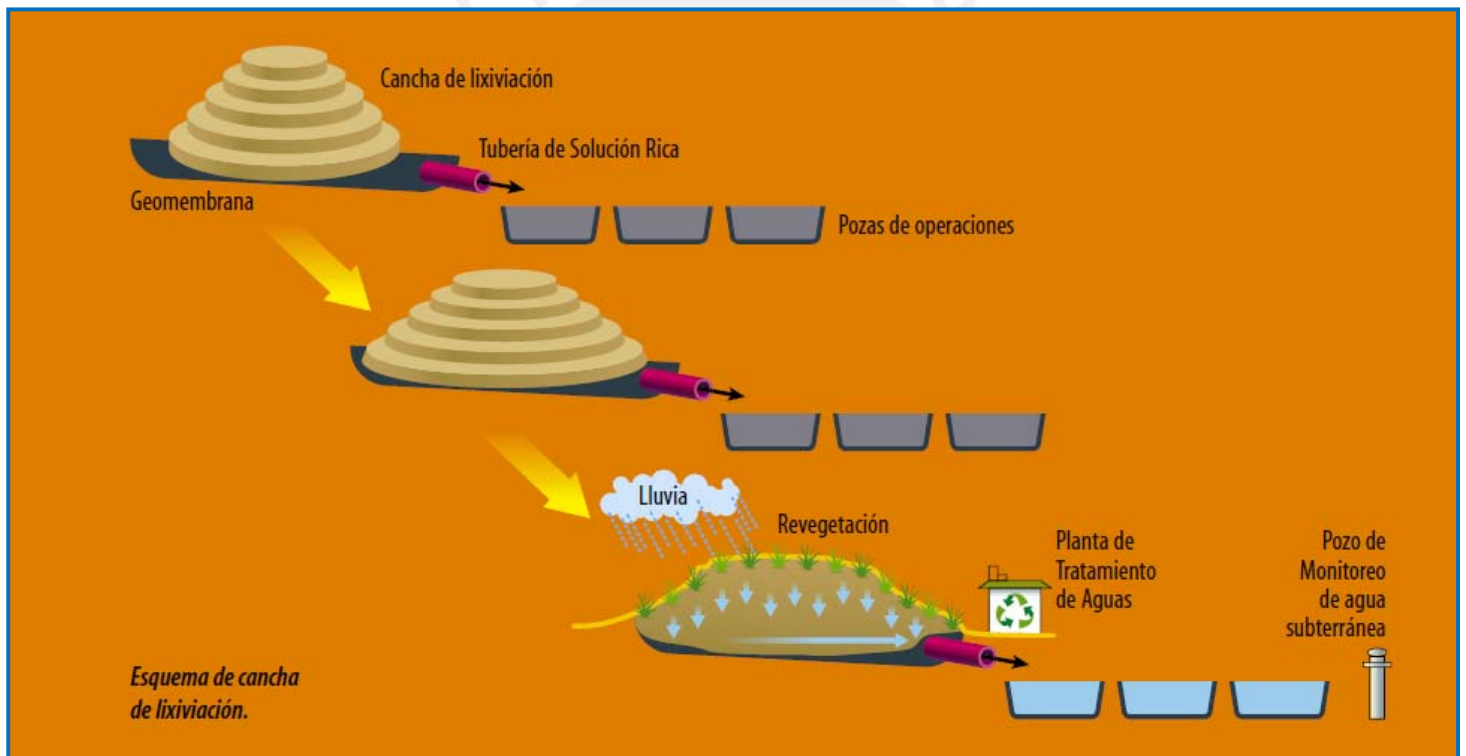


Figura 4a: Esquema de una cancha de lixiviación



Figura 5: Depósito de Relaves

Debido a que la industria minera genera gran cantidad de relaves, y necesita mucho espacio para su disposición y almacenaje, sería de mucha utilidad encontrar una tecnología que recicle o reutilice el relave minero sin afectar con su uso al medio ambiente, así podría generar menos contaminación, mayor tiempo de vida útil a las presas y depósitos de relave; y menores costos en las operaciones mineras en general. Partimos de lo anterior y proponemos el uso controlado de relaves como adición mineral para que formen parte de una mezcla de concreto.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Dentro de un grupo de 3 muestras de relave minero, verificar a través de ensayos experimentales la factibilidad del uso de los mismos en concreto.

- Proponer aplicaciones prácticas para el concreto encontrado; que puedan usarse en poblaciones cercanas a las operaciones mineras.

1.3. PLAN DE TRABAJO

La metodología involucrada para el desarrollo de la investigación consistió en realizar mezclas de concreto con diferentes porcentajes de reemplazo de cemento por relave y comparar luego los resultados obtenidos con los de un concreto patrón. Mediante dicha comparación se determinó el rendimiento de cada tipo de relave y se escogió el que tuvo el mejor comportamiento. Cabe resaltar que se descartó el uso de relave como relleno volumétrico debido a ser muy fino (consumiría más cantidad de aditivo para presentar mezclas trabajables) y contener muchos sulfatos; lo cual es perjudicial para el concreto.

Para cumplir con los objetivos del presente trabajo de investigación, se establecieron los siguientes puntos principales:

❖ Requerimientos mínimos del concreto y aplicación propuesta

Parámetro	Valor especificado
Aplicación	Losas con tránsito liviano
f'c(Kg/cm ²)	Mínimo 175
Piedra	Huso 57
T.M.N. piedra (pulg)	1
Slump (pulg)	3-5
Sin aire incorporado	OK

Tabla 1

❖ **Ensayos involucrados:**

Los ensayos involucrados en la investigación se dividieron en 3 grupos, según:

a) **Ensayos de caracterización de materiales.** Dichos ensayos se encuentran normados según:

Granulometría ASTM C136 / NTP 400.012

Azul de Metileno ASTM C837

Cloruros solubles NTP 400.042

Inalterabilidad por medio de Sulfato de Magnesio ASTM C88 / NTP 400.016

Equivalente de arena ASTM D2419 / NTP 339.146

Humedad ASTM C566 / NTP 339.185

Impurezas orgánicas ASTM C40 / NTP 400.013

Malla 200 ASTM C117 / NTP 400.018

Partículas Ligeras ASTM C123 / NTP 400.023

Peso Específico y Absorción ASTM C127 - C128 / NTP 400.021 - 400.022

Peso Unitario ASTM C29 / NTP 400.017

Sales solubles totales ASTM C114 / NTP 400.042

Sulfatos solubles NTP 400.042

b) **Ensayos en concreto fresco.** Estos ensayos se encuentran normados según:

Slump ASTM C143

Contenido de Aire ASTM C231

Temperatura ASTM C1064

Peso Unitario ASTM C138

c) **Ensayos en concreto endurecido.** Estos ensayos se encuentran normados según:

Abrasión en concreto ASTM C944

Resistencia a la compresión ASTM C39

Tracción por compresión Diametral ASTM C496

❖ **Diseños de mezcla involucrados:**

DISEÑO DE MEZCLA	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
A	GA-PAF	Diseño Patrón (No usa relave en su composición)
B	GA-MWH	Diseño de mezcla que usa relave MWH
C	GA-ANDAY	Diseño de mezcla que usa relave de Andaychagua
D	GA-PALLAN	Diseño de mezcla que usa relave de Pallancata

Tabla 2

Notas: Las características de los relaves se detalla en el capítulo 2 de Materiales.

La nomenclatura de los diseños de detalla en el Anexo 1.

Cabe señalar que los diseños anteriores presentan variantes en función al porcentaje de reemplazo de cemento por relave. Para dichos diseños se escogieron porcentajes de reemplazo del orden del 10%, 15%, 20% y 25% (Ver anexo 3: diseños de mezcla).

CAPÍTULO 2

MATERIALES E INSUMOS INVOLUCRADOS

2.1 Introducción

El concreto es un material constituido por la mezcla en ciertas proporciones de cemento, agua, agregados y aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes; lo que lo hace un material ideal para la construcción.

En este capítulo se presentan las características de los insumos involucrados en las mezclas de concreto realizadas.

2.2 Definiciones

Cemento Portland Tipo I: Cemento hidráulico producido por la pulverización del clinker que consiste esencialmente de silicato cálcico hidráulico, que contiene usualmente una o más de las formas de sulfato cálcico como adición. Para uso cuando las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo no son requeridas.

Concreto convencional: Para nuestra investigación definimos como un concreto convencional a aquel que tiene un slump de aproximadamente 4", $f'c=210\text{Kg/cm}^2$, usa piedra de TMN 1" y presenta buena consistencia y trabajabilidad. Con estas características podría bombearse por tuberías sin problemas.

Agua: Compuesto inorgánico proveniente de fuentes naturales o tratadas que reacciona químicamente con el material cementante durante la preparación del concreto. Deberá ser clara y aparentemente limpia.

Agregado Fino: Es el agregado proveniente de la desagregación natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5 mm. (3/8”).

Agregado Grueso: Es el agregado o mezcla retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm. (N°4) proveniente de la desagregación natural o artificial de la roca.

Aditivos: Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

Relave: Son los residuos resultantes del proceso de recuperación selectivo de ciertos minerales. El relave está compuesto por material sólido de tamaño muy pequeño, incluso menor al de la arena, y agua formando un compuesto similar al lodo.

2.3 Características de los materiales involucrados.

2.3.1 Agregados

Los agregados provinieron de la cantera de Jicamarca. La aceptación de dichos materiales se evaluó según lo contemplado en las normas NTP 400.037 y ASTM C33-07.

2.3.1.1 Agregado Fino

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 3 y Figura 6) y las características físicas y químicas (Tabla 4).

GRANULOMETRÍA ARENA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMUL.	PORCENTAJE PASANTE ACUMUL.
3/8"		0.0	0.0	100.0
# 4	18.5	2.7	2.7	97.3
# 8	103.1	15.3	18.0	82.0
# 16	122.1	18.1	36.1	63.9
#30	134.9	20.0	56.0	44.0
#50	120.7	17.9	73.9	26.1
#100	87.5	12.9	86.8	13.2
fondo	88.9	13.2	100.0	0.0
TOTAL	675.7	100.0	MODULO FINEZA	2.74

Tabla 3

Nota: Según lo recomendado por las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, en lo que concierne al análisis granulométrico para agregados finos; se establece un rango o huso (Ver Anexo 4) que se presenta gráficamente en la curva granulométrica (Ver figura 6) como límites para agregado fino.

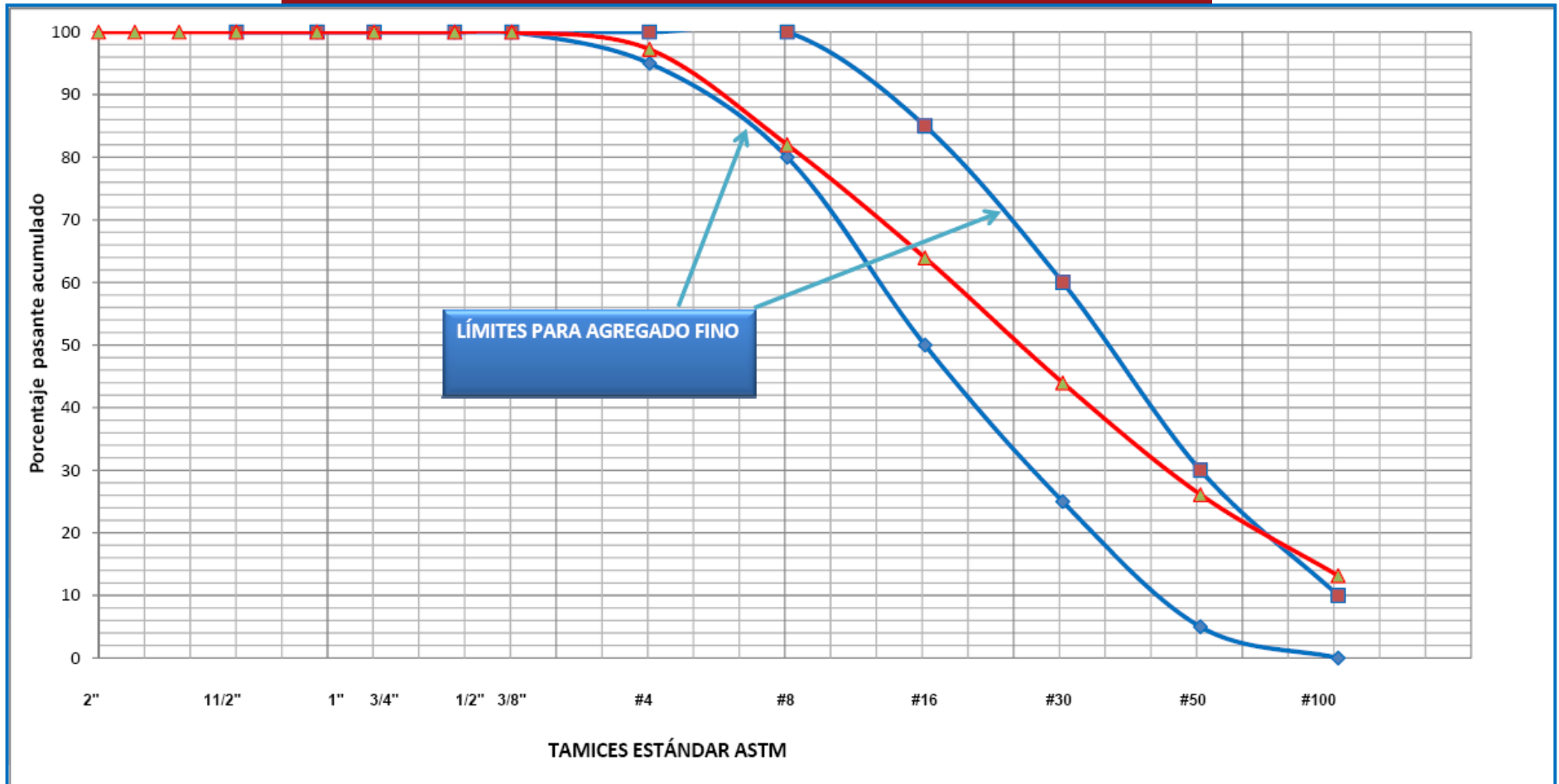


Figura 6: Curva Granulométrica del agregado fino

	VALOR	ESPECIFICACIONES (NTP 400.037/ASTM C33-07)	OBSERVACIÓN
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS ARENA			
MODULO DE FINEZA	2.74	2.3 – 3.1	OK
PESO ESPECIFICO SECO	2.711	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SSS	2.736	N.A.	N.A.
% ABSORCION	0.93	N.A.	N.A.
PASANTE DE MALLA # 200(%)	4.04	5 (máx)	OK
EQUIVALENTE DE ARENA(%)	68.1	65 (mín)	OK
PARTÍCULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA(%)	0.1	3 (máx)	OK
PARTÍCULAS LIGERAS(%)	0.02	1 (máx)	OK
INALTERABILIDAD por medio de sulfato de magnesio(%)	2.34	15 (máx)	OK
PESO UNITARIO SUELTO(kg/m3)	1531	N.A.	N.A.
PESO UNITARIO COMPAC(kg/m3)	1759	N.A.	N.A.
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS ARENA			
SALES SOLUB. TOTALES (ppm)	169.7	1300 (máx)	OK
SULFATOS SOLUBLES (ppm)	126	1000 (máx)	OK
CLORUROS SOLUBLES (ppm)	12.6	600 (máx)	OK
IMPUREZAS ORGÁNICAS	NO CONTIENE	NO DEBE CONTENER	OK

Tabla 4

De lo expuesto anteriormente se puede apreciar que el agregado fino satisfizo los requerimientos contemplados en las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, con lo cual se aprobó su uso en nuestras mezclas de concreto.

2.3.1.2 Agregado Grueso.

Se trabajó con piedra Huso 57, que resultó de la mezcla de los agregados gruesos en proporciones definidas (50% de Piedra Huso 5 y 50% de Piedra Huso 67). Los husos están definidos en las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07 (Ver anexo 4).

A continuación se detallan las características de los agregados gruesos usados.

I. Piedra Huso 5

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 5 y Figura 7) y las características físicas y químicas (Tabla 6).

GRANULOMETRÍA PIEDRA H5				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMUL.	PORCENTAJE PASANTE ACUMUL.
1 1/2"		0.0	0.0	100.0
1"	284.6	2.2	2.2	97.8
3/4"	8552.9	64.8	67.0	33.0
1/2"	4228.4	32.0	99.0	1.0
3/8"	99.0	0.8	99.8	0.2
fondo	29.8	0.2	100.0	0.0
TOTAL	13194.7	100.0	MODULO FINEZA	7.67

Tabla 5

Nota: Según lo recomendado por las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, en lo que concierne al análisis granulométrico para agregados gruesos; se establecen rangos o husos (Ver Anexo 4). En nuestro caso; dicho huso se presenta gráficamente en la curva granulométrica (Ver figura 7) como límites para el agregado grueso Huso 5.

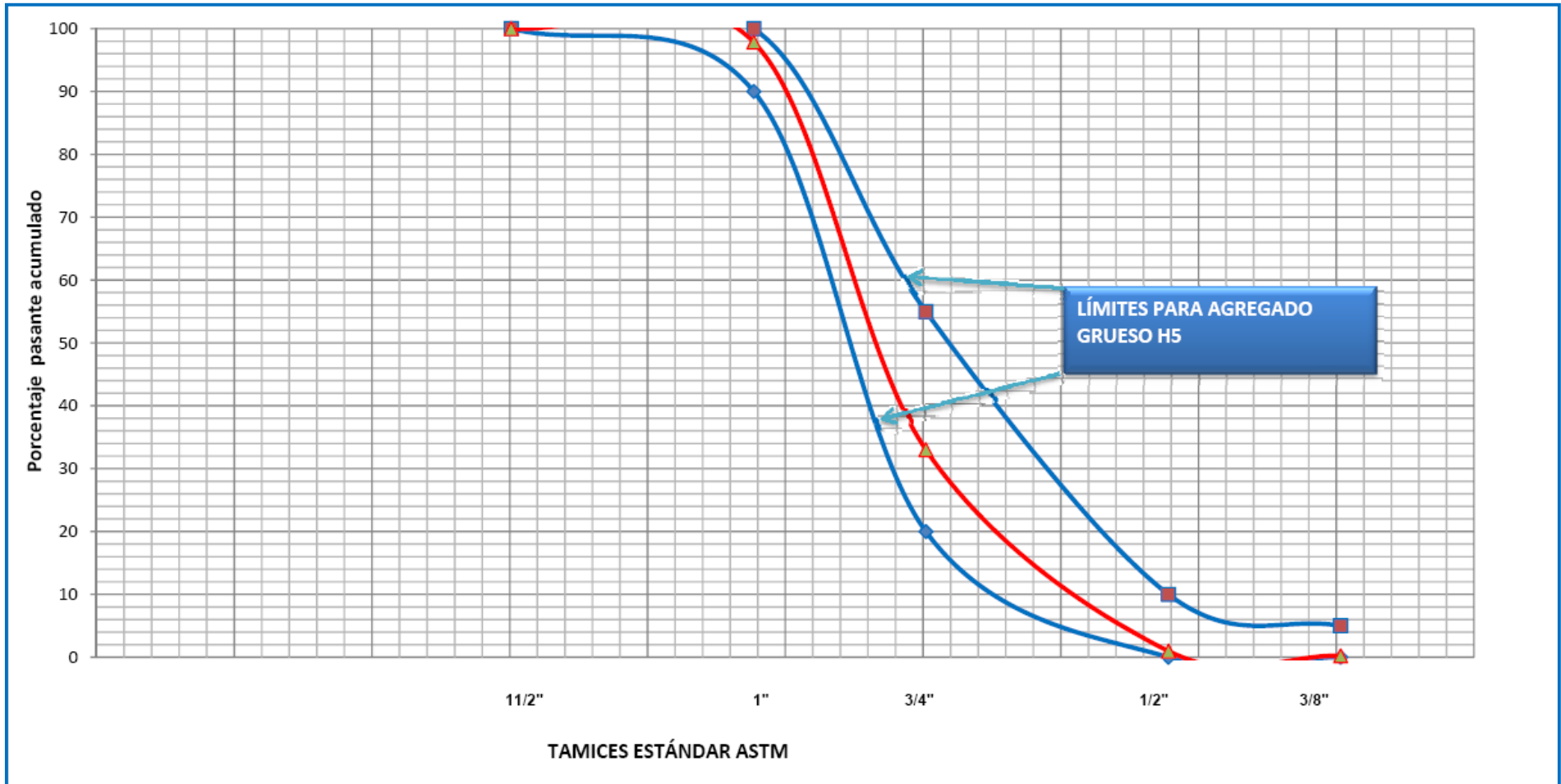


Figura 7: Curva granulométrica del Agregado Grueso H5

	VALOR	ESPECIFICACIONES (NTP 400.037/ASTM C33-07)	OBSERVACIÓN
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PIEDRA H5			
MODULO DE FINEZA	7.67	N.A.	N.A.
TAMAÑO MÁXIMO	1 ½"	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SECO	2.710	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SSS	2.730	N.A.	N.A.
% ABSORCION	0.76	N.A.	N.A.
PASANTE DE MALLA # 200(%)	0.28	1 (máx)	OK
% ABRASIÓN Los Angeles	15.11	50 (máx)	OK
PARTÍCULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA(%)	0.2	5 (máx)	OK
PARTÍCULAS LIGERAS(%)	0.001	1 (máx)	OK
INALTERABILIDAD por medio de sulfato de magnesio(%)	0.28	18 (máx)	OK
PESO UNITARIO SUELTO(kg/m3)	1486	N.A.	N.A.
PESO UNITARIO COMPAC(kg/m3)	1576	N.A.	N.A.
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PIEDRA H5			
SALES SOLUB. TOTALES (ppm)	137.8	1300 (máx)	OK
SULFATOS SOLUBLES (ppm)	39.4	1000 (máx)	OK
CLORUROS SOLUBLES (ppm)	14.7	600 (máx)	OK
IMPUREZAS ORGÁNICAS	NO CONTIENE	NO DEBE CONTENER	OK
PARTICULAS CHATAS(%)	1.05	15 (máx)	OK
PARTICULAS ALARGADAS(%)	0.02	15 (máx)	OK

Tabla 6

De lo expuesto anteriormente se puede apreciar que el agregado grueso Huso 5 satisfizo los requerimientos contemplados en las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, con lo cual se aprobó su uso en nuestras mezclas de concreto.

II. Piedra Huso 67

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 7 y Figura 8) y las características físicas y químicas (Tabla 8).

GRANULOMETRÍA PIEDRA H67				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	PORCENTAJE RETENIDO	PORCENTAJE RETENIDO ACUMUL.	PORCENTAJE PASANTE ACUMUL.
1 1/2"		0.0	0.0	100.0
1"		0.0	0.0	100.0
3/4"	248.8	1.9	1.9	98.1
1/2"	5268.2	40.0	41.9	58.1
3/8"	3025.8	23.0	64.8	35.2
# 4	4276.1	32.5	97.3	2.7
# 8	276.9	2.1	99.4	0.6
fondo	79.5	0.6	100.0	0.0
TOTAL	13175.3	100.0	MODULO FINEZA	6.63

Tabla 7

Nota: Según lo recomendado por las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, en lo que concierne al análisis granulométrico para agregados gruesos; se establecen rangos o husos (Ver Anexo 4). En nuestro caso dicho huso se presenta gráficamente en la curva granulométrica (Ver figura 8) como límites para el agregado grueso Huso 67.

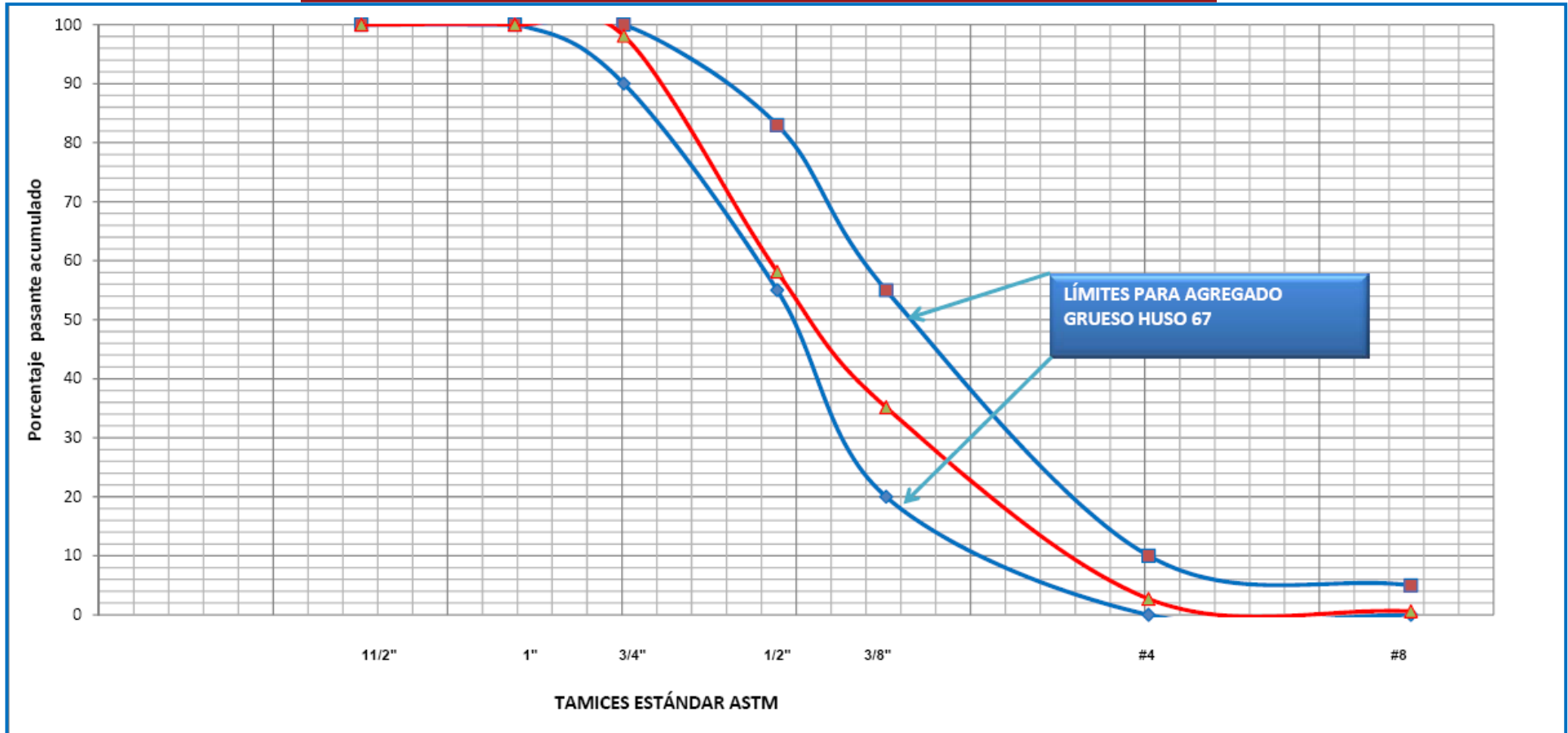


Figura 8: Curva granulométrica del Agregado Grueso H67

	VALOR	ESPECIFICACIONES (NTP 400.037/ASTM C33-07)	OBSERVACIÓN
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS PIEDRA H67			
MODULO DE FINEZA	6.63	N.A.	N.A.
TAMAÑO MÁXIMO	1"	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SECO	2.716	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SSS	2.740	N.A.	N.A.
% ABSORCION	0.89	N.A.	N.A.
PASANTE DE MALLA # 200(%)	0.56	1 (máx)	OK
% ABRASIÓN Los Angeles	18.0	50 (máx)	OK
PARTÍCULAS FRIABLES Y TERRONES DE ARCILLA(%)	0.2	5 (máx)	OK
PARTÍCULAS LIGERAS(%)	0.002	1 (máx)	OK
INALTERABILIDAD por medio de sulfato de magnesio(%)	0.54	18 (máx)	OK
PESO UNITARIO SUELTO(kg/m3)	1512	N.A.	N.A.
PESO UNITARIO COMPAC(kg/m3)	1601	N.A.	N.A.
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS PIEDRA H67			
SALES SOLUB. TOTALES (ppm)	259.8	1300 (máx)	OK
SULFATOS SOLUBLES (ppm)	95.4	1000 (máx)	OK
CLORUROS SOLUBLES (ppm)	28.0	600 (máx)	OK
IMPUREZAS ORGÁNICAS	NO CONTIENE	NO DEBE CONTENER	OK
PARTICULAS CHATAS(%)	2.1	15 (máx)	OK
PARTICULAS ALARGADAS(%)	1.4	15 (máx)	OK

Tabla 8

De lo expuesto anteriormente se puede apreciar que el agregado grueso Huso 67 satisfizo los requerimientos contemplados en las normas NTP 400.037 2002 y ASTM C33-07, con lo cual se aprobó su uso en nuestras mezclas de concreto.

III. Piedra Huso 57

Tal como se explicó anteriormente, este agregado resultó de combinar la piedra Huso 5 y la piedra Huso 67 en proporciones definidas de 50% y 50% respectivamente, dicha combinación se resume en la Tabla 9.

AGREGADO GRUESO HUSO 57						
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.	LÍMITES HUSO 57 (NTP 400.037/ ASTM C33-07)	OBSERVACIÓN
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	100.0		
1"	142.3	1.1	1.1	98.9	100	OK
3/4"	4,400.9	33.4	34.5	65.5	95-100	OK
1/2"	4,748.3	36.0	70.5	29.5		
3/8"	1,562.4	11.8	82.3	17.7	25-60	OK
# 4	2,138.1	16.2	98.5	1.5		
# 8	138.5	1.1	99.6	0.4	0-10	OK
fondo	54.7	0.4	100.0	0.0	0-5	OK
TOTAL	13185.0	100.0	M.F.	7.15		

Tabla 9

Nota: Con esta combinación se satisface la norma ASTM C33 para agregados en lo que respecta a su requerimiento para la piedra Huso 57 (Ver anexo 4).

2.3.2 Cemento.

Se usó cemento Portland Tipo I marca Sol, debido a que el concreto especificado no requirió propiedades especiales; ni trabajará en ambientes agresivos.

Con respecto a las características fisicoquímicas del cemento, éstas se detallan en el anexo 5.

2.3.3 Agua.

Se utilizó agua transparente de grifo, sin presencia de partículas suspendidas ni



turbidez.

2.3.4 Aditivo plastificante (Polyheed 770R).

Se utilizó como aditivo el Polyheed 770R, este aditivo es un reductor de agua de rango medio y retardante inicial. Sus características se presentan a continuación:

Aspecto físico: Líquido homogéneo

Color: Marrón

Densidad: 1.12 (gr/cm³)

Dosificación:

Según la recomendación del fabricante dosificamos el POLYHEED 770 R en un rango de 400 mL a 560 mL por cada 100 de cemento (Ver anexo 5), lo cual equivale a dosificar aditivo en peso según tasa de 0.4% del peso del cemento.



Kg.

la

Figura 10

2.3.5 Relaves.

Para nuestro estudio utilizamos 3 muestras de relave de distinta procedencia de nuestro país, según:

RELAVE	CÓDIGO	PROCEDENCIA	PRODUCCIÓN	ABASTECIMIENTO
MWH	MWH	Cajamarca, Minera Cerro Corona	Oro, Cobre	MWH Perú S.A.
Andaychagua	ANDAY	Junín, Compañía Minera Volcan	Plomo, Zinc, Plata	Unión de Concreteras S.A.
Pallancata	PALLAN	Ayacucho, Hochschild Mining	Oro, Plata	Unión de Concreteras S.A.

Tabla 10

2.3.5.1 Ensayos preliminares

Se planteó como punto de partida el ensayo de índice de actividad puzolánica utilizando cemento Portland (NTP 334.066 – 334.055/ASTM C311 – C595), el cual establece una relación entre la resistencia a la compresión de cubos de morteros hechos con puzolana y cemento y la resistencia a la compresión de cubos de mortero hechos con el mismo cemento. Este índice nos indica la capacidad cementicia del material estudiado. Se obtuvieron los siguientes resultados:

ACTIVIDAD PUZOLANICA (Reemplazo de 20 % de Cemento por Relave)

ENSAYO	Relave	RELAVE	RELAVE	LIMITE	METODO DE REFERENCIA
	MWH PERU SA	ANDAYCHAGUA	PALLANCATA	PERMISIBLE	
3 días (%)	65.63	61.61	70.49	-----	ASTM C 618
7 días (%)	74.06	76.99	58.95	min 75	ASTM C 618
28 días (%)	66.30	61.92	75.45	min 75	ASTM C 618
% Agua Requerida	109.75	106.96	84.88	Max. 115	ASTM C 618

Tabla 11

De los resultados obtenidos se observó que los relaves Andaychagua y Pallancata presentaron actividad puzolánica como lo especifica la norma ASTM C618 (Ver Anexo 2).

2.3.5.2 Relave MWH

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 12 y Figura 12) y las características físicas y químicas en la tabla resumen 15.



Figura 11

GRANULOMETRIA RELAVE MWH				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.
# 4	0	0.0	0	100
# 8	0	0.0	0	100
# 16	0.2	0.0	0.0	100.0
#30	8.6	1.5	1.5	98.5
#50	78.2	13.5	15.0	85.0
#100	137.4	23.7	38.7	61.3
fondo	355.7	61.3	100.0	0.0
TOTAL	580.1	100	MODULO FINEZA	0.55

Tabla 12

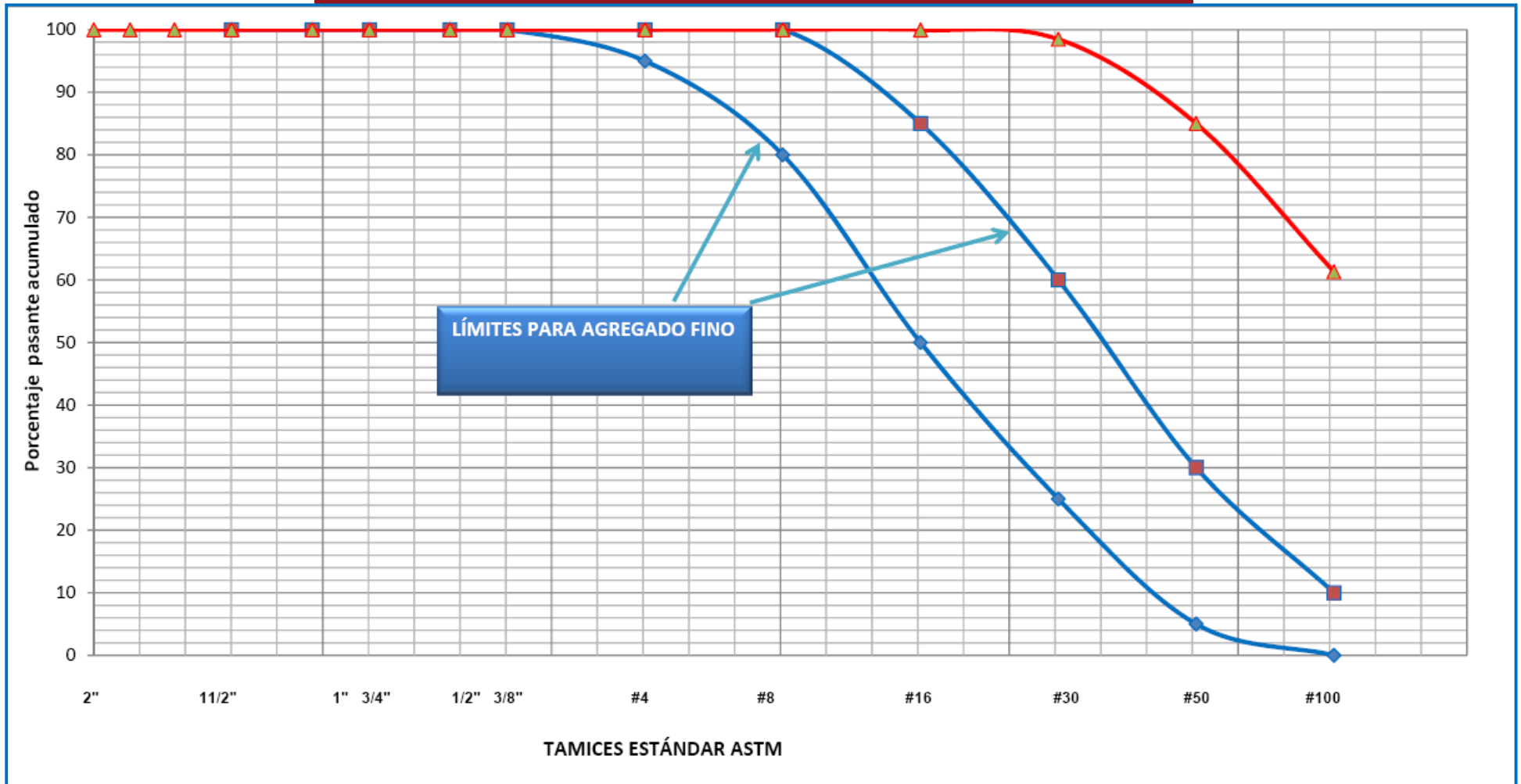


Figura 12: Curva granulométrica del Relave MWH

2.3.5.3 Relave ANDAYCHAGUA

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 13 y Figura 14) y las características físicas y químicas en la tabla resumen 15.

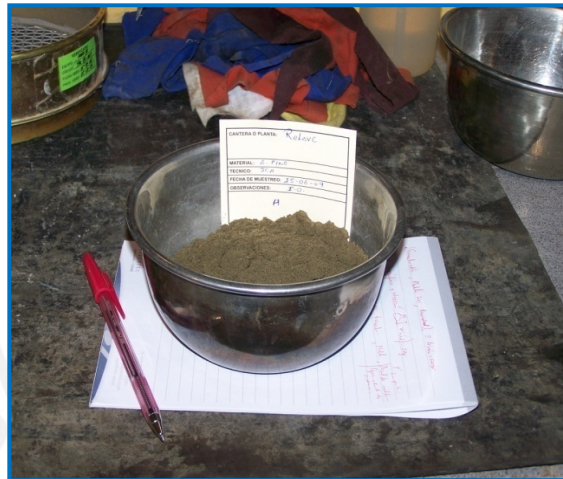


Figura 13

GRANULOMETRIA RELAVE ANDAYCHAGUA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.
# 4	0	0.0	0	100
# 8	0.3	0.0	0.0	100.0
# 16	1.3	0.2	0.2	99.8
#30	8.6	1.2	1.4	98.6
#50	95.3	13.4	14.9	85.1
#100	232.1	32.7	47.5	52.5
fondo	372.8	52.5	100.0	0.0
TOTAL	710.4	100	MODULO FINEZA	0.64

Tabla 13

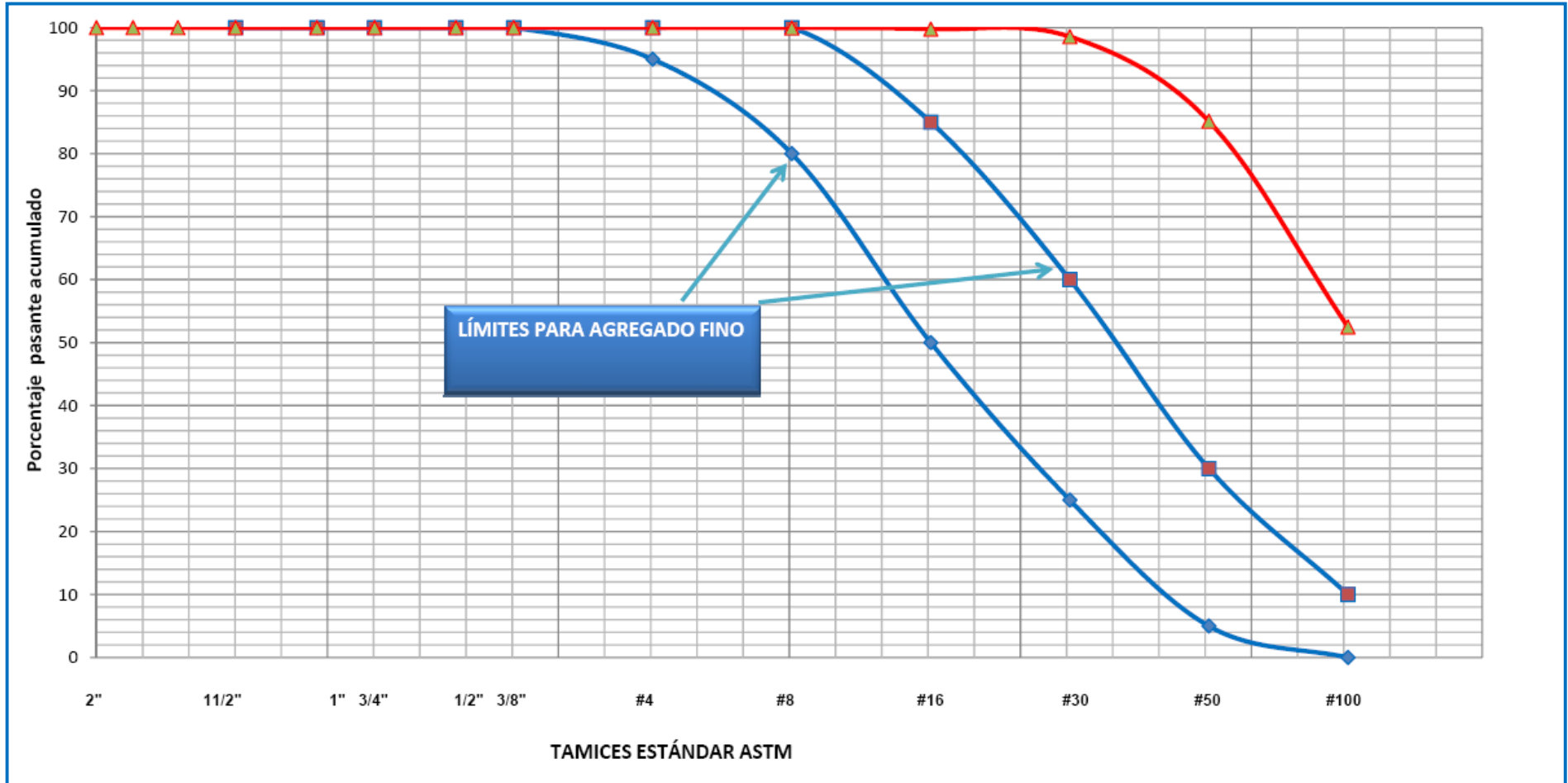


Figura 14: Curva granulométrica del Relave Andaychagua

2.3.5.4 Relave PALLANCATA

Se realizaron los ensayos correspondientes a la caracterización de agregados obteniéndose como resultados la granulometría (Tabla 14 y Figura 16) y las características físicas y químicas en la tabla resumen 15.



Figura 15

GRANULOMETRIA RELAVE PALLANCATA				
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL.	% PASANTE ACUMUL.
# 4	0	0.0	0	100
# 8	0	0.0	0.0	100.0
# 16	1.2	0.2	0.2	99.8
#30	2.8	0.4	0.6	99.4
#50	57.4	8.6	9.2	90.8
#100	290.7	43.4	52.6	47.4
fondo	317	47.4	100.0	0.0
TOTAL	669.1	100	MODULO FINEZA	0.63

Tabla 14

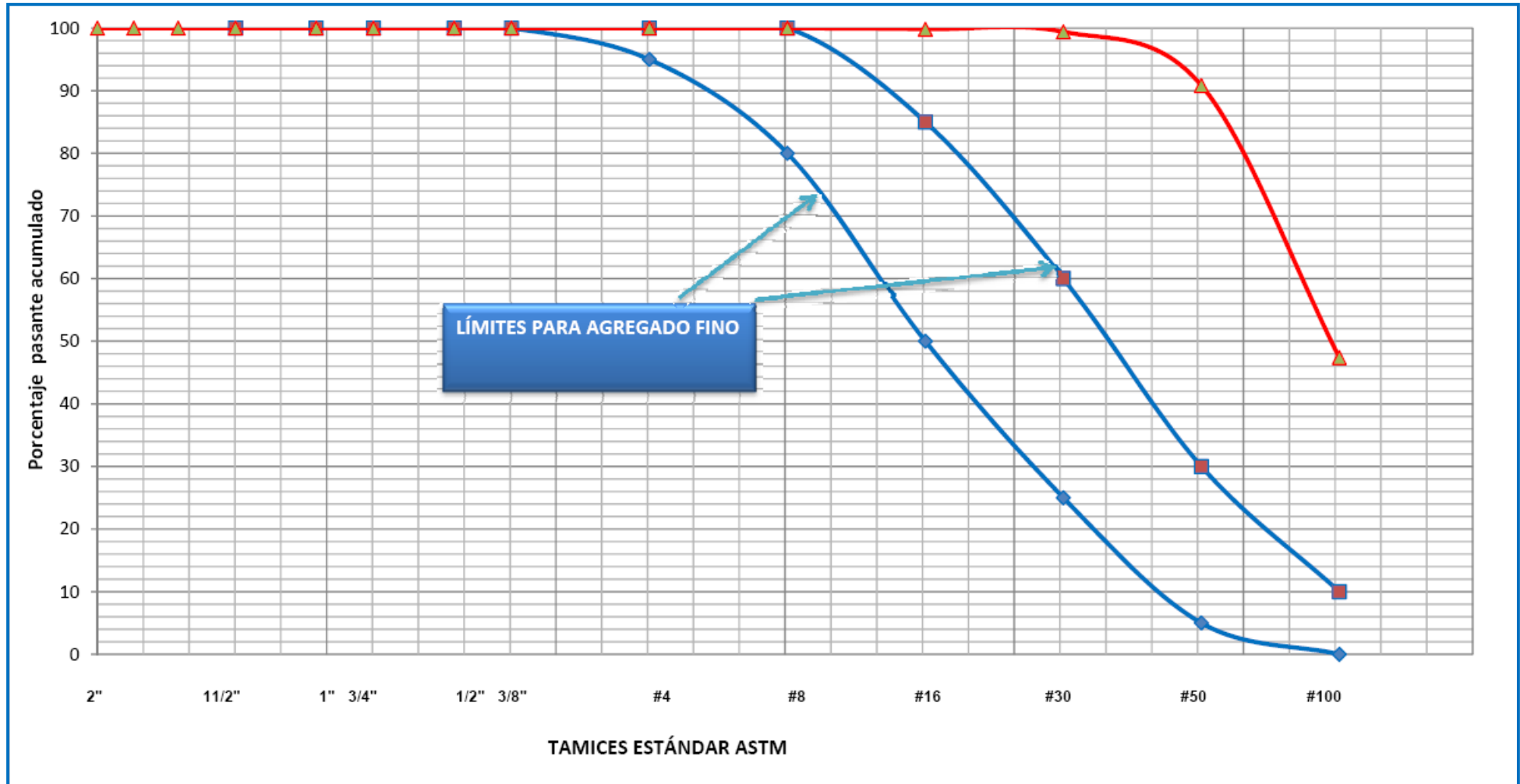


Figura 16: Curva granulométrica del Relave Pallancata

RELAVE	MWH	ANDAYCHAGUA	PALLANCATA
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS			
MODULO DE FINEZA	0.55	0.64	0.63
TAMAÑO MÁXIMO	N.A.	N.A.	N.A.
PESO ESPECIFICO SECO	3.077	3.197	2.521
PESO ESPECIFICO SSS	3.132	3.213	2.533
% ABSORCION	1.81	0.51	0.48
% PASANTE DE MALLA # 200	16.79	12.13	10.67
% EQUIVALENTE DE ARENA	51.22	40.13	----
% PARTÍCULAS LIGERAS	0.69	0.55	----
PESO UNITARIO SUELTO(kg/m3)	1597	1666	1291
PESO UNITARIO COMPAC (kg/m3)	1826	1963	1543
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS			
SALES SOLUB. TOTALES (ppm)	4943.48	1340.65	298.56
SULFATOS SOLUBLES (ppm)	----	1084.46	-----
CLORUROS SOLUBLES (ppm)	158.4	179.40	-----
IMPUREZAS ORGÁNICAS	NO CONTIENE	NO CONTIENE	NO CONTIENE
VALOR AZUL	0.45	0.38	-----

Tabla 15: Tabla resumen de características de los relaves

CAPÍTULO 3

DISEÑOS DE MEZCLA

3.1 Introducción

Uno de los métodos más utilizados para elaborar diseños de mezcla es el contemplado en el ACI 211. Este documento nos da un alcance para comenzar a trabajar y encontrar proporciones aproximadas en el diseño de un concreto nuevo.

Adicionalmente a esto y para poder conseguir un mejor aspecto de nuestro concreto, ya que inicialmente con el método ACI obtuvimos un concreto patrón ligeramente pedregoso, se realizaron mezclas de prueba con diferentes proporciones de Agregado Fino-Agregado Grueso; concluyendo que con 50%-50% se conseguía un buen aspecto del concreto en estado fresco (Ver Anexo 3: Diseños de Mezcla).

3.2 Diseños de mezcla

En base a la experiencia obtenida utilizando el método ACI y realizando las mezclas de prueba, se consiguió un diseño de mezcla patrón que satisfizo nuestros requerimientos inicialmente planteados.

Obtenido el diseño patrón, se pudieron obtener a partir de él los demás diseños de mezcla usando proporciones de reemplazo de cemento por relave (Ver Anexo 3: Diseños de Mezcla).

Nota: Todas nuestras mezclas de concreto fueron tandas de 70 litros.

3.3 Mezclas de concreto

El proceso de investigación se dividió 2 etapas.

3.3.1 PRIMERA ETAPA DE MEZCLAS

Según nuestro plan de trabajo, se realizaron mezclas de concreto para el diseño patrón y para los concretos con reemplazos de 10% y 15% de cemento por relave.

Los diseños resumidos se presentan a continuación:

3.3.1.1 DISEÑO PATRÓN

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			174.0
Cemento	252.7	0.0807			252.7
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	485.9	0.1793	3.7	1.1	487
Piedra H67	485.9	0.1789	4.3	0.9	486.8
Arena	971.1	0.3582	9	28	999.1
Total	2383.6	1.0	17.0	30.0	2400.6

Tabla 16

3.3.1.2 DISEÑO MWH

❖ Diseño GA-MWH (10%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			175.3
Cemento	227.4	0.0727			227.4
Relave MWH	25.3	0.0082	0.5	1.3	26.6
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	485.75	0.1792	3.7	0.4	486.15
Piedra H67	485.75	0.1788	4.3	1.7	487.45
Arena	970.8	0.3581	9	25.8	996.6
Total	2383.0	1.0	17.5	29.2	2400.5

Tabla 17

❖ Diseño GA-MWH (15%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			172.2
Cemento	214.8	0.0686			214.8
Relave MWH	37.9	0.0123	0.7	2.2	40.1
Aditivo	1	0.0009			1

Aire		0.0150			
Piedra H5	485.75	0.1792	3.7	0.5	486.25
Piedra H67	485.75	0.1788	4.3	1.2	486.95
Arena	970.8	0.3581	9	28.6	999.4
Total	2383.0	1.0	17.7	32.5	2400.7

Tabla 18

3.3.1.3 DISEÑO ANDAYCHAGUA

❖ Diseño GA-ANDAY (10%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			162.1
Cemento	227.4	0.0727			227.4
Relave ANDAYCHAGUA	25.3	0.0079	0.1	2.8	28.1
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	485.95	0.1793	3.7	1.3	487.25
Piedra H67	485.95	0.1789	4.3	3	488.95
Arena	971.2	0.3583	9	34.9	1006.1
Total	2383.8	1.0	17.1	42.0	2400.9

Tabla 19

❖ Diseño GA-ANDAY (15%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			139.2
Cemento	214.8	0.0686			214.8
Relave ANDAYCHAGUA	37.9	0.0119	0.2	3.6	41.5
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	486.05	0.1794	3.7	1.7	487.75
Piedra H67	486.05	0.1790	4.3	3	489.05
Arena	971.4	0.3583	9	56.7	1028.1
Total	2384.2	1.0	17.2	65.0	2401.4

Tabla 20

3.3.1.4 DISEÑO PALLANCATA

❖ Diseño GA-PALLAN (10%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			173.8
Cemento	227.4	0.0727			227.4

Relave					
PALLANCATA	25.3	0.01	0.1	4.9	30.2
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	484.55	0.1788	3.7	0.9	485.45
Piedra H67	484.55	0.1784	4.3	1.2	485.75
Arena	968.4	0.3572	9	23.3	991.7
Total	2378.2	1.0	17.1	30.3	2395.3

Tabla 21

❖ **Diseño GA-PALLAN (15%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			171.4
Cemento	214.8	0.0686			214.8
Relave					
PALLANCATA	37.9	0.015	0.2	7.4	45.3
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	483.95	0.1786	3.7	0.9	484.85
Piedra H67	483.95	0.1782	4.3	1.2	485.15
Arena	967.1	0.3568	9	23.3	990.4
Total	2375.7	1.0	17.2	32.8	2392.9

Tabla 22

3.3.2 SEGUNDA ETAPA DE MEZCLAS

Se realizaron mezclas con reemplazos de 20% y 25% de cemento por relave Andaychagua, debido a que los concretos con dicho relave presentaron buenos resultados a edades tempranas (Ver tabla de resultados 29). Los diseños resumidos se presentan a continuación:

❖ **Diseño GA-ANDAY (20%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			172.6
Cemento	202.2	0.0646			202.2
Relave ANDAYCHAGUA	50.5	0.0158	0.3	7.3	57.8
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	486.1	0.1794	3.7	1.7	487.8
Piedra H67	486.1	0.1790	4.3	1.9	488
Arena	971.5	0.3584	9	20.8	992.3
Total	2384.4	1.0	17.3	31.7	2401.7

Tabla 23

❖ Diseño GA-ANDAY (25%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3	AGUA DE ABSORCION EN KG	AGUA DE HUMEDAD EN KG	PESOS CORREGIDOS EN KG/M3
Agua	187.0	0.1870			170.7
Cemento	189.5	0.0606			189.5
Relave ANDAYCHAGUA	63.2	0.0198	0.3	9.2	72.4
Aditivo	1	0.0009			1
Aire		0.0150			
Piedra H5	486.1	0.1794	3.7	1.7	487.8
Piedra H67	486.1	0.1790	4.3	1.9	488
Arena	971.5	0.3584	9	20.8	992.3
Total	2384.4	1.0	17.3	33.6	2401.7

Tabla 24

CAPÍTULO 4

EJECUCIÓN DE ENSAYOS

4.1 Introducción

Definidos el uso y la aplicación del concreto, los materiales involucrados y los diseños de mezcla establecidos; se ejecutaron los ensayos en concreto fresco y endurecido a la edad especificada, poniendo especial cuidado a las recomendaciones descritas en las normas aplicables en cada caso.

4.2 Ensayos en concreto fresco

DISEÑO	RÉPLICA	SLUMP		RENDIMIENTO		CONTENIDO DE AIRE (%)		T°(AMBIENTE)	T°(CONCRETO)
GA-PAF	R1	3 1/2"	4"	1.027	1.023	3.4	3.7	20.3	23.9
	R2	3 3/4"		1.022		4.1		19.5	21.6
	R3	4 3/4"		1.021		3.5		18.3	20.5
GA-MWH(10%)	R1	5"	5"	1.026	1.026	3.6	3.6	19	18.4
	R2	5"		1.027		3.6		18.7	18.7
	R3	5"		1.025		3.6		18.8	18.9
GA-MWH(15%)	R1	5"	4 1/2"	1.029	1.028	3.7	3.6	19.9	20.7
	R2	4 1/2"		1.027		3.6		19.7	20
	R3	4 1/4"		1.027		3.4		21.2	19.6
GA-ANDAY(10%)	R1	5"	5"	1.031	1.029	4	4	18.7	19.6
	R2	5"		1.031		4		17.4	19.5
	R3	5"		1.026		4		16.2	19.1

GA-ANDAY(15%)	R1	3"		1.017		3.8		18.6	19.6
	R2	3"	3"	1.021	1.021	3.6	3.8	17.8	19.3
	R3	2 1/2"		1.026		4.1		17.7	19
GA-ANDAY(20%)	R1	4 1/2"		1.026		3.4		19.6	19.7
	R2	4 1/4"	4"	1.031	1.028	4	3.7	19.1	19.6
	R3	3 3/4"		1.026		3.8		17	19.6
GA-ANDAY(25%)	R1	3 3/4"		1.027		3.5		17.4	19.3
	R2	3 1/4"	3 1/2"	1.023	1.025	3.1	3.3	19	19
	R3	3 1/2"		1.026		3.2		18.4	18.8
GA-PALLAN(10%)	R1	4 1/2"		1.031		4.5		18.4	19.9
	R2	4 1/2"	4"	1.027	1.030	4.1	4.2	18.4	19.6
	R3	4"		1.031		4.1		18.6	19.7
GA-PALLAN(15%)	R1	4 1/2"		1.031		4.8		18.4	19.9
	R2	4 1/4"	4.5"	1.03	1.030	4	4.2	19.2	20.3
	R3	4 1/2"		1.029		3.8		19.2	20.3

Tabla 25

Nota: La celda de color amarillo es el promedio de los 3 datos de su izquierda

4.3 Ensayos en concreto endurecido

4.3.1 Ensayo de abrasión

El ensayo de abrasión se encuentra normado según la ASTM C944 C44M, dicho ensayo mide la resistencia al desgaste de la capa de rodadura o capa superior del elemento.

Este parámetro es usado comúnmente para el diseño y el control de concretos en pavimentos (Ver anexo 6).

Se obtuvieron los siguientes resultados:

DISEÑO	TESTIGO	ABRASIÓN (Pérdida de peso)	PROMEDIO
GA-PAF-R1	M1	0.74%	0.70%
	M2	0.72%	
GA-PAF-R2	M1	0.66%	
	M2	0.62%	
GA-PAF-R3	M1	0.76%	
	M2	0.70%	
GA-MWH(10%)-R1	M1	1.17%	1.24%
	M2	1.17%	
GA-MWH(10%)-R2	M1	1.43%	
	M2	1.35%	
GA-MWH(10%)-R3	M1	1.24%	
	M2	1.10%	
GA-MWH(15%)-R1	M1	1.02%	0.89%
	M2	0.74%	
GA-MWH(15%)-R2	M1	0.81%	
	M2	0.94%	
GA-MWH(15%)-R3	M1	0.92%	
	M2	0.91%	
GA-ANDAY(10%)-R1	M1	0.62%	0.81%
	M2	0.98%	
GA-ANDAY(10%)-R2	M1	0.92%	
	M2	0.86%	
GA-ANDAY(10%)-R3	M1	0.69%	
	M2	0.78%	
GA-ANDAY(15%)-R1	M1	0.93%	0.86%
	M2	0.89%	
GA-ANDAY(15%)-R2	M1	0.86%	
	M2	0.89%	
GA-ANDAY(15%)-R3	M1	0.77%	
	M2	0.80%	
GA-ANDAY(20%)-R1	M1	0.98%	0.95%
	M2	0.98%	
GA-ANDAY(20%)-R2	M1	1.05%	
	M2	1.03%	
GA-ANDAY(20%)-R3	M1	0.88%	

	M2	0.80%	
GA-ANDAY(25%)-R2	M1	1.17%	
	M2	0.91%	0.99%
GA-ANDAY(25%)-R3	M1	1.06%	
	M2	1.07%	
GA-ANDAY(25%)-R4	M1	0.89%	
	M2	0.85%	
GA-PALLAN(10%)-R1	M1	0.75%	0.74%
	M2	0.61%	
GA-PALLAN(10%)-R2	M1	0.77%	
	M2	0.81%	
GA-PALLAN(10%)-R3	M1	0.61%	0.73%
	M2	0.86%	
GA-PALLAN(15%)-R1	M1	0.63%	
	M2	0.70%	
GA-PALLAN(15%)-R2	M1	0.67%	
	M2	0.74%	
GA-PALLAN(15%)-R3	M1	0.94%	
	M2	0.72%	

Tabla 26

4.3.2 Ejecución de ensayos a compresión

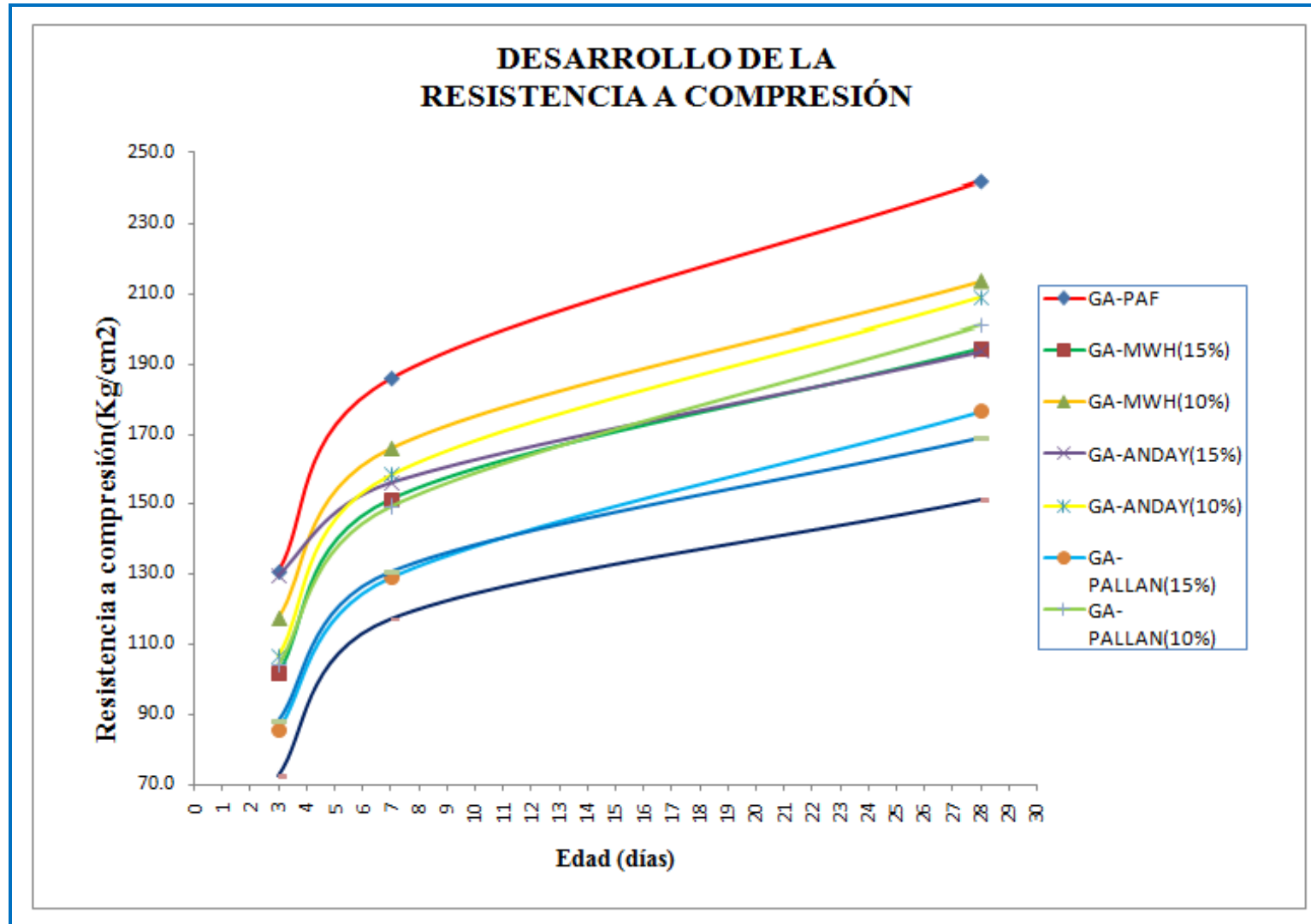
Respecto al ensayo de compresión, éste se encuentra normado por la ASTM C39. La correcta elaboración y curado de los testigos se encuentra normada por la ASTM C31C31M (Ver anexo 6). Se obtuvieron los siguientes resultados:

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (Kg/cm ²)									
Diseño	EDAD 3 DÍAS			EDAD 7 DÍAS			EDAD 28 DÍAS		
	RÉPLICAS			RÉPLICAS			RÉPLICAS		
	R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
GA-PAF	128	122	142	186	171	205	252	224	250
	130	140	121	190	168	194	251	228	246
	130.5			185.7			241.8		

GA-MWH(10%)	108	120	121	164	162	166	210	214	220
	113	120	122	166	171	166	206	208	221
	117.3			165.8			213.2		
GA-MWH(15%)	103	103	101	157	148	155	201	190	190
	106	99	99	153	139	155	188	193	202
	101.8			151.2			194.0		
GA-ANDAY(10%)	117	106	99	159	155	150	205	201	216
	115	101	101	160	161	164	216	199	215
	106.5			158.2			208.7		
GA-ANDAY(15%)	125	127	140	164	149	156	176	197	209
	132	127	126	159	148	159	182	188	207
	129.5			155.8			193.2		
GA-ANDAY(20%)	87	88	87	124	129	146	164	162	185
	91	86	89	115	125	144	165	157	179
	88.0			130.5			168.7		
GA-ANDAY(25%)	70	81	72	117	112	119	170	151	130
	69	68	74	122	117	115	165	157	133
	72.3			117.0			151.0		
GA-PALLAN(10%)	105	94	109	131	156	162	204	199	202
	104	109	105	147	147	153	201	198	201
	104.3			149.3			200.8		
GA-PALLAN(15%)	76	95	90	129	133	123	164	181	181
	78	90	85	126	128	135	161	182	189
	85.7			129.0			176.3		

Tabla 27

Nota: Las cifras de las celdas en verde son los promedios de los 6 datos correspondientes a cada edad y a cada diseño respectivo.



Figur

a 17

4.3.3 Ejecución de ensayos a tracción indirecta

La norma que especifica el correcto desarrollo de este ensayo es la ASTM C496/C 496M.

Con respecto a la elaboración y la toma de las muestras se trabaja de igual modo que las probetas destinadas a compresión (Ver anexo 6). Se obtuvieron los siguientes resultados:

DISEÑO	TESTIGO	fsp(Kg/cm ²)	PROMEDIO(Kg/cm ²)	fr(Kg/cm ²)	PROMEDIO(Kg/cm ²)
GA-PAF-R1	M1	21.43	20.84	25.21	24.52
	M2	15.64		18.40	
GA-PAF-R2	M1	23.01		27.07	
	M2	20.37		23.96	
GA-PAF-R3	M1	23.9		28.12	
	M2	20.69		24.34	
GA-MWH(10%)-R1	M1	19.05	21.73	22.41	25.57
	M2	18.24		21.46	
GA-MWH(10%)-R2	M1	22.53		26.51	
	M2	22.85		26.88	
GA-MWH(10%)-R3	M1	23.64		27.81	
	M2	24.08		28.33	
GA-MWH(15%)-R1	M1	15.5	20.87	18.24	24.55
	M2	26.02		30.61	
GA-MWH(15%)-R2	M1	19.65		23.12	
	M2	21.4		25.18	
GA-MWH(15%)-R3	M1	19.65		23.12	
	M2	22.98		27.04	
GA-ANDAY(10%)-R1	M1	21.44	21.31	25.22	25.07
	M2	18.63		21.92	
GA-ANDAY(10%)-R2	M1	22.73		26.74	
	M2	21.32		25.08	
GA-ANDAY(10%)-R3	M1	21.04		24.75	
	M2	22.7		26.71	
GA-ANDAY(15%)-R1	M1	20.66	19.91	24.31	23.42
	M2	22.3		26.24	
GA-ANDAY(15%)-R2	M1	18.92		22.26	
	M2	17.84		20.99	
GA-ANDAY(15%)-R3	M1	20.13		23.68	
	M2	19.59		23.05	

GA-ANDAY(20%)-R1	M1	14.71		17.31	
	M2	19.21		22.60	
GA-ANDAY(20%)-R2	M1	12.76		15.01	
	M2	15.02		17.67	
GA-ANDAY(20%)-R3	M1	17.42	15.64	20.49	18.40
	M2	14.72		17.32	
GA-ANDAY(25%)-R1	M1	16.95		19.94	
	M2	17.31		20.36	
GA-ANDAY(25%)-R2	M1	17.48		20.56	
	M2	15.58		18.33	
GA-ANDAY(25%)-R3	M1	18.18	17.05	21.39	20.05
	M2	16.77		19.73	
GA-PALLAN(10%)-R1	M1	21.76		25.60	
	M2	15.5		18.24	
GA-PALLAN(10%)-R2	M1	18.75		22.06	
	M2	16.5		19.41	
GA-PALLAN(10%)-R3	M1	22.37	19.09	26.32	22.46
	M2	19.67		23.14	
GA-PALLAN(15%)-R1	M1	15.46		18.19	
	M2	18.56		21.84	
GA-PALLAN(15%)-R2	M1	19.14		22.52	
	M2	17.44		20.52	
GA-PALLAN(15%)-R3	M1	15.6	17.78	18.35	20.92
	M2	20.49		24.11	

Tabla 28

Notas:

fsp = Split Test, Ensayo Brasilerero o Ensayo de tracción por compresión diametral.

fr = Módulo de rotura, Ensayo de tracción por flexión

En el laboratorio se realizó el “Split Test” debido a su mayor confiabilidad y facilidad de elaboración (Apuntes del curso de concreto armado 1 PUCP).

Equivalencias:

$f_{sp} \approx 1.7 \sqrt{f'c}$ (Kg/cm²) (MacGregor)

$f_r \approx 2 \sqrt{f'c}$ (Kg/cm²) (ACI-02)

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS EXPERIMENTALES

5.1 Resultados físicos de los relaves

- ❖ Los relaves trabajados fueron materiales muy finos con módulos de fineza que estaban alrededor de 0.61 en promedio y contenían además altos porcentajes de material pasante de la malla 200. Lo cual quiere decir que si bien rellenan los espacios vacíos del concreto preparado, mejorando la compacidad de la mezcla, en exceso podrían requerir mayor cantidad de aditivo o agua para que la mezcla resulte trabajable.

5.2 Resultados en concreto fresco

5.2.1 Concreto Patrón

- ❖ En el concreto patrón se encontraron contenidos de aire atrapado mayores con respecto al diseño teórico. Con el método ACI 211 esperábamos contenidos de 1.5%, sin embargo realmente se obtuvo contenidos de aire promedio de 3.7%. Uno de los principales factores fue el de usar un aditivo plastificante que incorporó aire adicional. Cabe resaltar que el método ACI 211 no considera aditivos en su composición, con lo cual es razonable pensar que algún parámetro estimado puede verse afectado por la adición de aditivos.

Ya que el contenido de aire no fue limitante para los objetivos planteados inicialmente, se aceptó el concreto patrón encontrado.

- ❖ El concreto patrón obtuvo valores de rendimiento mayores a la unidad. En promedio se obtuvo un valor de 1.023 debido fundamentalmente al contenido de aire incorporado por el aditivo.
- ❖ La consistencia, trabajabilidad y el slump fueron aceptables y satisfactorios para este propósito.



Figura 18

- ❖ El concreto patrón encontrado tuvo buena consistencia, era fluido y presentaba buen aspecto ya que no predominó la piedra. Se aprecia en la figura 18 que era una mezcla trabajable que podría ser bombeado por tuberías. El slump encontrado en promedio fue de 4" que satisface nuestros objetivos inicialmente planteados.

5.2.2 Concretos con adición de relave

- ❖ El slump no se ve afectado en gran medida por la adición de relave en proporciones pequeñas (10%-25%) como reemplazo de cemento. En los casos de los relaves MWH y Andaychagua, el slump aumenta en 1" cuando se agregan dichos relaves en un porcentaje de 10%. Sin embargo en general el slump bajó al seguir adicionando relave.

En síntesis el slump bajó en la medida que agregamos más cantidad de relave.

- ❖ Las mezclas resultantes permanecen casi con el mismo contenido de aire atrapado con respecto al patrón. No se observa incorporación de aire por la inclusión del relave.
- ❖ El rendimiento siguió siendo mayor que la unidad debido a que estos diseños obedecieron a las características del concreto patrón.
- ❖ La trabajabilidad, aspecto y consistencia de los concretos con adiciones de relave permanecieron casi constantes. Por lo tanto dichos concretos podrían ser bombeados por tuberías sin problemas.



5.3 Resultados en concreto endurecido

En función a los promedios de los resultados obtenidos anteriormente, se seleccionaron los mejores diseños en función a puntajes que van desde 1 a 8 (mal comportamiento - buen comportamiento), según la siguiente tabla:

DISEÑO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO AL PATRÓN	PUNTAJE	RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA fsp(Kg/cm ²)	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO AL PATRÓN	PUNTAJE	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (%)	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL
GA-PAF	241.8	100%		20.84	100%		0.70%		
GA-MWH (10%)	213.2	88.17%	8	21.73	104.27%	8	1.24%	1	17
GA-MWH (15%)	194.0	80.23%	5	20.87	100.14%	6	0.89%	4	15
GA-PALLAN (10%)	200.8	83.04%	6	19.09	91.60%	4	0.74%	7	17
GA-PALLAN (15%)	176.3	72.91%	3	17.78	85.32%	3	0.73%	8	14
GA-ANDAY (10%)	208.7	86.31%	7	21.31	102.26%	7	0.81%	6	20
GA-ANDAY (15%)	193.2	79.90%	4	19.91	95.54%	5	0.86%	5	14
GA-ANDAY (20%)	168.7	69.77%	2	15.64	75.05%	1	0.95%	3	6
GA-ANDAY (25%)	151.0	62.45%	1	17.05	81.81%	2	0.99%	2	5

Tabla 29

- ❖ Con respecto a la resistencia a la compresión axial del concreto, ningún diseño llegó por lo menos a igualar la resistencia del concreto patrón. Los concretos que se acercaron más fueron los concebidos con los diseños MWH al 10%(88.17%) y Andaychagua al 10% (86.31%) (Ver Tabla 29). Estos valores están muy cercanos al concreto patrón, puede decirse que en ambos casos se llegó al 90% de la resistencia del concreto Patrón.

- ❖ En lo que respecta a la resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral, cabe señalar que algunos resultados superaron a los del patrón; como son los concretos concebidos con los diseños MWH al 10% (104.27%), Andaychagua al 10% (102.26%) y MWH al 15%(100.14%) (Ver tabla 29).
Los demás valores se aproximaron bastante a los resultados del concreto patrón, a excepción de los concebidos con los diseños Andaychagua al 20% y 25%.

- ❖ En lo que respecta a la resistencia a la abrasión se aprecia que dicha característica se ve afectada negativamente por la adición de los relaves mineros. Por ejemplo para el relave escogido al aumentar el porcentaje de relave del 10% al 25%, la resistencia a la abrasión cae de 0.81% a 0.99% (se desgasta más).

- ❖ Luego de establecer un puntaje a cada diseño de mezcla se observó que el concreto que presentó el mejor comportamiento fue el GA-ANDAY (10%), que es un diseño con reemplazo del 10% de cemento en peso por el relave Andaychagua.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo a lo desarrollado en los capítulos anteriores y en base a los objetivos planteados al inicio del estudio se presentan las siguientes conclusiones.

- Una de las principales características de los diseños obtenidos fue su simplicidad. Al plantear diseños que no usaron tantos aditivos, ni combinaciones de agregados difíciles de obtener, aseguramos que puedan realizarse y adaptarse en cualquier parte de nuestro país.
- Los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto.
- Los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el slump del concreto.
- Con respecto al relave escogido Andaychagua, éste presentó características químicas en el límite por lo especificado en la norma NTP 400.037 para sales solubles totales y sulfatos solubles (Ver tabla 15). Luego para obtener resistencias altas los relaves no deben usarse como relleno volumétrico en grandes cantidades ya que podrían atacar la estructura interna del concreto haciendo que el concreto se fisure y exponga al acero de refuerzo.

- El concreto elaborado con el relave Andaychagua al 10% de reemplazo, presenta características de resistencia bastante cercanas a las del patrón. Con un diseño con 2% de reemplazo de cemento por dicho relave, la resistencia a compresión no se verá afectada (Ver figura 19). Es decir, para un concreto convencional de 210Kg/cm², se podría reciclar relave minero en el orden de 5.10 Kg/m³. Lo cual equivale a un ahorro de aproximadamente 0.70\$/m³.

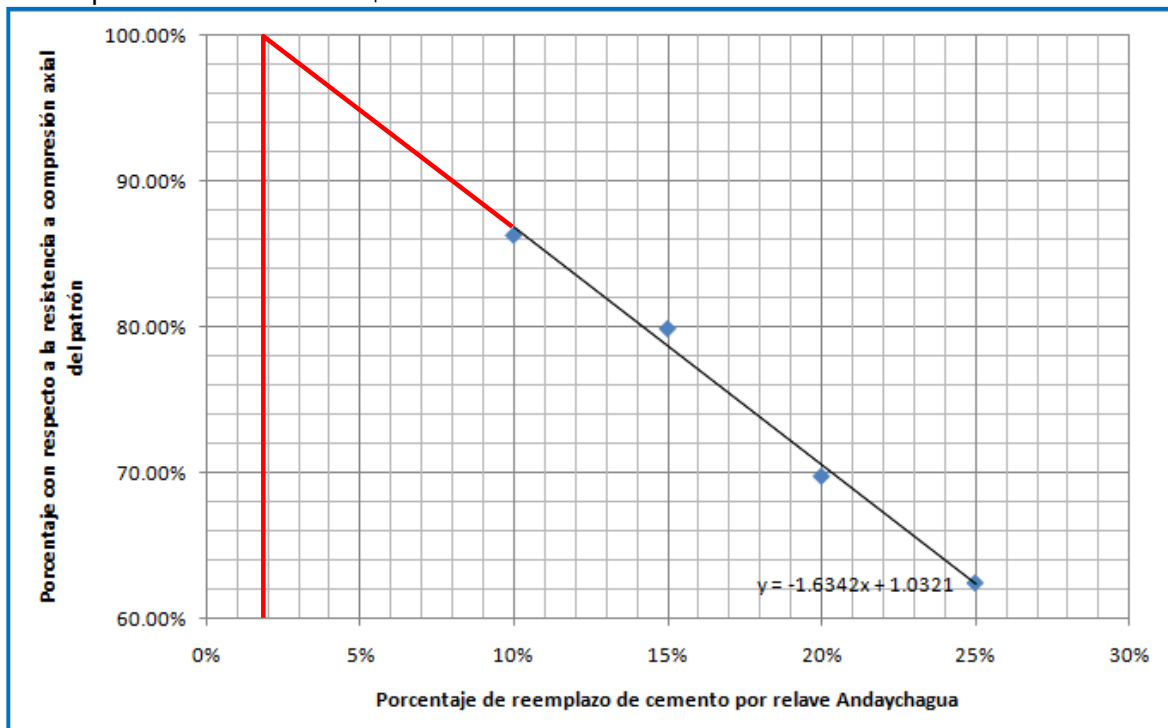


Figura 19

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	247.6	0.0791
Relave ANDAYCHAGUA	5.1Kg≈0.12bls≈0.70\$	0.0016
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	485.9	0.1793
Piedra H67	485.9	0.1789
Arena	971.1	0.3582
Total	2383.6	1.0

Tabla 30: Diseño en seco con reemplazo de cemento por 2% de relave Andaychagua.

- Se concluye que las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales de los concretos convencionales.
- En función a nuestros resultados corroboramos que el diseño GA-ANDAY(2%) podrá usarse en la construcción de pavimentos con tránsito liviano o veredas. Se contará con un concreto convencional de 210Kg/cm² con slump de aproximadamente 5" que puede bombearse por tuberías.
- Se observa que adiciones mayores al 15% influyen negativamente y reducen las características resistentes de los concretos convencionales.
- Según la recomendación de la norma peruana de concreto armado E060 para el cálculo de la resistencia media requerida (f'_{cr}), observando la tabla 29 y los diseños de mezcla del capítulo 3 tenemos:

DISEÑO	RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA f'_{cr} (Kg/cm ²)	RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL f'_c (Kg/cm ²)	CANTIDAD DE CEMENTO (Kg) USADO
GA-PAF	241.8	194.8	252.7
GA-MWH (10%)	213.2	166.2	227.4
GA-MWH (15%)	194.0	147	214.8
GA-PALLAN (10%)	200.8	153.8	227.4
GA-PALLAN (15%)	176.3	129.3	214.8
GA-ANDAY (10%)	208.7	161.7	227.4
GA-ANDAY (15%)	193.2	146.2	214.8
GA-ANDAY (20%)	168.7	121.7	202.2
GA-ANDAY (25%)	151.0	104	189.5

Nota:

$f'_{cr}=f'_c+1.34D_s$ (asumiendo una $D_s = 35\text{Kg/cm}^2$ debido al buen control en laboratorio)

Analizando el comportamiento del diseño GA-ANDAY(25%) obtenemos 100Kg/cm² con sólo 189.5 Kg de cemento. Según la experiencia de UNICON para obtener una resistencia de 100 Kg/cm² se utiliza 210 Kg de cemento, por lo tanto obtenemos un ahorro de 20.5Kg/m³ de cemento, que se traduce en 2.83\$/m³. En general se demuestra que para concretos de baja resistencia se pueden obtener ahorros considerables de cemento.

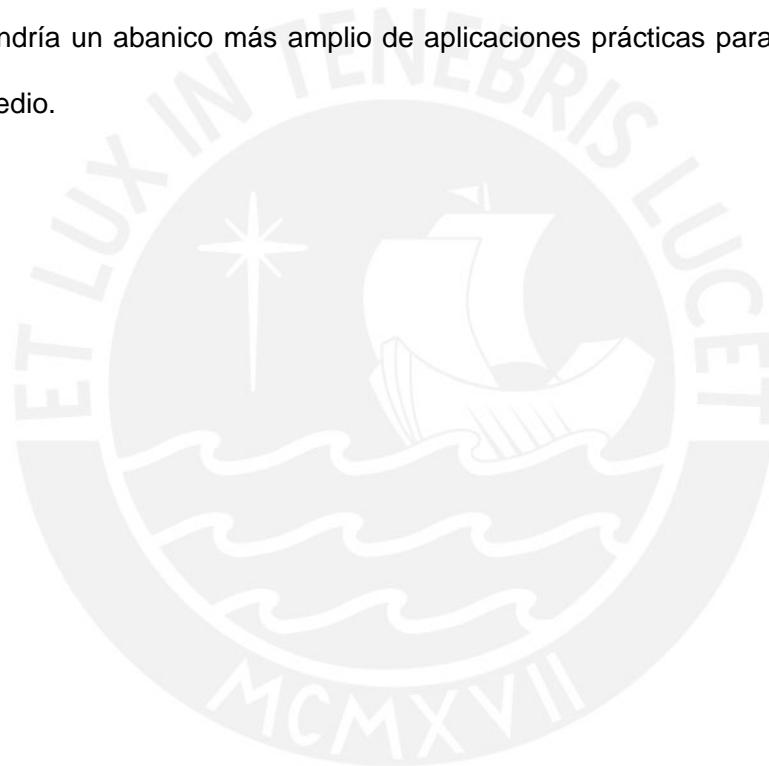
- En general al proponer reemplazos de cemento en mezclas de concreto, de manera indirecta estamos contribuyendo con nuestro medio ambiente ya que la producción de cemento es una de las más contaminantes por su consumo de combustibles fósiles y la liberación de CO₂.

6.2 Recomendaciones.

En conformidad a lo concluido por el presente estudio se plantean las siguientes recomendaciones para los profesionales que trabajen con este tipo de materiales.

- Se recomienda trabajar con porcentajes de reemplazo de cemento por relave menores a 5% para obtener resistencias altas.
- Se recomienda trabajar con porcentajes de reemplazo de cemento por relave del orden de 25% para obtener resistencias bajas.
- Los diseños preparados han sido efectuados en una zona de clima templado. Para trabajarlos en zonas con bajas temperaturas se deberían usar aditivos plastificantes para climas fríos y tener las consideraciones necesarias para los ciclos de hielo y deshielo (Incorporar aire adicional si fuese necesario).

- Se recomienda seguir trabajando con estos tipos de concreto, debido a que se demuestra que los relaves mineros pueden ser usados de manera segura sin que afecten negativamente las principales propiedades de los concretos convencionales.
- Se propone como línea de aplicación futura estudiar el uso de los relaves mineros para incorporarlos en morteros para asentado de muros de albañilería, bloques de concreto vibrado, cimientos en general, shotcrete y presas de concreto rolado. Con esto se tendría un abanico más amplio de aplicaciones prácticas para ser usadas en nuestro medio.



BIBLIOGRAFÍA

1. **Enrique Pasquel Carbajal**, 1993. “Tópicos de tecnología del concreto en el Perú” – Colegio de Ingenieros del Perú.
2. **Gianfranco Otazzi Pasino**, 2007. “Apuntes del curso de concreto armado I” – Pontificia Universidad Católica del Perú.
3. **Enrique Rivva Lopez**, 1992. “Diseño de mezclas”- Editorial Hozlo S.C.R.L.
4. **MACROCONSULT**, 2006. “Impacto económico de la actividad minera en el Perú” – Instituto de Ingenieros de minas del Perú.
5. **Aleksey Beresovsky de las Casas**, 2006. “Estudio Experimental del comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas” – Tesis PUCP.
6. **Banco central de reserva del Perú**, 2009. “Consulta a series estadísticas del BCRP” – Publicación electrónica:
<http://estadisticas.bcrp.gob.pe/index.asp?sFrecuencia=A>
7. **Banco central de reserva del Perú**, 2009. “Indicadores económicos IV trimestre del 2008” – Publicación electrónica:
<http://www.bcrp.gob.pe/docs/Estadisticas/Indicadores-Trimestrales.pdf>

8. **Banco central de reserva del Perú**, 2009. “Cuadros anuales históricos (Exportaciones y PBI desde 1950)” – Publicación electrónica:
<http://www.bcrp.gob.pe/estadisticas/cuadros-anuales-historicos.html>
9. **Minera Yanacocha**, 2010. Cierre de Minas – Publicación electrónica:
<http://www.yanacocha.com.pe/rambiental/cierreminas.pdf>
10. “Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1-91) ACI Committee 211” – ACI International.
11. “Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method C 231 – 08b” - ASTM International.
12. “Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete C 138/C 138M – 08” - ASTM International.
13. “Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete C 143/C 143M – 08” –ASTM International.
14. “Standard Test Method for Temperature of Freshly Mixed Hydraulic-Cement Concrete C 1064/C 1064M – 08” – ASTM International.
15. “Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method C 944/C 944M – 99” – ASTM International.

16. "Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens C 39/C 39M – 05" – ASTM International.
17. "Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens C 496/C 496M – 04" – ASTM International.
18. "Standard Specification for Concrete Aggregates C 33 – 07" – ASTM International.
19. "Standard Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use in Portland-Cement Concrete C 311 – 07" – ASTM International.
20. "Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary" – American Concrete Institute.
21. "Norma Técnica Peruana de concreto armado E060" – Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

ANEXOS

ANEXO 1: NOMENCLATURA DE DISEÑOS DE MEZCLA

En nuestra investigación se acordó trabajar con una codificación para nuestros diseños de mezcla, la cual y mediante un ejemplo explicaremos a continuación:

GA	-	MWH	(10%)	-	R1
INICIALES DEL AUTOR	-	CÓDIGO DEL RELAVE	PORCENTAJE DE REEMPLAZO DE CEMENTO	-	NÚMERO DE RÉPLICA

Notas: En el caso del diseño patrón se usó la codificación PAF en el lugar del código del relave.

ANEXO 2: ACTIVIDAD PUZOLÁNICA CON CEMENTO - REQUISITOS FÍSICOS

TABLE 2 Physical Requirements

	Class		
	N	F	C
<i>Fineness:</i>			
Amount retained when wet-sieved on 45 µm (No. 325) sieve, max, %	34	34	34
<i>Strength activity index:</i> ^A			
With portland cement, at 7 days, min, percent of control	75 ^B	75 ^B	75 ^B
With portland cement, at 28 days, min, percent of control	75 ^B	75 ^B	75 ^B
Water requirement, max, percent of control	115	105	105
<i>Soundness:</i> ^C			
Autoclave expansion or contraction, max, %	0.8	0.8	0.8
<i>Uniformity requirements:</i>			
The density and fineness of individual samples shall not vary from the average established by the ten preceding tests, or by all preceding tests if the number is less than ten, by more than:			
Density, max variation from average, %	5	5	5
Percent retained on 45-µm (No. 325), max variation, percentage points from average	5	5	5

^A The *strength* activity index with portland cement is not to be considered a measure of the compressive strength of concrete containing the fly ash or natural pozzolan. The mass of fly ash or natural pozzolan specified for the test to determine the *strength* activity index with portland cement is not considered to be the proportion recommended for the concrete to be used in the work. The optimum amount of fly ash or natural pozzolan for any specific project is determined by the required properties of the concrete and other constituents of the concrete and is to be established by testing. *Strength* activity index with portland cement is a measure of reactivity with a given cement and is subject to variation depending on the source of both the fly ash or natural pozzolan and the cement.

^B Meeting the 7 day or 28 day *strength* activity index will indicate specification compliance.

^C If the fly ash or natural pozzolan will constitute more than 20 % by mass of the cementitious material in the project mixture, the test specimens for autoclave expansion shall contain that anticipated percentage. Excessive autoclave expansion is highly significant in cases where water to cementitious material ratios are low, for example, in block or shotcrete mixtures.

Figura 1

ANEXO 3: DISEÑOS DE MEZCLA

CONCEPCIÓN DE DISEÑOS DE MEZCLA

3.1 PARÁMETROS DE INGRESO

Para proponer un nuevo diseño de mezcla partimos de los requerimientos mínimos del concreto a elaborar. Según lo establecido en nuestro plan de trabajo, dichos requerimientos fueron:

Parámetro	Valor especificado
f'c(Kg/cm ²)	175
Piedra	Huso 57
T.M.N. piedra (pulg)	1
Slump (pulg)	4
Sin aire incorporado	OK

Tabla 1

3.2 ETAPA DE PRUEBAS INICIALES

En esta etapa planteamos mezclas de prueba pequeñas con la finalidad de obtener una mezcla patrón que cumpliera con los requerimientos inicialmente propuestos. Se afinó el método ACI, en lo que concierne a la proporción de agregados finos y gruesos. Concluyendo que con 50% de agregado fino y 50% de agregado grueso se conseguía un concreto de buena apariencia, trabajabilidad y que cumpla con los parámetros iniciales de ingreso.



Figura 2: Trompo de 60 litros usado en pruebas iniciales

3.3 DISEÑO PATRÓN

El material que se nos asignó lo separamos correctamente y lo cubrimos de la intemperie.



Figura 3: Agregado separado y protegido del medio ambiente

Con los datos presentados en el capítulo 2 de Materiales, se desarrolló un primer diseño de mezcla basado en el ACI 211 y en las pruebas iniciales realizadas. A continuación presentamos el diseño planteado y su procedimiento:

a) Estimamos la cantidad de agua y el porcentaje de aire

Como sabemos nuestra piedra 57 tiene un tamaño máximo de 1", deseamos que nuestro concreto tenga un slump de 4". Obtuvimos de la Tabla 2 un contenido de agua de 193 l/m³, pero de nuestra experiencia previa en la etapa de pruebas iniciales esta cantidad de agua es elevada, ya que estamos usando un aditivo plastificante.

La cantidad ajustada de agua que usamos fue de **187 l/m³**. Esto significa **187 Kg** de agua y un volumen de **0.187 m³** de la misma.

Además al no considerar aire incorporado, éste se estimó de la misma tabla y es **1.5%**, lo que significa un volumen de aire de **0.015 m³**.

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin Aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
% Aire atrapado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----
% de Aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Moderada	8	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Extrema	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4

Tabla 2

b) Definimos la relación agua cemento

Como quisimos obtener un concreto de 175Kg/cm² y se consideró que no hay aire incorporado, interpolamos de la tabla 3 y obtuvimos una relación agua-cemento de **0.74**.

f'c a 28 Días (Kg/cm ²)	Relación Agua/Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	----
400	0.42	----
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

Tabla 3

c) Calculamos el cemento en peso y volumen absoluto

Como tenemos el peso del agua y la relación agua-cemento, pudimos calcular el peso y el volumen del cemento.

Peso cemento (Kg) = $187/0.74 = 252.7\text{Kg}$.

Peso específico del cemento = 3130 Kg/m^3 .

Volumen del cemento (m^3) = $(252.7\text{ Kg}) / (3130\text{ Kg/m}^3) = 0.0807\text{ m}^3$.

d) Calculamos el aditivo en volumen absoluto y peso

Por recomendación del fabricante se usó 0.9 lt/m^3 . (Se debe usar de 400 a 560ml por cada 100Kg de cemento). Por lo tanto el volumen del aditivo fue de **0.0009 m^3** .

Peso específico aditivo = 1210 Kg/m^3 .

Peso del aditivo = $0.0009 \times 1120 = 1\text{ Kg/m}^3$.

e) Hicimos el balance de pesos y volúmenes absolutos de lo ya calculado. Calculamos por diferencia con 1.00 m^3 el volumen por completar con agregados.

Hasta ahora tuvimos un volumen general de **0.2836 m^3** , con lo cual quedó por repartir un volumen de **0.7164 m^3** .

f) Calculamos los agregados en volumen absoluto y peso

Debido a pruebas anteriores en la etapa de pruebas iniciales, usando solo el método ACI nos salían mezclas muy pedregosas. Así que recurrimos a un criterio de mezcla en porcentajes de agregado fino y agregado grueso para obtener un mejor aspecto y trabajabilidad.

De nuestras pruebas concluimos que la relación 50% de agregado fino y 50% de agregado grueso satisfizo nuestros requerimientos de aspecto de dicho concreto. Luego el volumen de arena fue **0.3582 m^3** y el volumen de la piedra fu **0.3582 m^3** . Por lo tanto tendremos:

Volumen de piedra = 0.3582 m^3

Aproximamos el peso específico de la piedra 57 como:

Peso específico seco Piedra 57 = $0.5 \times (\text{Peso específico piedra 5}) + 0.5 \times (\text{Peso específico piedra 67}) = 0.5 \times 2710 + 0.5 \times 2716 = 2713\text{ Kg/m}^3$

Peso de piedra = $0.3582 \times 2713 = 971.8 \text{Kg}$.

Luego tuvimos:

Peso de piedra 5 = $0.5 \times 971.8 = 485.9 \text{Kg}$.

Volumen de piedra 5 = $485.9 / 2710 = 0.1793 \text{ m}^3$

Peso de piedra 67 = $0.5 \times 971.8 = 485.9 \text{ Kg}$

Volumen piedra 67 = $485.9 / 2716 = 0.1789 \text{m}^3$

Con todos estos cálculos obtuvimos el diseño en seco:

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	252.7	0.0807
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	485.9	0.1793
Piedra H67	485.9	0.1789
Arena	971.1	0.3582
Total	2383.6	1.0

Tabla 4: Patrón Final (GA-PAF)

3.4 DISEÑO MWH

Este diseño contempla reemplazos de cemento por relave en peso, el procedimiento fue el siguiente:

Diseño MWH (10%)

- De la etapa anterior calculamos el peso del cementante total que fue: 252.7 Kg.
- Este diseño contempla un reemplazo de 10% en peso, por lo tanto el peso de cemento será de 227.43 Kg. y el peso del relave MWH será 25.27 Kg.
- El volumen del cemento quedará: $(227.43 \text{Kg}) / (3130 \text{Kg/m}^3) = 0.0727 \text{ m}^3$.
- El volumen del relave MWH será: $(25.27 \text{Kg}) / (3077 \text{Kg/m}^3) = 0.0082 \text{ m}^3$.

Diseño MWH(15%)

- Este diseño contempla un reemplazo de 15% en peso, por lo tanto el peso de cemento será 214.8Kg. y el peso del relave MWH será 37.9Kg.

- El volumen del cemento quedará: $(214.8\text{Kg})/(3130\text{Kg/m}^3) = 0.0686 \text{ m}^3$.
- El volumen del relave MWH será: $(37.9\text{Kg})/(3077\text{Kg/m}^3) = 0.0123 \text{ m}^3$.

Para ambos diseños:

- La cantidad del aditivo sigue siendo la misma pues se asume que el relave proporcionará características cementantes a la mezcla, y éste se calcula en función al cementante total.
- Se re calculan los volúmenes para obtener los pesos de agregados como en el diseño patrón.

Resumen de diseños en seco:

❖ **Diseño GA-MWH (10%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	227.4	0.0727
Relave MWH	25.3	0.0082
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	485.75	0.1792
Piedra H67	485.75	0.1788
Arena	970.8	0.3581
Total	2383.0	1.0

Tabla 5

❖ **Diseño GA-MWH (15%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	214.8	0.0686
Relave MWH	37.9	0.0123
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	485.75	0.1792
Piedra H67	485.75	0.1788
Arena	970.8	0.3581
Total	2383.0	1.0

Tabla 6

3.5 DISEÑO ANDAYCHAGUA

Se procedió de manera similar a lo calculado con el diseño MWH, lo único que cambiaron fueron los volúmenes ya que el peso específico del relave Andaychagua fue diferente.

Resumen de diseños en seco:

Se realizaron diseños de mezcla con reemplazos de 10% y 15% inicialmente. Según lo explicado anteriormente también se plantearon los diseños al 20% y 25% de remplazo.

❖ Diseño GA-ANDAY (10%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	227.4	0.0727
Relave ANDAYCHAGUA	25.3	0.0079
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	485.95	0.1793
Piedra H67	485.95	0.1789
Arena	971.2	0.3583
Total	2383.8	1.0

Tabla 7

❖ Diseño GA-ANDAY (15%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	214.8	0.0686
Relave ANDAYCHAGUA	37.9	0.0119
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	486.05	0.1794
Piedra H67	486.05	0.1790
Arena	971.4	0.3583
Total	2384.2	1.0

Tabla 8

❖ Diseño GA-ANDAY (20%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	202.2	0.0646
Relave ANDAYCHAGUA	50.5	0.0158
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	486.1	0.1794
Piedra H67	486.1	0.1790
Arena	971.5	0.3584
Total	2384.4	1.0

Tabla 9

❖ Diseño GA-ANDAY (25%)

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	189.5	0.0606
Relave ANDAYCHAGUA	63.2	0.0198
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	486.1	0.1794
Piedra H67	486.1	0.1790
Arena	971.5	0.3584
Total	2384.4	1.0

Tabla 10

3.6 DISEÑO PALLANCATA

Análogamente a lo planteado para los diseños anteriores, se tuvo:

❖ **Diseño GA-PALLAN (10%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	227.4	0.0727
Relave PALLANCATA	25.3	0.01
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	484.55	0.1788
Piedra H67	484.55	0.1784
Arena	968.4	0.3572
Total	2378.2	1.0

Tabla 11

❖ **Diseño GA-PALLAN (15%)**

ELEMENTO	PESO EN KG/M3	VOLUMEN EN M3/M3
Agua	187.0	0.1870
Cemento	214.8	0.0686
Relave PALLANCATA	37.9	0.015
Aditivo	1	0.0009
Aire		0.0150
Piedra H5	483.95	0.1786
Piedra H67	483.95	0.1782
Arena	967.1	0.3568
Total	2375.7	1.0

Tabla 12

ANEXO 4: ESPECIFICACIONES PARA AGREGADOS USADOS EN CONCRETO NTP 400.037/ASTM C33

AGREGADO FINOS

TABLE 1 Limits for Deleterious Substances in Fine Aggregate for Concrete

Item	Mass Percent of Total Sample, max
Clay lumps and friable particles	3.0
Material finer than 75- μ m (No. 200) sieve:	
Concrete subject to abrasion	3.0 ^A
All other concrete	5.0 ^A
Coal and lignite:	
Where surface appearance of concrete is of importance	0.5
All other concrete	1.0

^A In the case of manufactured sand, if the material finer than the 75- μ m (No. 200) sieve consists of the dust of fracture, essentially free of clay or shale, these limits are permitted to be increased to 5 and 7 %, respectively.

Figura 4

6. Grading

6.1 *Sieve Analysis*—Fine aggregate, except as provided in 6.2 and 6.3 shall be graded within the following limits:

Sieve (Specification E 11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600- μ m (No. 30)	25 to 60
300- μ m (No. 50)	5 to 30
150- μ m (No. 100)	0 to 10

Figura 5

NOTE 2—Concrete with fine aggregate gradings near the minimums for percent passing the 300 μm (No.50) and 150 μm (No.100) sometimes have difficulties with workability, pumping or excessive bleeding. The addition of entrained air, additional cement, or the addition of an approved mineral admixture to supply the deficient fines, are methods used to alleviate such difficulties.

6.2 The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve of those shown in 6.1, and its fineness modulus shall be not less than 2.3 nor more than 3.1.

6.3 Fine aggregate failing to meet these grading requirements shall meet the requirements of this section provided that the supplier can demonstrate to the purchaser or specifier that concrete of the class specified, made with fine aggregate under consideration, will have relevant properties (see Note 4) at least equal to those of concrete made with the same ingredients, with the exception that the reference fine aggregate shall be selected from a source having an acceptable performance record in similar concrete construction.

NOTE 3—Fine aggregate that conforms to the grading requirements of a specification, prepared by another organization such as a state transportation agency, which is in general use in the area, should be considered as having a satisfactory service record with regard to those concrete properties affected by grading.

NOTE 4—Relevant properties are those properties of the concrete that are important to the particular application being considered. STP 169D⁵ provides a discussion of important concrete properties.

6.4 For continuing shipments of fine aggregate from a given source, the fineness modulus shall not vary more than 0.20

Figura 6

AGREGADO GRUESOS

TABLE 2 Grading Requirements for Coarse Aggregates

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	...	0 to 5	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	...	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	...	0 to 10	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.



 C 33 - 07

Figura 7

ANEXO 5: CERTIFICADOS Y FICHAS TÉCNICAS

BASF
The Chemical Company

POLYHEED 770 R
Aditivo reductor de agua de rango medio y retardante inicial

DESCRIPCIÓN:

POLYHEED 770 R es un aditivo retardante inicial, reductor de agua de medio rango, multicomponente y libre de cloruros formulado para producir:

- ❖ Una reducción de agua de medio rango (5 a 15%) y un excelente desempeño a través de un rango de asentamiento de 75 a 115 mm en el concreto.
- ❖ Aumenta el tiempo de fraguado del concreto a lo largo del rango de dosificación recomendado.
- ❖ Mejor calidad en trabajabilidad, bombeabilidad y acabado en mezclas que contengan filler calizo.
- ❖ Desarrollo de resistencias comparable con los aditivos reductores y retardantes en todas las edades.

POLYHEED 770 R cumple con los requisitos de la norma ASTM C494 para aditivos retardantes Tipo B y reductores de agua y retardantes Tipo D, específicamente:

- Reduce el contenido de agua para el asentamiento recomendado.
- Reducción de contracciones en estado plástico.
- Incremento en el desarrollo de las resistencias a la compresión y a la flexión en todas las edades.

VENTAJAS

POLYHEED 770 R ayuda a la producción de un concreto de calidad proporcionando las siguientes ventajas:

- ✓ Trabajabilidad y bombeabilidad superior en aplicaciones en clima caluroso.
- ✓ Reduce la segregación.

POLYHEED 770 R resulta efectivo ya sea como un aditivo único o como parte de un sistema de aditivos de DEGUSSA.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Aspecto físico	:	Líquido homogéneo
Color	:	Marrón
Densidad	:	1.12

MST UNICOM S.A.
Jr. Plácido Jiménez 630, Lima 1- Perú
Tel. : (51-1) 385-0109
Fax. : (51-1) 385-2065
www.basf.com










Figura 8



The Chemical Company

DOSIFICACIÓN:

Se recomienda dosificar el POLYHEED 770 R en un rango de 400 mL a 560 mL por cada 100 Kg. de material cementante, en la mayoría de las mezclas de concreto para clima caluroso.

En caso que la temperatura ambiente sea inferior a los 15°C deberá tomarse las precauciones necesarias para proteger el concreto ya que pueden presentarse tiempos de fraguas inicial y final muy prolongados.

CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

Parámetro	Resultado
Tiempo de fragua inicial ¹	4.5 horas
Tiempo de fragua final ¹	6.0 horas
Resistencia a la compresión 7d	231 Kg./cm ²
Resistencia a la compresión 28d	298 Kg./cm ²

1. Dosis: 400 mL por cada 100 Kg. de material cementante

Nota: Los datos corresponden a una mezcla con 240 Kg. de cemento Tipo I y 46 Kg. de filler calizo por m³, asentamiento de 108 mm, sin aire incluido y temperatura promedio del concreto en 26°C.

Los datos indicados están basados en pruebas controladas de laboratorio. Se pueden esperar variaciones con respecto a estos resultados por las condiciones de la obra y de los materiales.

ENVASE:

POLYHEED 770 R se suministra en tambores de 208 Litros y a granel.

PRECAUCIÓN:

Si POLYHEED 770 R se congela, lívese a una temperatura de 2°C o más y agítese hasta que esté completamente reconstituido.

TIEMPO DE ALMACENAJE:

En los contenedores originales bien cerrados y en condiciones adecuadas de almacenaje el producto tiene una vigencia de 12 meses.

Nota: Esta información y otras sugerencias técnicas se basan en el conocimiento y experiencia actual de Degusta. Sin embargo, Degusta no asume responsabilidad alguna al proveer dicha información y sugerencias incluyendo el grado en que dicha información y sugerencias puedan relacionarse con los derechos existentes de propiedad intelectual de terceros, especialmente los derechos derivados de una patente. Degusta desconoce en particular, todas LAS GARANTIAS YA SEAN EXPRESAS O IMPLÍCITAS, INCLUYENDO LAS GARANTIAS IMPLÍCITAS DE CALIDAD E IDONEIDAD PARA UN FIN COMERCIALIDAD DETERMINADO. DEGUSTA NO SERA RESPONSABLE POR DAÑOS Y PERJUICIOS FORTUITOS O RESULTANTES (INCLUYENDO LA PERDIDA DE GANANCIAS) DE NINGUN TIPO.

Degusta se reserva el derecho de hacer cualquier cambio conforme al avance tecnológico o desarrollos posteriores. Es responsabilidad y obligación del cliente inspeccionar y verificar cuidadosamente cualquier mercancía que recibe. Personal calificado deberá realizar pruebas para verificar el desempeño del producto o productos aquí descritos. Es responsabilidad exclusiva del cliente llevar acabo y organizar dichas pruebas. Las menciones a marcas comerciales usadas por otras compañías, no son ni recomendaciones ni endosos para ningún producto, y no implican que no se puedan usar productos similares.

MST UNICOM S.A.
Jr. Plácido Jiménez 630, Lima 1- Perú
Tel.: (51-1) 385-0109
Fax.: (51-1) 385-2065

www.basf.com



Figura 9





INFORME DE CONTROL DE CALIDAD
SOBRE CALIDAD DE CEMENTO

CEMENTOS LIMA S.A.

TIPO DE CEMENTO: CEMENTO PORTLAND TIPO I

REMITIDA A. :

COMPOSICION TIPICA DEL MES: JULIO

FECHA: 10/08/2009

ANALISIS QUIMICO	VALORES	NTP 334.009, ASTM C-150 CEMENTO PORTLAND REQUISITOS	
DIOXIDO DE SILICE (SiO ₂) %	19.10		
OXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃) %	6.06		
OXIDO DE FIERRO (Fe ₂ O ₃) %	2.97		
OXIDO DE CALCIO (CaO) %	62.35		
OXIDO DE MAGNESIO (MgO) %	3.24	MAX	6.00%
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃) %	2.71	MAX	3.50%
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O) %	0.90		
OXIDO DE SODIO (Na ₂ O) %	0.15		
OTROS (%)	0.67		
PERDIDA POR IGNICION (P.I.) %	1.54	MAX.	3.00%
TOTAL	99.69		
INSOLUBLES (%)	0.58	MAX.	0.75%
ALCALIS TOTALES (%)	0.74		
CAL LIBRE (CaO (l)) (%)	0.44		
CO ₂ (%)	0.90		
Fases Mineralógicas (según Bogue)			
C3S	51.31		
C2S	16.05		
C3A	11.03		
C4AF	9.04		
ENSAYOS FISICOS			
RETENIDO MALLA 100 (%)	0.28		
MALLA 200 (%)	0.95		
MALLA 325 (%)	6.89		
SUPERFICIE ESPECIFICA BLAINE (m ² /kg)	321	MIN.	280 m ² /kg
CONTENIDO DE AIRE (%)	5.52	MAX.	12.00%
EXPANSION AUTOCLAVE (%)	0.10	MAX.	0.80%
DENSIDAD (g/cm ³)	3.13		
FRAGUADO VICAT INICIAL (min)	139	MIN.	45 min.
FRAGUADO VICAT FINAL (min)	290	MAX.	375 min.
RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm ²)			
24 HRS	162		
3 DIAS	257	MIN.	122 kg/cm ²
7 DIAS	316	MIN.	194 kg/cm ²
28 DIAS	361		

COMENTARIOS: LA RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS CORRESPONDE AL MES DE JUNIO 2009

Este informe muestra las CARACTERISTICAS TIPICAS DEL PROMEDIO MENSUAL DE LA PRODUCCION confirmando que este cemento cumple las especificaciones de las Normas Técnicas NTP 334.009 y ASTM C-150

División de Control de Calidad

V° B°

Ing. Cesar Zanabria
a.i. Jefe de División Control de Calidad

Ing. Ever Viquez
Gerente de Operaciones

Figura 10

ANEXO 6: PROCEDIMIENTOS RESUMIDOS DE ENSAYOS EN CONCRETO ENDURECIDO

6.1 ABRASIÓN

I. Resumen de elaboración

- ❖ Inmediatamente terminada la mezcla de concreto se sacó material para colocarlo en moldes de 6" de diámetro por 2" de altura. Por cada diseño de mezcla se hicieron 3 réplicas, tomándose 2 testigos por cada réplica.



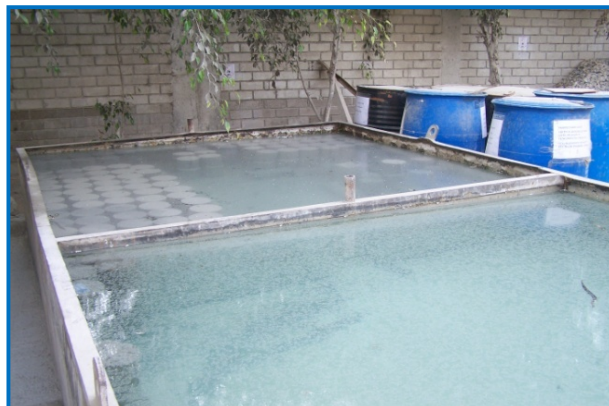
Figura 11: Molde para testigos de abrasión

- ❖ La compactación se realizó con un pisón plástico de sección rectangular de aproximadamente 10 cm. de largo y de 2.5cm x 2.5 cm de sección transversal.
- ❖ Dicha compactación se realizó dando 25 golpes por capa con el pisón en 3 capas pequeñas.
- ❖ Se enrasó cada molde, se rotuló y se colocaron en la poza de curado.

II. Resumen de método de ensayo

- ❖ A la edad de 28 días, se retiraron los testigos de abrasión de la poza de curado.

Figura 12: Pozas de curado



- ❖ A los testigos de abrasión se les hizo secar algunas horas, hasta que ya no se observó rastro de humedad.



Figura 13: Ventiladores usados para secar probetas

- ❖ Se les limpió adecuadamente retirando partículas extrañas con una brocha.
- ❖ Se anotó el peso inicial de cada testigo de abrasión.
- ❖ Cada testigo se colocó en la máquina de abrasión durante 3 ciclos con duración por ciclo de 2 minutos.
- ❖ Se anotaron los pesos tras haber estado sometido a la abrasión al término de cada ciclo.
- ❖ La resistencia a la abrasión vendrá a ser el porcentaje de desgaste que sufrió la muestra al final del tercer ciclo, esta se calcula por diferencia de pesos y se expresa en porcentaje.



Figura 14: Equipo de abrasión



Figura 15: Testigos de abrasión ensayados

6.2 COMPRESIÓN

I. Resumen de elaboración

- ❖ Inmediatamente terminada la mezcla de concreto se sacó material para colocarlo en moldes de 6" de diámetro por 12" de altura.
- ❖ Se colocó el concreto en cada molde en 3 capas, compactando cada capa con 25 varilladas. Por cada diseño de mezcla se hicieron 3 réplicas, tomándose 2 probetas por cada réplica.



Figura 16

- ❖ Se enrasó cada molde, se rotuló y se colocaron en la poza de curado.

II. Resumen de método de ensayo

- ❖ A las edades de 7, 14 y 28 días, se retiraron las probetas de la poza de curado.
- ❖ Se les hizo secar hasta que ya no fue visible la humedad.
- ❖ Se ensayaron en una prensa hidráulica a la velocidad de 460Kg/s aproximadamente (determinada según la norma ASTM C39).



Figura 17

6.3 TRACCIÓN

I. Resumen de elaboración

- ❖ La elaboración de los testigos se efectuó de manera similar al caso del ensayo de compresión.

II. Resumen de método de ensayo

- ❖ A la edad de 28 días, se retiraron las probetas de la poza de curado.
- ❖ Se les hizo secar por varias horas hasta no ver rastros de humedad.

- ❖ Se tomaron 3 medidas de diámetros en 3 zonas de cada probeta (a los dos tercios y al medio).
- ❖ Se tomaron 2 medidas de longitud por cada probeta.
- ❖ Se les ensayó en una prensa hidráulica con velocidad especificada por la norma ASTM, que es de 7 a 14 Kg/cm²/min, lo que equivale aproximadamente a l rango de 21 Kg/s a 42Kg/s.



Figura 18

- ❖ La resistencia a la tracción está dada según la siguiente expresión:

$$T = \frac{2P}{\pi ld}$$

P= Carga aplicada en la rotura por tracción.

l= Promedio de los 2 datos de longitud de la probeta.

d= Promedio de los 3 diámetros tomados a la probeta.

ANEXO 7: PLAN DE CIERRE DE MINAS.



Figura19

ANEXO 8: CÁLCULO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA PARA DOSIFICACIONES DE CONCRETO

RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA

Resistencia especificada a la compresión, MPa	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2): $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (5-1) $f'cr = f'c + 2,33 Ss - 3,5$ (5-2)
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-3): $f'cr = f'c + 1,34 Ss$ (5-1) $f'cr = 0,90 f'c + 2,33 Ss$ (5-3)

Figura20

ANEXO 9: FOTOGRAFÍAS GENERALES

9.1 FOTOGRAFÍAS GENERALES DE LOS EQUIPOS.



Figura 20



Figura 21



Figura 22



Figura 23



Figura 24



Figura 25