

UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**DETERMINACIÓN DE PARAMETROS PARA LA ACTIVACIÓN
DE ARCILLA DE “EL SALTO” PARA ADICIÓN A CEMENTO
IP-30 EL PUENTE.**

Por:

NILDA ANA FLORES TAPIA

**Proyecto de Grado: Investigación Aplicada presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

JULIO DEL 2019

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
DECANO
Facultad de Ciencias y Tecnología

M. Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA
Facultad de Ciencias y Tecnología

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. Ignacio Velásquez Soza

Ing. Fabricio Campero Verdún

Ing. Juan Pablo Herbas Barrancos

Advertencia

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a Dios por guiarme y permitirme desarrollar mis conocimientos y así poder culminar con esta etapa para mi formación profesional. A mi familia por su constante apoyo, pilares de todo lo que soy. A mis docentes por la sabiduría que me transmitieron a lo largo de mi formación profesional. A mi hijo por ser mi fuerza.

Agradecimiento

Agradecida siempre a Dios por la vida. A mamá, por su constante apoyo. A mis hermanos. A Rafael. A mi tío. Por su apoyo incondicional, por darme seguridad en todo momento. y enseñarme el valor de la perseverancia. A la empresa cemento El Puente. A la unidad de soporte en especial a los ing. Fernando H., Cristo E., Jesús G., Policarpio A., por la plena confianza puesta en mí. A los docentes de la carrera de ing. Química por su enseñanza, comprensión, en especial a los ing., Ignacio V., Ernesto C., Juan Pablo H., Fabricio Campero, gracias infinitas a cada uno de ellos.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	15
JUSTIFICACIÓN	21
JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA	21
JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	21
JUSTIFICACIÓN DE CALIDAD	21
JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL.....	21
JUSTIFICACIÓN PERSONAL.....	22
OBJETIVOS	23
OBJETIVO GENERAL	23
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23

CAPÍTULO I

1.1 CEMENTO PORTLAND. Generalidades	24
1.1.1 Definición de cemento según la norma boliviana NB011	27
1.2 LOS MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS (MCS).	28
1.3 PUZOLANAS	29
1.4 ACTIVACION DE ARCILLA	30
1.4.1 Estructura y composición de los materiales arcillosos.....	30
1.4.1.1 Arcillas	30
1.4.1.2 Estructura y composición de arcilla	31
1.4.1.3 Depósitos de arcilla en el mundo.	33
1.4.1.4 Antecedentes de activación de arcilla	37
1.4.1.5 Procesos de activación en sólidos	39
1.4.1.5.1. Procesos de activación térmica	40
1.4.1.5.2. Procesos de activación químicos.....	41
1.4.1.5.3. Procesos de activación mecánica	42

CAPÍTULO II

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	44
2.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS	46
2.2.1 DESCRIPCIÓN DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS.....	47
2.3 PRUEBAS O MÉTODOS DESARROLLADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN.....	47
2.3.1 Pruebas físicas.....	47
2.3.1.1 Método de determinación de la fluidez.....	47
2.3.1.2 Método de determinación de la resistencia a compresión.....	47
2.3.1.3 Determinación de las superficies específicas Blaine	48
2.3.1.4 Determinación del retenido en malla 325	48
2.3.1.5 Determinación de la consistencia normal	49
2.3.1.6 Determinación del tiempo de fraguado.....	49
2.3.1.7 Determinación del índice de actividad.....	49
2.3.2.Pruebas químicas.....	51
2.3.2.1 Método de determinación de pérdida por fuego	51
2.3.2.2 Determinación de residuo insoluble en cementos (NB 061) (ANEXO11).....	51
2.4 DISEÑO FACTORIAL.....	53
2.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE CEMENTO IP-30 CON ADICIÓN DE ARCILLA ACTIVADA	58
2.5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLA.....	58
2.5.2 DETERMINACIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA A UTILIZAR PARA LA CALCINACIÓN	60
2.5.3 PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA CALCINACIÓN.	61
2.5.4 CALCINACIÓN DE ARCILLA.....	62
2.5.5.MOLIENDA.	65
2.5.6 PREPARACIÓN DE MORTEROS.....	68
2.5.7 ROTURA DE MORTEROS	71
2.5.8 Análisis químico y físico de la mejor muestra.....	74

CAPÍTULO III

3.1 ANALISIS DE LA MATERIA PRIMA	78
3.1.1 PRUEBAS FISICAS	78
3.1.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	78
3.1.2 PRUEBAS QUIMICAS	79
3.1.2.1 COMPOSICION QUIMICA.....	79
3.1.3 CUANTIFICACIÓN DE ARCILLA	80
3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	81
3.3 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN.....	88
3.4 VALORACION DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO	94
3.3.1 ESPECIFICACIONES FISICAS PARA ARC-51.....	94
3.2.2 ESPECIFICACIONES QUÍMICAS DE CEMENTO ARC-51	98
3.2.2.1 Cálculo de pérdida por calcinación.....	99
3.2.2.2 Cálculos de trióxido de azufre.....	100
3.2.2.3 Cálculos de óxido de magnesio.....	100
3.4 ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA DE ARCILLA CALCINADA A 10 MIN. Y 800°C	102

CAPÍTULO IV

4.1 CONCLUSIONES	105
4.2 RECOMENDACIONES.....	108
BIBLIOGRAFÍA	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I-1 COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND	24
Tabla I-2: Clasificación y composición de cementos	28
Tabla I-3: Distribución mundial de la aplicación de arcillas caoliníticas	34
Tabla I-4: Distribución de producción anual de arcillas caoliníticas en el mundo.	35
Tabla I-5: Distribución mundial de la producción anual de bentonitas (USGS).	37
Tabla II-1: Composición química de arcilla El Salto.....	44
Tabla II-2 DOSIFICACION DE MATERIALES PARA EL NUEVO CEMENTO ...	47
Tabla II-3: Factores de nivel	54
Tabla II-4: Combinaciones.....	55
Tabla II-5: Combinación numérica Temperatura/Tiempo	56
Tabla II-6: Variables Repuesta.....	57
Tabla II-7: Composición química de arcilla.....	59
Tabla II-8 Dosificación de materias primas	65
Tabla II-9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOLINO DE BOLAS	66
Tabla II-10 CONFIGURACIÓN DE BOLAS PARA EL MOLINO	66
Tabla II-11 Especificaciones de fábrica de mezcladora.....	69
Tabla II-12 Especificaciones de fábrica de prensa.....	72
Tabla III-1 Resultado de arcilla sin calcinar	78
Tabla III-2 COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ARCILLA SIN CALCINAR.....	80
Tabla III-3 DATOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA REPETICIÓN.....	82
Tabla III-4 DATOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO	83
Tabla III-5 ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	84
Tabla III-6 COEFICIENTES ^a	85
Tabla III-7 RESULTADOS VARIABLE RESPUESTA.....	85
Tabla III-8 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN-PRIMERA REPETICION	88
Tabla III-9 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN-SEGUNDA REPETICION	90

Tabla III-10 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN-TERCERA REPETICION	92
Tabla III-11 PARAMETROS ÓPTIMOS DE ACTIVACIÓN DE ARCILLA	93
Tabla III-12 Categorías resistentes a los cementos (resultados según la norma NB470)	94
Tabla III-13 resistencias a la compresión del cemento ARC-51.....	95
Tabla III-14 Especificaciones físicas para cementos NB011	97
Tabla III-15 Especificaciones físicas de cemento ARC-51	98
Tabla III-16 Especificaciones físicas retenido en malla y peso específico.....	98
Tabla III-17 ESPECIFICACIONES QUÍMICAS PARA LOS CEMENTOS	99
Tabla III-18 CARACTERÍSTICA QUIMICAS DE CEMENTO CON ADICION DE ARCILLA ARC-51	101
Tabla III-19 RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CEMENTO PORTLAD..	102
Tabla III-20 RESISTENIA A LA COMPRESION DE CEMENTO PORTLAND CON EL 20% DE PUZOLANA ARTIFICIAL	103
Tabla IV-1DOSIFICACION DE MATERIALES PARA EL NUEVO CEMENTO	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I-1: Distribución de los filosilicatos principales	32
Figura I-2: Estructura de arcilla	33
Figura I-3: Proceso de activación en sólidos.....	40
Figura II-1: Diagrama de flujo para activar arcilla	46
Figura II-2: Dimensiones de molino de bolas	65
Figura III-1: Composición química de arcilla sin calcinar.....	79

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía II-1: Entrada a contera El Salto de El Puente	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía II-2: Depósitos de arcilla “El Salto”	45
Fotografía II-3: Diagrama de flujo para activar arcilla	58
Fotografía II-4: Depósitos de arcilla premezclada en planta cemento El Puente	60
Fotografía II-5: Granulometría de arcilla	61
Fotografía II-6: Recipientes de acero inoxidable	61
Fotografía II-7: Recipientes de acero inoxidable	62
Fotografía II-8: Recipientes con muestra de arcilla lista para calcinar	63
Fotografía II-9: Arcilla calcinada a 400°C a distintos tiempos 10 min/30 min	63
Fotografía II-10: Arcilla calcinada a 600°C	64
Fotografía II-11: Arcilla calcinada a 600°C	64
Fotografía II-12: Molino de bolas	67
Fotografía II-13: Molino de bolas	67
Fotografía II-14: Molino de Bolas	68
Fotografía II-15: Especificaciones de fábrica de mezcladora	69
Fotografía II-16: Preparación de morteros	70
Fotografía II-17: Preparación de morteros	70; ¡Error! Marcador no definido.
Fotografía II-18: Especificaciones de fábrica de prensa	71
Fotografía II-19: Mortero	72
Fotografía II-20: Mesa de fluidez, consistencia normal	73
Fotografía II-21: Mesa de fluidez, consistencia normal	73
Fotografía II-22: PASTILLAS PARA SER LEIDAS EN FLOURESCENCIA DE RAYOS X	74
Fotografía II-23: LECTURA DE COMPOSICION QUIMICA EN FLOURESCENCIA DE RAYOS X	75
Fotografía II-24: PERMEABILIMETRO HUMBOLBT	76
Fotografía II-25: MALLAS 325 Y 200	77

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica III-1: Rendimiento Experimental vs. Rendimiento Modelo **¡Error! Marcador no definido.**

Gráfica III-2: CONTROL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON ADICION DE ARCILLA AL 25% PRIMERA REPETICIÓN 89

Gráfica III-3: CONTROL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON ADICION DE ARCILLA AL 25% SEGUNDA REPETICIÓN 91

Gráfica III-4: CONTROL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON ADICION DE ARCILLA AL 25% SEGUNDA REPETICIÓN 93

Gráfica III-5: COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESION ENTRE LA NORMA NB011 Y EL CEMENTO ARC-51 96

ABREVIATURAS

A	Aluminio Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa
A.	Amperímetro
Al	Aluminio
Al ₂ O ₃	Óxido de aluminio
ARC-B	Muestra blanco de arcilla
ARC-51	Muestra de cemento con adición de arcilla calcinada a 10 min y 800°C
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de control, MPa
Bs.	Bolivianos
CaO	Óxido de calcio
Ca (OH) ₂	Hidróxido de calcio
Ca ₂ SiO ₄	Silicato dicálcico
Ca ₃ SiO ₅	Silicato tricálcico
Ca ₄ Al ₂ SiO ₆	Aluminato tricálcico
Ca ₄ Al ₂ Fe ₂ SiO ₁₀	Ferroaluminato tetracálcico
Ca SO ₄	Sulfato de calcio
Ca ⁺	Catión de calcio
°C	Grados centígrados

CO ₂	Dióxido de carbono
Cp	Cemento portland
DRX	Difracción de rayos X
DTA	Análisis térmico diferencial
d50	Tamaño medio de partículas
EEUU	Estados Unidos
ESMICAL	Especialistas en Minerales Calizos
F	Factor
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro
FTIR	Espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier
g	gramos
H	Hidrógeno
Hz	Hertz
h	Hora(s)
HCl	Ácido clorhídrico
Kg	Kilógramos
Kw	Kilowatt
LC3 calcinada)	Limestone calcined clay cement (Cemento de arcilla calcinada)
ml	Mililitros
min	Minutos
mm	Milímetro
MPa	Mega pascales
m ²	Metro cuadrado

m^3	Metro cúbico
mg	Miligramos
MgO	Óxido de magnesio
N°	Número
NaOH	Óxido de sodio
Na ⁺	Catión de sodio
NB	Norma Boliviana
P	Presión
rpm	Revoluciones por minuto
Psi	Libra de fuerza por pulgada cuadrada
SBET	Superficie específica de Blaine
seg	Segundo
SEM	Microscopia electrónica de barrido
Si	Silicio
SiO ₂	Óxido de silicio
SOBOCE SA.	Sociedad Boliviana de Cemento Sociedad Anónima
SO ₃	Trióxido de azufre
t	Toneladas
T	Tiempo
US\$	Dólares Americanos
V	Voltios
V ₁	Volumen inicial
V ₂	Volumen final

W_{ceniza}	Peso de ceniza o peso final
W_{crisol}	Peso del crisol
$W_{perdido}$	Peso perdido o peso final
$W_{muestra}$	Peso de la muestra o peso inicial

RESUMEN

La industria del cemento es responsable de un gran porcentaje de las emisiones de CO₂ liberadas a la atmósfera. Diversas soluciones se han planteado con el objetivo de lograr producciones más ecológicas, una de ellas es la sustitución de Clinker por materiales cementicios suplementarios (MCS). Así también poder bajar el costo de producción del cemento.

Tal es el caso de las puzolanas, las cuales constituyen una vía de lograr reducciones en el consumo de cemento, ya sea como adiciones en el proceso de producción de cemento como en la sustitución de este en la fabricación de hormigones. En ambos casos, es bien conocido que las puzolanas modifican las propiedades físicas y mecánicas del hormigón.

Existen dos tipos de puzolanas, las naturales y las artificiales. Las puzolanas pueden clasificarse, en dependencia de su origen, en naturales o artificiales.

Las puzolanas naturales son las rocas existentes en la naturaleza que no precisan para su empleo nada más que la molienda, siendo característico de ellas que en su composición química predomine la sílice, el aluminio y el hierro. Las mismas no están distribuidas uniformemente en el planeta, pero hay varias zonas donde estos materiales son abundantes, en especial en el llamado “cinturón de fuego” (Martirena J.F, 2003).

Las puzolanas naturales pueden ser provenientes de rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de lava como las cenizas volcánicas, las tobas y la escoria.

Las puzolanas artificiales provienen de las cenizas que se producen en la combustión del carbón mineral, fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad. Las arcillas calcinadas o activadas artificialmente como los residuos de quema de ladrillos u otros tipos de arcillas que hayan estado expuestas a altas temperaturas.

Para la realización de éste proyecto se tomó como base otros proyectos similares en varios países del mundo como: Brasil, Francia, Túnez, Dinamarca, Israel, Grecia Eslovaquia y Cuba; los cuales sirvió para fijar los rangos de tiempo y temperatura y así desarrollar el diseño factorial.

El propósito de esta investigación es estudiar la activación térmica de arcillas por ende determinar los parámetros óptimos (temperatura y tiempo) para su utilización como puzolanas.

Con este fin se seleccionó arcilla de canteras El Salto (SOBOCE SA.) se las caracterizó químicamente de igual forma se las cuantificó con la empresa ESMICAL teniendo como un resultado de reserva de 5670000 toneladas aproximadamente.

Las muestras fueron calcinadas de acuerdo a un cronograma y código definido para cada muestra donde se evaluó para cada una la resistencia a la compresión de acuerdo a la norma boliviana **NB470 (ANEXO 3)** y se estimó sus parámetros óptimos de activación con un tiempo de 10 min., y temperatura de 800°C, para la producción de un material cementante de características equivalentes al cemento Portland.

La muestra con mayor resistencia a la compresión denominada ARC-51 con 32.5 MPa a los 28 días fue caracterizada tanto química como físicamente de acuerdo a los requerimientos de la norma boliviana especificaciones de cemento **NB 011(ANEXO 1)**, donde se cumplió todos los requisitos físicos y químicos de acuerdo a la norma para un cemento de tipo IP-30.

Llegando a la conclusión que es posible la producción industrial de este cemento con el 25% de adición de arcilla, por lo cual se sugiere a la empresa Cemento El Puente SOBOCE SA. Activar la arcilla a nivel industrial en un horno rotatorio para poder aprovechar la máxima activación térmica con la ayuda de la rotación, así poder alcanzar una máxima reactividad de la misma y tener mejores resultados.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

En la actualidad, por razones económicas y medioambientales, la industria cementera busca optimizar el uso de materiales de sustitución del Clinker de cemento por otros materiales cementicios suplementarios.

Tal es el caso de las puzolanas, las cuales constituyen una vía de lograr reducciones en el consumo de cemento, ya sea como adiciones en el proceso de producción de cemento como en la sustitución de este en la fabricación de hormigones. En ambos casos, es bien conocido que las puzolanas modifican las propiedades físicas y mecánicas del hormigón.

El uso de las puzolanas en la industria del cemento se viene dando desde hace varias décadas.

Existen dos tipos de puzolanas, las naturales y las artificiales. Las puzolanas naturales que se obtienen directamente de la naturaleza o como subproducto de otros procesos se adicionan directamente al cemento, mientras que las artificiales que no se obtienen como subproductos de otros procesos necesitan de un proceso de activación adicional para poder ser agregadas al cemento.

Las puzolanas pueden clasificarse, en dependencia de su origen, en naturales o artificiales. Las puzolanas naturales son las rocas existentes en la naturaleza que no precisan para su empleo nada más que la molienda, siendo característico de ellas que en su composición química predomine la sílice, el aluminio y el hierro. Las mismas no están distribuidas uniformemente en el planeta, pero hay varias zonas donde estos materiales son abundantes, en especial en el llamado “cinturón de fuego” (Martirena J.F, 2003).

Por otro lado, las puzolanas artificiales son subproductos de procesos de altos consumidores de energía, ya sea por las altas temperaturas requeridas en la calcinación o combustión de materias primas.

El proceso de fabricación de algunos materiales utilizados en la construcción contribuye al aumento de gases de efecto invernadero como CO₂ en la atmósfera. El cemento se mantendrá como un material necesario para satisfacer las necesidades de vivienda global con infraestructura moderna. La industria del cemento se enfrenta a desafíos cada vez mayores en todo el mundo: conservación de materiales y recursos energéticos; reducción de emisiones de CO₂ (Schneider M. et al., 2011). Según la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency), los principales puntos sobre los cuales deben trabajar los productores de cemento son el aumento en la eficiencia energética y el uso de materiales alternativos: combustibles o materias primas. El uso de combustibles alternativos ha aumentado significativamente en los últimos años, mientras que la reducción de la cantidad de clinker en el cemento sigue siendo una prioridad (Pounds T.M., 2009; Schneider M. et al., 2011). La selección de los materiales cementicios suplementarios, se encuentra limitada por la disponibilidad regional de los mismos (Gustavsson L. y Sathre R., 2006).

Aproximadamente el 5% de la emisión global de CO₂ es generada durante la producción del cemento. El principal productor de cemento en el mundo es China (más del 50%), seguido por India y EEUU. Si se mantienen las mismas condiciones de producción, la emisión de CO₂ correspondiente a la industria del cemento aumentará de 2297 millones de toneladas registradas en 2005 a 3486 millones de toneladas estimadas para el 2020 (GNCS, 2012). Si se analizan las emisiones generadas durante la elaboración del Clinker en el horno de cemento Portland, aproximadamente el 50% del CO₂ proviene de la combustión del combustible utilizado, y el 50% restante de la descarbonatación de la caliza (Construcción y tecnología, 1992).

La utilización de puzolanas como reemplazo parcial del cemento, contribuye a la disminución de la cantidad de clinker utilizado y de esta manera disminuye la emisión de CO₂, mejorando, además, cuando se las utiliza en el porcentaje adecuado y poseen las características requeridas, la resistencia y durabilidad de los morteros realizados (Samet B. et al., 2007). Entre los materiales utilizados como puzolanas, se encuentran las arcillas activadas térmicamente, el rango de temperaturas para su activación (400

°C a 900 °C) es inferior a la temperatura de clinkerización (1450 °C), lo que implica un menor consumo de energía con la consecuente disminución en la emisión de CO₂.

Las arcillas calcinadas se comportan como puzolanas si, en presencia de agua, reaccionan con el hidróxido de calcio procedente de la hidratación del cemento Portland (CP) a temperatura ambiente, dando lugar a compuestos insolubles y estables que actúan como conglomerantes hidráulicos.

El propósito de esta investigación es estudiar la activación térmica de arcillas para su utilización como puzolanas.

PROCESOS DE ACTIVACIÓN EN SÓLIDOS

Los procesos de activación buscan transferir a los sólidos propiedades especiales como catalizadores, adsorbentes o puzolanas. Los procesos más usados para activar a los sólidos y en especial las arcillas son el térmico, químico y mecánico.

PROCESOS DE ACTIVACIÓN TÉRMICOS

Los procesos de activación térmicos se basan en el aumento de la reactividad del compuesto sólido debido a cambios de temperatura. Estos cambios de temperatura pueden producir cambios de fases en estructura cristalina o pérdidas de constituyentes volátiles.

Cuando la arcilla es sometida a tratamientos térmicos adecuados, se forman en ella compuestos puzolánicos activos en virtud de las reacciones y las transformaciones en las que, junto a la estructura y constitución mineralógica de partida y a la composición química, juegan importantísimo papel como variables la temperatura y el tiempo de tratamiento (Calleja J., 1968).

Diversos autores han estudiado cómo influyen en las propiedades del cemento puzolánico, las variables involucradas en el proceso de obtención de puzolanas a partir de la calcinación de arcillas encontradas en su región:

En Francia, Murat M. (1983 a y b) estudió tres muestras de arcillas caoliníficas provenientes de Francia.

Las caracterizó mediante DRX, FTIR, SEM, DTA, determinando el porcentaje de Caolinita y la cristalinidad de la misma. Todas las muestras fueron calcinadas a 730°C durante 6 horas. Analizó las fases formadas durante la hidratación con Ca(OH)_2 utilizando DTA. Determinó que las impurezas presentes, el tamaño de grano y la cristalinidad de la Caolinita influyen en las fases hidratadas obtenidas y en la resistencia a la compresión desarrollada. Ambroise J. et al. (1985), continúa en esta línea de investigación junto a Murat y determinan la relación entre la metacaolinita y el Ca(OH)_2 , que proporciona la mejor resistencia a la compresión, así como también las condiciones óptimas de curado. Salvador S. (1995), analizó muestras de arcillas caoliníticas procedentes de Morbihan y Montguyon, con superficies específicas de 13,4 y 11,2 m²/g. La variable analizada fue la temperatura de calcinación (entre 500 y 1000 °C). El tiempo de calcinación se mantuvo constante en 5 horas. Analizó la influencia en el porcentaje de deshidroxilación y en la resistencia a la compresión a los 28 días, comparó los resultados con los obtenidos cuando se realizaba calcinación flash. Obtuvo mejores resultados en este último caso y no encontró diferencias concluyentes acerca de la influencia de la temperatura utilizada en la calcinación tradicional.

BRASIL Y FRANCIA

Bich Ch. (2005); Bich Ch. et al. (2009), analizaron tres arcillas caoliníticas diferentes, dos de diferentes regiones de Brasil y una de Bretaña, Francia. Antes de la calcinación determinaron la composición química de las muestras, y las caracterizaron mediante DRX, FTIR, DTA, d₅₀ y SBET. Las variables analizadas fueron: la temperatura de calcinación (500, 650, 700, 750 y 850 °C) y el período de calcinación (3, 10, 30, 45, 60, 300, 900 min.). El porcentaje de deshidroxilación de las muestras calcinadas lo determinaron utilizando DTA, obteniendo diferentes temperaturas de calcinación y período para la deshidroxilación total de cada muestra: para la primera, 650 °C durante 5 horas; para la segunda, 650 °C durante 5 horas; y para la tercera, 650 °C durante 45 minutos. El tercer presentó mayor desorden y cantidad de defectos en la superficie, resultando la más fácil de deshidroxilar y con mayor actividad puzolánica en los primeros 7 días. La actividad puzolánica de las muestras calcinadas la determinaron

midiendo el $\text{Ca}(\text{OH})_2$ residual a los 7, 28 y 90 día por DTA, en una mezcla hidratada de 50% arcilla caolinítica y 50% $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Brasil de Oliveira M.P. y Barbosa N.P. (2006) estudiaron una arcilla caolinítica procedente de Paraiba, Brasil. Antes de la calcinación, la muestra fue molida con dos finuras diferentes: una hasta 100% pasante por tamiz de 75mm., y otra hasta 100% pasante por tamiz de 45mm, y analizada mediante DTA/TG. Las temperaturas de calcinación utilizadas fueron de 700, 800 y 900 °C por un período de 2 horas. La otra variable analizada fue el porcentaje de reemplazo en el cemento: 10, 20, 30 y 40%. La influencia de las distintas variables (molienda de la arcilla, temperatura de calcinación y porcentaje de reemplazo) fue determinada por DRX y resistencia a la compresión a los 7, 28 y 90 días. El material más fino fue el que mostró mejor resistencia. Concluyeron para la muestra en estudio que cuando la arcilla se calcina a 700 °C, se puede utilizar un reemplazo del 30% en el cemento.

TÚNEZ

Chakchouk A. et al. (2006) trabajaron con arcillas caoliníticas procedentes de diferentes regiones de Túnez: Mednine, Zarmdine, Gabes y Tabarka. Realizaron la caracterización química, mineralógica y física de las muestras, utilizaron diferentes temperaturas de calcinación 600, 700 y 800°C y un tiempo de residencia de 5 horas. La actividad puzolánica la evaluaron mediante resistencia a la compresión, determinando que las muestras correspondientes a la región de Tabarka con elevado contenido de Caolinita presentaron la mayor actividad puzolánica, seleccionando como temperatura óptima 700°C.

Samet B. et al. (2007) realizaron estudios a partir de arcilla caolinítica de la región de Tabarka en Túnez, continuando con el trabajo de Chakchouk A. et al. (2006). Analizarón la influencia de la temperatura de calcinación (entre 700 y 800 °C), la superficie específica Blaine de la arcilla calcinada (430 a 700 m²/kg) y el porcentaje de reemplazo en el cemento (10 a 30%); mientras que el tiempo de calcinación lo fijaron en 5 horas. El efecto de estas variables fue determinado a partir de la medición de la resistencia a la compresión del cemento con adición de arcilla calcinada a los 7,

28 y 91 días.

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN TECNOLÓGICA

Actualmente el país no cuenta con industrias que realicen la activación de arcilla para ser utilizada como una puzolana artificial, pero se dispone de la tecnología necesaria para la activación/calcinación pero requiere grandes inversiones, por lo cual la presente investigación servirá de base para desarrollar otros proyectos con los que se podrá conocer en mayor medida el comportamiento de distintas variables, ayudará a generar nuevas ideas, recomendaciones, innovaciones, implementando tecnología avanzada para futuros estudios.

JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

El interés de la empresa está centrado en este punto, y se justifica pensando únicamente en el hecho inicial de reemplazar la toba dacítica que tiene un elevado costo de producción en relación a la arcilla con una diferencia de 22.41 US\$ por tonelada.

JUSTIFICACIÓN DE CALIDAD

Estas adiciones mejoran tanto su resistencia mecánica como su durabilidad del cemento. Estos yacimientos de arcilla se encuentran en la concesión El salto de propiedad de SOBOCE SA., reservas estimadas: 5.670.000 t.

JUSTIFICACIÓN AMBIENTAL

Es el nuevo tipo de cemento que propone una alternativa para la sustentabilidad ambiental, en su elaboración se emplea arcilla calcinada, este material se puede encontrar de manera abundante, es un cemento ecológico que contiene menos Clinker y utiliza menor consumo de combustible en su elaboración, por tanto, se reducen las emisiones de CO₂ hasta en un 30%. Para producirlo no se requiere de grandes modificaciones en las plantas de cemento.

La fabricación de Cemento Portland constituye uno de los procesos industriales más contaminantes a escala global, por ello urge buscar soluciones a partir de nuevos

materiales que mantengan las propiedades físico-mecánicas del mismo y que a su vez disminuyan los costos de producción y los niveles de contaminación.

JUSTIFICACIÓN PERSONAL

Con este trabajo se pretende ganar experiencia y conocimiento sobre la activación de la arcilla para utilizar como puzolana en reemplazo a la toba, y así también adiestrarse en el uso de los equipos de laboratorios tanto físico como químico con el fin de realizar un buen trabajo de grado.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinar los parámetros para la activación de arcilla de “El Salto” para adición a cemento IP-30 El Puente.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar la arcilla seleccionada.
- Realizar la activación térmica.
- Determinar los parámetros óptimos de activación (temperatura y tiempo) de arcilla de “El Salto” para adición de cemento IP30 El Puente.
- Evaluar la actividad puzolánica y relacionar los resultados obtenidos
- Obtener cemento tipo Ip-30 con adición de arcilla.
- Analizar y valorar la calidad del producto obtenido, determinando la resistencia del cemento obtenido según normas en un tiempo de 7 días 14 días y 28 días.

CAPÍTULO I

MARCO TEORICO

1.1 CEMENTO PORTLAND. Generalidades

El cemento Pórtland es un alúmino silicato de calcio, patentado por J. Aspdin en 1824, y denominado Pórtland por su semejanza a una piedra que abunda en esa localidad de Inglaterra. Se obtiene por calentamiento incipiente (aproximadamente 1300 °C) de una mezcla de minerales finamente molidos, formados por piedra caliza y arcilla. El calentamiento se efectúa en hornos giratorios levemente inclinados de 3m., de diámetro y 100 m., de largo. El Material obtenido denominado “clinker” se muele finamente adicionándole de un 2% a 3% de yeso para evitar que fragüe instantáneamente. Los compuestos del cemento así formado son:

Tabla I-1 COMPONENTES DEL CEMENTO PORTLAND

NOMBRE	FÓRMULA	FÓRMULA DE ÓXIDOS	PORCENTAJE (%)
Silicato dicálcico	Ca_2SiO_4	$\text{SiO}_2 * 2\text{CaO}$	32
Silicato tricálcico	Ca_3SiO_5	$\text{SiO}_2 * 3\text{CaO}$	40
Aluminato tricálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2 \text{SiO}_6$	$\text{Al}_2\text{O}_3 * 3\text{CaO}$	10
Ferroaluminato tetracálcico	$\text{Ca}_4\text{Al}_2 \text{Fe}_2 \text{SiO}_{10}$	$\text{Al}_2\text{O}_3 * \text{Fe}_2\text{O}_3 * 4\text{CaO}$	9
Sulfato de calcio	Ca SO_4		2-3

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En estos compuestos el magnesio puede reemplazar al calcio, existen también silicatos y ferroaluminatos de sodio y potasio.

Para expresar la composición de un determinado cemento, generalmente se determinan en conjunto los óxidos que forman los compuestos antes mencionados.

Se denomina fraguado al proceso químico por el cual el cemento adquiere dureza pétreo (proceso irreversible), a diferencia de las calces grasas el fraguado del cemento es hidráulico porque se produce por reaccionar con el agua que provoca el fenómeno de hidrólisis de algunos compuestos y posteriores hidrataciones y recombinaciones. El fraguado se produce en dos etapas:

1. Fraguado: proceso que dura de minutos a 15 horas, en que la masa plástica adquiere rigidez.
2. Endurecimiento: proceso en que la masa rígida aumenta su dureza y resistencia mecánica que demanda de 28 días a varios años

El cemento Portland, es un tipo de cemento hidráulico, que al realizarse la mezcla con áridos, agua y fibras de acero se produce una transformación en la cual obtendremos una masa muy duradera y resistente, denominada hormigón.

Por tanto, es decir, es el que más se utiliza en la construcción y al ser un tipo de cemento hidráulico, su principal característica es la de fraguar y endurecerse al entrar en contacto con el agua. Como consecuencia de dicha reacción adquiriremos un inmejorable material con excelentes cualidades aglutinantes.

El hormigón es el segundo material más usado por el hombre, después del agua. Se estima que por cada habitante del planeta se producen como promedio 3 toneladas de hormigón cada año. Debido a su relativo bajo costo de producción y versatilidad, no se visualiza en el futuro cercano el remplazo del concreto por ningún otro material (Andrés 2014). Su proceso de elaboración, al igual que otros productos manufacturados por el hombre traen consigo una huella ecológica y por ende responsable de emisiones de CO₂ a la atmósfera. En el caso particular de la optimización del cemento, el criterio está asociado al empleo de subproductos industriales y uso de adiciones tanto al cemento como al hormigón, empleando materias primas que minimicen las emisiones de CO₂ o que se obtengan mediante procesos que consuman menos energía. El reto es diseñar proyectos en armonía con la naturaleza, utilizando el concepto de desarrollo sostenible. Esto implica el uso de materiales de alto rendimiento, respetuosos con el medio ambiente y producidos a un costo razonable (Pastor 2015).

En específico la industria del cemento ha sufrido transformaciones radicales en sus más de 100 años de historia. La diseminación de grandes plantas industriales productoras de cemento se produjo a finales del siglo XIX, la primera planta de América fue montada en Coplay, EEUU en 1871. En 1887 Henri Le Chatelier hizo un importante aporte a la mineralogía del cemento, al nombrar los principales minerales que se forman en su reacción de hidratación: Alita (silicato tri-cálcico), Belita (silicato bi-cálcico) y Celita (Alumino- ferrato tetra-cálcico). Por primera vez se describe la reacción de hidratación como un proceso de formación de productos cristalinos, resultante de la reacción entre el cemento y el agua. Finalmente, en 1917 se funda la American Society for Testing Materials (ASTM), que estableció una fórmula estándar para el cemento Pórtland (Hernández 2010).

Ante las preocupaciones existentes con respecto al cambio climático, diversos países y corporaciones reconocen la necesidad de implementar políticas que contribuyan a mitigar el impacto ambiental y crear un modelo sostenible para la producción de cemento. Existe una estrategia común, sustentada en cuatro líneas de trabajo fundamentales:

(i) la mejora en la eficiencia de los procesos, (ii) el uso de fuentes alternativas de combustibles, (iii) la captura y almacenaje de CO₂ y (iv) la reducción del factor de clínquer mediante el empleo de materiales cementicios suplementarios. En este sentido, las acciones a tomar para la reducción de las emisiones causadas por la industria del cemento deben ser consideradas desde un enfoque regional, atendiendo a las características geopolíticas y tecnológicas de cada país, organización o fábrica (Andrés 2014).

1.1.1 Definición de cemento según la norma boliviana NB011

Son conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Los cementos son materiales granulares muy finos y homogéneos, cuyo aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamiento, solo se puede conseguir mediante procesos continuos de fabricación (selección, dosificación, molturación, homogeneización de materias primas y de productos intermedios y clinkerización de crudos), así como de realizaciones periódicas y frecuentes de control de la calidad, todo ello llevado a cabo mediante operaciones de autocontrol de los fabricantes, ejecutadas por personal cualificado y adiestrado y con maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.

Tabla I-2: Clasificación y composición de cementos

Tipos de cemento			Proporción en masa % ⁽¹⁾				
			Componentes principales				Componentes adicionales ⁽²⁾
Denominación	Designación	Tipo	Clinker	Puzolana	Filler	Escoria	
Cemento Portland	Portland	I	95 a 100				0 a 5
	Portland con puzolana ⁽⁴⁾	IP	60 a 94	6 a 40			0 a 5
	Portland con filler calizo ⁽³⁾	IF	65 a 94		6 a 20		0 a 5
	Portland con escoria	IS	65 a 94				0 a 5
	Portland mixto	IM	65 a 94	6 a 35			0 a 5
Cemento puzolánico ⁽⁴⁾		P	45 a 60	40 a 55			0 a 5

Fuente: Norma Boliviana NB011-2012

- (1) En estos valores se excluyen: El regulador de fraguado y los aditivos.
- (2) Los componentes adicionales pueden ser puzolana, filler, caliza o escoria, a menos que sean componentes principales del cemento.
- (3) Para cementos tipo IF, se deben realizar el control del filler calizo mediante el método de azul de metileno.
- (4) El índice de actividad de la puzolana se debe realizar mediante el método de ensayo de la norma ASTM C311

1.2 LOS MATERIALES CEMENTICIOS SUPLEMENTARIOS (MCS).

Los materiales cementicios suplementarios (MCS) son una alternativa a la disminución en el consumo energético y en las emisiones de gases de efecto invernadero por

volumen del aglomerante, obteniéndose además ventajas desde puntos de vista ingenieril, económico y ecológico.

En general, estas materias primas cerámicas se presentan originariamente en la naturaleza formando acumulaciones minerales o rocosas, a partir de las cuales se extraen los materiales útiles para la fabricación cerámica, bien en su estado natural o bien sometiendo los materiales brutos a un proceso de lavado y enriquecimiento en su contenido mineral (Monzons.)

1.3 PUZOLANAS

Dentro del amplio grupo de los MCS se encuentran las puzolanas, según la normativa establecida por ASTM-C 608-92a se definen las puzolanas como materiales silíceos o aluminosos, los cuales por sí mismos poseen poco o ningún valor cementante, pero en forma finamente dividida y en presencia de humedad, reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a temperaturas ordinarias para formar compuestos que poseen propiedades cementicias. De modo más amplio puede agregarse, que los productos formados son silicatos y aluminosilicatos hidratados, similares a los resultantes del fraguado del cemento Portland (Pérez 2014).

Los referentes internacionales permiten identificar que el empleo de materiales con propiedades puzolánicas preceden al uso del cemento, siendo los romanos precursores al utilizar un material derivado de la molienda de ladrillos de arcilla y ceniza volcánica “pulvisputeolanus” (Jacobo Martínez-Reyes, 2007).

Las puzolanas naturales pueden ser provenientes de rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de lava como las cenizas volcánicas, las tobas, la escoria y la obsidiana.

Además, existen rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

Las puzolanas artificiales provienen de las cenizas que se producen en la combustión del carbón mineral (lignito), fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad. Las arcillas calcinadas o activadas artificialmente como los residuos de quema de ladrillos u otros tipos de arcillas que hayan estado expuestas a temperaturas superiores a los 800 °C. Escorias de fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos debiendo ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.

Las cenizas de residuos agrícolas se presentan como otro tipo de puzolana artificial. Entre estas se encuentran la ceniza de cascarilla de arroz, ceniza del bagazo y la paja de la caña de azúcar. Cuando son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

1.4 ACTIVACION DE ARCILLA

1.4.1 Estructura y composición de los materiales arcillosos

1.4.1.1 Arcillas

Las rocas ígneas se originan por el enfriamiento de magmas, que surgen de masas fundidas procedentes del interior de la Tierra. Las arcillas son el producto de la disgregación parcial o total de las rocas ígneas por acción del agua, los agentes atmosféricos (fundamentalmente CO₂), la temperatura y la presión, durante muy largos períodos de tiempo (eras geológicas: millones de años). Por tal razón, el término arcilla no corresponde a una composición química o mineralógica definida; las arcillas son mezclas de diversas especies minerales, según la composición de la roca matriz y el proceso de meteorización sufrido (Kingery W.D. et al., 1976; Mari E.A., 1998). Por esto, el estudio de las arcillas y la evaluación de sus yacimientos, que por los mismos motivos presentan una elevada heterogeneidad, es complejo.

Las arcillas están formadas por distintas especies mineralógicas, que según su preponderancia le confieren sus peculiares características. Las arcillas además de los

minerales de arcillas propiamente dichos, poseen sílice libre que generalmente es cuarzo cristalino de tamaño mayor a 10 micrones, carbonatos de diversos tamaños, feldespatos generalmente alcalinos y alcalinotérreos, compuestos de hierro y titanio, sales solubles, materia orgánica y residuos carbonosos. Así, por ejemplo, el término caolín designa una arcilla con un elevado porcentaje de Caolinita y un bajo contenido de impurezas en general, especialmente óxido férrico; una arcilla illítica tendrá el mayor porcentaje del mineral illita y una arcilla esmectítica el mayor porcentaje de algunos de los minerales del grupo de las esmectitas, por ejemplo, Montmorillonita.

En 1995 la AIPEA (Asociación Internacional Pour L'Etude des Argiles) y la CMS (Clay Minerals Society) redefinieron el término "arcilla". De esta manera, la palabra arcilla se refiere al material "natural" compuesto fundamentalmente por "mineral de grano fino", el cual es generalmente "plástico" con apropiada cantidad de agua, que endurece cuando se lo seca al aire o calcina. Generalmente, la arcilla está constituida por "filosilicatos" pero puede contener otros materiales que imparten plasticidad y que endurecen con el secado.

Las arcillas son, por definición, sólidos de granos finos y muchas de sus aplicaciones derivan de él o son "filosilicatos" porque los iones de su estructura están arreglados en series de planos paralelos, los cuales están fuertemente unidos en forma de láminas.

1.4.1.2 Estructura y composición de arcilla

Las arcillas (silicoaluminatos hidratados), en cuya estructura química participan principalmente Silicio (Si), Aluminio (Al), Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), pertenecen a la familia de los filosilicatos, cuya unidad estructural básica es el tetraedro compuesto por Silicio y Oxígeno; dichos tetraedros se unen compartiendo tres de sus cuatro oxígenos con otros vecinos formando capas llamadas tetraédricas que constituyen la red fundamental de los filosilicatos. Aunque la caolinita se encuentra dentro del grupo de las arcillas, desde el punto de vista de su estructura, tiene diferencias, ya que, en vez de tener dos filas de tetraedros y una de octaedros, ella tiene una sola fila de tetraedros de sílice y una octaédrica de óxido de aluminio, de allí el elevado contenido de este óxido (Pinto 2011).

De acuerdo con la manera en que en 2 ó 3 capas de los filosilicatos que conforman su estructura interna se agrupan y mantienen enlazados, las arcillas son divididas en dos grupos principales según se muestra en la Tabla 1.2.1 (Andrés 2014).

Figura I-1: Distribución de los filosilicatos principales

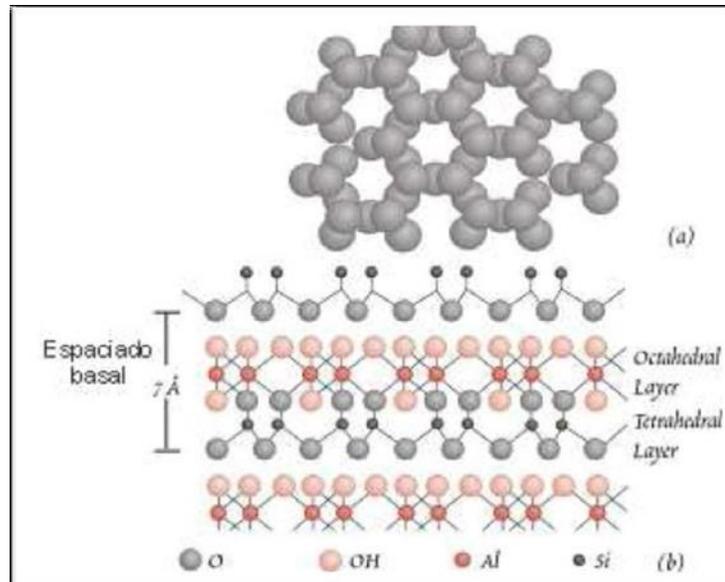
Grupo	Distribución de los filosilicatos principales minerales arcillosos que integran el grupo			
1:1	Sílice-alúmina	Caolinita		
2:1	Sílice-alúmina-sílice	Montmorillonita, Illita		

	DIOCTAÉDRICOS		TRIOCTAÉDRICOS		CARGA
BILAMINARES T : O 1:1		Caolinita		Antigorita	
	CANDITAS	Nacrita	SERPENTINA	Crisotilo	
		Dickita		Lizardita	
		Halloisita		Bertierina	X = 0
TRILAMINARES T : O : T 2 : 1	Pirofilita		Talco		X = 0
		Montmorillonita		Saponita	X = 0,2-0,6
	ESMECTITAS	Beidellita	ESMECTITAS	Hectorita	
		Nontronita			
	Vermiculitas		Vermiculitas		X = 0,6-0,9
	Illitas				X = 0,9
	MICAS	Moscovita		Biotita	X = 1
	Paragonita	MICAS	Flogopita		
			Lepidolita		

Fuente: Andrés, 2014.

Sucesivas capas de arcillas son conectadas entre sí según el vínculo generado por el balance de carga y la estructura interna de cada mineral arcilloso. En el caso de la caolinita, enlaces de hidrógeno o fuerzas del tipo Van der Waals son lo suficientemente fuertes para que no se produzca hinchazón en presencia de agua. En las illitas el enlace es muy fuerte por medio de cationes K^+ y las montmorillonitas, que pertenecen al mismo grupo de las illitas, se diferencian de estas por estar vinculadas por enlaces débiles a través de diferentes cationes como Na^+ y Ca^+ , que determinan la adsorción de agua en el espacio interlaminaar (Andrés 2014).

Figura I-2: Estructura de arcilla



Estructura de la caolinita. (a) Vista de la capa tetraédrica. (b) Vista de corte.

Fuente: Tironi, 2013.

1.4.1.3 Depósitos de arcilla en el mundo.

El mercado mundial de arcillas caoliníticas posee tres áreas de producción de gran importancia: los caolines sedimentarios de Georgia y Carolina del Sur en los Estados Unidos; los caolines primarios en Cornwall, zona del suroeste de Inglaterra; los caolines sedimentarios en el bajo Amazonas, Brasil. Estas arcillas caoliníticas son de alta calidad (elevado contenido de Caolinita y características físicas adecuadas) por lo que se las puede utilizar en la industria del papel. Otros depósitos de arcillas caoliníticas de importancia regional se encuentran en Australia, Argentina, República Checa, China, Francia, Alemania, Indonesia, Irán, México, Corea del Sur, España, Turquía y Ucrania. Las propiedades de este mineral han permitido su utilización en la industria del papel, materiales refractarios, cerámica, fibra de vidrio, cemento, caucho y plásticos, pinturas, catalizadores (Tironi 2013).

Los principales yacimientos en Estados Unidos se hallan en Tennessee y Kentucky; en Panola County, Mississippi; en el distrito nordeste del Condado Cherokee, Texas, y en el de Stanislaus, California. Su entorno sedimentario es muy parecido al de las ballclays europeas, siendo éstas de mayor finura.

Importantes yacimientos de ballclays se hallan en Devon y Dorset, en el sur-oeste de Inglaterra. Similares arcillas caoliníticas se presentan en LoughNeagh, Irlanda del Norte y en la cuenca de Hampshire.

En la cuenca del Don existe un gran filón de arcilla, cuyas características son comparables con las de las ballclays inglesas. Su contenido en alúmina es del 31-32 % y de óxidos de hierro, de un 1 %. En los Urales las arcillas caoliníticas están confinadas a la ladera este de la sierra.

En Alemania los yacimientos más importantes de arcillas caoliníticas y otras se explotan en las cuencas del Rin, entre Colonia y Koblenza, en Westerwald Highland. En Rheinland los yacimientos más valiosos y más extensos se hallan en el área de Kannebäckerland. En la cuenca superior del Rin, en el área de Rheinland-Pfalz, los yacimientos más grandes están en Hettenleidelheim y Eisenberg(Monzons.).

Tabla I-3: Distribución mundial de la aplicación de arcillas caoliníticas

Aplicación	Porcentaje
Industria del papel	45
Materiales refractarios	16
Cerámica	15
Fibra de vidrio	6
Cemento	6
Caucho y plásticos	5
Pinturas	3
Catalizadores	2
Otros	2

Fuente: Tironi, 2013.

De la **Tabla I-3** se desprende que la industria del papel es el mayor consumidor de arcillas caoliníticas, sin embargo, esta industria necesita de arcillas con un elevado contenido de Caolinita (denominadas caolín) e impurezas no abrasivas, para evitar el desgaste de los equipos utilizados durante el procesamiento. La presencia de impurezas duras como el cuarzo y los feldespatos, aumentará la abrasividad de la arcilla caolinítica (Kogel J.E. et al., 2006). El tratamiento de las arcillas caoliníticas para eliminar estas impurezas es técnicamente complejo y costoso. Por esto, la utilización de arcillas caoliníticas como puzolanas en cemento, es una buena alternativa cuando no poseen las características necesarias en la industria del papel.

Tabla I-4: Distribución de producción anual de arcillas caoliníticas en el mundo.

País	Miles de toneladas	País	Miles de toneladas
EEUU	8870	México	490
Reino Unido	2300	Turquía	450
Brasil	1700	España	400
República Checa	1050	Argentina	300
Irán	900	Francia	300
Alemania	700	Ucrania	300
Corea del Sur	670	Indonesia	250
China	600	Australia	250

Fuente: Tironi, 2013.

En cada región del mundo, la utilización de arcillas caoliníticas como puzolanas depende de varios factores: la presencia de impurezas que no favorecen su utilización en las industrias del papel, refractarios o cerámicas (**Tabla I.4.**); la existencia de depósitos del tamaño adecuado, fácil acceso, cercano a la zona de producción de

cemento y con propiedades constantes; la presencia de puzolanas naturales o artificiales en la región. Si los depósitos de arcillas caoliníticas se encuentran alejados, el impacto económico o medioambiental del transporte comienza a ser una desventaja. Por otro lado, la posibilidad de obtener propiedades constantes utilizando arcillas de depósitos de gran tamaño es una ventaja sobre otras puzolanas naturales (Kogel J.E. et al., 2006).

Las bentonitas a gran escala se utilizan como arena de moldeo en fundición; peletización de minerales; perforación de pozos petroleros; adsorción de impurezas en aceites; clarificación de vinos, jugos, sidras; pesticidas; catálisis; adsorbentes. En menor escala en cosméticos; cerámicos; detergentes; recubrimiento para papel; adhesivos; agentes emulsionantes; jabones; pinturas.

Los mayores yacimientos de bentonita de sodio se encuentran en el oeste de Estados Unidos en Wyoming, Montana y Dakota del Sur. Otros depósitos de menor magnitud son explotados en Argentina, Canadá, China, Grecia, República de Georgia, India, Marruecos, Sudáfrica y España. Los depósitos de bentonita cálcica son más comunes que los de bentonita sódica. En Estados Unidos se encuentran en Georgia, Alabama, Mississippi, Texas, Illinois y Missouri. Considerando otros países, las bentonitas cálcicas se producen en Inglaterra, Alemania, España, Italia, Grecia, Turquía, República de Georgia, República Checa, Ucrania, Japón, Argelia, Marruecos, Sudáfrica, China, India, Japón, Argentina y Brasil (Murria H., 2002). En la **Tabla I.5** se presenta la distribución de la cantidad de bentonita de ambos tipos (sódica y cálcica) producida en los distintos países mencionados.

Tabla I-5: Distribución mundial de la producción anual de bentonitas (USGS).

País	Miles de toneladas	País	Miles de toneladas
EEUU	4080	Japón	415
Grecia	1150	Ucrania	300
CIS	700	Brasil	275
Turquía	636	México	270
Italia	600	Otros	1300
Alemania	500		

Fuente: Tironi, 2013

1.4.1.4 Antecedentes de activación de arcilla

Cuando la arcilla es sometida a tratamientos térmicos adecuados, se forman en ella compuestos puzolánicos activos en virtud de las reacciones y las transformaciones en las que, junto a la estructura y constitución mineralógica de partida y a la composición química, juegan importantísimo papel como variables la temperatura y el tiempo de tratamiento (Calleja J., 1968).

Diversos autores han estudiado cómo influyen en las propiedades del cemento puzolánico (tipo IP), las variables involucradas en el proceso de obtención de puzolanas a partir de la calcinación de arcillas encontradas en su región:

DINAMARCA

He Ch. et al. (1995) realizaron comparaciones entre una arcilla caolinítica de Dinamarca y cinco arcillas estándar: Illita, Ca-Montmorillonita, Na-Montmorillonita, mica/esmectita y sepiolita. Además del tipo de arcilla, la otra variable estudiada fue la temperatura de calcinación, entre 550 y 950 °C. Los parámetros analizados fueron: demanda de agua (Agua/Cemento/Arcilla), superficie específica, porcentaje de fase amorfa, resistencia a la compresión a los 28 días. Para las arcillas caoliníticas y la Illita,

la demanda de agua no disminuye significativamente con el aumento de la deshidroxilación como en las otras arcillas. La capacidad de rehidratación se ve disminuida o destruida cuando la temperatura de calcinación tiene valores correspondientes a la deshidroxilación total. Obtuvieron una buena correlación lineal positiva entre Agua/C/A y superficie específica BET. Las arcillas caoliníticas y Na-Montmorillonita muestran un aumento importante en el porcentaje de fase amorfa con el aumento de la temperatura de calcinación, y una abrupta caída a los 900 °C, no así las otras arcillas. Analizando la resistencia a la compresión, la mejor actividad puzolánica para una arcilla caolinítica fue para una temperatura de calcinación de 650°C.

ISRAEL

Shvarzman A. et al. (2003), estudiaron una arcilla caolinítica local (Negev Minerals, Israel) en comparación con un caolín estándar (EEUU) y otra artificial. La superficie específica de la arcilla local sin calcinar fue de 18,3 m²/g. Analizaron el efecto de la temperatura de calcinación (entre 400 y 700 °C) dejando fijo el tiempo de calcinación en 5 horas. Determinaron un aumento del contenido de fase amorfa con el aumento de la temperatura de calcinación, y un aumento en la resistencia a la compresión a los 7, 28 y 90 días al aumentar el contenido de fase amorfa.

GRECIA

Kakali G. et al. (2001), analizaron cuatro arcillas procedentes de diferentes regiones de Grecia, con diferente contenido de Caolinita. Las muestras fueron caracterizadas mediante análisis químico, DRX, FTIR, DTA. Determinaron que poseían diferencias en el contenido de Caolinita y en la cristalinidad de la misma. Estudiaron la actividad puzolánica mediante el ensayo de Chapelle, concluyendo que la cristalinidad de la Caolinita influye en la actividad puzolánica de la metacaolinita obtenida: cuando se utiliza Caolinita con elevada cristalinidad, se obtiene metacaolinita menos reactiva. El estudio de las arcillas griegas fue ampliado (Badogiannis E. et al., 2005 a), incorporando el análisis de la temperatura de calcinación (550 a 950 °C durante 3 horas) y la medición de la resistencia a la compresión en mezclas de cemento y arcilla

calcinada. Determinaron que para porcentajes medios de Caolinita (40 a 50%) y bajos de Alúmina (5 a 7%), la temperatura de calcinación que garantizaba la mejor actividad puzolánica era 650 °C, mientras que para mayores contenidos de Alúmina (22%), 850°C. También analizaron el porcentaje de reemplazo de arcilla calcinada (0, 10 y 20%), obteniendo como valor óptimo el 20 % (Badogiannis et al., 2005 b).

ESLOVAQUIA

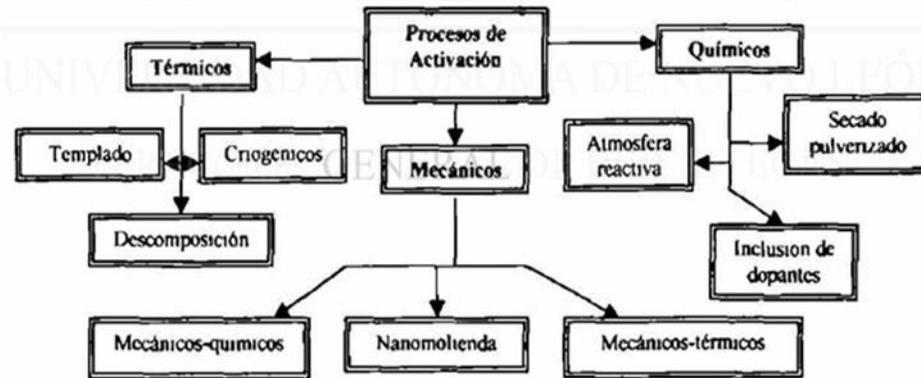
Janotka I. et al. (2010), estudiaron la actividad puzolánica de arcillas caoliníticas calcinadas de Eslovaquia, con contenido medio de metacaolinita (30 a 40%). Determinaron que la mayor actividad puzolánica medida mediante resistencia a la compresión en pastas de cemento, se correspondía con la muestra de mayor contenido de metacaolinita y mayor superficie específica.

Las características mineralógicas y estructurales de las arcillas dependen del proceso de formación sufrido, por lo que varían según la región. Diversos autores han estudiado las variables que influyen en la actividad puzolánica de las arcillas correspondientes a su país, coincidiendo en la importancia del porcentaje del mineral Caolinita, la temperatura de calcinación y el porcentaje de reemplazo en el cemento. No todos propusieron la cristalinidad de la Caolinita como una variable de estudio. Se considera interesante estudiar las arcillas argentinas como potenciales puzolanas, caracterizarlas y evaluar las variables a tener en cuenta en su utilización.

1.4.1.5 Procesos de activación en sólidos

Los procesos de activación buscan transferir a los sólidos propiedades especiales como catalizadores, adsorbentes o puzolanas. Los procesos más usados para activar a los sólidos y en especial las arcillas son el térmico, químico y mecánico.

Figura I-3: Proceso de activación en sólidos



Fuente: Carlos Jimenez (2016)

1.4.1.5.1. Procesos de activación térmica

Los procesos de activación térmicos se basan en el aumento de la reactividad del compuesto sólido debido a cambios de temperatura. Estos cambios de temperatura pueden producir cambios de fases en estructura cristalina o pérdidas de constituyentes volátiles, entre otros los procesos térmicos más utilizados se encuentran los siguientes:

➤ **Procesos Criogénicos**

Estos se basan en el aumento de la reactividad del sólido sometándolo a temperaturas extremadamente bajas, propiciando fragilidad en el sólido, el cual se fractura con facilidad creando defectos superficiales que resultan en la disminución del tamaño de partícula, haciendo que el sólido sea más reactivo.

➤ Proceso de templado del sólido (Quenching)

Este método se basa en el aumento de la reactividad del sólido mediante un cambio brusco en la temperatura. Esto se logra calentando el sólido a una temperatura alta para posteriormente enfriarlo rápidamente a temperatura baja y obtener el sólido reactivo.

El proceso logra que el sólido que tiene sus átomos en relativo movimiento, debido a las altas temperaturas, pase rápidamente a la temperatura más baja con una mayor imperfección en su enrejado cristalino comparado contra el sólido de partida. Esto sucede debido a que el sólido al calentarse y enfriarse rápidamente no permite el reacomodo de la estructura cristalina de la cual se partió, por lo tanto, el sólido queda en un estado meta estable de menor energía de activación, lo cual lo hace más reactivo

➤ Proceso de descomposición

Este método se basa en la activación in situ del sólido. Esto se logra a partir de la descomposición de un sólido que es calentado a la temperatura de descomposición de un compuesto gaseoso contenido en el mismo. El sólido acabado de formar tiene en su estructura defectos estructurales y superficiales que lo hacen reactivo comparado con el original.

1.4.1.5.2. Procesos de activación químicos

Los métodos químicos generan, a diferencia de los métodos físicos, defectos no estequiométricos, los cuales a su vez generan reactividad en dichos sólidos. A continuación, se presentan algunas formas químicas de activación de los sólidos.

➤ Activación en atmósfera reactiva

Este proceso de activación consiste en someter al sólido a una atmósfera reactiva líquida o gaseosa. Esta puede generar deficiencias o excesos de algún ion presente en el sólido generando defectos estequiométricos que hacen al sólido más reactivo. Este tipo de defectos lo presentan generalmente compuestos que tienen en su composición metales de transición.

➤ Método de inclusión de dopantes

En este método los cationes del retículo principal se sustituyen por cationes extraños (impurezas o dopantes) generalmente con un proceso de calentamiento, lo que trae como resultado la formación de defectos dependientes del estado de oxidación de la impureza o dopantes. Este método es muy usado en la industria cerámica para bajar la temperatura de sinterización de algunas cerámicas. En la industria del cemento se utiliza como dopante mineral de hierro para bajar la temperatura de formación de la alita y la belita los cuales son componentes fundamentales del cemento Portland.

➤ Secado pulverizado

Este método consiste en la incidencia de una dispersión acuosa (previamente pulverizada) sobre una cámara calentada a alta temperatura, esto hace que las gotas de dispersión en la cámara caliente se evaporen y se precipiten los granos de sólido con un tamaño de partícula menor y por lo tanto más reactivo. Es importante estudiar detalladamente los procesos de activación térmica y química, ya que estos servirán de base para explicar los procesos mecánicos de activación.

1.4.1.5.3. Procesos de activación mecánica

Con el desarrollo de los nuevos materiales y las nuevas tecnologías surge una nueva rama de la química llamada Mecano química. Esta se basa en la molienda como medio mecánico para activar químicamente el material, la cual puede ir desde cambios estructurales hasta descomposiciones químicas propias de las activaciones térmicas y químicas

La mecano química viene a sustituir los conceptos tradicionales de molienda, los cuales consideran que en la molienda solo se efectúan fenómenos físicos de reducción de tamaños de partícula. En cambio, los conceptos mecano químicos vislumbran a los molinos como reactores, en donde se puede llevar a cabo reacciones en estado sólido, así como descomposiciones y cambios en estructuras cristalinas.

Otro concepto importante de la Mecano química es el de llevar a los sólidos a tamaños de partículas del orden de nanómetros y que éstos pueden reaccionar en estado sólido,

en menor tiempo y a más baja temperatura sin importar su estructura cristalina. Como es de suponer, en este tipo de activación no existe una clasificación definida, debido a que los fenómenos que ocurren aquí caen dentro de los fenómenos de activación térmicos y químicos, o la combinación de ellos. El único concepto propio que se maneja son los de tamaños de partículas y distribución de la misma. Por lo tanto, la activación mecánica depende solamente de las características propias del material, así como del tipo de molino que se utilice, incluyendo sus condiciones de operación.

De tal forma, este tipo de activación se puede clasificar tomando en cuenta los principios de operación de los molinos y características intrínsecas del material en

- Activación mecánica- química
- Activación mecánica- térmica
- Activación por nano molienda
- Activación mecánica- química

CAPÍTULO II

PARTE EXPERIMENTAL

El presente capítulo tiene como fin mostrar la metodología seguida en la evaluación de la activación térmica de materiales arcillosos mediante calcinación de la misma. Esto tiene como fin determinar si estos materiales se pueden activar térmicamente y ser utilizadas como puzolanas, además de determinar cualitativamente los parámetros que podrían afectar a la actividad puzolánica.

2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA

En el presente trabajo de investigación se utiliza como materia prima arcilla de las concesiones mineras pertenecientes a SOBOCE S.A. Ubicado en la carretera El Puente-Chinchilla, denominado ATE (actividad transitoria especial)-El Salto a 30 min. De planta de cemento El Puente.

Se estima una reserva de arcilla de 5670000 t aproximadamente; la apariencia física de la arcilla es color amarillento, de fácil molturación; las canteras cuentan con un acceso libre para poder extraer con facilidad y no necesita voladura.

Tabla II-1: Composición química de arcilla El Salto

Compuesto	Porcentaje(%)
SiO ₂	58,17
Al ₂ O ₃	19,15
Fe ₂ O ₃	6,36
CaO	2,78
MgO	0,94
SO ₃	1,14

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-1: Entrada a contera El Salto de El Puente



Fuente: Elaboración propia cantera SOBOCE SA., 2018.

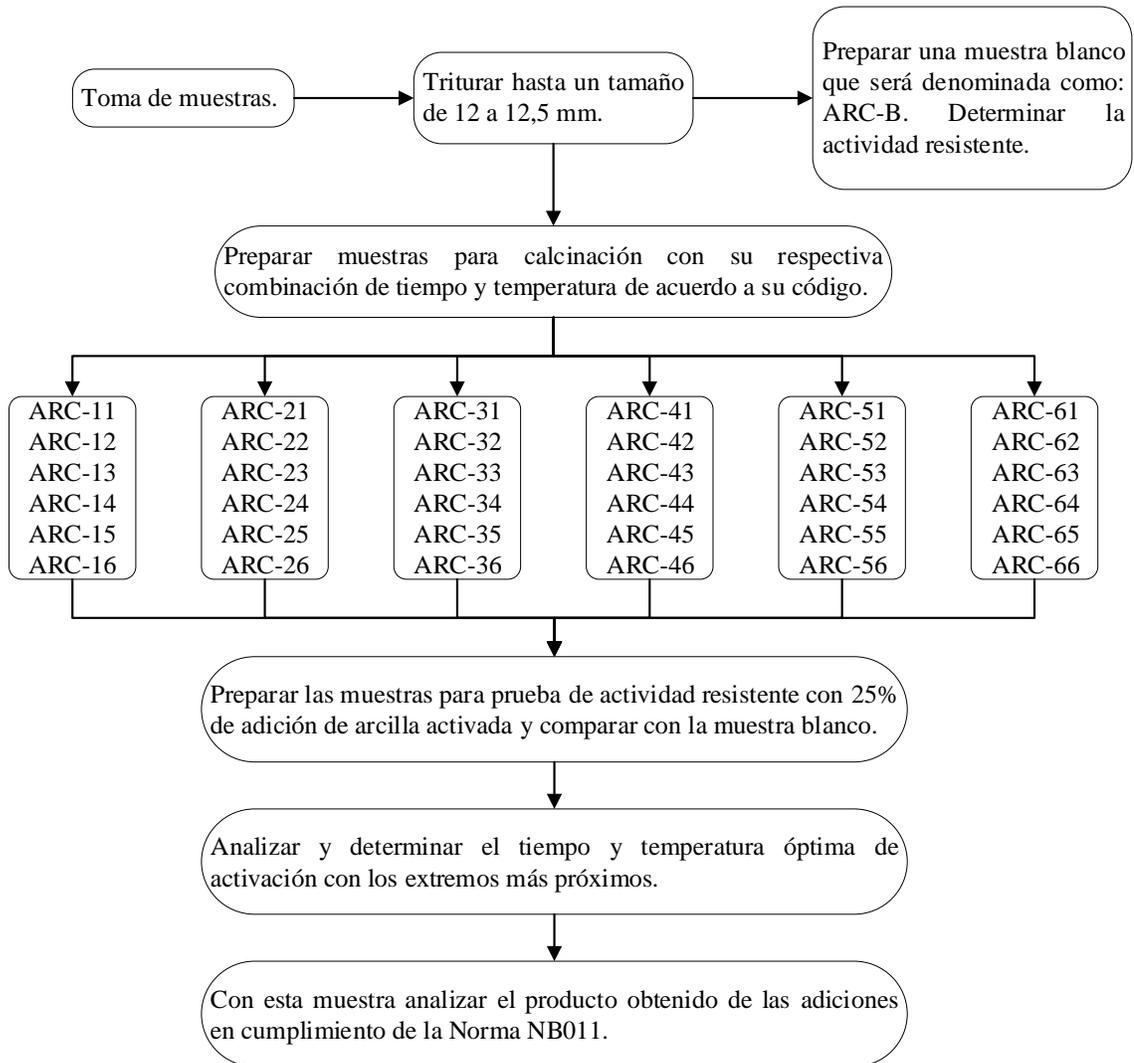
Fotografía II-2: Depósitos de arcilla “El Salto”



Fuente: Elaboración propia cantera SOBOCE SA., 2018.

2.2 PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Figura II-1: Diagrama de flujo para activar arcilla



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.2.1 DESCRIPCIÓN DE PREPARACIÓN DE MUESTRAS

La toma y preparación de muestras se realiza de acuerdo al **ANEXO 19** donde indica paso por paso como se preparó. Desde la extracción de canteras hasta obtener el producto final para luego analizarlo de acuerdo a la norma **NB011 (ANEXO 1)**.

El nuevo cemento se preparó de acuerdo a la siguiente dosificación.

Tabla II-2: DOSIFICACION DE MATERIALES PARA EL NUEVO CEMENTO

Compuesto	Cantidad en porcentaje (%)
Clinker	69
Yeso	6
Arcilla calcinada	25

Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.3 PRUEBAS O MÉTODOS DESARROLLADOS DURANTE LA INVESTIGACIÓN

2.3.1 Pruebas físicas

2.3.1.1 Método de determinación de la fluidez

La prueba de fluidez se realiza de acuerdo a la norma boliviana NB 473 Cemento (**ANEXO 2**): Determinación de la fluidez.

Ajustar la cantidad de agua tal que produzca una fluidez de 110 +/- 5.

2.3.1.2 Método de determinación de la resistencia a compresión

Este método fue realizado de acuerdo a los pasos indicados en la norma boliviana NB-470 Cemento (**ANEXO 3**): Determinación de la resistencia a la compresión.

Mantener la temperatura de la cámara húmeda entre 20 °C a 23°C y humedad relativa mayor a 90%.

Efectuar el primer lavado de arena del río Mariposas empleando abundante agua hasta eliminación de impurezas.

Pesar la muestra de cemento y arenas, realizar la mezcla como indica la NB 470. Efectuar la rotura del mortero haciendo uso de una prensa hidráulica calibrada. Deben las pruebas estar dentro los rangos de la norma interna caso contrario dar parte inmediatamente a las instancias superiores para que se efectúen las correcciones necesarias.

2.3.1.3 Determinación de las superficies específicas Blaine

Se realizó la prueba de superficie específica Blaine de acuerdo a la norma boliviana NB 472 (ANEXO 5).

2.3.1.4 Determinación del retenido en malla 325

Se realizó el ensayo de sacar el factor de las mallas con frecuencia semanal y el retenido del molino cada tres horas cuando éste esté funcionando.

Dispone del siguiente material y equipos de acuerdo a la norma ASTM.

Dispositivo para la presión de agua provista de embolo, atomizador, tobera y manómetro en Psi.

Tamiz con malla 325 calibrado, teniendo como base un cemento patrón 114 Q o 46h. Balanza analítica.

Se pesa 2.00 gramos de muestra en la balanza analítica.

Se coloca la muestra pesada dentro del tamiz de la malla 325.

Se coloca el dispositivo para que el chorro de agua alcance una presión de 10 Psi.

Se pone en contacto el tamiz conteniendo la muestra con el chorro de agua a la presión indicada, agitando constantemente durante 1 minuto.

Se retira luego el tamiz y lavar las paredes con un chorro de agua destilada mediante una pizeta. Seca la muestra sobre una plancha a temperatura regular.

Se pesa la muestra retenida y calcular el % de retenido empleando el factor de corrección de la malla determinado al calibrar.

2.3.1.5 Determinación de la consistencia normal

La determinación de la consistencia normal se realizó cumpliendo estrictamente todos los pasos de la norma boliviana **NB 062 (ANEXO 4)**, variando únicamente la cantidad de cemento.

2.3.1.6 Determinación del tiempo de fraguado

La determinación para el tiempo de fraguado se realizó cumpliendo estrictamente todos los pasos de la norma boliviana **NB 063 (ANEXO 5)**.

2.3.1.7 Determinación del índice de actividad

La actividad puzolánica responde a un principio general. Dicho principio se basa en que la sílice y la alúmina, como componentes ácidos de materiales puzolánicos, reaccionan con la cal a condición de que sus uniones en dichos materiales sean lábiles. No pueden considerarse aparte las acciones de la sílice y de la alúmina, ya que la presencia de esta última favorece en gran medida la acción puzolánica, directamente por sí e indirectamente al implicar su presencia un mayor contenido de álcalis, que se fijan parcialmente en los nuevos productos resultantes de la reacción puzolánica, los cuales tiene el carácter de seudogeles. El óxido de hierro se supone que actúa como alúmina, pero de una forma más atenuada y lenta. Las estructuras zeolíticas se atacan por la cal más rápidamente que las verdaderas puzolanas totalmente vítreas y la fijan en mayor cantidad que la correspondiente a un intercambio catiónico con álcalis, lo cual indica una ruptura de la estructura reticular y de los enlaces químicos, lo que da lugar a una participación de la sílice y de la alúmina, que es más fácil con las estructuras zeolíticas que en las vítreas. En efecto, por lo que se refiere a las puzolanas de origen mineral, su actividad se ha atribuido tanto a los constituyentes amorfos como a los cristalinos, y en particular a los de naturaleza zeolítica. La gran reactividad de las puzolanas tanto naturales como artificiales, depende además de su composición química y mineralógica, y de la cantidad de fase amorfa o vítrea, de su gran superficie reactiva, de la presencia de álcalis, alcalinotérreos y del grado de condensación de

grupos como SiO_4 , AlO_4 . Algo análogo sucede con las puzolanas de origen orgánico, dado que otros materiales de similar origen y composición son inactivos frente a la cal, la actividad de estas puzolanas de origen orgánico no es sólo cuestión de contenido en sílice hidratada, sino también del estado físico de división de la misma. Lo prueba, por una parte, el hecho de que las activas poseen una estructura natural porosa con una gran superficie específica interna, y por otra, la circunstancia de que ciertos ópalos y basaltos no activos cobran actividad cuando se molturan a gran finura y se someten a una gran lixiviación con ácido clorhídrico concentrado (10 normal). La sílice hidratada reactiva, componente eficaz de las puzolanas de origen orgánico, procede en su mayor parte de esqueletos de infusorios radiolarios y de algas marinas diatomeas, aparte de los citados ópalos y geiseritas. Pero no todas las puzolanas de esta procedencia, altas en sílice, tienen la misma actividad. En algunas de ellas se incrementa también someténdolas a calcinación, como sucede con el “moler” danés, con la “gaize” francesa del Valle de Mosa y con las “tierras blancas” italianas del norte del Lacio, muy ligeras y porosas, cuyo análisis microscopio revela cuarzo, mica y feldespato más o menos alterados, en una matriz amorfa de gel de sílice.

La determinación del Índice de Actividad Puzolánica con cemento se llevó a cabo aplicando la Norma ASTM C311. Se elaboraron cubos de 5cm de lado, con Cemento Portland ordinario y arena. Para la evaluación del índice de actividad puzolánica, la norma ASTM C618 precisa como valor mínimo un índice resistente igual o superior al 75% a 28 días para considerar un material como puzolana.

Moldear las probetas de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo de acuerdo con el Método de Ensayo C 109. El cemento Portland usado en el ensayo del Índice de Actividad Resistente debe cumplir con los requerimientos de la Especificación C 150, con una resistencia mínima de 35 MPa a los 28 días y con un contenido de álcalis totales ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$) $0.8\% \leq 0.5\%$ En la mezcla de ensayo, reemplazar el 20 % del peso de la cantidad de cemento usado en la mezcla de control por el mismo peso de la muestra de ensayo. Hacer amasadas de seis cubos de la siguiente manera:

Mezcla de control:

740 gr. de cemento Portland

2035 gr. de arena normalizada graduada 358 ml. de agua

Mezcla de ensayo:

Se pesa 1600 gr. de cemento portland más 400 gr. de la muestra de ensayo, se somete a 30 minutos de molienda y se hace la siguiente mezcla de ensayo:

592 gr. de cemento Portland 148 gr. de la muestra de ensayo

2035 gr. de arena normalizada graduada ml. de agua requeridos para un flujo de ± 5 de la mezcla de control

2.3.2. Pruebas químicas

2.3.2.1 Método de determinación de pérdida por fuego

1. La determinación de la pérdida por fuego o por fusión consiste en:
2. Efectuar una pesada por separado de 1 gramo de muestra en crisol vacío, previamente calcinado, enfriado y tarado.
3. Introducir a la mufla a la temperatura de $950 \pm 50^\circ\text{C}$ durante 20 min
4. Efectuar el enfriado en el desecador.
5. Levantar el crisol con una pinza para evitar errores y llevar a la balanza.
6. Realizar el cálculo por diferencia de peso.
7. El cálculo se lo realiza de la siguiente manera:

(Peso inicial de la muestra – peso final de la muestra) *100= Perdida por calcinación.

Dónde:

Peso inicial de la muestra= muestra no calcinada

Peso final de la muestra= muestra después de la calcinación

2.3.2.2 Determinación de residuo insoluble en cementos (NB 061) (ANEXO11)

En este método, el residuo insoluble del cemento hidráulico es determinado a través de la digestión de una muestra de cemento en HCl, una posterior filtración y una nueva digestión con NaOH. El residuo resultante es calcinado y pesado.

Cuando se emplea este método en cementos mezclados, la muestra se considera totalmente descompuesta, cuando todo el Clinker del cemento ha sido completamente disuelto.

PROCEDIMIENTO

1. Pesar 1.000 g \pm 0.0001 g de muestra y colocar en un vaso de 400 ml
2. Agregar 25 ml de agua destilada fría y dispersar con ayuda de una varilla de vidrio.
3. Agregar 10 ml de HCl (1:1), agitar la muestra con movimientos circulares suaves.
4. Diluir la muestra con agua hasta 10 ml y llevar a una estufa hasta temperatura cercana a la ebullición, manteniendo así por 20 min.
5. Filtrar la solución en caliente a través de un papel filtro de textura media (#2), enjuagar repetidas veces el vaso, el papel y el residuo con agua caliente asegurándose de que no existan residuos en la varilla y el vaso original (el filtrado se guarda para la determinación de SO₃ si se requiere).
6. Luego colocar el filtro que contiene el residuo nuevamente en el vaso de 400 ml y con la ayuda de una varilla triturar el papel filtro.
7. Adicionar 10 ml de solución de NaOH de 100g/litro (10 %) y completar hasta 100 con agua caliente y llevar a una estufa por 20 min. Hasta temperatura próxima a la ebullición (durante la digestión, es conveniente agitar la mezcla de vez en cuando y macerar el papel filtro).
8. Adicionar unas gotas (3 ó 4) del indicador rojo de metilo.
9. Acidificar la solución agregando gota a gota de HCl (1:1) hasta cambio de color (amarillo a rojo), agregar unas 5 gotas en exceso de HCl (1:1).

10. Filtrar en caliente a través de un papel filtro de textura media (#2) y lavar con abundante agua caliente repetidas veces hasta obtener un residuo sin color.
11. Pesar un crisol de platino o porcelana vacío y registrarlo (Peso crisol).
12. Transferir el residuo y papel filtro al crisol de porcelana, doblar el filtro y secar en una estufa hasta eliminar la humedad.

2.4 DISEÑO FACTORIAL

Los diseños factoriales, son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de éstos sobre una respuesta donde es necesario conocer que variables influyen significativamente en el sistema y como afectan. A menudo esta información no está disponible y se genera experimentando. Primero se recogen en una lista todas las variables que podrían influir en la respuesta. A continuación, se realizan una serie de experimentos en las cuales se fijan las variables que no interesa modificar, se anota el valor de las que no se puede controlar, y se varían las restantes. Finalmente, se obtiene la información comparando la variación de las respuestas entre experimentos.

En el diseño factorial se realizan todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores que intervienen en el experimento.

Los experimentos a realizarse incluyen todas las combinaciones de cada nivel de un factor con todos los niveles de los otros factores.

Factores o variables. Los fenómenos que potencialmente causan variación, y que son controlados por el experimentador, se denominan factores o variables. En este trabajo tenemos 2 fenómenos que presentan variación: El tiempo y temperatura. Por tanto, la variable respuesta será la resistencia a la compresión.

De acuerdo a esta bibliografía se tomó en cuenta para fijar los parámetros para los ensayos de este trabajo. Donde la temperatura estará fijada en un rango de 400 a 900°C. Y el tiempo estará entre 10 a 120 min.

Tabla II-3: Factores de nivel

Factores	Nivel					
	Temperatura de calcineración (°C)	a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅
400		500	600	700	800	900
Tiempo de calcineración (min)	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆
	10	30	45	60	90	120

Fuente: Elaboración propia, 2018.

El diseño factorial será diseñado de acuerdo al modelo:

$$6^k$$

$$6^2$$

Dónde:

6 = niveles

2 = factores o variables

Entonces se tendrá 36 combinaciones:

Tabla II-4: Combinaciones

Temperatura de calcinación (°C)		a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
		400	500	600	700	800	900
Tiempo de calcinación (min)							
b₁	10	a ₁ b ₁	a ₂ b ₁	a ₃ b ₁	a ₄ b ₁	a ₅ b ₁	a ₆ b ₁
b₂	30	a ₁ b ₂	a ₂ b ₂	a ₃ b ₂	a ₄ b ₂	a ₅ b ₂	a ₆ b ₂
b₃	45	a ₁ b ₃	a ₂ b ₃	a ₃ b ₃	a ₄ b ₃	a ₅ b ₃	a ₆ b ₃
b₄	60	a ₁ b ₄	a ₂ b ₄	a ₃ b ₄	a ₄ b ₄	a ₅ b ₄	a ₆ b ₄
b₅	90	a ₁ b ₅	a ₂ b ₅	a ₃ b ₅	a ₄ b ₅	a ₅ b ₅	a ₆ b ₅
b₆	120	a ₁ b ₆	a ₂ b ₆	a ₃ b ₆	a ₄ b ₆	a ₅ b ₆	a ₆ b ₆

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla II-5: Combinación numérica Temperatura/Tiempo

Temperatura de calcinación (°C)		a1	a2	a3	a4	a5	a6
		400	500	600	700	800	900
Tiempo de calcinación (min)							
b1	10	400/10	500/10	600/10	700/10	800/10	900/10
b2	30	400/30	500/30	600/30	700/30	800/30	900/30
b3	45	400/45	500/45	600/45	700/45	800/45	900/45
b4	60	400/60	500/60	600/60	700/60	800/60	900/60
b5	90	400/90	500/90	600/90	700/90	800/90	900/90
b6	120	400/120	500/120	600/120	700/120	800/120	900/120

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla II-6: Variables Repuesta

Temperatura de calcinación (°C)		Tiempo de calcinación (min)					
		a ₁	a ₂	a ₃	a ₄	a ₅	a ₆
		400	500	600	700	800	900
b₁	10	ARC11	ARC21	ARC31	ARC41	ARC51	ARC61
b₂	30	ARC12	ARC22	ARC32	ARC42	ARC52	ARC62
b₃	45	ARC13	ARC23	ARC33	ARC43	ARC53	ARC63
b₄	60	ARC14	ARC24	ARC34	ARC44	ARC54	ARC64
b₅	90	ARC15	ARC25	ARC35	ARC45	ARC55	ARC65
b₆	120	ARC16	ARC26	ARC36	ARC46	ARC56	ARC66

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Nota: Para las repeticiones número 2 y número 3 se tomarán en cuenta las muestras más representativas de acuerdo a los resultados de resistencia a la compresión de la primera repetición para realizar como mínimo dos repeticiones a cada muestra para tener más veracidad entre los resultados.

2.5 PROCESO DE OBTENCIÓN DE CEMENTO IP-30 CON ADICIÓN DE ARCILLA ACTIVADA

El proceso de obtención del cemento IP-30 se detalla a continuación:

2.5.1 PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ARCILLA.

Se realizó el muestreo en cantera El Salto y se optó por un método de toma de muestras aleatoriamente, como se muestra en la siguiente figura:

Fotografía II-3: Puntos de muestreo



Fuente: Elaboración propia, cantera El Salto Cemento El puente 2018.

Donde se caracterizó químicamente la arcilla en los trece puntos y se cuantificó las toneladas aproximadas de la misma.

Tabla II-7: Composición química de arcilla

Compuesto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO₂	56,7	55,86	55,86	54,69	55,65	56,41	56,99	56,99	56,97	56,97	56,31	55,18	57,92
Al₂O₃	19,24	19,27	19,27	19,09	19,54	19,21	21,49	21,49	20,08	20,08	19,97	19,72	20,43
Fe₂O₃	7,27	7,05	7,05	7,28	7,28	7,09	6,19	6,19	7,41	7,41	8,29	7,19	8,2
CaO	1,39	1,28	1,28	1,43	1,36	1,7	0,84	0,84	0,7	0,7	0,66	1,52	0,46
MgO	1,44	1,34	1,34	1,4	1,43	1,49	1,36	1,36	1,34	1,34	1,43	1,35	1,43
Mn₂O₃	0,08	0,04	0,04	0,08	0,08	0,08	0,06	0,06	0,05	0,05	0,03	0,13	0,06
TiO₂	0,81	0,8	0,8	0,79	0,81	0,79	0,84	0,84	0,83	0,83	0,86	0,79	0,87
P₂O₅	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09	0,12	0,1	0,11
K₂O	3,64	3,61	3,61	3,64	3,66	3,64	3,89	3,89	3,74	3,74	3,59	3,65	3,75
Na₂O	0,91	0,96	0,96	0,85	0,89	0,9	0,95	0,95	0,99	0,99	0,98	0,91	1,01
SO₃	0,21	0,53	0,53	0,33	0,13	0,18	0,21	0,21	0,29	0,29	0,1	0,77	0,1

Fuente: Resultados en perla cemento Yura SA. Perú de muestras de arcilla de cantera El Salto cemento El Punte, 2018.

La cantidad de arcilla en los bancos de El Salto son aproximadamente 5670000 toneladas dato proporcionado por Esmical,

(ANEXO12).

2.5.2 DETERMINACIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA A UTILIZAR PARA LA CALCINACIÓN

Para tener un proceso de activación de arcilla homogéneo, se tuvo que hacer una mezcla de arcillas de los diferentes puntos tomados como muestra de acuerdo al análisis químico obtenido se puede observar que la diferencia de la composición química de un punto a otro es mínima.

Fotografía II-4: Depósitos de arcilla premezclada en planta cemento El Puente



Fuente: Elaboración propia, planta cemento El puente 2018.

Luego se llevó a proceso de chancado alcanzando una granulometría de 12.5 mm., de la partícula más grande, también se pudo corroborar este dato con un tamiz de malla 12.5 en laboratorio.

Fotografía II-5: Granulometría de arcilla



Fuente: Elaboración propia, laboratorio de cemento El puente 2018.

2.5.3 PREPARACIÓN DE EQUIPOS PARA CALCINACIÓN.

Para realizar la calcinación se diseñó unos recipientes de acero inoxidable que sean resistentes a altas temperaturas.

Fotografía II-6: Recipientes de acero inoxidable



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5.4 CALCINACIÓN DE ARCILLA.

Se preparó una mufla específicamente para la calcinación de marca FisherScientific con regulador de temperatura para poder controlarla; para controlar el tiempo se optó por un cronómetro con alarma manual de la marca Casio.

Antes de empezar con la primera prueba a calcinar se reguló la temperatura de la mufla a 400°C durante 10 min.

Calcinación de arcilla.

De acuerdo a la programación de muestras y combinaciones de tiempo con temperatura de calcinación.

Fotografía II-7: Recipientes de acero inoxidable



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se calcinó de acuerdo a su código y para no alterar el calor de la mufla primero se calcinaron las muestras de 400°C y así sucesivamente hasta llegar a 900°C.

Se empezó con la calcinación de arcilla a 400°C y 10 min se continuó calcinando todas las muestras a diferentes tiempos manteniendo la temperatura para la eficiencia de la mufla.

De la misma manera se procedió con las demás muestras hasta finalizar.

En los recipientes se llenó un 80% de arcilla para ser calcinada:

Fotografía II-8: Recipientes con muestra de arcilla lista para calcinar



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-9: Arcilla calcinada a 400°C a distintos tiempos 10 min/30 min



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-10: Arcilla calcinada a 600°C



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-11: Arcilla calcinada a 600°C



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cada muestra luego de ser calcinada fue etiquetada con su código correspondiente y almacenada hasta su molienda.

2.5.5. MOLIENDA.

Luego de calcinar las muestras de arcilla se lleva a molienda, donde se pulveriza junto con cemento portland de acuerdo a una dosificación establecida como uno de los objetivos principales de este proyecto.

De acuerdo con la dosificación definida los porcentajes de materias primas son:

Tabla II-8: Dosificación de materias primas

Nombre	Porcentaje (%)
Clinker	69%
Yeso	6%
Arcilla calcinada	25%
TOTAL	100%

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se lleva a molienda por 30 min. El molino que se utiliza es un molino de bolas tradicional con una velocidad de 44 RPM.

Luego de retirar el cemento del molino se envasa y etiqueta respecto a su código.

Figura II-2: Dimensiones de molino de bolas

Fuente: Elaboración propia, 2018.

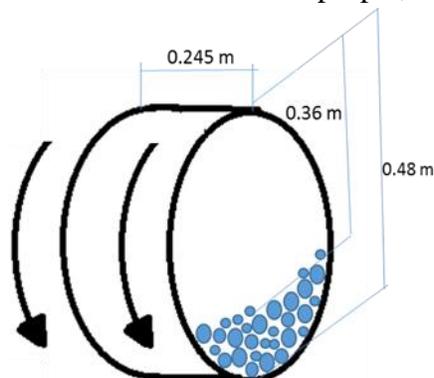


Tabla II-9: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL MOLINO DE BOLAS

Tensión	380 V	Diámetro interno	0.245 m
Intensidad	5 A	Velocidad máxima	61 RPM
Potencia	1,5 Kw	Peso total de bolas	36 Kg
Velocidad	44 RPM	Altura	0.48 m
Carga máxima de llenado	85%		
Carga mínima de llenado	30%		

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla II-10: CONFIGURACIÓN DE BOLAS PARA EL MOLINO

Diámetro de bolas (mm)	Peso de bolas (Kg)
50	1,6
40	5,8
30	8,7
20	12,3
18	7,9

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-12: Molino de bolas



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-13: Molino de bolas



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-14: Molino de Bolas



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5.6 PREPARACIÓN DE MORTEROS

Para la preparación de morteros se sigue la norma boliviana NB 470 (**ANEXO 3**)

A continuación, se detallan los pasos de preparación:

- Pesar 2035g de arena normalizada
- Pesar 740g de cemento
- Pesar cantidad de agua requerida para el ensayo
- Poner todos los componentes en la mezcladora. Se utiliza una mezcladora automática donde está programada el tiempo y la rapidez de mezcla, una vez que el tiempo de mezclado termine se pasa la mezcla a una mesa de fluidez para corroborar que la masa de agua es suficiente. De ser positivo se continúa con la preparación de morteros. Para ello previamente se alistan los moldes limpios y cubiertos de aceite de linaza mezclado con diésel para que los morteros se retiren fácilmente.

Especificaciones de la mezcladora:

Fotografía II-15: Especificaciones de fábrica de mezcladora



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla II-11: Especificaciones de fábrica de mezcladora

Tensión	240 V
Intensidad	5 A
Frecuencia	50Hz
Fases	1

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-16: Preparación de morteros



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-17: Preparación de morteros



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5.7 ROTURA DE MORTEROS

La rotura de mortero es realizada de acuerdo a la norma **NB011 (ANEXO 1)**, donde indica que para un cemento tipo IP30, las roturas de los morteros deben darse en las siguientes edades 1, 3, 7 y 28 días.

Este ensayo se realiza en una prensa automática en el laboratorio físico de cemento El Puente; en el siguiente capítulo se describirán los resultados de todas las muestras.

Fotografía II-18: Especificaciones de fábrica de prensa



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla II-12: Especificaciones de fábrica de prensa

Modelo	CIB-200-MD2/W
Nº de fábrica	132550
Año	2011
Tensión	380 V
Potencia	2Kw
Frecuencia	50/60 Hz
Fases	3
Neutro	Sí
Tierra	Sí

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-19: Mortero

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Los 3 mejores resultados que se obtengan en resistencia a la compresión medida en MPa se les realizará el análisis químico y físico requerido en norma NB011 como requisitos generales del cemento tipo IP30.

Fotografía II-20: Mesa de fluidez, consistencia normal.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-21: Mesa de fluidez, consistencia normal.



Fuente: Elaboración propia, 2018.

2.5.8 Análisis químico y físico de la mejor muestra

Los análisis químicos que se realizaron a la mejor muestra se tomó como base la norma **NB011 (ANEXO 1)** la cual indica realizar los análisis de:

- Análisis químico-composición química

Fotografía II-22: PASTILLAS PARA SER LEIDAS EN FLOURESCENCIA DE RAYOS X



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Fotografía II-23: LECTURA DE COMPOSICION QUIMICA EN FLOURESCENCIA DE RAYOS X



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Pérdida por calcinación o pérdida por fuego % máximo
- Residuo insoluble % máximo
- Trióxido de azufre % máximo
- Oxido de magnesio % máximo

Todas especificaciones químicas se las realizo paso a paso como indica en la norma boliviana **NB061 (ANEXO 11)**.

Los análisis físicos realizados a la mejor muestra de cemento se tomaron como base la norma **NB011 (ANEXO 1)** la cual indica realizar los análisis de:

- Resistencia a la compresión norma **NB 470 (ANEXO 3)**
- Tiempo inicial y final de fraguado, norma **NB 063 (ANEXO 4)**
- Superficie específica, Blaine, norma **NB 472(ANEXO 6)**

Fotografía II-24: PERMEABILIMETRO HUMBOLDT



Fuente: Elaboración propia, 2018.

- Retenido en mallas: 325 y 200

Fotografía II-25: MALLAS 325 Y 200



Fuente: Elaboración propia, 2018.

Estas especificaciones físicas se las realizo paso a paso de acuerdo a cada norma según el ensayo que corresponde.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANALISIS DE LA MATERIA PRIMA

3.1.1 PRUEBAS FISICAS

3.1.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de acuerdo a la norma **NB 470 (ANEXO III)** utilizando el 25% de arcilla sin calcinar fue denominada como la muestra blanco **ARC-B**, la cual la utilizamos para comparar con las demás muestras.

Tabla III-1: Resultado de arcilla sin calcinar

ARC-B lectura de resistencia a la compresión en MP			
1 Días	3 Días	7 Días	28 Días
11,69	20,48	23,11	26,19
Resistencias a la compresión, en MPa para una categoría resistente media de 30 MPa (resultados según la norma NB470)			
1 Días	Mínima 3 Días	Mínima a 7 Días	Mínima a 28 Días
-	10	17	30

Fuente: Elaboración propia, 2018.

3.1.2 PRUEBAS QUIMICAS

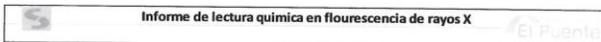
3.1.2.1 COMPOSICION QUIMICA

Se realizó el análisis de composición química de los trece puntos según el muestreo que se utilizó (TABLA II-7), para tener una muestra más homogénea se mezcló la arcilla de los trece puntos y se volvió a hacer el análisis químico y esa fue la muestra utilizada para todos los ensayos de resistencia a la compresión.

Figura III-1: Composición química de arcilla sin calcinar



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.



Informe de lectura química en fluorescencia de rayos X

Fecha de emisión del formato: 11/09/2013

Numero de revision del formato: 03

Fecha:	20 de enero de 2018		Arcilla	
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	SiO2	%	54,52	
	Al2O3	%	18,78	
	Fe2O3	%	7,12	
	CaO	%	1,95	
	MgO	%	1,32	
	Mn2O3	%	0,06	
	K2O	%	3,63	
	Na2O	%	0,88	
	SO3	%	0,40	

Aprobado por:	
Nombre	Policarpio Armata
Cargo	Supervisor de laboratorio
Fecha	21-01-2019
Firma	

Contacto Soboco
800-103-806
LÍNEA GRATUITA
www.soboco.com

Oficinas El Puente Comercialización: Av. Herman Siles Suazo, Barrio German Busch
Tel. (591-4) 6643580 / 6645041 • Fax (591-4) 6634233 • Casilla 159
Planta Industrial El Puente: Carretera al Norte Km. 110 • Tel. (591-4) 6133695 / 6133696 • Fax (591-4) 6133697
Planta Ready Mix: Av. Froilan Tejerina entre calles Pisagua y Padilla Tel: 6668545
Tarija - Bolivia





Fuente: Informe de datos químicos de laboratorio cemento El Puente, 2019.

Tabla III-2: COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ARCILLA SIN CALCINAR

Compuesto	Porcentaje (%)
SiO ₂	54,52
Al ₂ O ₃	18,78
Fe ₂ O ₃	7,12
CaO	1,95
MgO	1,32
Mn ₂ O ₃	0,06
K ₂ O	3,63
Na ₂ O	0,88
SO ₃	0,40

Fuente: Informe de datos químicos de laboratorio cemento El Puente, 2019.

3.1.3 CUANTIFICACIÓN DE ARCILLA

La cantidad de arcilla en los bancos de El Salto son aproximadamente 5670000 toneladas dato proporcionado por Esmical (**ANEXO 12**).

Lo cual indica que la explotación de esta materia prima (arcilla) durará mínimamente 100 años ya que la producción de gasto de arcilla se estima 50000 toneladas por año de producción.

3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL

Para realizar el análisis se emplea el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciencis), el cual es un programa estadístico con la capacidad de trabajar con grandes bases de datos y una sencilla interface para la mayoría de los análisis.

Los datos introducidos al programa son las variables del diseño factorial independiente: Tiempo de calcinación, temperatura de calcinación y la variable respuesta o dependiente es la resistencia a la compresión a los 28 días

Tabla III-3: DATOS OBTENIDOS EN LA PRIMERA REPETICIÓN

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Resistencia(Mpa)
ARC-11	400	10	23,65
ARC-12	400	30	24,67
ARC-13	400	45	23,57
ARC-14	400	60	24,73
ARC-15	400	90	24,25
ARC-16	400	120	23,37
ARC-21	500	10	25,58
ARC-22	500	30	24,75
ARC-23	500	45	26,78
ARC-24	500	60	25,19
ARC-25	500	90	24,58
ARC-26	500	120	25,13
ARC-31	600	10	27,56
ARC-32	600	30	28,13
ARC-33	600	45	26,41
ARC-34	600	60	26,58
ARC-35	600	90	27,55
ARC-36	600	120	26,12
ARC-41	700	10	25,85
ARC-42	700	30	28,17
ARC-43	700	45	27,75
ARC-44	700	60	27,99
ARC-45	700	90	26,89
ARC-46	700	120	27,77
ARC-51	800	10	32,36
ARC-52	800	30	27,16
ARC-53	800	45	29,01
ARC-54	800	60	27,3
ARC-55	800	90	27,56
ARC-56	800	120	27,89
ARC-61	900	10	27,87
ARC-62	900	30	28,13
ARC-63	900	45	26,41

ARC-64	900	60	27,726
ARC-65	900	90	28,63
ARC-66	900	120	27,41

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla III-4: DATOS PARA EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Muestra	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Resistencia(Mpa)
ARC-11	1	1	23,65
ARC-12	1	2	24,67
ARC-13	1	3	23,57
ARC-14	1	4	24,73
ARC-15	1	5	24,25
ARC-16	1	6	23,37
ARC-21	2	1	25,58
ARC-22	2	2	24,75
ARC-23	2	3	26,78
ARC-24	2	4	25,19
ARC-25	2	5	24,58
ARC-26	2	6	25,13
ARC-31	3	1	27,56
ARC-32	3	2	28,13
ARC-33	3	3	26,41
ARC-34	3	4	26,58
ARC-35	3	5	27,55
ARC-36	3	6	26,12
ARC-41	4	1	25,85
ARC-42	4	2	28,17
ARC-43	4	3	27,75
ARC-44	4	4	27,99
ARC-45	4	5	26,89
ARC-46	4	6	27,77
ARC-51	5	1	32,36
ARC-52	5	2	27,16
ARC-53	5	3	29,01

ARC-54	5	4	27,3
ARC-55	5	5	27,56
ARC-56	5	6	27,89
ARC-61	6	1	27,87
ARC-62	6	2	28,13
ARC-63	6	3	26,41
ARC-64	6	4	27,726
ARC-65	6	5	28,63
ARC-66	6	6	27,41

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Tabla III-5: ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA)

Variable dependiente: Resistencia a la compresión a 28 días.

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	f	sig
Regresión	70,737	2	35,368	24.626	0,000 ^a
Residual	47,396	33	1,436		
Total	118,132	35			

a = Variables predictoras tiempo y temperatura

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Cuando los factores son significativos se procede al cálculo del modelo matemático que represente la mejor experiencia realizada, para ello se hace una regresión lineal y se introducen las variables significativas y la interacción entre ellas, y el programa calcula los coeficientes para el modelo matemático, a continuación, se presenta estos datos:

Tabla III-6: COEFICIENTES^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes Tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95% para B		
	B	Error Típ.	Beta			Límite Inferior	Límite Superior	
1	(Constante)	24,37	0,612		39,795	0	23,124	25,616
	Tiempo	-0,147	0,117	-0,139	-1,261	0,216	-0,385	0,09
	Temperatura	0,807	0,117	0,761	6,904	0	0,569	1,045

Fuente: Elaboración propia, 2018.

De la **Tabla III-6** se obtiene que el modelo matemático sea el siguiente:

$$R = 24,37 - 0,147Tiempo + 0,807Temperatura$$

Este modelo matemático nos sirve para poder determinar las interacciones significativas de las variables para la resistencia a la compresión de cemento IP-30 con adición del 25% de arcilla calcinada.

A continuación, se muestra en la **Tabla III-7** la variable respuesta (Resistencia) experimental y la del Modelo.

Tabla III-7: RESULTADOS VARIABLE RESPUESTA

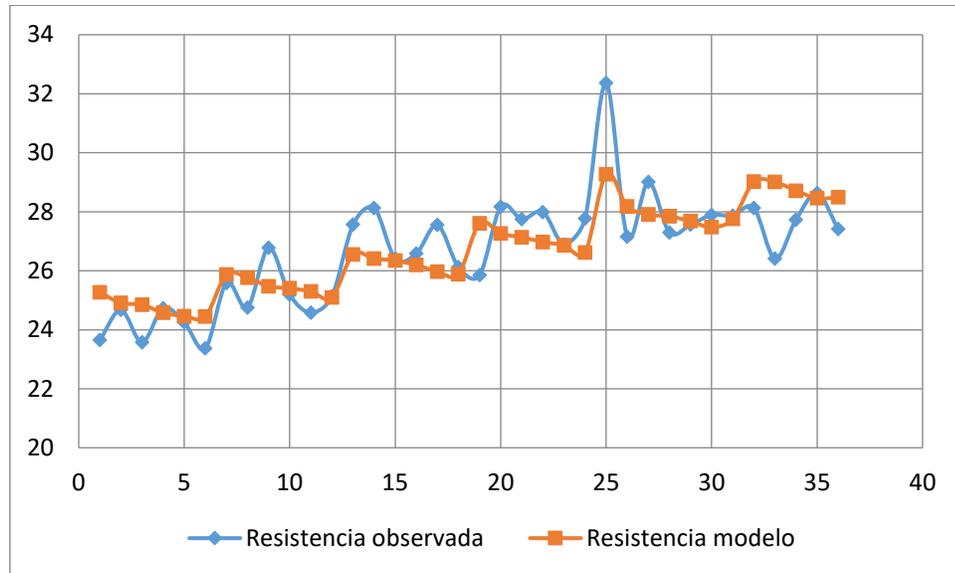
Muestra	Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Resistencia(Mpa)	Modelo
ARC-11	1	1	23,65	25,26741
ARC-12	2	1	24,67	24,90841
ARC-13	3	1	23,57	24,84982
ARC-14	4	1	24,73	24,57356
ARC-15	5	1	24,25	24,46334
ARC-16	6	1	23,37	24,45149
ARC-21	1	2	25,58	25,86876
ARC-22	2	2	24,75	25,76135

ARC-23	3	2	26,78	25,47516
ARC-24	4	2	25,19	25,40617
ARC-25	5	2	24,58	25,29831
ARC-26	6	2	25,13	25,09648
ARC-31	1	3	27,56	26,55463
ARC-32	2	3	28,13	26,40854
ARC-33	3	3	26,41	26,34788
ARC-34	4	3	26,58	26,18975
ARC-35	5	3	27,55	25,97369
ARC-36	6	3	26,12	25,88663
ARC-41	1	4	25,85	27,61007
ARC-42	2	4	28,17	27,25771
ARC-43	3	4	27,75	27,13739
ARC-44	4	4	27,99	26,97691
ARC-45	5	4	26,89	26,86093
ARC-46	6	4	27,77	26,61105
ARC-51	1	5	32,36	29,27309
ARC-52	2	5	27,16	28,18457
ARC-53	3	5	29,01	27,9079
ARC-54	4	5	27,3	27,84545
ARC-55	5	5	27,56	27,67821
ARC-56	6	5	27,89	27,47757
ARC-61	1	6	27,87	27,75943
ARC-62	2	6	28,13	29,01596
ARC-63	3	6	26,41	29,0049
ARC-64	4	6	27,726	28,71328
ARC-65	5	6	28,63	28,45866
ARC-66	6	6	27,41	28,48814

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Se puede apreciar que los resultados obtenidos por el modelo son aproximados a los obtenidos en la parte experimental

Gráfica III-1: Rendimiento Experimental vs. Rendimiento Modelo



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **Gráfica III-1** se puede observar mejor la varianza entre el Rendimiento Experimental obtenido y el Modelo aplicado, en la cual se observa que ambos siguen una ruta paralela, se puede concluir que los factores aplicados para el método dieron los resultados adecuados.

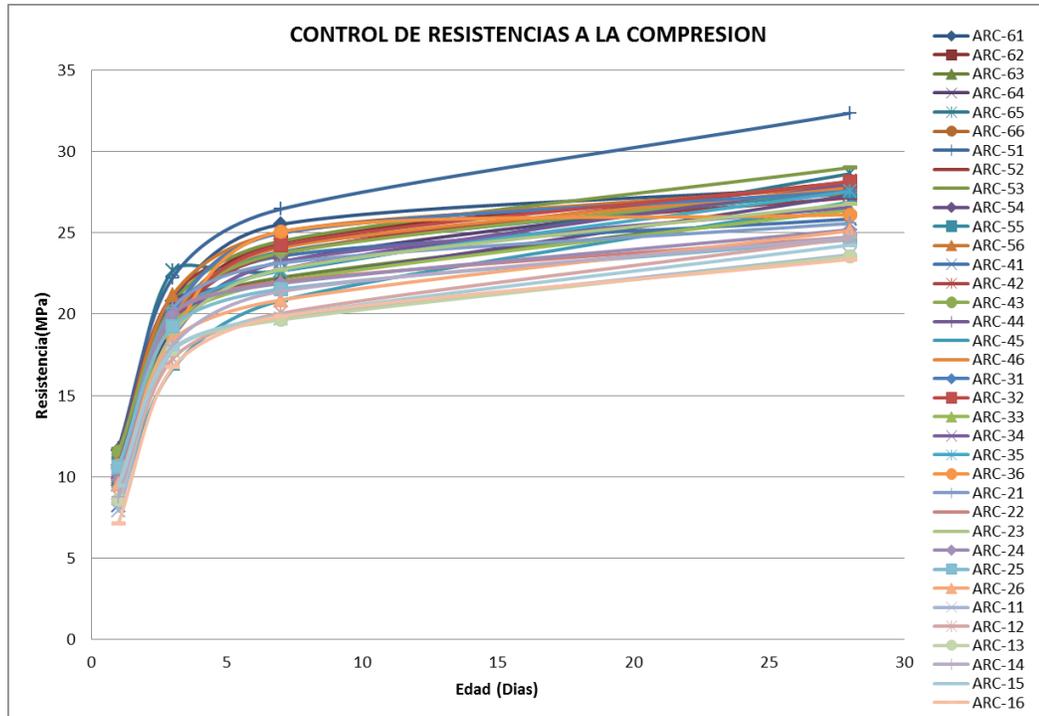
3.3 RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN

Tabla III-8: RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN- PRIMERA REPETICION

ARC-61				ARC-51				ARC-41			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
11,6	20,8	25,52	27,87	11,76	22,23	26,46	32,36	8,23	19,77	23,57	25,85
ARC-62				ARC-52				ARC-42			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,84	19,75	24,42	28,13	11,67	21,16	24,22	27,16	10,28	19,57	23,73	28,17
ARC-63				ARC-53				ARC-43			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
9,87	19,95	22,25	26,41	11,02	20,69	24,49	29,01	11,52	20,16	23,75	27,75
ARC-64				ARC-54				ARC-44			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,27	19	23,21	27,726	11,65	20,79	22,02	27,3	10,79	19,5	22,75	27,99
ARC-65				ARC-55				ARC-45			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,23	22,66	22,66	28,63	10,82	20,19	23,83	27,56	8,34	16,63	20,83	26,89
ARC-66				ARC-56				ARC-46			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
11,39	20,04	25,07	27,41	11,15	21,16	24,99	27,89	10,12	19,86	24,08	27,77
ARC-31				ARC-21				ARC-11			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,5	20,1	24,98	27,87	10,08	20,35	23,14	25,58	7,89	17,73	19,72	23,65
ARC-32				ARC-22				ARC-12			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,1	19,57	24,22	27,56	9,34	19,96	22	24,75	8,79	17,25	20,05	24,67
ARC-33				ARC-23				ARC-13			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
9,52	19,42	22,01	26,41	9,19	18,75	22,74	26,78	8,56	17,83	19,65	23,57
ARC-34				ARC-24				ARC-14			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
9,98	18,59	23,21	26,58	9,78	19,97	21,89	25,19	8,76	18,06	21,4	24,73
ARC-35				ARC-25				ARC-15			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
9,75	19,9	22,66	27,55	10,62	19,25	21,54	24,58	9,46	17,84	19,9	24,25
ARC-36				ARC-26				ARC-16			
1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días	1 Día	3 Dias	7 días	28 días
10,72	18,56	25,07	26,12	9,53	18,36	20,87	25,13	7,12	16,72	19,86	23,37

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Gráfica III-2: CONTROL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON ADICION DE ARCILLA AL 25% PRIMERA REPETICIÓN



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En las **Tabla III-8**, **Tabla III-9** y **Tabla III-10** se muestran los controles de resistencias en sus tres repeticiones a diferentes edades de cemento con adición del 25% de arcilla calcinada. En la **Tabla III-8** se muestran los datos de la primera repetición, en esta tabla se controla de acuerdo al nombre denominado a cada muestra y el tiempo 1, 3, 7, y 28 días donde claramente se puede observar tanto en la **Tabla III-8** como en la **Gráfica III-2** los resultados finales de resistencia a la compresión a 28 días los valores más altos y bajos, esta primera repetición sirvió como base para descartar algunas muestras para las siguientes repeticiones. Por tanto, para la segunda repetición se toma en cuenta las muestras de 700 a 900°C y con unos tiempos de 10, 30, 45, 60 min. Esta decisión se la toma de no repetir todas las muestras por un asesoramiento de Adrián Alujas (**ANEXO 10**) donde nos sugiere que de acuerdo y

basándose en la composición química de la arcilla la máxima activación térmica se daría entre esas temperaturas y tiempos, es así que se realiza la segunda repetición.

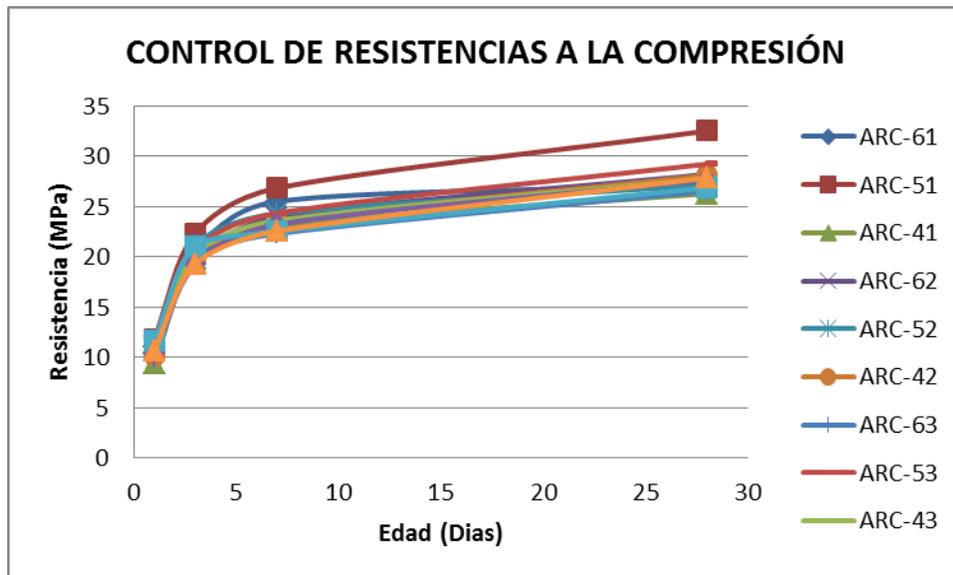
Estos datos también son corroborados por el análisis estadístico del diseño experimental, donde los picos más altos se repiten tres veces para tener la variable respuesta más certeros y adecuados tanto como en el modelo y experimentalmente.

Tabla III-9: RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN-SEGUNDA REPETICION

ARC-61				ARC-51				ARC-41			
1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días
11,06	20,45	25,52	27,18	11,79	22,34	26,85	32,54	9,4	19,83	23,09	26,31
ARC-62				ARC-52				ARC-42			
1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días
10,87	19,45	23,97	28,24	11,13	21,16	24,32	27,15	10,21	19,54	23,46	28,12
ARC-63				ARC-53				ARC-43			
1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días
9,84	19,86	22,32	26,58	11,1	20,78	24,36	29,25	11,52	20,34	23,62	27,8
ARC-64				ARC-54				ARC-44			
1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días	1 Día	3 Dias	7 dias	28 días
10,36	19,24	23,23	27,69	11,62	21,1	22,54	26,89	10,71	19,3	22,57	27,87

Fuente: Elaboración propia, 2018.

Gráfica III-3: CONTROL DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN CON ADICION DE ARCILLA AL 25% SEGUNDA REPETICIÓN



Fuente: Elaboración propia, 2018.

En la **Tabla III-9** y **Gráfica III-3** se muestran los datos de la segunda repetición donde los datos ya son más certeros ya que no tienen una diferencia de relevancia con la primera repetición.

Entonces de acuerdo a la norma **NB 011-Especificaciones del cemento (ANEXO 1)**. Para un cemento IP- 30 según norma la resistencia a una edad de 28 días debe ser mayor o igual a los 30 MPa.

Una de las muestras sobre sale a las demás y cumple uno de los requisitos de la norma **NB011** es la muestra **ARC-51**, como también se puede observar a la muestra **ARC-53** con una resistencia considerable. Es así que realizamos la tercera repetición con estas dos muestras **ARC-51** y **ARC-53** para corroborar los datos y así tener la temperatura y tiempo de máxima activación.

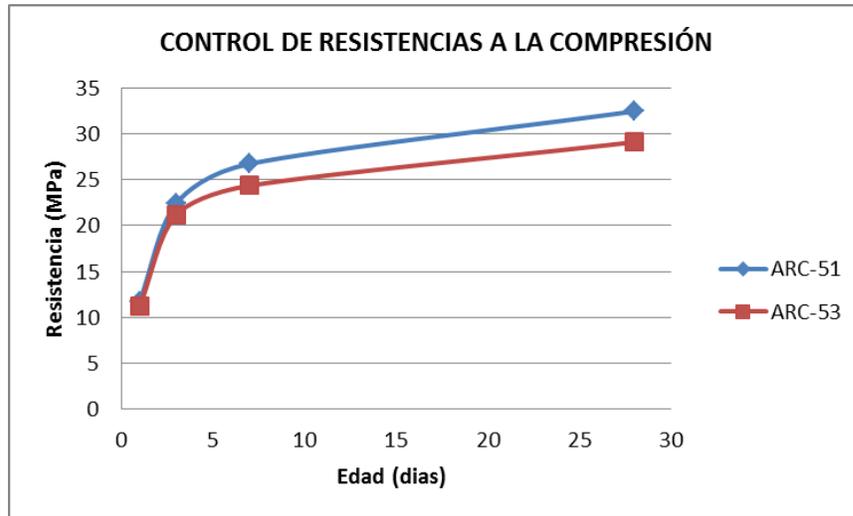
**Tabla III-10: RESULTADOS DE RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN-
TERCERA REPETICION**

ARC-51			
1 Dia	3 Dias	7 dias	28 dias
11,7	22,41	26,74	32,46

ARC-53			
1 Dia	3 Dias	7 dias	28 dias
11,21	21,19	24,36	29,11

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Gráfica III-4: Control de resistencias a la compresión con adición de arcilla al 25% tercera repetición



Fuente: Elaboración propia, 2019.

Llegando con estos resultados a las repuestas de los primeros objetivos planteados. Claramente se puede observar que la resistencia más alta en las tres repeticiones es: 32.36, 32.54 y 32.46 MPa. Pertenecientes a la muestra **ARC-51**, de acuerdo a la norma boliviana NB011 es aceptable, ya que el valor de la resistencia a compresión debe ser mayor o igual a 30 MPa a un tiempo de 28 días con este resultado se llega al objetivo principal de este proyecto determinando el tiempo y temperatura de activación de arcilla siendo estos parámetros **Tabla III-11**.

Tabla III-11: PARAMETROS ÓPTIMOS DE ACTIVACIÓN DE ARCILLA

MUESTRA	TIEMPO (Min)	TEMPERATURA(°C)
ARC-51	10	800

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4 VALORACION DE CALIDAD DEL PRODUCTO OBTENIDO

Para la valoración de la calidad de producto obtenido se lo realiza de acuerdo a las especificaciones de la norma boliviana NB011, para cemento de tipo IP-30.

Se lo aplica a la muestra de cemento ARC-51 con el 25% de adición de arcilla calcinada.

3.3.1 ESPECIFICACIONES FISICAS PARA ARC-51

Las especificaciones físicas aplicadas al cemento con adición de arcilla según norma boliviana para cementos de tipo Ip-30 son los siguientes:

Tabla III-12: Categorías resistentes a los cementos (resultados según la norma NB470)

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		Mínima a 3 días	Mínima a 7 días	Mínima a 28 días
Alta	40	17	25	40
Media	30	10	17	30
baja	25	-	15	25

Fuente: Norma boliviana NB011, 2019.

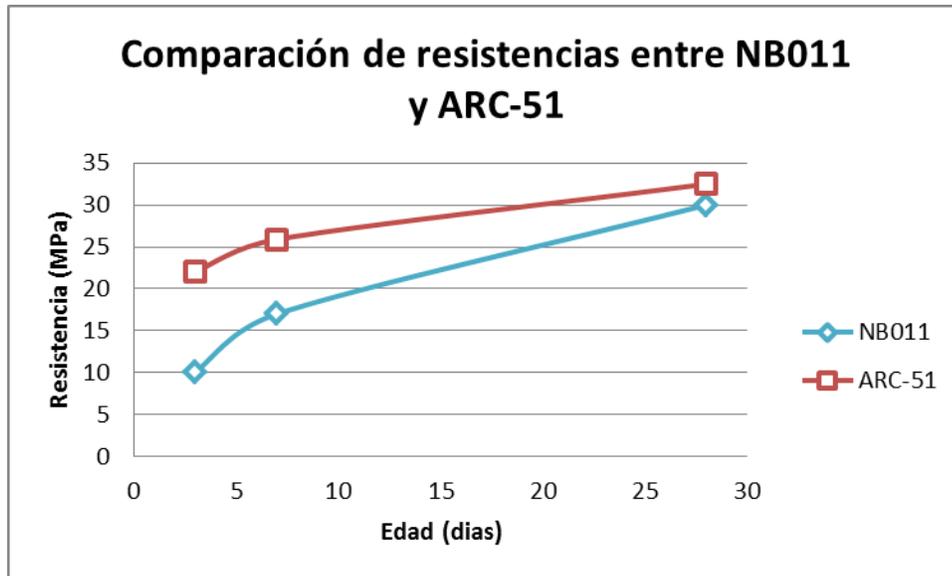
Tabla III-13: resistencias a la compresión del cemento ARC-51

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		Mínima a 3 días	Mínima a 7 días	Mínima a 28 días
Media	30	22	25,9	32,5

Fuente: Elaboración propia, 2019.

NOTA: para realizar las especificaciones químicas y físicas del cemento ARC-51 y tener la máxima certeza de los resultados se vuelven a repetir los pasos desde molienda para tener resultados más concisos (**ANEXO 8**), como se puede observar en la **Tabla III 13** los resultados son diferentes a la **Tabla III-8, Tabla III-9 y Tabla III-10**, ya que para realizar dicha prueba física siempre habrá un error pequeño en la manipulación del operador al realizar esta prueba ya que se realiza de manera manual la compresión del mortero en el cubo al realizar los golpes de este, la cantidad de agua y otros factores que involucran pero este error debe ser mínimo y se puede apreciar en las tablas **Tabla III-8, Tabla III-9 Tabla III-10 y Tabla III-13** la resistencia a la compresión a los 28 días:32,36Mpa, 32,54Mpa, 32,46Mpa y 32,5Mpa.

Gráfica III-5: Comparación de los resultados de resistencia a la compresión entre la norma nb011 y el cemento arc-51



Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la **Gráfica III-5** se muestra una comparación de datos de resistencia a la compresión obtenidos a lo largo de la investigación y los datos obtenidos en la norma NB011, donde se puede observar que la mejor muestra obtenida sobrepasa los requisitos de resistencia a la compresión

Tabla III-14: Especificaciones físicas para cementos NB011

Categorías resistentes	Fraguado (según norma NB 063)		Superficie específica Blaine, en cm ² /g (según norma NB 472)
	Inicial, en min	Final, en h	
Alta	>45	< 7	>2800
Media y baja	>45	< 7	>2600

Fuente: Norma boliviana NB011, 2019.

Se utilizó la **Tabla III-14**, como guía así también para comparar los datos obtenidos, de los cuales se detallan en la siguiente tabla.

- Tiempo de fraguado

Tabla III-15: Especificaciones físicas de cemento ARC-51

Categorías resistentes	Fraguado (según norma NB 063)		Superficie específica Blaine, en cm ² /g (según norma NB 472)
	Inicial, en min	Final, en h	
Media y baja	183	4,50	4370

Fuente: Elaboración propia, 2019.

También se realizó peso específico y retenido en malla 200 y 325

Tabla III-16: Especificaciones físicas retenido en malla y peso específico

Peso específico (g/ml)	Residuo en malla(g)	
	Malla 325	Malla 200
3040	6,53	0,89

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.2.2 ESPECIFICACIONES QUÍMICAS DE CEMENTO ARC-51

Para las especificaciones químicas se tomó como base a cumplir los parámetros de la norma **NB011 (Tabla III-12)**, las características químicas o análisis químico se realiza de acuerdo a la norma **NB061 (ANEXO 11)**

Tabla III-17: Especificaciones químicas para los cementos

Características químicas (según norma NB061)	Tipos de cemento					
	I	IP	IF	IS	IM	S
Pérdida por calcinación, en % máximo	5	7	20	-	-	8
Residuo insoluble, en % máximo	5	-	5	-	-	-
Trióxido de azufre (SO₃), en % máximo	3.5	4	4	4	4	4
Óxido de magnesio (MgO), en % máximo	6	6	6	6	6	6
Puzolanidad para 8 o 28 días	-	-	-	-	-	Positiva

Fuente: Norma boliviana NB011, 2019.

3.2.2.1 Cálculo de pérdida por calcinación

$$\%PPC = \frac{W_{perdido} \times 100}{W_{muestra}}$$

$W_{perdido}$ = peso perdido o peso final en gramos

$W_{muestra}$ = peso de la muestra inicial en gramos

W_{crisol} = peso de crisol en gramos

$$W_{perdido} = (W_{crisol} + muestra) - (W_{crisol} + muestra calcinada)$$

$$W_{\text{crisol}} = 26.7634 \text{ g}$$

$$\text{Muestra} = 1 \text{ g.}$$

$$\text{Muestra calcinada} = 0,9614 \text{ g.}$$

$$W_{\text{perdido}} = (26,7634 + 1) - (26,7634 + 0,9614) \text{ g}$$

$$W_{\text{perdido}} = 0,0386 \text{ g}$$

$$\%PPC = \frac{0,0386 \times 100}{1}$$

$$\%PPC = 3,86 \%$$

3.2.2.2 Cálculos de trióxido de azufre

$$\%SO_3 = \frac{W_{\text{ceniza}} \times F \times 100}{W_{\text{muestra}}}$$

W_{ceniza} = peso de ceniza o peso final en gramos

W_{muestra} = peso de muestra o peso inicial en gramos

F = factor

$$W_{\text{ceniza}} = 5,28 \text{ g}$$

$$W_{\text{muestra}} = 100 \text{ g}$$

$$F = 0.3433 \text{ (ANEXO 11)}$$

$$\%SO_3 = \frac{5,28 \times 0,3433 \times 100}{100}$$

$$\%SO_3 = 1,81\%$$

3.2.2.3 Cálculos de óxido de magnesio

$$\%MgO = \frac{(V_2 - V_1) \times F \times 100}{0.04}$$

V_1 = Volumen inicial en ml

V_2 = Volumen final en ml

$F = \text{factor}$

$V_1 = 100 \text{ ml}$

$V_2 = 100,00462 \text{ ml}$

$F = 0,2674$ (ANEXO 11)

$$\%MgO = \frac{(100,00462 - 100) \times 0,2674 \times 100}{0,04}$$

$\%MgO = 3,09\%$

Tabla III-18: Característica químicas de cemento con adición de arcilla ARC-51

Características químicas (según norma NB061)	Tipos de cemento					
	I	IP	IF	IS	IM	S
Pérdida por calcinación, en % máximo	-	3,86	-	-	-	-
Residuo insoluble, en % máximo	-	18,5	-	-	-	-
Trióxido de azufre (SO₃), en % máximo	-	1,81	-	-	-	-
Óxido de magnesio (MgO), en % máximo	-	3,09	-	-	-	-
Puzolanidad para 8 o 28 días	-	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la **Tabla III-15** se muestran los resultados obtenidos de la caracterización química del cemento ARC-51, donde los resultados están dentro de las especificaciones químicas de la norma boliviana **NB011 (ANEXO 1)**.

3.4 ÍNDICE DE ACTIVIDAD PUZOLANICA DE ARCILLA CALCINADA A 10 MIN. Y 800°C

Para el índice de actividad puzolánica se tomó como base para el ensayo la norma europea **ASTM C-311 (ANEXO 7)**.

Para la mezcla de control se utilizó cemento portland puro, a continuación, se detallan los resultados de resistencia a la compresión a 28 días.

Tabla III-19: Resistencia a la compresión de cemento portland

Muestra	Resistencia a la compresión a 28 días
Cubo 1	37,91
Cubo 2	38,01
Cubo 3	37,88
Promedio	37,93

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la mezcla de ensayo como indica la norma **ASTM C-311 (ANEXO 7)**, reemplazar el 20 % del peso de la cantidad de cemento usado en la mezcla de control por el mismo peso de la muestra de ensayo, es decir se reemplazó el 20% con puzolana artificial (arcilla calcinada), donde se obtuvo los siguientes resultados a la resistencia de compresión a los 28 días.

Tabla III-20: Resistencia a la compresión de cemento portland con el 20% de puzolana artificial

Muestra	Resistencia a la compresión a 28 días
Cubo 1	33,42
Cubo 2	33,96
Cubo 3	34,01
Promedio	33,79

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El cálculo del índice de actividad con cemento portland se realizó de acuerdo a la norma **ASTM C311 (ANEXO 7)**, de la siguiente manera:

Índice de actividad resistente con cemento portland = $(A/B) \cdot 100$

Dónde:

A = Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa

B = Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de control, MPa

Índice de actividad resistente de arcilla activada

Índice de actividad resistente con cemento portland = $\frac{A}{B} \cdot 100$

$A = 33,79 \text{ MPa}$ **Tabla III-20**

$B = 37,93 \text{ MPa}$ **Tabla III-19**

$$\text{Índice de actividad resistente con cemento portland} = \frac{33,79 \text{ MPa}}{37,93 \text{ Mpa}} * 100$$

$$\text{Índice de actividad resistente con cemento portland} = 89 \%$$

Con este resultado se deduce que la puzolana artificial tiene un índice de actividad positivo, por el cual es factible este proyecto, ya que en norma el mínimo valor para que la puzolana sea positiva y apta para utilizar como adición al cemento es del 75%.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente trabajo de investigación y a los resultados obtenidos, se llega a las siguientes conclusiones:

- Los parámetros óptimos de activación térmica de arcilla de El Salto:

Tabla-III 11, donde la muestra ARC-51, obtuvo la resistencia a la compresión más alta de todas las muestras ensayadas con un tiempo de 10 min y temperatura de 800°C.

Con estos datos de activación térmica, se llega a la conclusión que la arcilla de El Salto se convierte en una puzolana artificial apta para utilizar como aditivo en cementos de tipo IP.
- La cuantificación de la arcilla en la cantera El Salto-SOBOCE SA, fue realizada por la empresa ESMICAL. Donde los yacimientos de arcilla se estiman: 5670000 t. de reserva (**ANEXO 12**)
- El análisis químico de materia prima (arcilla), da como resultado la composición de: SiO₂ 54,52%, Al₂O₃ 18,78%, Fe₂O₃ 7,12%, CaO 1,95%, MgO 1,32%, Mn₂O₃ 0.06%, K₂O 3,63%, Na₂O 0,88%, SO₃ 0,40%, (**Figura III-1**) (**Tabla III-2**), por la cual se observa que la arcilla de El Salto es de baja caolinita.
- El índice de actividad resistente de la arcilla calcinada a 10 min y 800°C, el cual fue calculado de acuerdo a la norma europea **ASTM C311** (**ANEXO 7**), donde el resultado fue de 89% lo que indica que esta puzolana artificial es positiva, por lo tanto, es apta para utilizar como adición a cementos de tipo IP.
- El cemento IP-30, el cual se obtiene se analizó y valoró la calidad del producto obtenido en cumplimiento a todas las especificaciones que establece la norma boliviana de cementos **NB011** (**ANEXO 1**), la resistencia a la compresión del cemento **ARC-51** (**Tabla III-13**) es de 32,5 MPa a una de 28 días;

Especificaciones físicas de cemento ARC-51: tiempo inicial de fraguado 183 min., tiempo final de fraguado 4,5 hr., superficie específica Blaine 4370 cm²/g (**Tabla III-15**); peso específico 3040g/ml., malla 325 6,53g., malla 200 0,89g. (**Tabla III-16**).

Características químicas de cemento con adición de arcilla ARC-51: Pérdida por calcinación, en % máximo 3,86, Trióxido de azufre (SO₃), en % máximo 1,81, Óxido de magnesio (MgO), en % máximo 3,04, pérdida por fuego % máximo 3,86. (**Tabla III-18**). De acuerdo a estos datos se concluye que se obtuvo un cemento de buena calidad con adición de una puzolana artificial por lo tanto este proyecto es factible para realizarse a nivel industrial.

- La sustitución del Clinker por MCS es la alternativa con mayores perspectivas de aplicación a corto plazo para la reducción de las emisiones de CO₂ provocadas por la industria del cemento.
- El proceso de fabricación de algunos materiales de la construcción como el cemento portland contribuye al aumento del efecto invernadero debido a la emisión de gases de efecto invernadero (CO₂) a la atmósfera provenientes de la quema del combustible y de los procesos de calcinación, de ahí que la disminución del factor de clínquer con la adición de arcillas activadas térmicamente constituye una importante contribución desde el punto de vista económico y ambiental.
- Es el nuevo tipo de cemento que propone una alternativa para la sustentabilidad ambiental, en su elaboración se emplea arcilla calcinada, este material se puede encontrar de manera abundante, es un cemento ecológico que contiene menos Clinker y utiliza menor consumo de combustible en su elaboración, por tanto, se reducen las emisiones de CO₂ hasta en un 30%. Para producirlo no se requiere de grandes modificaciones en las plantas de cemento.
- La novedad del LC3 no solo radica en su potencial medioambiental, sino que además reduce los costos de producción por la factibilidad de los materiales y su resistencia puede compararse a la de cementos no mezclados como el Portland a pesar de tener un 25 por ciento menos de Clinker.

- Del estudio realizado se desprende la importancia de conocer la reactividad de las arcillas calcinadas utilizadas, siendo altamente beneficioso desde el punto de vista del comportamiento mecánico, la utilización de un porcentaje de reemplazo elevado (25-30%) cuando la muestra es muy reactiva. Si se dispone de arcillas calcinadas de menor reactividad, se aconseja la utilización de menores porcentajes de reemplazo (15%), pudiendo lograr a partir de los 28 días comportamiento similar al cemento portland y teniendo a menores edades (3 y 7 días) un buen desempeño.
- A lo largo de esta investigación también se pudo ensayar con diferentes granulometrías en la activación de arcilla dando como resultado que la arcilla se activa con mayor facilidad en una malla 12,5 ya que se tuvo mejores resultados que en una malla 325.
- La reactividad puzolánica de arcillas calcinadas depende del volumen de material potencialmente reactivo (directamente relacionado al contenido de Al_2O_3 y SO_2) y la magnitud del desorden estructural alcanzado durante la activación térmica (directamente relacionado a la pérdida de grupos hidroxilos).

4.2 RECOMENDACIONES

- Evaluar la sustitución máxima de arcilla calcinada en cemento IP30.
- Se recomienda activar la arcilla a una granulometría de 12,5 mm. Para tener una buena activación.
- Se sugiere a la empresa Cemento El Puente SOBOCE SA. Activar la arcilla a nivel industrial en un horno rotatorio para poder aprovechar la máxima activación térmica con la ayuda de la rotación, así poder alcanzar la máxima reactividad.
- Analizar la molienda industrial por separado como una alternativa a mediano plazo para estos cementos dentro de la producción cementera para obtener una activación de arcilla mecánica.
- Realizar una prueba industrial con los parámetros establecidos en laboratorio para la activación térmica de arcilla.
- El presente proyecto que sirva de base para implementar este nuevo cemento LC3 en el país, tener menos contaminación ambiental de CO₂ e incrementar las ganancias.
- Continuar investigando para mejorar el color de este cemento.
- Evaluar económicamente la factibilidad de este proyecto.
- Evaluar la cantidad de CO₂ desprendido en el proceso de activación de arcillas

BIBLIOGRAFÍA

1. **NORMA BOLIVIANA, NB011 (2005-2012).** *Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones.*
2. **NORMA BOLIVIANA, NB0061 (2005).** *Cemento – Análisis químico*
3. **NORMA BOLIVIANA, NB062 (2005).** *Cemento – Determinación de la consistencia normal.*
4. **NORMA BOLIVIANA, NB063 (2013).** *Cemento – Métodos para determinar el tiempo de fraguado*
5. **NORMA BOLIVIANA, NB472 (2013).** *Cemento – Métodos para determinar la superficie específica por el permeablímetro (Blaine).*
6. **NORMA BOLIVIANA, NB472 (2013).** *Cemento- Determinación de la fluidez*
7. **NORMA BOLIVIANA, NB 470 (2002).** *Métodos para determinar la resistencia a la Compresión.*
8. **FERNÁNDEZ, RODRIGO (2008).** *“Calcined Clayey Soils as a Potential Replacement for Cement in Developing Countries”.* Tutor: Karen Scrivener. PhD thesis, EPFL, Laussana, Switzerland: Materials laboratory.
9. **NORMA EUROPEA, ASTM C-311 (2000).** *Método Standard de Ensayo para el Muestreo y Ensayo de Cenizas Volcánicas o Puzolanas Naturales para su Uso como Aditivos Minerales en Hormigón de Cemento Portland.*
10. **UMSA PROYECTO DE INVESTIGACION (2002),** *Expediciones de Búsqueda de Materiales Volcánicos-Tarija.*
11. **MEJÍA DE GUTIÉRREZ, R. ET AL (2008).** *“Influence of the Calcination Temperature of Kaolin on the Mechanical Properties of Mortars and Concretes Containing Metakaolin”.* ClayMinerals. Vol.43 n°2, p.177-183. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/01691317http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=aph&AN=33750750&lang=es&site=ehost-live>. ISSN 1471- 8030

12. **JOSÉ CALLEJAS (2008).** *Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la construcción y del cemento de “LAS PUZOLANAS”.*
13. **JOSÉ CALLEJAS (2011).** *Apología de los Conglomerantes Puzolánicos Dr. José Callejas “Investigador jefe del departamento de Química del Instituto Eduardo Torroja” de la construcción y del cemento.*
14. **Norma ASTM C-563 (2010).** *SO3 óptimo en cementos hidráulicos de acuerdo a la resistencia a compresión en 24 horas.*
15. **REVISTA CYT MEXICO (2006).** *Historia del cemento.*
16. **ALEJANDRA TIRONI (2013).** *Materiales cementicios de baja energía activación térmica de arcillas, relación entre estructura y actividad puzolánica.*
17. **JAVIER CRUZ CANTU (2001).** *Activación mecánica de arcillas.*
18. **RANCÉS CASTILLO¹, RODRIGO FERNÁNDEZ, MATHIEU ANTONI, KAREN SCRIVENER, ADRIÁN ALUJAS, JOSÉ F. MARTIRENA (2010).** *Activación de arcillas de bajo grado a altas temperaturas.*
19. **RANCÉS CASTILLO LARA¹, MATHIEU ANTONI, ADRIÁN ALUJAS DÍAZ, KAREN SCRIVENER, JOSÉ FERNANDO MARTIRENA HERNÁNDEZ (2010).** *Estudio de la adición de arcillas calcinadas en la durabilidad de hormigones.*
20. **CARLOS ALBERTO JIMÉNEZ REYES (2016).** *Evaluación de las propiedades puzolánicas del material de desecho de la producción de cerámica roja.*
21. **JUAN SEBASTIÁN UCHIMA QUINTERO (2015).** *Evaluación de la puzolanicidad de material obtenido en la calcinación simultánea de biomasa y arcilla caolinítica.*
22. **JOSE ROBERTO LÓPEZ MUÑOZ (2012).** *Alternativa tecnológica de producción artesanal de ladrillos de arcilla mediante reacciones de hidratación de mezclas de suelo - cemento.*
23. **RANCÉS CASTILLO LARA, MATHIEU ANTONI, ADRIÁN ALUJAS DÍAZ, KAREN SCRIVENER, JOSÉ FERNANDO MARTIRENA**

- HERNÁNDEZ (2010).** *Estudio de la adición de arcillas calcinadas en la durabilidad de hormigones.*
- 24. KARLA MOLINA PÉREZ (2016).** *Evaluación del comportamiento de un cemento ternario de base Clinker-arcilla calcinada-carbonato de calcio utilizando arcilla de bajo contenido de caolinita.*
- 25. PROF. DR. JOSE CALLEJA ().** *Adiciones y cementos con adiciones*
- 26. ERIKA G. TUESTA, MAGALI VIVAS, ROSARIO SUN Y ABEL GUTARRA (2005).** *Modificación química de arcillas y su aplicación en la retención de colorantes.*
- 27. BELTRAMINI, Loreley; GUILARDUCCI, Anabela (2013).** *Puzolanas artificiales. Estudio de la activación térmica de residuos de carbón.*
- 28. MONZONS., C. G (2010).** *Materias Primas Cerámicas. Yacimientos de Arcillas y Caolines. Valencia, Universidad de Valencia.*
- 29. TIRONI, A. (2013).** *Materiales Cementicios de Baja Eenergía. Activación Térmica de Arcillas, Relación entre Estructura y Actividad Puzolánica. Departamento de Química. Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Argentina, Universidad Nacional de La Plata.*
- 30. QUINTANA, A. A. R. F. F. M. R. (2010).** *Empleo de arcillas caoliníticas de bajo grado activadas térmicamente como una alternativa para el reemplazo parcial de cemento Portland. Revista CENIC. Ciencias Químicas, vol. 41, 2010, pp. 1-10. Centro Nacional de Investigaciones Científicas La Habana, Cuba.*
- 31. LARA, I. R. C. (2010).** *Material puzolánico a partir de arcillas de bajo grado calcinadas a altas temperaturas. Fac. de construcciones. Carrera de Ing. Civil. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias*
- 32. . BARRIOS, E. G. R. M. S.** *Las arcillas: Propiedades y usos. Madrid, Universidad Complutense.*
- 33. R. M. de Gutiérrez JTA. PUZOLANA OBTENIDA POR ACTIVACION TERMICA (2004).** *Universidad del Valle Apartado aéreo 25360, Cali,*

Colombia: Grupo de Materiales Compuestos, Escuela de Ingeniería de Materiales.

34. **ADRIÁN ALUJAS, R. S. A., SERGIO BETANCOURT, CARLOS LEYVA (2015).** *Pozzolanic reactivity of low grade kaolinitic clays: influence of mineralogical composition. Proceedings of 1st. International Conference on Calcined Clays for Sustainable Concrete. Lausanne, Switzerland, Centro de Estudios de Química Aplicada, UCLV, Cuba. Instituto Superior Minero - Metalúrgico de Moa, Cuba. Fac. de Construcciones, UCLV, Cuba.*
35. **MARTIRENA F, SCRIVENER, K., FERNÁNDEZ, R., ANTONI, M., DÍAZ, A.A., LARA, R.C., OCA, J.M.D.M.D., ANDRÉS, L.M.V., MACHADO, Y.O., ROSSEN, J., ALVAREZ, B.F.M., BERRIEL, S.S., PÉREZ, R.B., BAYON, J.J. & RODRÍGUEZ, A.A.S(2013).** *Activación de Arcillas de Bajo Grado para la Producción y Uso de Puzolanas como Sustitutos de clínker en Sistemas Cementicios Ternarios clinker-Metakaolín-Carbonato. Santa Clara, Cuba: Universidad Central Marta Abreu de Las Villas.*
36. **JIMENEZ REYES CARLOS, (2016).** *evaluación de las propiedades puzolánicas del material de desecho de la producción de cerámica roja.*
37. **ANDRÉS, I. L. M. V. (2014).** *Cemento de Bajo Carbono a partir del sistema cementicio ternario clínquer-arcilla calcinada-caliza. Departamento de Ing. Civil. Facultad de Construcciones. Santa Clara., Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Tesis presentada en el grado científico de Doctor en Ciencias.*
38. **HERNÁNDEZ, D. J. F. M. (2003).** *Una alternativa ambientalmente compatible para disminuir el consumo de aglomerantes de clínquer de Cemento Portland: El aglomerante cal-puzolana como adición mineral activa. Dpto. de Ing. Civil. Facultad de Construcciones. Santa Clara, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Tesis presentada para optar por el título de Doctor en Ciencias.*
39. **PASTOR, R. C. (2015).** *Efecto de la adición de la cal en las propiedades mecánicas y durabilidad de hormigones con altos contenidos en cenizas volantes silíceas. Departamento de Construcciones Arquitectónica. Valencia, Universidad Politécnica de Valencia. Tesis Doctoral.*

40. **PÉREZ, A. A. (2014).** *Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de morteros de albañilería y prefabricados de pequeño formato a base de Cemento de Bajo Carbono. Departamento de Ingeniería Civil. Santa Clara, Facultad de Construcciones. Universidad Central Marta Abreu de las Villas.*
41. **JACOBO MARTÍNEZ-REYES, P. M.-G. (2007).** *Reactividad puzolánica de una arcilla regional. Oaxaca, México, CIIDIR Unidad Oaxaca, IPN.*
42. **PINTO, A. (2011).** *Cerámicos. Materiales y materias primas. Argentina.*
43. **KINGERY W.D AND MARI E.A (1776).** *Introduction to ceramics / W. D. Kingery, H. K. Bowen, D. R. Uhlmann.*
44. **KOGEL, J.E, TRIVED N.C., BARKER J.M., AND KRUKWSKI S.T. (2006).** *Industrial minerals and rocks; commodities markets and uses, 7th ed. Littleto CO:SME.*
45. **CARLOS JIMENEZ (2016),:** *evaluación de las propiedades puzolánicas del material de desecho de la producción de cerámica roja*

ANEXO 1

**NB 011 CEMENTO- ESPECIFICACIONES DE
CEMENTO**

**NORMA
BOLIVIANA**

**NB
011**

Tercera revisión
2012-11-09

Número de Referencia
NB 011:2012

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones

ICS 91.100.10-10
Cemento

CTN N° 12.1 - Cementos

IBNORCA

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL



©IBNORCA - Derechos Reservados

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Salvo prescripción diferente, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

IBNORCA

NORMA BOLIVIANA

NB 011

Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma proporciona las definiciones correspondientes a los cementos y a sus componentes, así como establece la clasificación de los cementos, por tipos y categorías resistentes y fija las especificaciones para los mismos.

Esta norma es aplicable a los cementos normales utilizados para morteros y hormigones en construcción.

2 REFERENCIAS

Las normas bolivianas contienen disposiciones que al ser citadas en el texto, constituyen requisitos de la norma. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas bolivianas citadas:

NB 061	Cemento - Análisis químico
NB 063	Cemento - Método para determinar el tiempo de fraguado
NB 470	Cemento - Método para determinar la resistencia a la compresión
NB 471	Cemento - Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen
NB 472	Cemento - Método para determinar la superficie específica por el permeabilmetro (Blaine)
NB 642	Cemento - Ensayo de puzolanidad
NB 643	Cemento - Ensayo para determinar la estabilidad de volumen por el método de Le Chatelier
NB 644	Métodos de ensayo de cementos - Parte 1: Determinación de resistencias mecánicas

3 DEFINICIONES GENERALES

3.1 Cementos

Conglomerantes hidráulicos, o sea materiales artificiales de naturaleza inorgánica y mineral, que finamente molidos y convenientemente amasados con agua, forman pastas que fraguan y endurecen tanto al aire como bajo agua, a causa de las reacciones de hidrólisis e hidratación de sus constituyentes, dando lugar a productos hidratados, mecánicamente resistentes y estables, tanto al aire como bajo el agua.

Los cementos son materiales granulares muy finos y homogéneos, cuyo aceptable grado de uniformidad de propiedades y de comportamiento, solo se puede conseguir mediante procesos continuos de fabricación (selección, dosificación, molturación, homogeneización de materias primas y de productos intermedios y clinkerización de crudos), así como de realizaciones periódicas y frecuentes de control de la calidad, todo ello llevado a cabo mediante operaciones de autocontrol de los fabricantes, ejecutadas por personal cualificado y adiestrado y con maquinaria, equipos e instrumentos idóneos.

3.1.1 Cementos Pórtland

Productos fabricados a base de clinker Pórtland y, en su caso, otros de los componentes principales y/o adicionales definidos en esta norma, en proporciones distintas, según se establece en las correspondientes definiciones particulares de cada tipo incluidas en la tabla 1.

3.1.2 Cementos con características especiales

Cementos que poseen alguna o algunas de las características referentes a su resistencia a los sulfatos, al agua de mar, o relativas a su bajo calor de hidratación o a su color blanco.

3.2 Conglomerantes hidráulicos

Productos artificiales, de naturaleza inorgánica y mineral, obtenidos a partir de materias primas naturales y, en su caso, de subproductos industriales que se utilizan en construcción, edificación y obras públicas, así como en industrias afines de materiales de construcción.

Se emplean para producir conglomerados (hormigones, morteros y pastas) con áridos pétreos, naturales o artificiales, u otro tipo de áridos (cascote de ladrillo), a fin de obtener elementos constructivos estructurales, estructuras y obras resistentes, estables y durables.

3.3 Constituyentes del cemento

3.3.1 Aditivos

Productos que, en pequeñas dosis -inferiores en todo caso al 1 % en masa- se pueden utilizar eventualmente para facilitar el proceso de fabricación del cemento (coadyuvantes de la molienda del clinker) o para aportar al cemento o a sus derivados -morteros y hormigones- algún comportamiento específico (inclusores de aire).

En ningún caso perjudicarán las propiedades y el comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos. Tampoco provocarán, acelerarán o facilitarán la corrosión de las armaduras.

3.3.2 Caliza

Es un componente calcáreo, que puede emplearse como adición y que debe tener un contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) ≥ 75 %

3.3.3 Clinker Pórtland

Producto constituido en su mayor parte por silicatos de calcio, obtenido por la cocción hasta fusión parcial (clinkerización) de una mezcla convenientemente proporcionada y homogeneizada que contiene principalmente cal y sílice, con pequeñas proporciones de alúmina y óxido férrico.

3.3.4 Escoria granulada de alto horno

Este producto se obtiene por enfriamiento rápido de una escoria fundida de composición adecuada, obtenida por la fusión del mineral de hierro en un alto horno y constituida al menos en dos tercios de su masa, por escoria vítrea y que posee propiedades hidráulicas cuando se activa de manera adecuada. Debe cumplir con el índice de actividad, de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM.

3.3.5 Filler

NB 011

Material orgánico, natural o artificial, especialmente seleccionado, que mejora las propiedades del cemento (como ser la trabajabilidad o retención de agua). Pueden ser inertes o poseer propiedades ligeramente hidráulicas o puzolánicas.

3.3.6 Materiales puzolánicos

Materias naturales o productos artificiales capaces de combinarse con la cal grasa, hidráulica o de hidrólisis de los cementos (portlandita), a la temperatura ambiente y en presencia de agua, para formar compuestos hidráulicos semejantes a los originados en la hidratación de los constituyentes del clinker Pórtland.

El material debe cumplir con el índice de actividad puzolánica de 75 %, de acuerdo a lo establecido en la norma ASTM C 311.

3.3.6.1 Puzolanas naturales

Rocas tobáceas, volcánicas vítreas, de naturaleza traquítica alcalina o pumítica.

También son puzolanas naturales, las harinas fósiles de naturaleza silícica, como la diatomita.

3.3.6.2 Puzolanas artificiales

Productos obtenidos por medio de tratamientos térmicos de arcillas, pizarras y otros similares. Dentro de este grupo también se encuentran subproductos de algunas industrias tales como polvo de ladrillo, cenizas volantes, etc.

3.3.7 Reguladores de fraguado

Materiales naturales o productos artificiales que, añadidos a los clínkeres Pórtland y a los otros constituyentes eventuales de los cementos, en proporciones adecuadas y molidos conjuntamente con ellos, proporcionan cementos de los establecidos en la tabla 1, que fraguan, de acuerdo con lo especificado en esta norma, al aplicarles el método de ensayo de la norma NB 063.

El regulador de fraguado más usual es el sulfato cálcico en algunas de sus variedades (como el yeso) o en mezclas de ellas.

El sulfato cálcico en cualquiera de sus formas puede ser también un subproducto de determinados procesos industriales y ser utilizado como regulador de fraguado (las impurezas que pudieran acompañar a este subproducto no deben afectar desfavorablemente en los procesos de fraguado y endurecimiento, ni a las propiedades y comportamiento de los conglomerados frescos o endurecidos).

4 CLASIFICACIÓN

4.1 Cementos Pórtland

Con esta denominación, existen cinco (5) tipos:

4.1.1 Cementos Pórtland, tipo I

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 95 % en masa y de cualquiera de los componentes adicionales definidos en esta norma, o mezclas de ellos, en proporción no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.2 Cementos Pórtland con puzolana, tipo IP

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 60 % ni mayor del 94 % en masa, de puzolana en proporción no menor del 6 % ni mayor del 40 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.3 Cementos Pórtland con filler o caliza, tipo IF

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor del 65 % ni mayor del 94 % en masa, filler o caliza en proporción no menor del 6 % ni mayor del 20 % en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta misma norma, en proporción comprendida entre el 0 % y el 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.4 Cemento Pórtland con adición de escoria, tipo IS

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 %, escoria en proporción no menor al 6 % ni mayor al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.1.5 Cemento Pórtland mixto, tipo IM

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clinker Pórtland en proporción no menor a 65 % y no mayor a 94 % y la combinación entre escoria; filler; caliza y puzolana en proporciones entre el 6 % al 35 % en masa y de otros componentes adicionales definidos en esta norma en proporción entre 0 % y 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

4.2 Cementos puzolánicos, tipo P

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: Clinker Pórtland en proporción no menor del 45 % ni mayor de 60 % en masa, de puzolanas, cenizas volantes u otros materiales puzolánicos en proporción total no menor del 40 % ni mayor del 55 % en masa y de otros de los constituyentes definidos en esta norma, en proporción total no mayor del 5 % en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que debe añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

Estos cementos deben cumplir con el ensayo de puzolanicidad, de acuerdo con la norma NB 642.

4.3 Clasificación y composición de los cementos por tipos

Se resumen en la tabla 1, de acuerdo con 4.1 y 4.2.

5 ESPECIFICACIONES DE LOS CEMENTOS

5.1 Categorías resistentes de los cementos

Se establecen en las tablas 2.

5.2 Especificaciones físicas de los cementos

Se establecen en las tablas 3 y 4.

5.3 Especificaciones químicas de los cementos

Se establecen en la tabla 5.

6 NOMENCLATURA DE LOS CEMENTOS

La nomenclatura de los cementos se hará por el conjunto correlativo formado por el tipo, expresado en la tercera columna de la tabla 1, seguido de un guión y la categoría resistente indicada en la segunda columna de la tabla 2.

A continuación, separada por un espacio y entre paréntesis, se incluirá la referencia a esta norma.

Ejemplo 1: la nomenclatura de un cemento Pórtland con filler calizo, de categoría resistente media, es la siguiente:

IF-30 (NB 011)

Ejemplo 2: La nomenclatura de un cemento Pórtland con puzolana, de categoría resistente baja, es la siguiente:

IP-25 (NB 011)

Tabla 1 - Clasificación y composición de los cementos

Tipo de cemento			Proporción en masa, en % ⁽¹⁾				
Denominación	Designación	Tipo	Componentes principales				Componentes adicionales ⁽²⁾
			Clinker	Puzolana	Filler	Escoria	
Cemento Pórtland	Pórtland	I	95 a 100				0 a 5
	Pórtland con puzolana ⁽⁴⁾	IP	60 a 94	6 a 40			0 a 5
	Pórtland con filler calizo ⁽³⁾	IF	65 a 94		6 a 35		0 a 5
	Pórtland con escoria	IS	65 a 94			6 a 35	0 a 5
	Portland mixto	IM	65 a 94		6 a 35		0 a 5
Cemento puzolánico ⁽⁴⁾		P	45 a 60	40 a 55			0 a 5

1) En estos valores se excluyen: El regulador de fraguado y los aditivos.

2) Los componentes adicionales pueden ser puzolana, filler, caliza o escoria, a menos que sean componentes principales del cemento.

3) Para cementos tipo IF, se debe realizar el control del filler calizo mediante el método de azul de metileno

4) El índice de actividad de la puzolana se debe realizar mediante el método de ensayo de la norma ASTM C 311

NB 011

Tabla 2.a - Categorías resistentes de los cementos (resultados según la norma NB 470)

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		Mínimas a 3 días	Mínimas a 7 días	Mínimas a 28 días
Alta	40	17	25	40
Media	30	10	17	30
Baja	25	-	15	25

Tabla 2.b - Categorías resistentes de los cementos (resultados según la norma NB 644)

Categorías resistentes		Resistencias a la compresión, en MPa		
		A 2 días	A 7 días	A 28 días
Alta	40	≥ 20	-	≥ 52,5
Media	30	≥ 10	-	≥ 42,5 y ≤ 62,5
Baja	25	-	≥ 16	≥ 32,5 y ≤ 52,5

Tabla 3 - Especificaciones físicas para los cementos

Categorías resistentes ⁽¹⁾	Fraguado (según norma NB 063)		Superficie específica Blaine, en cm ² /g (según norma NB 472)
	Inicial, en min	Final, en h	
Alta	> 45	< 7	> 2 800
Media y baja	> 45	< 7	> 2 600

- 1) Véanse categorías resistentes en las tablas 2
- 2) El fabricante reportará, en los certificados de calidad, el control de la finura con la malla 3,25, según lo establecido en la norma ASTM C 430.

Tabla 4 - Especificaciones físicas para los cementos

Tipos ⁽¹⁾	Expansión	
	Autoclave, en % máximo (según norma NB 471)	Le Chatelier, en mm máximo (según norma NB 643)
I	1	8
IP, IF, P	1	8

- 1) Véanse tipos de cemento en la tabla 1
- 2) La expansión podrá modificarse en valor, a requerimiento del cliente

NB 011

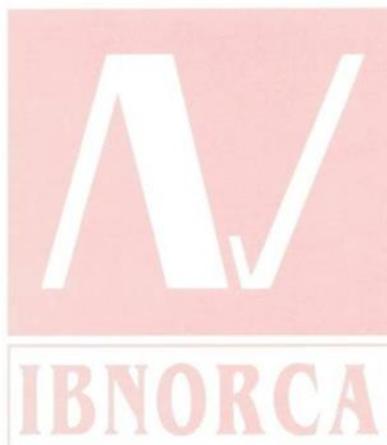
Tabla 5 - Especificaciones químicas para los cementos

Características químicas (según norma NB 061)	Tipos de cemento ⁽¹⁾					
	I	IP	IF	IS	IM	P
Pérdida por calcinación, en % máximo	5	7	20	-	-	8
Residuo Insoluble, en % máximo	5	-	5	-	-	-
Trióxido de azufre (SO ₃), en % máximo	3,5	4	4	4	4	4
Oxido de magnesio (MgO), en % máximo	6	6	6	6	6	6
Puzolanidad para 8 días ó 15 días	-	-	-	-	-	Positiva

1) Véanse tipos de cemento en la tabla 1

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO



DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

ANEXO 2

NB 473 CEMENTO-DETERMINACIÓN DE LA FLUIDEZ

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

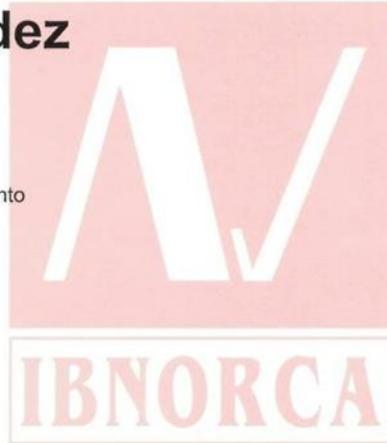
Norma Boliviana

NB 473

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

Cemento - Determinación de la fluidez

ICS 91.100.10-10 Cemento
OCTUBRE 2005



NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad



Prefacio

La revisión y actualización de la Norma Boliviana NB 473-05 "Cemento - Determinación de la fluidez (Segunda revisión)", ha sido encomendada al Comité Técnico Normalizador N° 12.1 "Cemento", integrado por las siguientes instituciones y personas:

REPRESENTANTE

Marcelo Alfaro
Juan Carlos Flores
Mario Terán
Verónica Gallardo
Liliana Orgaz
Jaime Rojas
Valentín Casas
Mauricio Medinaceli
Álvaro Navarro
Maximiliano Sánchez
Eddy Torrelio
Bruno Vargas
Alex Mercado
Fernando Garrido
Alberto Miranda
Eduardo Kunstek
Gonzalo Ledezma
José Luis Montaña
José Salazar
Sergio Saravia
Luis Terceros
Renzo Del Carpio
Gonzalo Dalence E.

INSTITUCIÓN

I.B.C.H. (Coordinador)
I.B.C.H.
CABOCO
IEM - UMSA
SOBOCE S.A.
SOBOCE S.A.
SOBOCE S.A.
SOBOCE S.A.
VIACHA - SOBOCE
WARNES - SOBOCE
WARNES - SOBOCE
EMISA - SOBOCE
EMISA - SOBOCE
EL PUENTE - SOBOCE
EL PUENTE - SOBOCE
ITACAMBA
COBOCE
COBOCE
FANCESA
PRETENZA
IBNORCA
IBNORCA
IBNORCA

Fecha de aprobación por el Comité Técnico 2005-08-12

Fecha de aprobación por el Consejo Rector de Normalización 2005-09-29

Fecha de ratificación por la Directiva de IBNORCA 2005-10-14

IBNORCA

Cemento - Determinación de la fluidez

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método para determinar la fluidez de morteros de cemento, utilizando la mesa de flujo.

2 METODO DE ENSAYO

2.1 Aparatos

2.1.1 Mesa de flujo

La mesa de flujo debe estar construida de acuerdo con el diseño de las figuras 1 y 2. El aparato consta de un marco rígido de fierro fundido y una plataforma circular de latón o bronce fundido que tenga una dureza Rockwell no menor de 25 HRB, un espesor de 7,6 mm y un diámetro de 254 mm \pm 2,54 mm. La plataforma debe tener la cara superior plana, pulida y libre de defectos, la cara inferior debe tener seis (6) nervios integrales de refuerzo, dispuestos radialmente. La mesa debe tener un eje vertical atornillado a ella, que tenga una saliente formando parte integral de él. La mesa debe estar montada en un marco de madera que pueda bajar y subir verticalmente en un rango de altura determinado, al hacer rotar una leva; la tolerancia para la altura de caída es de \pm 0,13 mm para mesas nuevas y de \pm 0,39 mm, para mesas en uso. La mesa y su eje adosado deben pesar aproximadamente 4,060 kg y el peso estará repartido simétricamente con respecto al centro del eje.

La leva y el eje vertical deben ser de acero al carbono de grado intermedio, el eje debe ser recto y la diferencia entre el diámetro del eje y el diámetro del agujero taladrado del marco, no deberá ser menor de 0,05 mm ni mayor de 0,08 mm para mesas nuevas y debe mantenerse entre 0,05 mm y 0,25 mm para mesas en uso. El extremo del eje no debe golpear sobre la leva al final de la caída, sino hacer contacto con ella a no menos de 120° del punto de caída. La leva debe tener forma de espiral con un radio que aumente uniformemente desde 12,7 mm ($\frac{1}{2}$) hasta 31,8 mm ($1\frac{1}{2}$) en 360° y no debe haber ningún golpe apreciable cuando el eje entre en contacto con la leva. La leva y el eje estarán diseñados en tal forma que la plataforma no rote más de una revolución en 25 caídas. Las superficies del marco y de la mesa que entran en contacto al final de la caída, deben mantenerse lisas, planas, horizontales y paralelas con la superior de la mesa y deben hacer contacto continuo a través de 360°.

El marco que soporta la mesa de caídas debe ser de fierro de grado duro y grano fino y debe tener tres (3) nervios de refuerzo integrales a lo largo de toda la altura, separados 120°. La parte superior del marco debe endurecerse por templado, hasta una profundidad de aproximadamente 6 mm y la cara debe ser esmerilada, pulida y quedar perpendicular al agujero taladrado, de modo que haga contacto de 360° con la saliente del eje. La parte inferior de la base del marco debe ser esmerilada para asegurar un contacto completo con la plancha de acero, sobre la cual descansa.

NB 473

La mesa de caídas puede ser accionada manualmente o mediante un motor de aproximadamente 0,3 W, conectado al eje de la leva por un engranaje de tornillo sin fin, para reducir la velocidad y debe tener un acoplamiento flexible. La velocidad del eje de la leva debe ser de aproximadamente 100 rpm. El motor no debe fijarse en la base del marco.

El marco de la mesa de caídas, se fijará firmemente con pernos, a una plancha de acero o fierro fundido de por lo menos 25 mm de espesor y 250 mm de lado. La cara superior de esta plancha debe anclarse a un pedestal de hormigón, con 4 pernos de 12,7 mm de diámetro, enclavados en el pedestal por lo menos 15 cm. La base menor del pedestal y la cara inferior de la placa deben hacer contacto en todos sus puntos. El pedestal debe ser un tronco de pirámide de base cuadrada, con una base menor de 250 mm a 280 mm de lado, una altura de 635 mm a 762 mm y una base mayor de 380 mm a 400 mm de lado. El pedestal debe ser construido con hormigón de peso unitario superior a 25 kN/m³.

Se debe verificar frecuentemente que la mesa esté nivelada, el pedestal firme y los pernos de anclaje, bien ajustados. Una vez que ha sido montada la mesa en el pedestal, la plataforma debe nivelarse en las posiciones alta y baja, a lo largo de dos diámetros perpendiculares.

El eje vertical de la mesa debe mantenerse limpio y lubricado con un aceite liviano, lo mismo que la leva, para disminuir el desgaste y asegurar un funcionamiento más suave. Cuando la mesa de flujo no se ha usado durante algún tiempo, debe levantarse y dejarse caer la plataforma por lo menos 12 veces, antes de empezar los ensayos.

La base de la mesa de flujo debe estar empernada firmemente a una placa de hierro fundido o de acero, de por lo menos 2,54 cm (1") de espesor y 25,4 cm (10") de lado.

La superficie superior de esta placa será pulida, hasta lograr una superficie plana y lisa.

La placa será anclada a la parte superior de un pedestal de hormigón, con cuatro (4) pernos de 1,27 cm (1/2) de diámetro; embebidos en el hormigón 15,24 cm (6").

El pedestal debe ser vaciado en forma invertida a la placa base de la mesa de flujo, con los pernos en espera, para lograr la adherencia total. Así se obtendrá un contacto directo entre la base de metal y el pedestal, en todos los puntos.

No deben ser utilizadas tuercas u otros dispositivos de nivelación, entre la placa y el pedestal, la nivelación será efectuada por medios convenientes en la parte inferior de la base del pedestal.

El pedestal debe ser de 250 mm a 275 mm de lado, en la parte superior y de 375 mm a 400 mm de lado, en la base y de 625 mm a 750 mm de altura; debe ser vaciado en hormigón de construcción monolítica, con un peso mayor de 2 240 kg/m³ (140 lb/ft³).

Se debe insertar debajo de la base del pedestal o en las cuatro (4) esquinas respectivamente, una almohadilla estable de corcho de 12,7 mm (1/2) de espesor y del mismo tamaño que la base del pedestal, o cuatro (4) almohadillas de corcho de 12,7 mm (1/2) de espesor y de aproximadamente 100 mm de lado.

La mesa de flujo debe ser revisada periódicamente para garantizar la nivelación de la superficie de la mesa de fluidez, la estabilidad del pedestal y el ajuste de los pernos y tuercas (se recomienda un torque de 27 NM (20 lb/ft) cuando se ajusten dichas sujeciones).

NB 473

La parte superior de la mesa, después de haber sido montada sobre el pedestal, debe ser nivelada a lo largo de dos (2) diámetros, perpendicularmente el uno al otro, en las posiciones superior e inferior del recorrido de la mesa.

2.1.2 Molde

Debe ser de bronce o latón, de dureza Rockwell no inferior a 25 HRB y debe tener la forma indicada en la figura 3.

Su peso no debe ser inferior a 907 g y su espesor no menor de 5 mm. Las superficies de la base y de la parte superior, deben ser paralelas entre sí y perpendiculares al eje vertical del cono. La orilla de la parte superior del molde debe tener una saliente que permita levantarlo fácilmente. En la base del molde debe colocarse una pantalla circular de aproximadamente 250 mm de diámetro, hecha con material no absorbente y no atacable por la pasta de cemento, para evitar que el mortero se derrame sobre la plataforma.

2.1.3 Calibrador

Debe ser adecuado para medir el diámetro del mortero después de que éste se haya extendido al accionar la mesa. Puede usarse el "caliper" o el "Vernier".

2.1.4 Compactador

El compactador debe ser hecho de un material que no sea absorbente, abrasivo, ni quebradizo, como caucho de dureza media; también puede emplearse, madera de roble impermeabilizada por inmersión en parafina a 200 °C durante 15 min. La sección transversal del compactador será de 12,5 mm x 25 mm, su longitud de 12 cm a 15 cm y su extremo debe ser plano y normal al eje.

2.2 Llenado del molde

Se limpia y se seca la plataforma de la mesa de flujo, colocando enseguida el molde en su centro. Usando el palustre, se coloca una capa de mortero, de unos 25 mm de espesor, cuya fluidez 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.

2.3 Procedimiento

Después de llenar el molde de acuerdo con 2.2, 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 ($\frac{1}{2}$), 25 veces en 15 s. Luego se mide el diámetro de la base de la muestra a lo largo de cuatro (4) direcciones uniformemente distribuidas y se calcula el diámetro promedio.

2.4 Expresión de los resultados

La fluidez, es el aumento del diámetro de la muestra, expresado como un porcentaje del diámetro de la base mayor del molde. Para las mediciones con Vernier, utilizar la siguiente fórmula:

NB 473

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio} - \text{Diámetro original}}{\text{Diámetro original}} \times 100$$

donde:

Diámetro original = Diámetro real de la base inferior del molde, en mm

Diámetro promedio = Valor promedio de un mínimo de cuatro (4) lecturas, en mm

Para el caso de utilizar el caliper, la fluidez será la sumatoria de las cuatro (4) mediciones hechas a 45°.

3 BIBLIOGRAFÍA

El presente documento tiene correspondencia con las siguientes normas:

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM

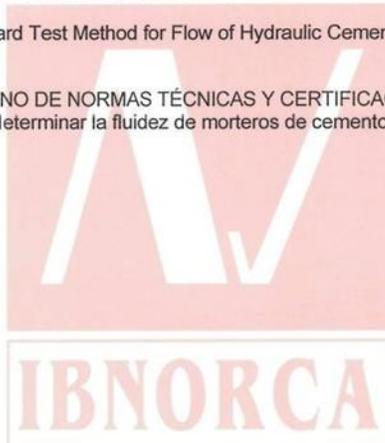
ASTM C 230/C 230 M-03 Standard Specification for Flow Table for Use in Test of Hydraulic Cement

ASTM C 1437-01 Standard Test Method for Flow of Hydraulic Cement Mortar

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN - ICONTEC
NTC 111 Método para determinar la fluidez de morteros de cemento hidráulico

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO



DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

ANEXO 3

NB 470 CEMENTO-DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

Norma Boliviana

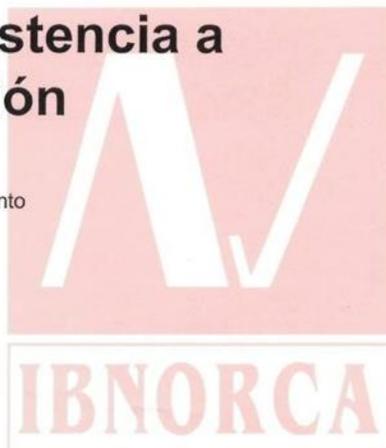
NB 470

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

Cemento - Determinación de la resistencia a compresión

ICS 91.100.10-10 Cemento

OCTUBRE 2005



NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad



Cemento - Determinación de la resistencia a compresión

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método para determinar la resistencia a compresión de morteros de cemento hidráulico, usando probetas normalizadas de 50,8 mm (2") de lado.

2 REFERENCIAS

NB 062 Cemento - Determinación de la consistencia normal

NB 473 Cemento - Determinación de la fluidez

NB 475 Tamices de ensayo de tela de alambre y de plancha perforada - Dimensiones nominales de abertura

3 MÉTODO DE ENSAYO

3.1 Aparatos

3.1.1 Balanzas

Deben cumplir con los siguientes requisitos:

En balanzas en uso, la variación permisible para una pesada de 2 000 g, no debe ser mayor de $\pm 2,0$ g. La variación permisible de balanzas nuevas, no debe ser mayor de la mitad de este valor.

3.1.2 Tamices

Se deben usar los siguientes tamices:

1,18 mm	(N° 16)
600 μm	(N° 30)
425 μm	(N° 40)
300 μm	(N° 50)
150 μm	(N° 100)

3.1.3 Probetas graduadas

Preferentemente, las probetas graduadas deben tener una capacidad suficiente que permita medir el agua de amasado en una sola operación. Las probetas deben estar graduadas por lo menos cada 5 ml y la graduación puede empezar a partir de 10 ml para las de 250 ml y a partir de 25 ml para las de 500 ml,

3.1.4 Cámara húmeda

La cámara húmeda debe tener las condiciones adecuadas y además cumplir lo especificado en 3.2.

3.1.5 Moldes

Los moldes para las probetas cúbicas normalizadas de 50,8 mm \pm 0,03 mm de lado, no deben tener más de tres (3) compartimientos, ni constar de más de dos (2) elementos separables. Estos elementos deben estar dotados de dispositivos que permitan una segura y rígida unión. Deben ser fabricados de un metal resistente, no atacable por las mezclas de cemento, con dureza Rockwell no menor de 55 HRB. Las paredes de los moldes deben ser lo suficientemente rígidas para evitar alabeos.

Las caras interiores de los moldes deben ser planas, con una variación permisible de 0,025 mm para moldes nuevos y de 0,05 mm para moldes en uso. La distancia entre las caras opuestas debe ser de 50,8 mm \pm 0,13 mm para moldes nuevos y de 50,8 mm \pm 0,50 mm para moldes en uso. La altura de cada compartimiento debe ser de 50,8 mm, con una variación permitida de + 0,25 mm y - 0,13 mm para moldes nuevos y de + 0,25 mm y - 0,38 mm para moldes en uso. El ángulo formado por las caras adyacentes debe ser de 90° + 0,5°.

3.1.6 Mezcladora

Debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma NB 062.

3.1.7 Mesa de flujo y compactador

Debe cumplir con los requisitos establecidos en la norma NB 473.

3.1.8 Palustre

La hoja del palustre, debe ser de acero, con una longitud de 100 mm a 150 mm y debe tener los bordes rectos.

3.1.9 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo puede ser hidráulica o mecánica, con suficiente abertura entre las superficies de apoyo, para que permita el uso de aparatos de comprobación. La carga aplicada al cubo debe necesariamente medirse con una exactitud de \pm 1 %. El bloque superior de apoyo debe estar firmemente asegurado a la cabeza superior de la máquina, por el sistema de rotula, de tal forma que quede libre para inclinarse en cualquier dirección. El centro de la cabeza superior de la máquina, debe estar sobre la perpendicular levantada en el centro de la superficie del bloque en contacto con el cubo. La diagonal o diámetro de la superficie de apoyo, debe ser ligeramente mayor que la cara del cubo (> 50,8 mm) para facilitar el centrado del cubo.

Debajo del cubo debe colocarse un bloque metálico resistente para disminuir el desgaste del plato inferior de la máquina. Dicho bloque debe tener marcas apropiadas que permitan centrar exactamente el cubo. Los bloques de apoyo deben tener una dureza Rockwell no menor de 60HRB.

Las superficies que hacen contacto con el cubo, deben ser planas con una variación permisible de 0,013 mm para bloques nuevos y 0,025 mm para bloques en uso.

3.2 Temperatura y humedad

3.2.1 Temperatura

La temperatura del ambiente, de los materiales secos, moldes, placas de base y recipientes de mezclado, se debe mantener entre 20 °C y 28 °C. La temperatura del agua de mezclado, de la cámara húmeda y la del agua de almacenamiento será de 23 °C ± 2 °C,

3.2.2 Humedad

La humedad relativa del laboratorio no debe ser menor del 50 %. La cámara húmeda debe permitir un fácil almacenamiento de las probetas y su humedad relativa no debe ser menor del 90 %.

3.3 Arena gradada

3.3.1 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:

Tamiz	Porcentaje retenido acumulado
150 μm (N° 100)	98 ± 2
300 μm (N° 50)	75 ± 5
425 μm (N° 40)	30 ± 5
600 μm (N° 30)	2 ± 2
1,18 mm (N° 16)	0

Esta gradación debe ser garantizada para los ensayos.

3.4 Preparación de las probetas

3.4.1 Proporción, consistencia y mezcla del mortero

La proporción en peso para formar un mortero normal, debe ser de una parte de cemento seco por 2,75 partes de arena gradada seca. Las cantidades anteriores de los materiales que deben mezclarse a un tiempo para obtener seis (6) cubos de ensayo, son 500 g de cemento y 1 375 g de arena y para nueve (9) cubos, 740 g y 2 035 g, respectivamente. Se debe usar una relación agua-cemento de 0,485 para todos los cementos Pórtland puros (tipo I); para los cementos con adiciones (tipos IP, IF y P), la cantidad de agua debe ser tal que produzca una fluidez de 110 % ± 5 %, determinada de acuerdo con la norma NB 473.

La mezcla debe hacerse mecánicamente, de acuerdo con el procedimiento establecido a continuación.

Colocar la paleta y el recipiente secos en posición para mezclar en la mezcladora, luego introducir los materiales para una carga, en el recipiente, de la siguiente manera: Verter toda el agua necesaria en el recipiente; adicionar el cemento al agua, luego encender la mezcladora y mezclar a una velocidad de 140 rpm + 5 rpm, por 30 s; adicionar toda la cantidad de arena, lentamente, durante 30 s, mientras se mezcla a velocidad mencionada. Detener la mezcladora y cambiar a velocidad de 285 rpm ±10 rpm y mezclar por otros 30 s.

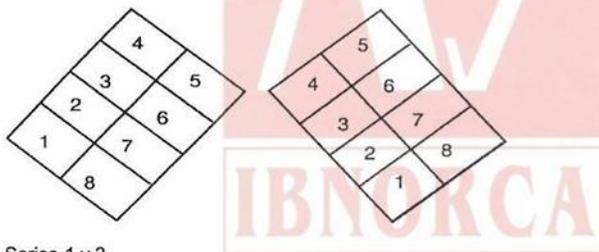
Detener nuevamente la mezcladora y dejar reposar el mortero por un lapso de 1,5 min. Durante los primeros 15 s de este intervalo, rápidamente se debe raspar el mortero adherido en las paredes del recipiente; luego por el resto del tiempo, cubrir el mortero con la tapa. Completar el procedimiento, mezclando por 1 min, a velocidad de 285 rpm \pm 10 rpm. En cualquier caso que se requiera de un remezclado, todo mortero adherido a las paredes del recipiente, debe ser rápidamente raspado y agrupado antes de un remezclado.

3.4.2 Preparación de los moldes para las probetas

Se cubren las caras interiores de los moldes con una capa delgada de aceite mineral o de grasa lubricante ligera. Las superficies de contacto de los elementos separables, deben revestirse con una capa delgada de aceite mineral pesado o una grasa liviana, tal como el petróleo. Luego se juntan los elementos que componen los moldes y se elimina el exceso de grasa o aceite de las caras interiores. Después se coloca el molde sobre una placa no absorbente y cubierta con una capa delgada de aceite mineral o de grasa ligera.

3.4.3 Llenado de los moldes

El llenado de los compartimientos debe iniciarse antes de los 2,5 min, contados desde la terminación de la mezcla inicial del mortero. En todos los compartimientos cúbicos se coloca una capa de mortero de aproximadamente 2,5 cm de espesor y se apisona con 32 golpes del compactador en unos 10 s. Estos golpes se aplican sobre la superficie del mortero de cada compartimiento, en 4 etapas de 8 golpes adyacentes cada una, como se indica en la figura 1.



Series 1 y 3

Figura 1 - Orden de apisonado en el moldeado de los especímenes de prueba

Los golpes de cada etapa deben darse siguiendo una dirección perpendicular a los de la anterior. La presión de compactación debe ser la suficiente para asegurar un llenado uniforme de los compartimientos. Se deben completar las cuatro (4) etapas de compactación en cada compartimiento, antes de pasar al próximo.

Cuando se haya completado la compactación de la primera capa en todos los compartimientos cúbicos, se llenan (o los mismos con una segunda capa y se apisona como se hizo con la primera. Durante la compactación de la segunda capa, al completar cada etapa y antes de iniciar la siguiente, se introduce en los compartimientos, el mortero que se haya salido de los moldes, mediante el palustre. Al finalizar la compactación, el mortero debe sobresalir ligeramente de los moldes. La

superficie de los cubos debe ser alisada con el lado plano del palustre, luego se enfrasa el mortero con el tope del molde empleando el palustre sostenido casi perpendicularmente, con un movimiento de vaivén a lo largo de la longitud del molde.

3.4.4 Almacenamiento de las probetas

Inmediatamente después de terminada la operación de llenado, el conjunto formado por los cubos, el molde y la placa, debe colocarse en la cámara húmeda durante 20 h a 24 h, con las caras superiores de las probetas expuestas al aire húmedo, pero protegidas contra la eventual caída de gotas de agua. Si las probetas se retiran de los moldes antes de las 24 h, deben dejarse en la cámara húmeda hasta que se complete este tiempo. Las probetas que no van a ser ensayadas a las 24 h, deben sumergirse en agua limpia y saturada con cal dentro de tanques construidos de material no corrosivo. El agua de almacenamiento debe cambiarse frecuentemente para que siempre esté limpia y saturada con cal.

3.5 Procedimiento

Las probetas que van a ser ensayadas a las 24 h se sacan de la cámara húmeda e inmediatamente se pasan a la máquina de prueba; si 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

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 horas	$\pm 0,5\text{ h}$
3 días	$\pm 1\text{ h}$
7 días	$\pm 3\text{ h}$
28 días	$\pm 12\text{ h}$

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). 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.

NOTA

Se obtienen resultados mucho menores que las resistencias reales, si las caras de la probeta no están completamente planas. Es esencial, por consiguiente, que los moldes se conserven bien limpios, pues de otra manera se obtendrán irregularidades en las superficies. Los instrumentos con los cuales se limpian los moldes deben ser de un material más suave que el material con que éstos se hayan fabricado, para evitar que se deterioren. En caso de que sea necesario pulir las caras de las probetas, esta operación se la debe realizar frotando con papel de lija fina hasta obtener una superficie plana.

Se aplica la carga a dos (2) de las caras de la probeta que estaban en contacto con las superficies planas del molde. Se coloca cuidadosamente la probeta, centrándola debajo del bloque superior de la máquina de ensayo. No se deben utilizar materiales amortiguadores entre las probetas y los bloques.

NB 470

Se puede aplicar una carga inicial, a cualquier velocidad conveniente, hasta la mitad de la carga máxima para probetas que resistan cargas máximas estimadas de más de 1 350 kg. No debe aplicarse ninguna carga inicial a probetas que tengan cargas máximas estimadas de menos de 1 350 kg.

Se ajusta la velocidad de aplicación, de manera que el resto de la carga (o la carga total en el caso de cargas máximas estimadas menores de 1 350 kg) se aplique sin interrupción hasta la falla, a una velocidad tal que se alcance la máxima carga en no menos de 20 s y no más de 80 s. Cuando la probeta esté cediendo antes de la rotura, no debe hacerse ningún ajuste a los controles de la máquina.

3.6 Expresión de los resultados

Se debe anotar la carga máxima indicada por la máquina de ensayo en el momento de la rotura y se debe calcular la resistencia a la compresión en MPa. Si el área real de la sección transversal del cubo varía en más de 0,38 cm² de la nominal, que es de 25,81 cm² se debe hacer el cálculo en función del área real.

Las probetas que resultan manifiestamente defectuosas o las que den resistencias que difieran en más del 10 % del valor promedio de todas las probetas elaboradas de la misma muestra y ensayadas a la misma edad, no se considerarán para el cálculo de la resistencia a la compresión. Si una vez descartadas las muestras y los valores obtenidos de la resistencia, se dispone de un sólo valor para determinarla, debe repetirse el ensayo.

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS



NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

ANEXO 4

NB 062 CEMENTO-DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

Norma Boliviana

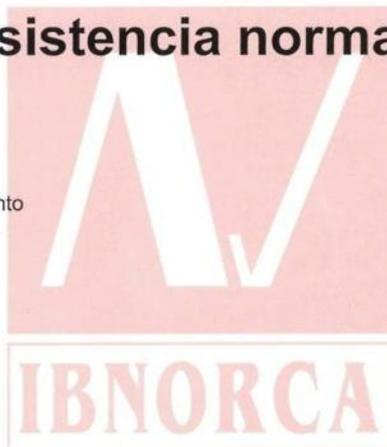
NB 062

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

Cemento - Determinación de la consistencia normal

ICS 91.100.10-10 Cemento

OCTUBRE 2005



NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Instituto Boliviano de Normalización y Calidad



IBNORCA

NORMA BOLIVIANA

NB 062

Cemento - Determinación de la consistencia normal

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método de ensayo para determinar la consistencia normal del cemento.

2 MÉTODO DE ENSAYO

2.1 Condiciones ambientales

Durante el ensayo, la temperatura del ambiente debe estar comprendida entre 20 °C a 28 °C y la del agua de amasado debe ser 23 °C ± 2 °C. La humedad relativa del ambiente no debe ser menor de 50 %.

2.2 Cámara húmeda

Que permita mantener la temperatura en 23 °C ± 2 °C y una humedad relativa mayor o igual a 90 %.

2.3 Aparatos

2.3.1 Mezcladora

La mezcladora debe ser de accionamiento eléctrico

Está compuesta de un recipiente de acero inoxidable de aproximadamente 5 litros de capacidad, de forma y dimensiones indicadas en la figura 1.

Tiene una paleta de mezcla de la forma y dimensiones indicadas, accionada por un motor eléctrico de velocidad regulable, con un movimiento de rotación alrededor de su propio eje y un movimiento planetario o de traslación, alrededor del eje del motor (véase figura 2).

La paleta debe funcionar a las velocidades que se indican en la tabla siguiente:

Tabla 1 - Velocidad de la paleta y sus tolerancias

Velocidad	Rotación de la paleta (rpm)	Movimiento de traslación (v/min)
1	140 ± 5	62 ± 5
2	285 ± 10	125 ± 10

En posición de partida y durante la marcha, debe haber una distancia no mayor de 2,5 mm ni menor de 0,8 mm, entre la paleta y el fondo del recipiente y de no mayor de 4 mm ni menor de 0,8 mm, entre aquella y las paredes laterales.

2.3.2 Espátula

Consistente en una hoja de caucho semirígida, unida a un mango de aproximadamente 150 mm de largo. La hoja debe tener aproximadamente 75 mm de largo, 50 mm de ancho y 2 mm de espesor el que debe disminuir hacia el borde hasta que tenga 1,5 mm. Como alternativa, se permite el uso de espátulas o badilejos metálicos.

2.3.3 Balanzas y pesas

Las balanzas y pesas deben permitir efectuar las pesadas con un error relativo menor de 0,5 %.

2.3.4 Probetas graduadas

Las probetas graduadas de 100 ml a 200 ml de capacidad que se utilicen para medir el volumen de agua de amasado, deben permitir hacerlo con una exactitud de ± 1 ml a 20 °C.

2.3.5 Cronómetro

El cronómetro debe tener un mecanismo de arranque y de parada. La tolerancia debe ser de 0,5 s o menos, en intervalos de tiempo de hasta 60 s y de 1 % o menos, para intervalos de 60 s a 300 s.

2.3.6 Aparato de Vicat

El aparato de Vicat (véase figura 3), consiste en un soporte (A) que sostiene un vástago móvil (B) que pesa 300 g, uno de sus extremos (C) (extremo de sondaje) tiene 10 mm de diámetro, con una longitud mínima de 50 mm, el otro extremo tiene una aguja (D) de 1 mm de diámetro y 50 mm de longitud. El Vástago (B) es reversible y puede sostenerse en la posición deseada por medio de un tomillo (E); tiene además un índice ajustable (F) que se mueve sobre una escala graduada en milímetros y rigidamente unida al soporte. El aparato de Vicat también puede estar construido con el vástago no reversible, pero debe tener en este caso, un dispositivo que permita cambiar la sonda por la aguja de Vicat.

El aparato de Vicat y el molde deben cumplir con los siguientes requisitos:

- peso de la sonda	300 g \pm 0,5 g
- diámetro de la sonda	10 mm \pm 0,5 mm
- diámetro de la aguja	1 mm \pm 0,05 mm
- diámetro interior de la base mayor del molde	70 mm \pm 3 mm
- diámetro interior de la base menor del molde	60 mm \pm 3 mm
- altura del molde	40 mm \pm 1 mm

2.4 Procedimiento

2.4.1 Preparación de la pasta

Para la preparación de la pasta, se emplea la mezcladora y se procede de la siguiente manera:

- se colocan secos la paleta mezcladora y el recipiente de mezcla en la posición de trabajo;
- se vierte el agua en el recipiente;
- se agrega 500 g de cemento al agua y se deja 30 segundos en reposo;
- se mezcla durante 30 s a la velocidad de 140 rpm \pm 5 rpm (1, véase tabla 1);

NB 062

- se detiene la mezcladora 15 segundos, durante este tiempo se arrastra la pasta que queda en los bordes del recipiente hacia el fondo, con la espátula;
- se mezcla durante 1 min a la velocidad de 285 rpm \pm 10 rpm (2, véase tabla 1).

2.4.2 Llenado del molde

Inmediatamente después de preparar la pasta de cemento como se describe en 2.3.1, modelar la pasta, con las manos protegidas con guantes, de forma aproximada a una esfera. Lanzar seis (6) veces, a través de una trayectoria libre de aproximadamente 15 cm, de una mano a otra, tratando de obtener una masa que tenga la forma de una esfera y que sea fácil de introducir en el molde, con una mínima cantidad de manipulación adicional. Reposándola en la palma de una mano, presionar la esfera, a través del extremo más ancho del molde cónico, sustentándola con la otra mano: Llenando completamente el molde con la pasta, remover el exceso del extremo más ancho, con un solo movimiento de la palma de la mano. Colocar el molde, por su extremo más ancho, en la placa de vidrio y rebanar el exceso de pasta del extremo más delgado del molde, con un alisado oblicuo del extremo de la espátula, sosteniéndola para formar un pequeño ángulo con el borde del molde. Si es necesario, igualar la superficie, con unos retoques del extremo puntiagudo de la espátula o palustre.

Durante estas operaciones de cortadura e igualado, se debe tener cuidado de no comprimir la pasta.

2.4.3 Determinación de la consistencia normal

El conjunto constituido por la placa, el molde y la pasta, se lleva al aparato de Vicat, se centra debajo del vástago (B), se hace descender el mismo, hasta que el extremo de la sonda (C) tome contacto con la superficie de la pasta y se fija esta posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición del índice (F) sobre la escala o se lleva previamente el mismo a coincidir con el «cero» superior. A los 30 s de terminada la mezcla, se suelta el vástago, evitando que el aparato sea sometido a alguna vibración durante el ensayo. La pasta se considera de consistencia normal, cuando la sonda penetra 10 mm \pm 1 mm a los 30 s de haber sido soltada. Mientras no se obtenga este resultado, se preparan diversas pastas de prueba, variando la cantidad de agua y utilizando una nueva porción de cemento, cada vez.

2.5 Expresión de resultados

La cantidad de agua que se requiere para una pasta de consistencia normal, se expresa como porcentaje del cemento utilizado.

3 BIBLIOGRAFÍA

Esta norma tiene correspondencia con las siguientes:

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT
COPANT R 175 Cementos - Procedimientos para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica

COPANT R 173 Cementos - Método para la determinación de consistencia normal y fraguado

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM
ASTM C 187-91 Consistencia normal de la pasta de cemento

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN - IRAM

ANEXO 5

NB 063 CEMENTO-DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

**NORMA
BOLIVIANA**

**NB
063**

Tercera revisión
2013-12-06

Número de Referencia
NB 063:2013

© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

Cemento - Determinación del tiempo de fraguado

ICS 91.100.10-10
Cemento

CTN N° 12.1 - Cementos

IBNORCA

DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL



©IBNORCA - Derechos Reservados

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Salvo prescripción diferente, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

IBNORCA

NORMA BOLIVIANA

NB 063

Cemento - Determinación del tiempo de fraguado

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el tiempo de fraguado del cemento, mediante la aguja de Vicat.

2 REFERENCIAS

Las normas bolivianas contienen disposiciones que al ser citadas en el texto, constituyen requisitos de la norma. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda, a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas.

NB 011 Cemento - Definiciones, clasificación y especificaciones

NB 062 Cemento - Determinación de la consistencia normal

3 MÉTODO DE ENSAYO

3.1 Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales para la preparación de las pastas, están establecidas en la norma NB 062.

3.2 Aparatos

3.2.1 Aparato de Vicat

Este aparato y sus correspondientes accesorios, están descritos en la norma NB 062, debiendo cuidarse especialmente, al efectuar todas las determinaciones, que la aguja se encuentre limpia, derecha y libre de vibraciones.

3.3 Procedimiento

3.3.1 Preparación de la pasta

Se prepara la pasta de consistencia normal y se efectúa el llenado del molde según la norma NB 062. El molde con la pasta de cemento debe permanecer durante 60 min en la cámara húmeda. Pasado este período se comienza el ensayo. Después de cada medición, la pasta debe retornar a la cámara húmeda.

3.3.2 Determinación del tiempo de fraguado

Para determinar el tiempo de fraguado se baja la aguja (D) hasta que su extremo tome contacto con la superficie de la pasta y se fija en esa posición por medio del tornillo (E). Se lee la posición del índice (F) sobre la escala o se lleva previamente el mismo a coincidir con el «cero» superior. Se suelta el vástago aflojando el tornillo (E). A los 30 s, se lee la posición del índice sobre la escala. Se repite la operación cada 15 min y en puntos separados 5 mm entre sí y 10 mm del borde del molde, como mínimo. Se anotan todas las penetraciones. Entre cada determinación de penetración y la siguiente, la muestra de ensayo se conserva en la cámara húmeda.

Las primeras determinaciones pueden efectuarse haciendo descender la aguja de manera que penetre suavemente en la pasta, evitando acelerar su movimiento y choque con la placa de vidrio.

NOTA

En cemento de alta resistencia inicial, las determinaciones de penetración se sugiere hacerlas cada 10 min.

Si se conocen las características de fraguado del cemento, las lecturas (penetración de aguja), pueden realizarse con una frecuencia de entre 30 min y 60 min; sobre todo para el fin de fraguado.

3.4 Expresión de resultados

3.4.1 Principio del fraguado

Se toma como principio del fraguado, el 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 de los resultados obtenidos en las penetraciones registradas.

3.4.2 Fin del fraguado

Se toma como fin del fraguado, el tiempo transcurrido entre el momento en que se agrega el cemento al agua y el momento en el cual la aguja no marca la superficie de la muestra con una impresión circular completa. Verificar el fraguado final realizando dos mediciones de penetración adicionales en diferentes lugares de la superficie de la muestra. Obtener mediciones de verificación dentro de los 90 s de la primera medición de fraguado final.

4 BIBLIOGRAFÍA

Esta norma tiene correspondencia con las siguientes:

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT
COPANT R 178 Cementos - Métodos de determinación de consistencia normal y fraguado

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM
ASTM C 191-08 Standard Test Methods for Time of Setting of Hydraulic Cement by Vicat Needle

COMISIÓN PANAMEÑA DE NORMAS INDUSTRIALES Y TÉCNICAS - COPANIT
COPANIT 3 - 1007 Cemento - Método de determinación del tiempo de fraguado por la aguja de Vicat

ANEXO 6

NB 472 CEMENTO-DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE ESPECÍFICA POR EL PERMEABILIMETRO (BLAINE)

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Esta publicación se encuentra protegida por los derechos de propiedad intelectual y salvo prescripción diferente no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

**NORMA
BOLIVIANA**

**NB
472**

Tercera revisión
2013-10-11

Número de Referencia
NB 472:2013

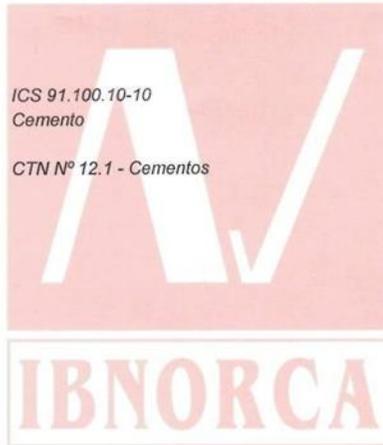
© IBNORCA - DERECHOS RESERVADOS

NORMA IMPRESA EN PAPEL ECOLÓGICO

Cemento - Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro (Blaine)

ICS 91.100.10-10
Cemento

CTN N° 12.1 - Cementos



DOCUMENTO PROTEGIDO POR EL
DERECHO DE PROPIEDAD INTELECTUAL



©IBNORCA - Derechos Reservados

El Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA) tiene reservados los derechos de reproducción. Salvo prescripción diferente, no podrá reproducirse ni utilizarse ninguna parte de esta publicación bajo ninguna forma y por ningún medio, electrónico o mecánico, incluidos el fotocopiado y la microfilmación, sin la autorización escrita de IBNORCA

Cemento - Determinación de la superficie específica por el permeabilímetro (Blaine)

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece el método de ensayo para la determinación de la finura del cemento, en términos de la superficie específica expresada en centímetros cuadrados por gramo de cemento, por medio del permeabilímetro según Blaine.

2 REFERENCIAS

NB 064 Cemento - Método para determinar la densidad

3 METODO DE ENSAYO

3.1 Fundamento

La determinación de la finura del cemento, 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.

3.2 Aparatos

3.2.1 Aparato Blaine

El aparato Blaine consiste en una serie de dispositivos que se describen de 3.2.1.1 a 3.2.1.5.

3.2.1.1 Tubo de permeabilidad

Este tubo debe estar constituido por un cilindro rígido de un diámetro interior de $12,7 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, construido de vidrio o de metal no corrosible. La parte superior del tubo debe estar dispuesta en ángulo recto con respecto al eje del mismo. La parte inferior del tubo ajustará herméticamente con la parte superior del manómetro. En el interior del tubo y a $55 \text{ mm} \pm 10 \text{ mm}$ de la parte superior, se encuentra un reborde de $0,5 \text{ mm}$ a 1 mm de ancho, para soportar el disco metálico perforado.

3.2.1.2 Disco perforado

Debe estar hecho de un metal no corrosible, su superficie debe ser plana y debe tener un espesor de $0,9 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$, provisto de 30 a 40 orificios de 1 mm de diámetro, distribuidos uniformemente en su superficie. El disco debe ajustarse sobre el reborde del tubo.

3.2.1.3 Émbolo

El émbolo debe ser hecho de un material indeformable y no atacable por el cemento (como resina fenólica) y debe ajustarse en el tubo con una holgura máxima de $0,1 \text{ mm}$. La parte inferior del émbolo debe ser plana y formar ángulo recto con su eje principal. Debe tener un corte plano de $3 \text{ mm} \pm 0,3 \text{ mm}$ de ancho a lo largo de su eje, que permita el escape del aire. La parte superior del émbolo debe tener un reborde en forma tal, que cuando éste sea colocado en el tubo y el reborde haga tope con la parte superior del mismo, la distancia entre el fondo del émbolo y la parte superior del disco perforado, sea de $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$.

3.2.1.4 Papel filtro

El papel filtro debe ser del Tipo I, Grado UU-P-236, Federal Specification (USA) o similar. Los discos de papel filtro deben ser del mismo diámetro que el diámetro interior del tubo de permeabilidad.

3.2.1.5 Manómetro

El manómetro debe ser un tubo de vidrio en forma de "U" de 9 mm de diámetro nominal exterior. La parte superior de una de las ramas del manómetro forma un cierre hermético con el tubo de permeabilidad. Esta rama debe tener una marca grabada alrededor del tubo, a una distancia de la parte superior de la rama lateral de 125 mm a 145 mm y a partir de esta marca y hacia arriba, deben estar grabadas otras marcas a las distancias de 15 mm \pm 1 mm, 70 mm \pm 1 mm y 110 mm \pm 1 mm. La rama lateral que está colocada de 250 mm a 305 mm arriba de la parte inferior del manómetro, sirve para succionar el aire de la rama del manómetro conectada al tubo de permeabilidad y debe estar provista de una válvula que haga cierre hermético y a una distancia no mayor de 50 mm de la rama del manómetro. El manómetro debe estar fijo y de forma que sus ramas queden verticales.

3.2.1.6 Líquido para el manómetro

El manómetro debe llenarse hasta su punto medio, con un aceite mineral ligero, o con un líquido que no sea volátil ni higroscópico y que tenga viscosidad y densidad bajas, tal como el ftalato de dibutilo.

3.2.1.7 Cronómetro

El cronómetro debe tener un mecanismo de arranque y de parada y debe permitir lecturas con aproximación de 0,5 s, o menos. La tolerancia debe ser de 0,5 s, o menos, en intervalos de tiempo hasta 60 s y de 1 % o menos, para intervalos de 60 s a 300 s.

3.3 Procedimiento

3.3.1 Calibración del aparato

3.3.1.1 Muestra

La calibración del aparato se hace empleando una muestra patrón de superficie específica y densidad conocida (como por ejemplo la muestra N° 114 suministrada por el National Bureau of Standards Washington D.C. USA). En el momento del ensayo, la muestra debe estar a la temperatura ambiente.

Se sugiere, la conveniencia de preparar una muestra patrón secundaria para ser usada como muestra patrón de finura, para las determinaciones de comparación del instrumento entre las calibraciones regulares con la muestra patrón.

3.3.1.2 Determinación del volumen de la capa compactada de cemento

El volumen aparente de la capa compactada de cemento se puede determinar con cualquiera de los métodos siguientes:

- a) Se colocan dos discos de papel filtro en el tubo de permeabilidad, haciendo presión sobre sus bordes con una barra cilíndrica de madera, de diámetro ligeramente inferior al diámetro del tubo, hasta que se asienten sobre el disco perforado. Se llena luego el tubo con mercurio, eliminando las burbujas de aire que se adhieren a la pared. Si el tubo está

NB 472

hecho de un metal que pueda amalgamarse, su interior se protege con una película muy fina de aceite, que se pone inmediatamente antes de agregar el mercurio. Se enrasa el mercurio cuidadosamente con una placa de vidrio. Se saca el mercurio, se pesa y se anota el peso obtenido. Se quita del tubo de permeabilidad uno de los discos de papel filtro. Se coloca 2,80 g de cemento (véase Nota 1) y sobre él, el disco previamente retirado y se comprime el cemento en concordancia con 3.3.1.3.3, entre los discos de papel filtro (véase Nota 2). Se llena con mercurio el espacio que queda en la parte superior del tubo, se elimina el aire y se enrasa nuevamente. Se vacía el mercurio del tubo, se pesa y se anota dicho peso. El volumen ocupado por el cemento se calcula con aproximación de 0,005 mL, como sigue:

$$V = \frac{M_A - M_B}{Hg} \quad (1)$$

donde:

- V = El volumen aparente de la capa compactada de cemento, en mL
M_A = El peso del mercurio para llenar el tubo de permeabilidad sin cemento en el mismo, conteniendo únicamente los dos discos de papel filtro, en g
M_B = El peso del mercurio usado para llenar la parte del tubo de permeabilidad no ocupada por la capa de cemento, en g
Hg = La densidad del mercurio a la temperatura que se hace el ensayo, en g/mL

Como mínimo deben hacerse dos (2) determinaciones del volumen compactado, repitiendo el proceso indicado anteriormente. El volumen empleado en los cálculos correspondientes, debe ser el promedio de dos resultados que no difieren en ± 0,005 ml. Se debe anotar la temperatura del ambiente circundante al tubo de permeabilidad inmediatamente antes y después de cada determinación.

NOTA 1

No es necesario emplear la muestra patrón en la determinación del volumen.

NOTA 2

La capa de cemento preparada debe ser bien consistente. Si está demasiado suelta o el cemento no puede ser compactado al volumen deseado, se ajusta la cantidad de cemento empleada en el ensayo.

NOTA 3

Durante la ejecución del ensayo debe manejarse el tubo de permeabilidad con pinzas.

- b) Alternativamente, se puede determinar el volumen de la capa compactada de cemento de la siguiente manera: se colocan dos discos de papel filtro en el tubo de permeabilidad, haciendo presión sobre sus bordes con una barra cilíndrica de madera, de diámetro ligeramente inferior al diámetro del tubo, hasta que se asienten sobre el disco perforado. Inmediatamente después se mide la profundidad del tubo de permeabilidad con los discos puestos, con un calibre vernier que tenga una resolución de 0.01 mm. Se registra este valor como "h₁". Luego se mide con el mismo calibre vernier el diámetro interior del tubo de permeabilidad y la altura del embolo de compactación y se registra estos valores como "d" y "h₂" respectivamente. Finalmente se calcula el volumen deseado con la siguiente fórmula:

$$V = (d^2/4) * \pi * (h_1 - h_2)$$

donde:

V = Volumen de la capa compactada de cemento
d = diámetro del tubo de permeabilidad
h₁ = profundidad del tubo de permeabilidad
h₂ = altura del émbolo de compactación

3.3.1.3 Determinación del tiempo de flujo con la muestra patrón

3.3.1.3.1 Preparación de la muestra patrón

Agitar la muestra de cemento a ensayar, mediante sacudidas durante 2 min en un recipiente tapado, para dispersar los grumos. Esperar 2 min. Remover el polvo resultante, suavemente, utilizando para ello una varilla limpia y seca para distribuir los finos por todo el cemento.

3.3.1.3.2 Peso de la muestra patrón

El peso de la muestra patrón que se debe emplear en la calibración del aparato, debe ser tal que permita lograr una capa de cemento que tenga una porosidad de $0,5 \pm 0,005$; dicho peso se calcula con la ecuación siguiente:

$$M = d \cdot V (1 - e) \quad (2)$$

donde:

M = El peso de la muestra patrón a emplearse, en g
d = La densidad del cemento, en g/ml (para el cemento Pórtland se adopta el valor 3,15)
V = El volumen aparente de la capa compactada de cemento, en ml, que se determina de acuerdo con lo expuesto en 3.3.1.2
e = La porosidad de la capa de cemento ($0,5 \pm 0,005$)

3.3.1.3.3 Preparación de la capa compactada de cemento patrón

El disco perforado marcado en su cara inferior, debe asentarse en el reborde del tubo de permeabilidad. Un disco de papel filtro se coloca sobre el disco perforado y los bordes se presionan hacia abajo con una barra cilíndrica de madera, de diámetro ligeramente menor al diámetro del tubo. Se pone luego en el tubo, la cantidad de cemento que se ha determinado de acuerdo con lo indicado en 3.3.1.3.2, que se ha pesado con una tolerancia de $\pm 0,001$ g. Se golpea ligeramente el tubo a fin de nivelar la capa de cemento.

Se coloca encima del cemento otro disco de papel filtro y se comprime el cemento con el émbolo, hasta hacer que el reborde de éste asiente en la parte superior del tubo. Sacar suavemente el émbolo una distancia corta, rotar éste 90° y finalmente recomprimir la capa de cemento y extraer suavemente el émbolo. Se deben usar discos nuevos de papel filtro en cada determinación.

3.3.1.3.4 Ensayo de permeabilidad

El tubo de permeabilidad se conecta herméticamente con el manómetro (véase Nota 4), 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

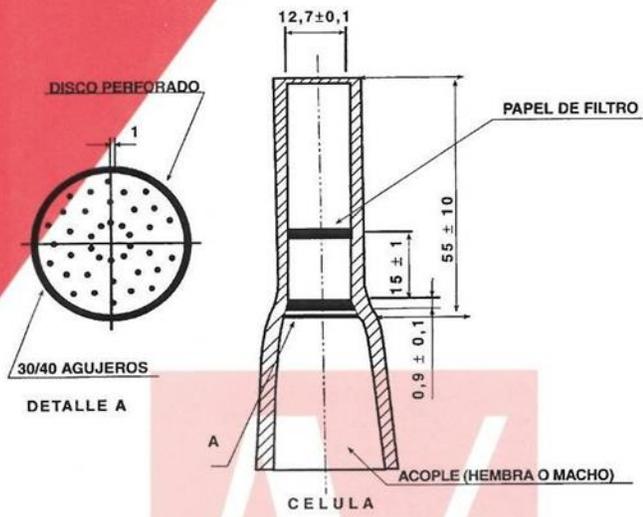


Figura 1

Medidas en mm

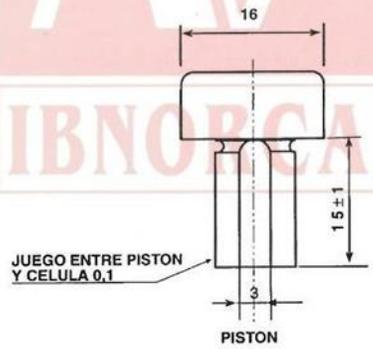


Figura 2

ANEXO 7

**ASTM-C311 MÉTODO STANDARD DE
ENSAYO PARA EL MUESTREO Y ENSAYO
DE
CENIZAS VOLCÁNICAS O PUZOLANAS
NATURALES PARA SU USO COMO
ADITIVOS MINERALES EN HORMIGÓN DE
CEMENTO PORTLAND**

INDICE DE ACTIVIDAD RESISTENTE CON CEMENTO PORTLAND

1. Probetas. -

Moldear las probetas de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo de acuerdo con el Método de Ensayo C 109. El cemento portland usado en el ensayo del Índice de Actividad Resistente debe cumplir con los requerimientos de la Especificación C 150, con una resistencia mínima de 35 MPa a los 28 días y con un contenido de álcalis totales ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{K}_2\text{O}$) no menor que 0.5% ni mayor que 0.8%. En la mezcla de ensayo, reemplazar el 20 % del peso de la cantidad de cemento usado en la mezcla de control por el mismo peso de la muestra de ensayo. Hacer amasadas de seis cubos de la siguiente manera:

Mezcla de control:

500 gr de cemento portland

1375 gr de arena normalizada graduada

242 mL de agua

Mezcla de ensayo:

400 gr de cemento portland

100 gr de la muestra de ensayo

1375 gr de arena normalizada graduada

mL de agua requeridos para un flujo de ± 5 de la mezcla de control

Número de probetas:

Ya que “el satisfacer el Índice de Actividad Resistente a los 7 días o a los 28 días indicará el cumplimiento de la especificación” sólo se requerirá hacerlo a una edad. A criterio del fabricante o del usuario, después de preparar amasadas de 6 cubos, se puede moldear solamente 3 cubos de la mezcla de control y de la mezcla de ensayo para el ensayo a 7 o 28 días.

2. Almacenamiento de las Probetas. -

Después del moldeado, colocar las probetas y los moldes (en las placas base) en el cuarto o cabina de curado a 73.4 ± 3 °F (23 ± 1.7 °C) por un periodo entre 20 y 24 horas. Mientras estén en el cuarto o cabina húmeda, proteger la superficie del goteo de agua. Sacar los moldes del cuarto o cabina de curado y sacar los cubos de los moldes. Colocar y almacenar los cubos en agua saturada con cal como se especifica en el método de ensayo C 109.

Nota. Tener cuidado para evitar zonas de estratificación o bolsones con variación de temperatura en la cámara de curado.

3. Ensayo de Resistencia a la Compresión. -

Determinar la resistencia a la compresión, como se especifica en el Método de Ensayo C 109, de tres probetas de la mezcla de control y tres probetas de la mezcla de ensayo a edades de 7 días o de 28 días, o ambas, dependiendo de cuantas probetas fueron moldeadas.

4. Cálculos. -

Calcular el índice de actividad resistente con cemento portland de la siguiente manera:

$$\text{Índice de actividad resistente con cemento portland} = (A/B)*100$$

Dónde:

A = Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de ensayo, MPa

B = Promedio de la resistencia a compresión de los cubos de la mezcla de control, MPa

ANEXO 8

**INFORME DE CONTROL DE CALIDAD DE
CEMENTO CON ADICION DE 25% DE
ARCILLA CALCINADA**



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.

INFORME DE CONTROL DE LA CALIDAD DE CEMENTO
ORJ-CCL-CC.085

Fecha de emisión del formato: 11/09/2013 Numero de revision del formato: 03

Fecha:	18 Enero de 2019		Cemento con adición de arcilla	Norma Boliviana
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	PPF	%	3,86	< 7
	SiO2	%	27,62	
	Al2O3	%	7,06	
	Fe2O3	%	3,47	
	CaO	%	50,54	
	MgO	%	3,09	< 6.0
	SO3	%	1,81	< 4.0
	Na2O	%	0,38	
	K2O	%	1,41	

ESPECIFICACIONES FISICAS	BLAINE	cm2/g	4370	> 2600	
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	min	183	> 45
		FINAL	h	4:50	< 07:00
	EXPANSION LE CHATELIER	mm	0,0	< 8	
	RELACION a/c	ml/g	0,520		
	FLUIDEZ	%	110		
	RESIDUO EN MALLAS	200 M	%Ret	0,89	
		325 M	%Ret	6,53	
	PESO ESPECIFICO	g/ml	3040		
	RESISTENCIA A COMPRESIÓN	3 DIAS	MPa	22,0	> 10
		7 DIAS	Mpa	25,9	> 17
		28 DIAS	Mpa	32,5	> 30

Aprobado por:	
Nombre	Policarpio Armata
Cargo	Supervisor de laboratorio
Fecha	21-01-2019
Firma	<i>[Firma manuscrita]</i>

Contacto Soboce
800-103-606
Línea gratuita
www.soboce.com

Oficinas El Puente Comercialización: Av. Hernan Siles Suazo, Barrio German Busch
Tel. (591-4) 6643880 / 6645041 • Fax (591-4) 6634233 • Casilla 168
Planta Industrial El Puente, Carretera al Norte Km. 110 • Tel. (591-4) 6133695 / 6133696 • Fax (591-4) 6133697
Planta Ready Mix: Av. Froilan Tejerina entre calles Pisagua y Padilla Tel: 6668545
Tarja - Bolivia



ANEXO 9

INFORME DE LECTURA QUIMICA EN
FLOURESCENCIA DE RAYOS X DE
ARCILLA SIN CALCINAR



Sociedad Boliviana de Cemento S.A.

Informe de lectura química en fluorescencia de rayos X

Fecha de emisión del formato: 11/09/2013 Numero de revision del formato: 03

Fecha:	20 de enero de 2018		Arcilla
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	SiO ₂	%	54,52
	Al ₂ O ₃	%	18,78
	Fe ₂ O ₃	%	7,12
	CaO	%	1,95
	MgO	%	1,32
	Mn ₂ O ₃	%	0,06
	K ₂ O	%	3,63
	Na ₂ O	%	0,88
	SO ₃	%	0,40

Aprobado por:	
Nombre	Policarpio Armata
Cargo	Supervisor de laboratorio
Fecha	21-01-2018
Firma	

Contacto Soboce
800-103-606
Línea gratuita
www.soboce.com

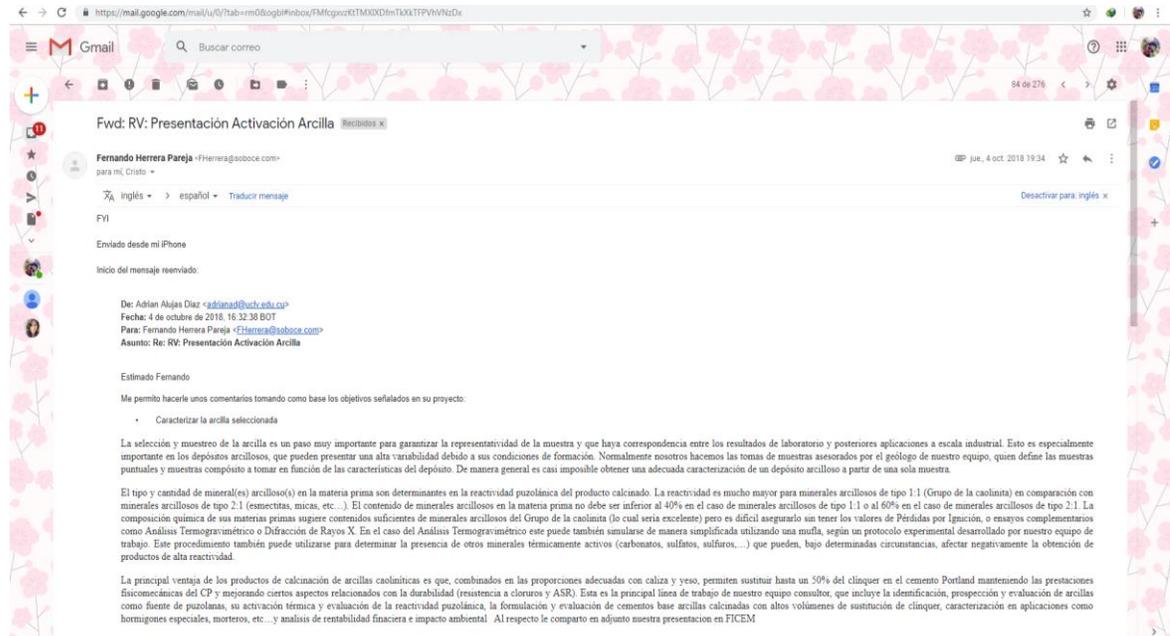
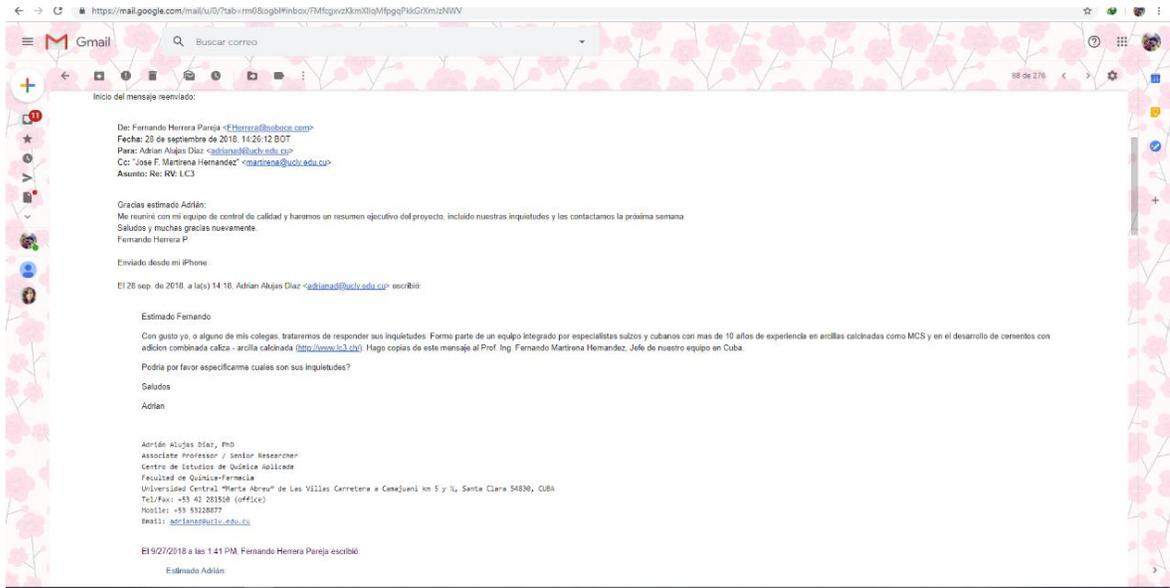
Oficinas El Puente Comercialización: Av. Hernán Siles Suazo, Barrio German Busch
Tel. (591-4) 6643680 / 6645041 • Fax (591-4) 6634233 • Casilla 168
Planta Industrial El Puente: Carretera al Norte Km. 110 • Tel. (591-4) 6133695 / 6133696 • Fax (591-4) 6133697
Planta Ready Mix: Av. Froilan Tejerina entre calles Pisagua y Padilla Telf: 6668545
Tarija - Bolivia

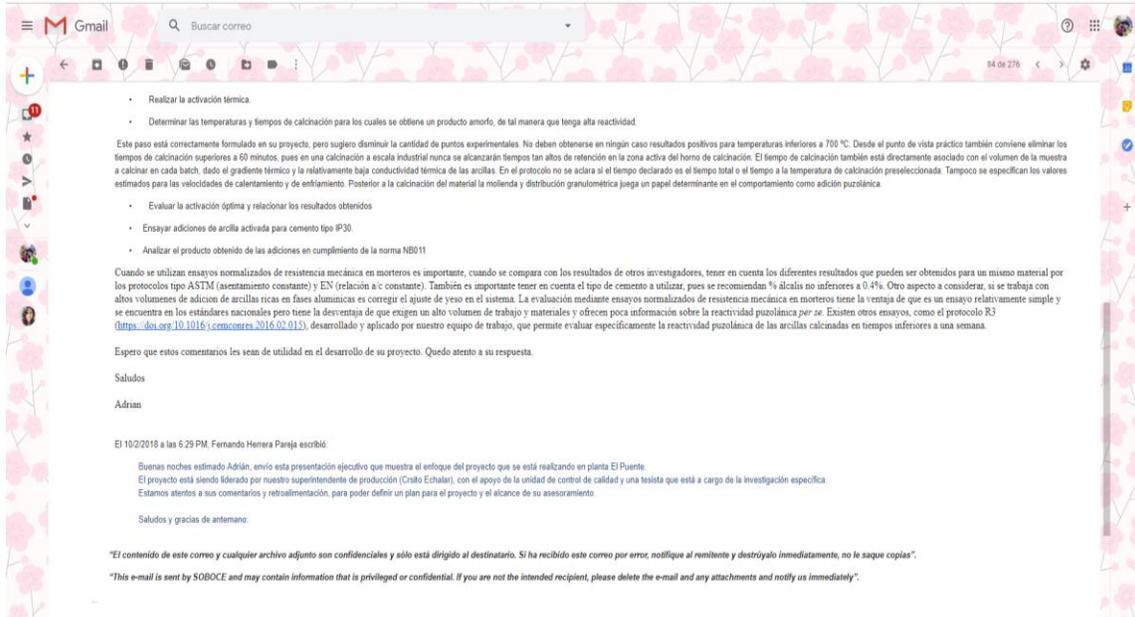


ANEXO 10

CORREOS ELECTRÓNICOS DE ADRIAN

ALUJAS (CUBA)





ANEXO 11

NORMA BOLIVIANA NB061-CEMENTO

ANALISIS QUÍMICO

NB 061

IBNORCA

NORMA BOLIVIANA

NB 061

Cemento - Análisis químico

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los procedimientos de análisis químico que deben ser aplicados al cemento, para las determinaciones siguientes:

- pérdidas por calcinación
- residuo insoluble
- óxido de magnesio
- trióxido de azufre

2 REFERENCIAS

Los siguientes documentos normativos contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen disposiciones válidas para esta norma. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión se recomienda, a aquéllos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones más recientes de las normas citadas seguidamente.

- NB 011 Cemento - Definición, clasificación y especificaciones
NB 059 Cemento - Extracción y preparación de muestras
NB 060 Cemento - Disposiciones generales para análisis químico

3 MÉTODO DE ENSAYO Y REQUERIMIENTOS DE MATERIALES, EQUIPOS Y REACTIVOS

3.1 Materiales

- barras para agitación
- bureta de precisión 50 mL
- cepillos para limpieza
- contenedores de reactivos
- crisoles de platino
- crisoles de níquel
- crisoles de porcelana
- embudos de vidrio
- espátulas
- frascos de vidrio
- gradilla porta pipetas
- guantes de fibra
- guantes de goma
- lentes azules de cobalto
- mangueras de conexión
- mascarilla antigás
- matraz balón
- matraz Erlenmeyer de 250 mL
- matraces aforados de 250 mL
- mortero de porcelana
- papel filtro textura rápida

- papel filtro textura media
- papel filtro textura lenta
- pesa muestras
- pincel # 12
- pinza larga
- pinza mediana
- pinza pequeña
- pipeta
- pipeta volumétrica de 25 mL
- pipeta volumétrica de 50 mL
- polisman
- probeta de vidrio de 10 mL
- probeta de vidrio de 25 mL
- probeta de vidrio de 50 mL
- probeta de vidrio de 100 mL
- rejilla de filtración
- soporte para buretas
- varillas de vidrio
- vasos de precipitados de 100 mL
- vasos de precipitados de 400 mL
- vidrio de reloj

3.2 Equipos

- agitador magnético
- balanza analítica
- cronómetro
- desecador de vidrio
- extractor de gases
- horno Muffa
- hornillas
- horno secador
- pHmetro

3.3 Reactivos e indicadores

- ácido calcóncarboxílico
- ácido clorhídrico
- carbonato de calcio
- carbonato de sodio
- cloruro de bario
- cloruro de amonio
- cloruro de sodio
- EDTA (ácido etilendiamino tetraacético de sal disódica)
- hidróxido de amonio (amoníaco en solución)
- hidróxido de sodio
- murexida
- negro de eriocromo T
- rojo de metilo

3.4 Preparación de soluciones

Ácido clorhídrico (1:1) v/v: añadir 1 L de ácido clorhídrico a 1 L de agua y agitar cuidadosamente.

NB 061

Tampón amoniacal (pH = 10 - 11): pesar 67,5 g de cloruro de amonio y disolver en agua, luego añadir 570 mL de hidróxido de amonio concentrado y aforar a 1 L, con agua destilada.

Hidróxido de sodio al 5 % (pH = 12 - 14): pesar 50 g de NaOH, disolver con 50 mL de agua, enfriar y aforar a 1 litro.

Hidróxido de sodio al 10 %: pesar 100 g de NaOH y disolver en 100 mL de agua, enfriar y aforar a 1 litro.

Cloruro de bario al 10 % (BaCl₂ · 2H₂O): pesar 100 g de cloruro de bario, disolver y aforar a un 1 L, con agua destilada.

Hidróxido de sodio 4 % (pH 12): pesar 40 g de NaOH p.a. y diluir en 1 L de agua destilada. Mantener el frasco bien tapado para evitar su carbonatación.

EDTA sal disódica: pesar 3,7224 g de EDTA, para 0,01 M, luego introducir al matraz y disolver con agua destilada y aforar a 1 L.

EDTA sal disódica: pesar 18,612 g de EDTA, para 0,05 M, luego introducir al matraz y disolver con agua destilada y aforar a 1 L.

Cloruro de calcio: pesar 2 g de CaCO₃ p.a. (anhidro), colocar en un vaso que contenga unos 100 mL de agua destilada, agregar con cuidado 20 mL de HCl concentrado; agitar y calentar hasta que la reacción sea completa, luego colocar en un matraz aforado de 1 000 mL y completar con agua destilada a su aforo.

3.5 Preparación de indicadores

Rojo de metilo solución al 0,1 %: pesar 0,1 g para 100 mL en agua destilada.

Negro de eriocromo T: pesar 1 g de NET y moler con 100 g de cloruro de sodio, en un mortero de porcelana.

Ácido calcón-carboxílico: pesar 0,4 g de indicador ácido calcón-carboxílico y mezclar con 100 g de NaCl.

Murexida: pesar 0.1 g del indicador (C₈H₈N₆O₆·H₂O p.a) y diluir con 50 ml de agua destilada.

3.6 Valoración de la solución de EDTA

3.6.1 Técnica de valoración para obtener el factor para el CaO y MgO

Se pesa, exactamente, carbonato de calcio, de acuerdo a la pureza que tiene el reactivo, de la siguiente manera:

- 0,2502 g para una pureza al 100 %
- 0,2505 g para una pureza al 99,9 %
- 0,2515 g para una pureza al 99,5 %
- 0,2527 g para una pureza al 99 %

Previamente secado a 105 °C - 110 °C, en un vaso de 400 mL, se disuelve con gotas de ácido clorhídrico concentrado hasta su disolución total y seguidamente hervir para eliminar el dióxido de carbono, luego enfriar y aforar a 250 mL, con agua destilada (asegúrese que el aforo esté a 20 °C) y agitar hasta su homogeneización total.

De la solución aforada, tomar 25 mL de alícuota, en un matraz Erlenmeyer y añadir 10 mL de pH 12 - 14 (solución de hidróxido de sodio al 5 %) y una pizca de indicador murexida y luego titular con solución EDTA hasta el cambio de color, de rosado a violeta. El volumen gastado de EDTA se toma como V.

NOTA

La muestra a pesar, de carbonato de calcio, está calculada para una concentración de 0,01 M, para un volumen de 250 mL, tomando en cuenta su pureza de carbonato de calcio.

NB 061

Fórmula para determinar el factor CaO:

$$F_{CaO} = \frac{14,01975}{V \cdot 1\,000}$$

Fórmula para determinar el factor de MgO:

$$F_{MgO} = \frac{14,076}{V \cdot 1\,000}$$

donde:

V = es el volumen gastado en la valoración

Tomar, de la solución preparada de $CaCl_2$, tres (3) alícuotas de 50 mL, en vasos de precipitación de 400 mL, diluir con agua destilada hasta un volumen de 200 mL, luego regular el pH a 12 - 12,5 agregando 40 mL de solución de NaOH al 5 %, colocar unas gotas de indicador murexida y titular con la solución preparada de versenato, hasta un color rosa intenso.

3.6.2 Cálculos para determinar el factor (F) de EDTA 0,05 M

$$\text{mL (teóricos)} = \frac{2\text{ g} \cdot 50\text{ mL}}{5,0045\text{ g}} = 19,982016$$

$$F(\text{CaO}) = \frac{\text{mL teóricos de versenato}}{\text{mL prácticos de versenato}} = 2,8040$$

$$F(\text{MgO}) = \frac{\text{mL teóricos de versenato}}{\text{mL prácticos de versenato}} = 2,0160$$

3.7 Procedimiento de ensayo

3.7.1 Determinación de las pérdidas por calcinación

Pesar 1 g de muestra en crisol de platino o 5 g, cuando se use crisol de níquel, previamente tarado.

Verificar que la temperatura de la mufla esté de 950 °C. Introducir los dos (2) crisoles a la mufla durante 45 min. Sacar los crisoles de la mufla, dejar enfriar a temperatura ambiente por unos minutos. Introducir al desecador hasta enfriar. Tarar la balanza y pesar los crisoles, dejando estabilizar la balanza hasta peso constante (W crisol + muestra calcinada).

$$W_{\text{perdido}} = (W \text{ crisol} + \text{muestra}) - (W \text{ crisol} + \text{muestra calcinada})$$

$$W_{\text{muestra}} = (W \text{ crisol} + \text{muestra}) - (W \text{ crisol})$$

NB 061

Calcular P.P.C. con la fórmula:

$$\% \text{ P.P.C.} = \frac{W_{\text{PERDIDO}} \cdot 100}{W_{\text{MUESTRA}}}$$

Sacar el promedio y considerar como resultado.

3.7.2 Determinación de residuos insolubles

Pesar 1 g exactamente de la muestra (W_{MUESTRA}) y depositarlo en un vaso de 400 mL. Agregar un poco de agua para deshacer los grumos. Agregar 10 mL de HCl 1:1, digerir la muestra con movimientos circulares y suaves. Ayudar con una varilla de vidrio.

Una vez digerido, agregar agua fría hasta 100 mL y trasladar a una estufa a 300 °C. Dejar hervir durante 20 min. Preparar el filtro de textura media y adherirlo al embudo con agua destilada. Filtrar el precipitado. Lavar el papel filtro y el precipitado con agua destilada caliente, eliminando toda la acidez. Lavar los sólidos y las paredes del vaso con un poco de agua destilada caliente y verter todo al papel filtro. Verificar, que en el vaso no existan residuos sólidos.

En el mismo vaso, medir con una pipeta, 10 mL de solución de NaOH al 10 %. Se traslada el precipitado, lavando directamente del filtro al vaso con los 10 mL de solución de NaOH al 10 % con agua caliente y completar hasta 100 mL. Dejar hervir durante 20 min.

Agregar gotas del indicador rojo de metilo.

Se acidifica la solución, con HCl 1:1 hasta el cambio de color de amarillo a rojo y se agrega unas 5 gotas HCl 1:1 en exceso.

Se calienta y se filtra sobre el filtro anteriormente usado. El filtrado sirve para determinar el trióxido de azufre.

Se lava con agua caliente hasta que la solución haya perdido el color rojo del filtro. Dejar escurrir toda el agua del filtro. Llevar a secar el embudo y el papel filtro que contiene el total de precipitado, hasta eliminar la humedad. Doblar el papel filtro cubriendo el precipitado y colocar sobre el crisol de porcelana y llevar sobre la hornilla hasta quemar el papel filtro. Introducir el crisol platino ó porcelana y su contenido dentro de la mufia a una temperatura de 950 °C, por espacio de 20 min - 30 min.

Sacar el crisol de la mufia, dejar enfriar a temperatura ambiente por unos minutos. Introducir el crisol en el desecador hasta enfriar a temperatura ambiente. Pesar la ceniza W (ceniza).

Utilizar la formula:

$$\% \text{ RI} = \frac{W_{\text{ceniza}} \cdot 100}{W_{\text{muestra}}}$$

3.7.3 Determinación de la sílice

Se debe verificar si los materiales, para los análisis, cumplen los requisitos de limpieza y enjuague con agua destilada y los equipos y soluciones estén calibrados.

NB 061

Pesar 1 g. exactamente, de la muestra de cemento, más 2 g de cloruro de amonio, en un vaso de 400 mL. Añadir 10 mL de HCl 1:1, llevar el vaso sobre una hornilla, hacer hervir y agitar el vaso con ayuda de una pinza, hasta que la solución se vuelva pastosa y hasta sequedad completa y posterior tostación.

Adicionar a la muestra fría, 10 mL de HCl 1:1, completar con agua destilada hasta 50 mL y llevar a ebullición por unos segundos, filtrar en caliente, empleando papel filtro de textura rápida, lavar con abundante agua caliente hasta total eliminación de cloruros.

El filtrado aforar a un matraz de 250 mL (1).

Pesar el precipitado más el filtro a un crisol de platino ó porcelana, previamente pesado. Calcinar en la mufla a 950 °C durante 20 min - 30 min. Enfriar en desecador de vidrio y pesar, el valor que se encuentra por diferencia, permite la determinación de % de sílice.

Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{SiO}_2 = \frac{W_{\text{ceniza}}}{W_{\text{muestra}}}$$

3.7.4 Separación de hierro y aluminio como hidróxidos

Del filtrado recibido en el matraz aforado de 250 mL (1), tomar una alícuota de 100 mL en un vaso de 400 mL y llevar a la estufa. Colocar un pedazo de papel tornasol. Adicionar con hidróxido de amonio, gota a gota, hasta la precipitación y cambio de color de papel tornasol, rojo a azul.

Hacer hervir hasta eliminar gases amoniacales. Filtrar en un filtro de textura media. Recibir el filtrado en un matraz aforado de 250 mL (2)

3.7.5 Determinación de óxido de calcio

El filtrado recibido en el matraz aforado de 250 mL (2), enfriar y aforar, agitar vigorosamente, de éste tomar una alícuota de 25 mL, con pipeta aforada, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se debe añadir 10 mL de solución de hidróxido de sodio, añadir una pizca de indicador ácido calconcarboxílico y titular con solución valorada de EDTA hasta el cambio de color de rojo - guindo a azul, anotar el volumen de EDTA gastado (V_1).

Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{CaO} = \frac{V_1 \cdot F \cdot 100}{0,04}$$

dónde:

F = factor obtenido en la valoración de EDTA, como CaO

3.7.6 Determinación de óxido de magnesio

Del mismo matraz aforado de 250 mL. (2) sacar con pipeta aforada una alícuota de 25 mL, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Añadir 10 mL. De solución tampón amoniacal, y una pizca de indicador negro de eriocromo T y titular con solución valorada de EDTA. Anotar el volumen gastado de EDTA (V_2).

Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{MgO} = \frac{(V_2 - V_1) F \cdot 100}{0,04}$$

donde:

F = es el factor obtenido en la valoración de EDTA, como MgO

3.7.7 Determinación de óxido de calcio (EDTA 0,05 M)

Pipetear, de la solución reservada, una alícuota de 50 mL, colocar en un vaso de precipitación de 400 mL, diluir con unos 100 mL de agua destilada, regular la solución a pH 12 a 12,5 añadiendo 40 mL de hidróxido de sodio al 4 % y titular con EDTA 0,05 M, utilizando murexida como indicador, hasta que la solución vire de color rosa a violeta.

Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{CaO} = A \cdot F$$

donde:

A = Volumen gastado de EDTA, en mL

F = Factor de EDTA 0.05 M

3.7.8 Determinación de óxido de magnesio (EDTA 0,05M)

Pipetear, de la solución reservada, una alícuota de 50 mL, colocar a un vaso de precipitación de 400 mL, diluir con unos 100 mL de agua destilada, regular la solución a pH 10 a 10.5 añadiendo 40 mL de tampón amoniacal y titular con EDTA 0.05 M, utilizando negro de eriocromo T como indicador, hasta que la solución vire de color morado a azul.

Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{MgO} = (A - B) \cdot F$$

donde:

A = Volumen gastado de EDTA, en mL, para CaO + MgO

B = Volumen gastado de EDTA, en mL, para CaO

F = Factor EDTA 0.05 M

NB 061

3.7.9 Determinación de trióxido de azufre

El filtrado recibido en el vaso de 400 mL, procedente de la determinación de residuos insolubles. Llevar a la plancha, acidificar con 5 mL de ácido clorhídrico 1:1 y precipitar con 10 mL de solución de cloruro de bario, dejar en una estufa cerca a ebullición durante una hora y filtrar, empleando papel filtro de textura lenta, lavar con abundante agua destilada y llevar a un crisol de platino ó porcelana, previamente tarado; llevar a la mufla a 950 °C durante 20 min - 30 min, sacar de la mufla, enfriar en desecador de vidrio y pesar para determinar el % de SO₃. Utilizar la siguiente fórmula:

$$\% \text{SO}_3 = \frac{W_{\text{ceniza}} \cdot F \cdot 100}{W_{\text{muestra}}}$$

donde:

F = 0,3433, es el factor para el calculo como trióxido de azufre

4 BIBLIOGRAFÍA

COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS - COPANT

COPANT R 274 Cementos - Análisis químico - Disposiciones generales

ANEXO 12

INFORME DE MATERIAS PRIMAS DE

ESMICAL

De acuerdo a lo solicitado se informa:

- En los bancos de cantera El salto, existe una reserva aproximada de 5670000 toneladas de arcilla.
- Costo de explotación entre la arcilla y toba tiene una diferencia de 22.41 dólares por tonelada.

Saludos cordiales

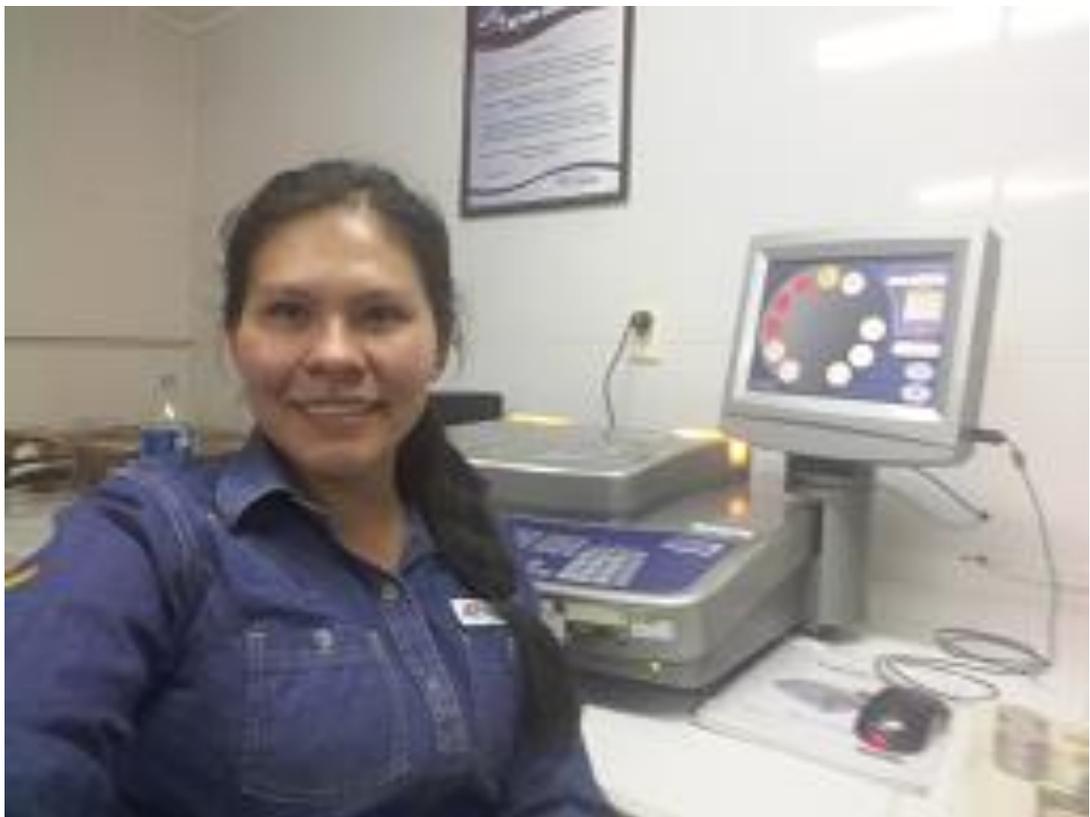
Atentamente,



Nicole Acosta Cabero
Encargada de Canteras
(591-4) 613-3695 Int.4520
Cel: 77179043
nacosta@esmical.com
Contacto Soboce 800 103 606
www.soboce.com
Tarja- Bolivia

ANEXO 13

LECTURA DE PASTILLA EN FLOURESCENCIA DE RAYOS X (TWINX) - CEMENTO EL PUENTE



ANEXO 14

LABORATORIO DE PREPARACION DE PASTILLAS PRENSADAS PARA EL ANALISIS QUIMICO - CEMENTO EL PUENTE



ANEXO 15

LABORATORIO QUIMICO CEMENTO EL PUENTE



ANEXO 16

PRENSA IBERTEST- LABORATORIO FISICO CEMENTO EL PUENTE



ANEXO 17

MUFLA FISHERSCIENTIFIC - CEMENTO EL PUENTE



ANEXO 18

MUESTRAS DE ARCILLAS CALCINADAS



ANEXO 18

**MUESTRAS DE CEMENTO IP-30 CON
ADICION DEL 25% DE ARCILLA
CALCINADA (PRODUCTO OBTENIDO)**



ANEXO 19

**DESCRIPCIÓN DE PREPARACIÓN DE
MUESTRAS**

1. Toma de muestras cantera: Arcilla

Se realiza la toma de muestras de canteras, mediante un plan de muestreo prefijado

2. Triturar hasta un tamaño 12 a 12.5 mm.

Se fijó este tamaño de partícula de acuerdo al proceso de cemento que se tiene en planta para no alterar el sistema de producción.

3. Preparar una muestra blanco que será denominada como: ARC-B. Determinar la actividad resistente.

Se preparó una muestra blanco denominada ARC-B, que consiste en una muestra preparada para morteros con la misma dosificación de las demás pruebas, solo con la particularidad que se utilizó para esta muestra arcilla sin calcinar sino en su estado natural, para luego ser comparada con las demás pruebas

4. Preparar muestras para calcinación con su respectiva combinación de tiempo y temperatura de acuerdo a su código.

Se preparó las muestras para calcinación, donde se realizó recipientes de hierro con una dimensión de 10*12*3cm.

En cada recipiente se colocó 250 gramos de masa de arcilla para ser calcinada.

5. Preparar las muestras para prueba de actividad resistente con 25% de adición de arcilla activada y comparar con la muestra blanco ARC-B.

Luego de calcinar las muestras de arcilla con sus respectivos tiempos y temperaturas, se llevó a un molino de bolas para preparar el nuevo cemento de acuerdo a la siguiente dosificación.

Tabla ;Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento. **-DOSIFICACION DE MATERIALES PARA EL NUEVO CEMENTO**

Compuesto	Cantidad en porcentaje (%)
Clinker	69
Yeso	6
Arcilla calcinada	25

Fuente: Elaboración propia, 2018.

En el molino se dejó por media hora, luego de este proceso de molienda se prepararon los morteros según norma.

Los morteros siguiendo la norma son rotos a diferentes edades 1 día, 3 días, 7 días y 28 días como indica la norma.

6. Analizar y determinar el tiempo y la temperatura óptima de activación con los extremos más próximos.

7. Con esta muestra analizar el producto obtenido de las adiciones en cumplimiento de la norma **NB011 (ANEXO 1)**.

ANEXO 20

VISTA DE HORNOS ROTATORIOS PLANTA EL PUENTE

