

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