

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI-  
AGREGADO CON AGREGADOS REGIONALES Y SU  
INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

**Por:**

**CALIZAYA JEREZ MARIA ANGELICA.**

Septiembre de 2014

TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA REACCIÓN ÁLCALI-  
AGREGADO CON AGREGADOS REGIONALES Y SU  
INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN**

**Por:**

**CALIZAYA JEREZ MARIA ANGELICA.**

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

Septiembre de 2014

TARIJA – BOLIVIA

V°B°

.....  
Ing. Javier Castellanos Vásquez  
**DOCENTE GUÍA**

.....  
Ing. Ernesto Álvarez  
**DECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

.....  
Ing. Silvana Paz  
**VICEDECANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y**  
**TECNOLOGÍA**

**APROBADA POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
**ING. JUAN PABLO AYALA**

.....  
**ING. MOISES DIAZ**

.....  
**ING. FERNANDO MUR**

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

*Dedicado a todas las personas  
que ayudaron a alcanzar esta  
victoria... En especial mi familia  
y mi hijo.*

*Gracias por todo su apoyo incondicional y permanente, por sus sacrificios y amor, por ser la motivación para seguir hasta el final, por ser la luz que siempre me alumbrará y guiará. Los quiero mucho.....*

***Mis padres.***

## ÍNDICE GENERAL

	Página
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1. Antecedentes</b> .....	1
<b>1.2. El problema</b> .....	2
1.2.1. Planteamiento .....	2
1.2.2. Formulación .....	3
1.2.3. Sistematización .....	3
<b>1.3. Objetivos</b> .....	4
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos .....	5
<b>1.4. Justificación</b> .....	5
1.4.1. Académica .....	5
1.4.2. Técnica .....	6
1.4.3. Social .....	6
<b>1.5. Hipótesis</b> .....	6
<b>1.6. Alcance de estudio</b> .....	7
1.6.1. Medios y metodología .....	7
1.6.2. Restricciones y limitaciones .....	7
<b>CAPÍTULO II: ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO</b> .....	9
<b>2.1. Concepto general del hormigón</b> .....	9
<b>2.2. Concepto, Características y Propiedades de los materiales componentes del hormigón</b> .....	10
2.2.1. Agregados .....	10
2.2.1.1. Granulometría y forma .....	12
2.2.1.2. Propiedades de los agregados .....	13
2.2.2. Cemento .....	18
2.2.3. Agua .....	21
2.2.4. Aditivos .....	21

<b>2.3. Dosificación de mezclas</b>	22
2.3.1. Método de dosificación	24
<b>2.4. Reacción Álcali- Agregado</b>	25
2.4.1. Álcalis	28
2.4.2. Clasificación de la reacción álcali-sílice	30
2.4.3. Agregados Reactivos	30
2.4.4. Procedencia de los álcalis	31
2.4.5. Manifestaciones de la reacción álcali-agregado	34
2.4.6. Factores que influyen sobre la reacción álcali-agregado	35
2.4.7. Otros agentes que pueden generar algún tipo de reactividad álcali-sílice	36
2.4.8. Métodos para prevenir y/o controlar la reacción expansiva álcali-sílice de cemento y agregado	37
2.4.9. Normas para la determinación de la reacción álcali-agregado	37
<b>2.5. Influencia y comportamiento del concreto con la reacción álcali-agregado en su resistencia y durabilidad</b>	37
<b>CAPÍTULO III: PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	39
<b>3.1. Enfoque de la investigación</b>	39
<b>3.2. Muestreo de los materiales para la investigación</b>	40
3.2.1. Agregados	40
3.2.2. Cemento	44
<b>3.3. Caracterización de los agregados</b>	46
3.3.1. Ensayos	46
3.3.2. Resultados	47
<b>3.4. Diseño de las mezclas</b>	57
3.4.1. Proceso	57
3.4.2. Resultados	63
<b>3.5. Análisis de la reacción Álcali-agregado</b>	63
3.5.1. Ensayos	63
3.5.2. Resultados	71
<b>3.6. Evaluación de la Resistencia en relación a su condición Álcali- Agregado</b>	74



3.6.1. Elaboración de probetas .....	74
3.6.2. Rotura de probetas .....	76
3.6.3. Resultados .....	77
<b>3.7. Presencia de la Reacción Álcali-Agregado en obras existentes .....</b>	<b>78</b>
<b>3.8. Evaluación y análisis de Resultados.....</b>	<b>82</b>
<b>3.9. Contratación de Hipótesis .....</b>	<b>89</b>
<b>CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>4.1. CONCLUSIONES .....</b>	<b>90</b>
<b>4.2. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>94</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Página

### **CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA REACCIÓN ALCALI-AGREGADO.**

FIGURA II-1 COMPONENTES DEL CONCRETO EN PORCENTAJE.....	9
FIGURA II-2 ESQUEMA DEL PROCESO DE DOSIFICACION.....	23
FIGURA II-3 REACCION ALCALI-AGREGADO.....	26
FIGURA II-4 SECCIÓN DE CONCRETO VISTA CON UN MICROSCOPIO PETROGRÁFICO.....	29

### **CAPÍTULO III. PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN**

FOTOGRAFÍA III-1 ÁRIDO FINO-RIO CAMACHO.....	40
FOTOGRAFÍA III-2 YACIMIENTO DE AGREGADOS-EL TEMPORAL.....	41
FOTOGRAFÍA III-3 UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE AGREGADOS EMPLEADOS PARA LA INVESTIGACION.....	41
GRÁFICA III-1 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO GRUESO (RANCHO).....	48
GRÁFICA III-2 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO FINO (RANCHO).....	49
GRÁFICA III-3 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO GRUESO (TEMPORAL).....	50
GRÁFICA III-4 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO FINO (TEMPORAL).....	51
GRÁFICA III-5 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO GRUESO (SANTA ANA).....	52
GRÁFICA III-6 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO FINO (SANTA ANA).....	53
GRÁFICA III-7 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO GRUESO (CAMACHO).....	54
GRÁFICA III-8 CURVA GRANULOMETRICA-AGREGADO FINO (CAMACHO).....	55
FOTOGRAFÍA III-4 BALANZA EMPLEADA PARA EL ENSAYO.....	65
FOTOGRAFÍA III-5 MUESTRAS CON HIDROXIDO DE SODIO EN EL HORNO.....	65
FOTOGRAFÍA III-6 FILTRADO DE LAS MUESTRAS.....	65
FOTOGRAFÍA III-7 DISOLUCION DILUIDA.....	66

FOTOGRAFÍA III-8 CAPSULA CON LA SOLUCION Y HCL.....	66
FOTOGRAFÍA III-9 FILTRADO DE LA DISOLUCION.....	67
FOTOGRAFÍA III-10 VALORACION CON HCL DE LA SOLUCION CON FENOLFTALEINA.....	68
FOTOGRAFÍA III-11 SOLUCIONES VALORADAS.....	68
FOTOGRAFÍA III-12 BARRAS ALMACENADAS EN LA SOLUCION.....	70
GRAFICA III-9 EXPANSION VS EDAD (RANCHO).....	72
GRAFICA III-10 EXPANSION VS EDAD (TEMPORAL).....	73
GRAFICA III-11 EXPANSION VS EDAD (SANTA ANA).....	73
GRAFICA III-12 EXPANSION VS EDAD (CAMACHO).....	74
FOTOGRAFÍA III-13 MEZCLA DE HORMIGON.....	75
FOTOGRAFÍA III-14 VERIFICACION DEL ASENTAMIENTO DE LA MASA DE HORMIGON.....	76
FOTOGRAFÍA III-15 MOLDES CILINDRICOS CON MEZCLA DE HORMIGON.....	76
FOTOGRAFÍA III-16 AVENIDA CIRCUNVALACION CIUDAD DE SAN MIGUEL DE TUCUMAN.....	78
FOTOGRAFÍA III-17 VERTEDERO DEL DIQUE EL CADILLAL.....	79
FOTOGRAFÍA III-18 REPRESA SAN JACINTO-PARTE IZQUIERDA DEL CUERPO DE LA PRESA.....	80
FOTOGRAFÍA III-19 COLORACIONES Y FLUORESCENCIAS-PRESA DE SAN JACINTO.....	80
FOTOGRAFÍA III-20 FISURAS EN FORMA DE CRAQUELADO Y CON COLORACIONES-PRESA SAN JACINTO.....	81
FOTOGRAFÍA III-21 REPRESA SAN JACINTO-CUERPO DE LA PRESA.....	81
FOTOGRAFÍA III-22 AVENIDA CIRCUNVALACION-FISURAS EN FORMA DE CUÑA.....	82
GRÁFICA III-13 RESISTENCIA VS EXPANSION.....	86
GRÁFICA III-14 RESISTENCIA VS EXPANSION-AGREGADOS INOCUOS Y DAÑINOS.....	87
GRÁFICA III-15 EXPANSIONES DE LOS AGREGADOS.....	87
GRÁFICA III-16 SILICE SOLUBLE Y RESISTENCIA-METODO QUIMICO....	88
GRÁFICA III-17 REDUCCION A LA ALCALINIDADVS RESISTENCIA.....	88

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pagina</b>
<b>CAPÍTULO II. ASPECTOS GENERALES DE LAS MEZCLAS DE HORMIGÓN Y SU RELACIÓN CON LA PROPIEDAD ÁLCALI-AGREGADO.</b>	
Tabla II-1:CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS QUE INSIDEN EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	11
Tabla II-2:CONDICIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MECÁNICAS A CUMPLIR POR LOS ÁRIDOS.....	12
Tabla II-3 VALORES DE MODULOS DE ELASTICIDAD.....	16
Tabla II-4 TIPO DE CEMENTO.....	18
Tabla II-5 COMPARACIÓN DE NORMAS INTERNACIONALES, PARA CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO PÓRTLAND TIPO I40.....	20
Tabla II-6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PARA LOS CEMENTOS.....	20
Tabla II-7 ROCAS Y MINERALES QUE PUEDEN EXHIBIR REACCIONES ÁLCALI-SÍLICE .....	31
Tabla II-8 GEOLOGÍA DE LAS ROCAS.....	34
<b>CAPÍTULO III. PROCESO DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
Tabla III-1 ESPECIFICACIONES QUÍMICAS DEL CEMENTO EL PUENTE.....	45
Tabla III-2 ESPECIFICACIONES FÍSICAS DEL CEMENTO EL PUENTE....	45
Tabla III-3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (RANCHO).....	47
Tabla III-4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (RANCHO) .....	48
Tabla III-5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (TEMPORAL).....	49
Tabla III-6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (TEMPORAL).....	50
Tabla III-7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (SANTA ANA).....	51
Tabla III-8 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO FINO (SANTA ANA).....	52

Tabla III-9 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (CAMACHO).....	53
Tabla III-10 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO-AGREGADO GRUESO (CAMACHO).....	54
Tabla III-11 PESOS ESPECÍFICOS Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN-AGREGADO GRUESO.....	55
Tabla III-12 PESOS ESPECÍFICOS Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN-AGREGADO FINO.....	56
Tabla III-13 PESOS UNITARIOS-AGREGADO GRUESO.....	56
Tabla III-14 PESOS UNITARIOS-AGREGADO FINO.....	57
Tabla III-15 RESISTENCIA DE DISEÑO-NORMA ACI.....	58
Tabla III-16 TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADOS- NORMA ACI.....	59
Tabla III-17 ASENTAMIENTOS RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE ESTRUCTURAS.....	59
Tabla III-18 VOLUMEN DE AGUA-NORMA ACI.....	60
Tabla III-19 RELACIÓN AGUA – CEMENTO POR RESISTENCIA.....	60
Tabla III-20 RELACIÓN AGUA-CEMENTO.....	61
Tabla III-21 PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO.....	61
Tabla III-22 PROPORCIONES DE MEZCLA.....	63
Tabla III-23 REQUISITOS DE GRADUACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	69
Tabla III-24 RESULTADOS Y EVALUACIÓN DEL AGREGADO-ASTM C 289.....	71
Tabla III-25 EXPANSIÓN PROMEDIO (RANCHO).....	72
Tabla III-26 EXPANSIÓN PROMEDIO (TEMPORAL).....	72
Tabla III-27 EXPANSIÓN PROMEDIO (SANTA ANA).....	73
Tabla III-28 EXPANSIÓN PROMEDIO (CAMACHO).....	74
Tabla III-29 RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS DEL HORMIGÓN-MEZCLAS DISEÑADAS.....	77
Tabla III-30 RESISTENCIAS A LOS 28 DIAS DEL HORMIGÓN-DOSIFICACIÓN 1:2:3.....	78

Tabla III-31 PORCENTAJES DE EXPANSIÓN.....	84
--	----

**CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Tabla IV-1 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS - ASTM C 1260 Y ASTM C 289.....	91
--	----

Tabla IV-2 RESISTENCIAS MÁXIMAS OBTENIDAS.....	92
--	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

Página

<b>ANEXO A: Determinación de la Reacción Álcali-agregado ASTM C289 METODO QUIMICO</b> .....	96
A.1. Agregados (Rancho).....	97
A.2. Agregados (Temporal).....	100
A.3. Agregados (Santa Ana).....	103
A.4. Agregados (Camacho).....	106
<b>ANEXO B: Determinación de la Reacción Álcali-agregado ASTM C1260 METODO DE LA BARRA DE MORTERO</b> .....	109
B.1. Agregados (Rancho).....	110
B.2. Agregados (Temporal).....	112
B.3. Agregados (Santa Ana).....	114
B.4. Agregados (Camacho).....	116
<b>ANEXO C: CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS</b> .....	118
C.1. Granulometría-agregado grueso (Rancho) .....	119
C.2. Peso específico-agregado grueso (Rancho).....	120
C.3. Peso Unitario-Agregado grueso (Rancho).....	121
C.4. Granulometría-agregado fino (Rancho) .....	122
C.5. Peso específico-agregado fino (Rancho).....	123
C.6. Peso Unitario-Agregado fino (Rancho) .....	124
C.7. Granulometría-agregado grueso (Temporal).....	125
C.8. Peso específico-agregado grueso (Temporal).....	126
C.9. Peso Unitario-Agregado grueso (Temporal).....	127
C.10. Granulometría-agregado fino (Temporal).....	128
C.11. Peso específico-agregado fino (Temporal).....	129
C.12. Peso Unitario-Agregado fino (Temporal).....	130
C.13. Granulometría-agregado grueso (Santa Ana).....	131
C.14. Peso específico-agregado grueso (Santa Ana).....	132
C.15. Peso Unitario-Agregado grueso (Santa Ana).....	133
C.16. Granulometría-agregado fino (Santa Ana).....	134

C.17. Peso específico-agregado fino (Santa Ana).....	135
C.18. Peso Unitario-Agregado fino (Santa Ana).....	136
C.19. Granulometría-agregado grueso (Camacho).....	137
C.20. Peso específico-agregado grueso (Camacho).....	138
C.21. Peso Unitario-Agregado grueso (Camacho).....	139
C.22. Granulometría-agregado fino (Camacho).....	140
C.23. Peso específico-agregado fino (Camacho).....	141
C.24. Peso Unitario-Agregado fino (Camacho).....	142
<b>ANEXO D: DOSIFICACION DE HORMOGONES METODO ACI-211</b> .....	143
D.1. Dosificación ACI-211 (Rancho) .....	144
D.2. Dosificación ACI-211 (Temporal) .....	147
D.3. Dosificación ACI-211 (Santa Ana) .....	150
D.4. Dosificación ACI-211 (Camacho) .....	153
<b>ANEXO E: ROTURA DE PROBETAS – ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESION</b> .....	156
E.1 Resistencias a compresión (Rancho).....	157
E.2 Resistencias a compresión. Dosificación 1:2:3 (Rancho).....	158
E.3 Resistencias a compresión. (Temporal) .....	159
E.4 Resistencias a compresión. Dosificación 1:2:3 (Temporal).....	160
E.5 Resistencias a compresión (Santa Ana).....	161
E.6 Resistencias a compresión. Dosificación 1:2:3 (Santa Ana).....	162
E.7 Resistencias a compresión (Camacho) .....	163
E.8 Resistencias a compresión. Dosificación 1:2:3 (Camacho).....	164