

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



**“ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DEL HUMO DE SÍLICE EN LA
RESISTENCIA DE HORMIGONES CONVENCIONALES”**

Por:

MARCELO JAVIER RUIZ LOROÑO

Diciembre del 2011

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

“CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL”



“ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DEL HUMO DE SÍLICE EN LA RESISTENCIA DE HORMIGONES CONVENCIONALES”

Por:

MARCELO JAVIER RUIZ LOROÑO

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.

Diciembre del 2011

TARIJA – BOLIVIA

VºBº

**Ing. Fernando Mur
PROFESOR GUÍA**

**Ing. MSc. Luis Alberto Yurquina
DECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

**Lic. Gustavo Succi
VICEDECANO DE LA FACULTAD
DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Oscar Chávez Vargas

.....
Ing. Moisés Días Ayarde

.....
Ing. Juan Gonzales

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

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo especialmente a mi madre ADELA LOROÑO CARDOZO, a la memoria de mi padre HERNAN RUIZ G. (Q.E.P.D.), a mis hermanos LILIANA, MIGUEL ANGEL, ANGEL DANIEL RUIZ LOROÑO, a mi futura esposa ADA FIGUEROA y a mi Futuro HIJO, que en momentos de flaqueza me impulsaron a seguir adelante y a ser un hombre de bien para la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por el don de la vida.

Al Ing. Oscar Chavez Vargas por los consejos dados en cada momento que los precisé.

Al personal de SOBOCE El Puente, por su apoyo constante. En especial al Lic. Fernando Garrido.

Al personal de laboratorio de Suelos y Hormigones de la U.A.J.M.S. por sus consejos y constante apoyo.

A todas las personas que de alguna forma me ayudaron a llevar adelante el presente Estudio, especialmente mis amigos Hugo F. Jaramillo y Alexander Mendivil V.

PENSAMIENTO

Más vale ser paciente que valiente. Más vale vencerse uno mismo que conquistar ciudades.

Como el camino es terreno y está sembrado de espinas, motivo por el cual nuestro Dios ha dado al hombre 3 dones:

La sonrisa, los sueños y la esperanza.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

| | Página |
|---|---------------|
| I.1.- INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| I.2.- ANTECEDENTES..... | 2 |
| I.3.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| I.3.1. Planteamiento..... | 4 |
| I.3.2. Formulación..... | 5 |
| I.3.3. Sistematización..... | 5 |
| I.4.- HIPÓTESIS..... | 6 |
| I.5.- OBJETIVOS..... | 6 |
| I.5.1 OBJETIVO GENERAL..... | 6 |
| I.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 7 |
| I.5.2.1. Análisis químicos del Cemento, y la Adición de “H.S.”..... | 7 |
| I.5.2.2. Análisis Físicos del Cemento con y sin Adición..... | 8 |
| I.5.2.3. Análisis Físicos Mecánicos del Hormigón..... | 8 |
| I.6.- JUSTIFICACIÓN..... | 9 |
| I.6.1. Académica..... | 9 |
| I.6.2. Técnica..... | 9 |
| I.6.3. Social..... | 9 |

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

| | Página |
|--|---------------|
| II.1. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN..... | 10 |
| II.2. MATERIALES COMPONENTES DEL HORMIGÓN..... | 10 |
| II.2.1. CEMENTO..... | 10 |
| II.2.1.1. Fabricación del Cemento | 14 |
| II.2.1.1.1. MATERIAS PRIMAS..... | 14 |
| II.2.1.2. Composición Química del Cemento..... | 16 |
| II.2.1.2.1. COMPONENTES INDESEABLES EN EL CEMENTO..... | 17 |
| II.2.1.3. Cemento Portland TIPO I..... | 19 |

| | |
|--|----|
| II.2.1.3.1. Características del Cemento Pórtland..... | 19 |
| II.2.1.3.2. Clasificación del Cemento Pórtland..... | 19 |
| II.2.1.3.3. Fraguado y Endurecimiento..... | 20 |
| II.2.1.3.4. Calor de Hidratación:..... | 20 |
| II.2.1.3.5. Función del Yeso en el Cemento..... | 21 |
| II.2.1.3.6. Almacenamiento del cemento en obra..... | 21 |
| II.2.1.4. Pruebas de las Propiedades del Cemento..... | 22 |
| II.2.1.4.1. Peso Específico..... | 22 |
| II.2.1.4.2. Superficie Específica Blaine o Finura..... | 23 |
| II.2.1.4.3. Consistencia de la Pasta Normal..... | 25 |
| II.2.1.4.4. Tiempo de Fraguado..... | 26 |
| II.2.1.4.4.1. Tiempo de Fraguado Inicial..... | 27 |
| II.2.1.4.4.2. Tiempo de Fraguado Final..... | 27 |
| II.2.1.4.5. Estabilidad de volumen o Sanidad del Cemento..... | 27 |
| II.2.1.4.6. Determinación de la Resistencia a Compresión..... | 29 |
| II.2.1.4.7. Determinación de la Fluidez..... | 30 |
| II.2.2. AGUA..... | 31 |
| II.2.2.1. El Agua en el Concreto..... | 31 |
| II.2.2.2. Requisitos que Debe Cumplir..... | 32 |
| II.2.3. AGREGADOS..... | 33 |
| II.2.3.1. Ubicación, Antecedentes y Descripción de la Cantera..... | 33 |
| II.2.3.1.1. Definición..... | 33 |
| II.2.3.1.2. Clasificación..... | 34 |
| II.2.3.2. Agregado Fino..... | 34 |
| II.2.3.2.1. Definición..... | 34 |
| II.2.3.2.2. Requisitos de Uso..... | 34 |
| II.2.3.2.3. Granulometría (límites según la ASTM)..... | 35 |
| II.2.3.3. Agregados Gruesos..... | 36 |
| II.2.3.3.1. Definición..... | 36 |
| II.2.3.3.2. Clasificación..... | 36 |
| II.2.3.3.3. Requisitos de Uso..... | 37 |

| | |
|---|----|
| II.2.3.3.4. Granulometría (límites según la ASTM)..... | 37 |
| II.2.3.4. Características de los Agregados..... | 38 |
| II.2.3.4.1. Módulo de Fineza (MF)..... | 38 |
| II.2.3.4.2. Tamaño máximo del agregado grueso (TM)..... | 38 |
| II.2.3.4.3. Tamaño Máximo Nominal (TMN)..... | 39 |
| II.2.3.4.4. Humedad Natural..... | 39 |
| II.2.3.4.5. Porcentaje de Absorción..... | 39 |
| II.2.3.4.6. Humedad Superficial..... | 40 |
| II.3. MATERIALES PUZOLÁNICOS..... | 40 |
| II.3.1. GENERALIDADES..... | 40 |
| II.3.2. TIPOS DE PUZOLANAS..... | 41 |
| II.3.3. PUZOLANAS NATURALES..... | 41 |
| II.3.3.1. Cenizas volcánicas:..... | 41 |
| II.3.3.2. Tufos o tobas volcánicas (zeolitas)..... | 41 |
| II.3.3.3. Tierras de diatomeas (diatomitas)..... | 41 |
| II.3.3.4. Cenizas Volcánicas..... | 42 |
| II.3.4. TIPOS DE PUZOLANAS ARTIFICIALES..... | 43 |
| II.3.4.1. Ceniza de Combustible Pulverizado (Ceniza Volante):..... | 43 |
| II.3.4.2. Escoria de Alto Horno Granulada Molida..... | 44 |
| II.3.4.3. Humo de Sílice..... | 45 |
| II.3.4.3.1. Características del Humo de Sílice..... | 46 |
| II.3.4.4. Cenizas de Caña De Azúcar..... | 46 |
| II.3.4.5. Sílice Condensada..... | 46 |
| II.3.4.6. Sílice Geotérmica..... | 46 |
| II.3.4.7. Arcillas Termo-Activadas..... | 47 |
| II.3.5. CLASIFICACIÓN DE LAS PUZOLANAS SEGÚN NORMA ASTM C 618..... | 47 |
| II.3.6. PROPIEDADES DE LA PUZOLANA..... | 47 |
| II.3.7. LA REACCIÓN PUZOLÁNICA..... | 48 |
| II.3.7.1. EFECTOS DE LAS PUZOLANAS EN EL HORMIGÓN..... | 48 |
| II.4. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN..... | 49 |
| II.4.1. Resistencia a Compresión y Característica del Hormigón..... | 49 |

CAPÍTULO III: ASPECTOS METODOLÓGICOS

| | Página |
|---|---------------|
| III.1.- METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... | 53 |
| III.2. OBJETO DE ESTUDIO..... | 53 |
| III.3. VARIABLES..... | 54 |
| III.4. HIPÓTESIS..... | 54 |
| III.5. MUESTREO DE LOS MATERIALES..... | 55 |
| III.5.1. AGREGADOS..... | 55 |
| III.5.2. HUMO DE SÍLICE..... | 56 |
| III.5.3. MORTEROS..... | 56 |
| III.5.3.1 Determinación del Contenido Óptimo de Agua | 59 |
| III.5.4. HORMIGONES..... | 59 |
| III.6. ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO..... | 61 |
| III.6.1 CEMENTO | 61 |
| III.6.1.1 Análisis Químicos del Cemento, y la Adición de “Humo de Sílice”... .. | 61 |
| III.6.1.2 Análisis Físicos del Cemento con y sin Adición..... | 62 |
| III.6.2 AGUA | 62 |
| III.6.3 AGREGADOS | 63 |
| III.6.4 CONCRETO..... | 63 |
| III.7. TEORÍA ESTADÍSTICA PARA EL ANÁLISIS DE DATOS..... | 64 |
| III.7.1 CÁLCULO DEL ERROR EXPERIMENTAL PROMEDIO..... | 64 |
| III.7.2 DITRIBUCIÓN DE PROBABILIDADES..... | 64 |
| III.7.3. DEFINICIÓN DE RESISTENCIA MEDIA Y RESISTENCIA CARACTERÍSTICA..... | 65 |

CAPÍTULO IV: DESARROLLO DE LA METODOLÓGIA

| | Página |
|--|---------------|
| IV.1. FASE I: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES..... | 68 |
| IV.1.1 CEMENTO..... | 68 |
| IV.1.2. HUMO DE SÍLICE..... | 68 |
| IV.1.3. AGREGADOS..... | 69 |
| IV.2. FASE II: PROCESAMIENTO Y EXTRACCION DEL HUMO DE SILICE..... | 69 |
| IV.3. FASE III: AGREGADOS..... | 72 |
| IV.3.1. Agregados "El Puente"..... | 72 |
| IV.3.2. Dosificación de Agregados "El Puente"..... | 73 |
| IV.3.3. Estudios de Granulometrías..... | 74 |
| IV.3.4. Agregados gruesos El Puente..... | 74 |
| IV.4. FASE IV: ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE LOS CEMENTOS Y LA ADICIÓN DEL HUMO DE SILICE..... | 76 |
| IV.4.1. ANÁLISIS QUÍMICO..... | 76 |
| IV.4.1.1 Análisis Químico del Humo de Sílice"..... | 76 |
| IV.4.1.2. Análisis Químico del Cemento Portland Puro y del Cemento con el 10% de adición..... | 78 |
| IV.4.2. ANÁLISIS FÍSICOS..... | 79 |
| IV.4.2.1 Determinación del Peso Específico | 79 |
| IV.4.2.2 Determinación de la Superficie Específica Blaine..... | 80 |
| IV.4.2.3 Determinación Retenido malla N° 325..... | 81 |
| IV.4.2.4 Determinación Consistencia Normal..... | 82 |
| IV.4.2.5 Determinación del tiempo de fraguado..... | 83 |
| IV.4.2.6 Determinación de la Estabilidad del Volumen Agujas Le Chatelier. | 83 |
| IV.4.2.7 Gradación de la Arena | 84 |
| IV.4.2.8. Determinación de la Resistencia en Cementos..... | 85 |
| IV.4.2.8.1 Resistencia a Compresión en Cementos con Fluidéz 110 ± 5 | 87 |
| IV.4.2.8.1.1 Resistencia a Compresión Cemento Patrón, con y sin Adición | 87 |
| IV.4.2.8.1.2. Determinación del Incremento de Agua..... | 89 |

| | |
|--|-----|
| IV.5. FASE V: DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES..... | 90 |
| IV.5.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN 0% DE ADICION..... | 90 |
| IV.5.2 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON ADICIÓN..... | 91 |
| IV.5.2.1 DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 5% DE ADICIÓN | |
| “H.S.”..... | 91 |
| IV.5.2.2. DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 10% DE ADICIÓN | |
| “H.S.”..... | 91 |
| IV.5.2.3. DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 15% DE ADICIÓN | |
| “H.S.”..... | 92 |
| IV.5.2.4. DOSIFICACIÓN MEZCLA PATRÓN CON 20% DE ADICIÓN | |
| “H.S.”..... | 92 |
| IV.6. FASE VI: ELABORACIÓN Y CURADO DE HORMIGONES..... | 92 |
| IV.6.1 ELABORACIÓN DE LOS ESPECÍMENES DE HORMIGÓN..... | 92 |
| IV.6.2. CURADO DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN..... | 93 |
| IV.6.3. ENSAYO MECÁNICO DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN..... | 94 |
| IV.7. FASE VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS | 94 |
| IV.7.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A | |
| COMPRESIÓN..... | 94 |
| IV.7.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS | 95 |
| IV.7.2.1 Resultados del Análisis de Hormigones con Adición de “Humo de | |
| Sílice..... | 95 |
| IV.7.3. ANÁLISIS DE LA ADICIÓN DE HUMO DE SÍLICE EN | |
| HORMIGONES SOMETIDOS A COMPRESIÓN..... | 98 |
| IV.7.3 .1. Índice de Actividad Puzolánica..... | 98 |
| IV.7.3.2 Análisis Pesos Específicos del Hormigón (cemento patrón)..... | 99 |
| IV.7.3.1 Media de los Pesos Específicos del Hormigón..... | 99 |
| IV.7.3.3 Influencia en el Tiempo de Fraguado | 100 |
| IV.7.3.4 Influencia en la Expansión | 101 |
| IV.7.3.5. Influencia en el Incremento de Agua..... | 102 |

| | |
|---|-----|
| IV.8. CAMPO DE APLICACIÓN..... | 103 |
| IV.8.1 Análisis de Precios..... | 103 |
| IV.8.1.1 Precios de Cementos por Bolsas..... | 103 |
| IV.8.1.2. Analisis de Precios por m3 de Hormigón..... | 105 |

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

| | Página |
|--------------------------|---------------|
| V.1 CONCLUSIONES..... | 107 |
| V.2 RECOMENDACIONES..... | 109 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 110 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| CAPÍTULO. II | Página |
|--|---------------|
| <i>Figura 2.1. Frasco de Le Chatelier.....</i> | <i>23</i> |
| <i>Figura 2.2 Permeabilímetro BLAINE.....</i> | <i>25</i> |
| <i>Figura 2.3. Aguja de Vicat.....</i> | <i>26</i> |
| <i>Figura 2.4. Aparatos para Medir la Expansión.....</i> | <i>29</i> |
| <i>Figura 2.5. Mesa de Sacudidas.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 2.6. Molde Mesa de Sacudidas.....</i> | <i>31</i> |
| <i>Figura 2.7. Definición de Resistencia Característica (f_{ck}).....</i> | <i>50</i> |
| | |
| CAPÍTULO III | |
| <i>Figura 3.1 Curva Normal, Curvas “t” de student.....</i> | <i>65</i> |
| | |
| CAPÍTULO IV | |
| <i>Figura 4.1 Yacimientos de la Materia Prima.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Figura 4.2 Extracción de la Materia Prima.....</i> | <i>70</i> |
| <i>Figura 4.3 Selección del Material.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Figura 4.4 Molino de Bolas.....</i> | <i>71</i> |
| <i>Figura 4.5. Permeabilímetro Blaine.....</i> | <i>72</i> |
| <i>Figura 4.6. Material sin Tamizar ni Lavado.....</i> | <i>73</i> |
| <i>Figura: 4.7 Material Seleccionado de Acuerdo a Tamices.....</i> | <i>73</i> |
| <i>Figura 4.8 Contenido de Sílice”.....</i> | <i>77</i> |
| <i>Figura 4.9. Ensayo de Peso Específico.....</i> | <i>79</i> |
| <i>Figura: 4.10. Permeabilímetro Blaine.....</i> | <i>81</i> |
| <i>Figura: 4.11. Agujas de Le chatelier.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Figura 4.12. Mesa de Flujo.....</i> | <i>86</i> |
| <i>Figura 4.13. Medición de Diámetros.....</i> | <i>86</i> |

ÍNDICE DE GRÁFICAS

| CAPITULO IV | Página |
|--|---------------|
| <i>Gráfico: 4. Gráfica de la Granulometría de los Agregados.....</i> | 75 |
| <i>Gráfica 4.1 Curvas de Evolución Cemento Patrón Fluidéz 110 ± 5.....</i> | 88 |
| <i>Grafica 4.2.Incremento de Agua en Morteros Fluidéz 110 ± 5.....</i> | 89 |
| <i>Gráfica 4.3 Curvas de Evolución del Hormigón con y sin Adición de “Humo de Sílice”.....</i> | 96 |
| <i>Gráfica 4.4. Curvas de Actividad Puzolánica con y sin Adición de “Humo de Sílice”.</i> | 98 |
| <i>Gráfica 4.5. Análisis de la Adición de “H.S.” en el Peso Específico del Hormigón.....</i> | 99 |
| <i>Gráfica 4.6. Análisis de la Adición de “Humo de Sílice” en el Fraguado Inicial.....</i> | 100 |
| <i>Gráfica 4.7. Análisis de la Adición de “Humo de Sílice” en el Fraguado Final.....</i> | 100 |
| <i>Gráfica 4.8. Análisis de la adición de “Humo de Sílice” en el Incremento de Agua en Hormigones.....</i> | 102 |

ÍNDICE DE TABLAS

| CAPÍTULO II | Página |
|---|---------------|
| <i>Tabla 2.1. Clasificación de los Cementos Norma Boliviana NB 011.....</i> | 12 |
| <i>Tabla 2.2. Clasificación de los Cementos Norma Boliviana NB 011.....</i> | 13 |
| <i>Tabla 2.3. Compuestos del Cemento Portland.....</i> | 16 |
| <i>Tabla: 2.4 Métodos para Determinar la Finura.....</i> | 24 |
| <i>Tabla 2.5. Gradación de la Arena.....</i> | 29 |
| <i>Tabla 2.6. Tolerancia para Ensayos a Compresión.....</i> | 30 |
| <i>Tabla 2.7. Requisitos que Debe Cumplir el Agua.....</i> | 32 |
| <i>Tabla 2.8 Límites de Granulometría para la Arena Según la ASTM.....</i> | 35 |
| <i>Tabla 2.9. Requerimientos de Granulometría del Agregados Grueso.....</i> | 37 |
| <i>Tabla 2.10. Incremento Aproximado Promedio de la Resistencia a la Compresión del Concreto con el Tiempo.....</i> | 52 |
| CAPÍTULO III | |
| <i>Tabla 3.1 Pesos Mínimos de las Muestras.....</i> | 55 |
| <i>Tabla 3.2 Valores Estandarizados en Función del grado de confiabilidad.....</i> | 57 |
| <i>Tabla 3.3. Valores de la Probabilidad de la Población que no Presenta las Características.....</i> | 58 |
| <i>Tabla 3.4. Numero de Morteros de Cemento Pórtland puro (patrón) con y sin Adición..</i> | 59 |
| <i>Tabla 3.5. Numero de Probetas de Hormigón.....</i> | 61 |
| <i>Tabla 3.6. Distribución “t” de Student (Grado de Confiabilidad 95%).....</i> | 67 |

CAPÍTULO IV**Página**

| | |
|---|------------|
| Tabla 4.1. Granulometría..... | 74 |
| Tabla 4.2. Pesos del Agregado Grueso..... | 75 |
| Tabla 4.3. Peso del Agregado Fino..... | 75 |
| <i>Tabla 4.4 Composición Química del Humo de Sílice.....</i> | <i>76</i> |
| <i>Tabla 4.5. Análisis Químico del C.P.P.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabla 4.6. Análisis Químico del C.P.P. con 10% de adición.....</i> | <i>78</i> |
| <i>Tabla 4.7. Pesos Específicos.....</i> | <i>79</i> |
| Tabla 4.8. Determinación de la Superficie Específica Blaine..... | 80 |
| <i>Tabla 4.9. Determinación Retenido Malla #325.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Tabla 4.10. Determinación de la Consistencia Normal.....</i> | <i>82</i> |
| <i>Tabla 4.11. Determinación del Tiempo de Fraguado Inicial y Final.....</i> | <i>83</i> |
| <i>Tabla 4.12. Determinación de la Expansión.....</i> | <i>84</i> |
| <i>Tabla 4.13 Gradación de la Arena.....</i> | <i>84</i> |
| Tabla 4.14. Determinación de la Fluidez..... | 86 |
| <i>Tabla 4.15 Resistencias Cemento Patrón Fluidez 110 ± 5.....</i> | <i>87</i> |
| <i>Tabla 4.16 Incremento de Agua por % de adición.....</i> | <i>89</i> |
| <i>Tabla 4.17. Dosificación Patrón Materiales Secos.....</i> | <i>90</i> |
| <i>Tabla 4.18. Dosificación con 5% de “H.S.” Materiales Secos.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 4.19. Dosificación con 10% de “H.S.” Materiales Secos.....</i> | <i>91</i> |
| <i>Tabla 4.20. Dosificación con 15% de “H.S.” Materiales Secos.....</i> | <i>92</i> |
| <i>Tabla 4.21. Dosificación con 20% de “H.S.” Materiales Secos.....</i> | <i>92</i> |
| <i>Tabla 4.22. Resistencias del Hormigón con % de Adición de “Humo de Sílice”.....</i> | <i>96</i> |
| <i>Tabla 4.23. Índice de Actividad Puzolánica con 20% de Adición de “Humo de Sílice”.....</i> | <i>98</i> |
| <i>Tabla 4.24. Pesos Específicos del Hormigón.....</i> | <i>99</i> |
| <i>Tabla 4.25. Tiempos de Fraguado Inicial y Final.....</i> | <i>100</i> |
| <i>Tabla 4.26. Expansión de los Cemento con y sin Adición de “Humo de Sílice”.....</i> | <i>101</i> |
| <i>Tabla 4.27. Incremento de Agua de Acuerdo al % de Adición.....</i> | <i>102</i> |
| <i>Tabla 4.28. Precios IP-30 con Toba.....</i> | <i>103</i> |

| | |
|--|------------|
| <i>Tabla 4.30. Precios IP-30 con 20% de Adición de Humo de Sílice.....</i> | <i>104</i> |
| <i>Tabla 4.31. Hormigón con Cemento IP-30 12% Adición de Toba.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Tabla 4.32. Hormigón con Cemento IP-30 10% Adición de Humo de Sílice.....</i> | <i>105</i> |
| <i>Tabla 4.33. Hormigón con Cemento IP-30 20% Adición de Humo de Sílice.....</i> | <i>105</i> |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: ANÁLISIS QUÍMICOS

ANEXO 2: PRUEBAS FÍSICAS Y MECÁNICAS DE LOS CEMENTOS CON Y SIN
ADICIÓN

ANEXO 3: PRUEBAS MECÁNICAS DE LOS HORMIGONES CON Y SIN ADICIÓN
(ANÁLISIS ESTADÍSTICO)

ANEXO 4: REPORTE FOTOGRÁFICO