

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS ADICIONANDO
ÁRIDO DE LA ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA –LECA) EN
SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL AGREGADO”**

Autor:

JOSE LUIS ZOLANO ROCABADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como
requisito para optar el grado académico de licenciatura en Ingeniería Civil

SEMESTRE II – 2018

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN

**“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL
HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS ADICIONANDO
ÁRIDO DE LA ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA –LECA) EN
SUSTITUCIÓN PARCIAL Y TOTAL DEL AGREGADO”**

Autor:

JOSE LUIS ZOLANO ROCABADO

SEMESTRE II - 2018

TARIJA – BOLIVIA

V° B°

.....
M. Sc. Ing. Ernesto R. Alvarez Gozalvez
DECANO
FACULTAD DE CIÊNCIAS Y
TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Ing. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANA
FACULTAD DE CIÊNCIAS Y
TECNOLOGÍA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

.....
Ing. Marcelo Segovia Cortez

.....
Ing. Fernando Mur Lagraba

.....
Ing. Ricardo Morales Retamozo

ADVERTENCIA

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

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres Victorino Solano y Petrona Rocabado, por su apoyo incondicional.

A mi esposa Lourdes Mancilla Santillán por estar a mi lado en los momentos buenos y malos y brindarme todo su apoyo

A mi hija Ariana Zolano Mancilla quien fue la motivación para lograr esta etapa de mi vida.

Y a todos mis hermanos, amigos que siempre estuvieron ahí durante esta etapa de formación.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente agradecer a Dios por darme la fortaleza de poder concluir una etapa más en mi vida. A mis padres por apoyarme incondicionalmente en todo momento sin importar las circunstancias ni las adversidades.

A mi esposa por estar a mi lado y brindarme todo su apoyo.

Agradecer a mis hermanos (as) por darme su apoyo incondicional.

PENSAMIENTO

“Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como la oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.”

Albert Einstein

ÍNDICE

ADVERTENCIA
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
PENSAMIENTO
RESUMEN

CAPÍTULO I GENERALIDADES

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	2
1.2 SITUACIÓN PROBLÉMICA	3
1.3 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 HIPÓTESIS.....	4
1.6 DEFINICIÓN DE VARIABLES	4
1.6.1 Variables dependientes	4
1.6.2 Variables independientes	4
1.6.3 Conceptualización de variables	4
1.6.3.1 Propiedades mecánicas del hormigón	4
1.6.3.2 Arcilla expandida (Arlita – Leca)	5
1.6.4 Operacionalización de variables	5
1.6.4.1 Variables dependientes.....	5
1.6.4.2 Variables independientes	5
1.7 DISEÑO METODOLÓGICO.....	6
1.7.1 Componentes	6
1.7.1.1 Identificación del tipo de diseño de investigación	6
1.7.1.2 Unidad de estudio.....	7
1.7.1.3 Población.....	7

1.7.1.4 Muestra.....	7
1.7.1.5 Muestreo.....	8
1.7.2 Métodos y técnicas empleadas	8
1.7.2.1 Porcentaje de caras fracturadas en los áridos (D 5821 NTL358).....	8
1.7.2.2 Análisis granulométrico por tamizado (AASHTO T22)	9
1.7.2.3 Determinación del peso específico de los agregados (AASHTO T100)	10
1.7.2.4 Determinación del módulo de finura de la arena (ASTM C-125)	10
1.7.2.5 Método del desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASSHTO T96)	11
1.7.2.6 Ensayo de la compresión simple de probetas cilíndricas (AASHTO T22)	12
1.7.2.7 Ensayo de la resistencia a la flexión de probetas prismáticas (AASHTO T97)	12
1.7.2.8 Materiales y equipos que se utilizarán.	13
1.7.3 Resistencias de diseño para la investigación	15
1.7.3.1 Tipos de resistencias del hormigón	15
1.7.3.2 Rangos de resistencias para compresión y flexión.....	16
1.7.4 Consistencia para el diseño del hormigón	17
1.7.5 Error que se tomará en la investigación.....	18
1.7.5.1 Estadística descriptiva.....	18
1.7.6 Norma	19
1.7.7 Validación.....	19
1.7.8 Alcance de la investigación.	20

CAPÍTULO II

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 HORMIGÓN.....	21
2.1.1 Propiedades del hormigón fresco	21
2.1.1.1 Consistencia	22
2.1.1.2 Densidad.....	23

2.1.1.3 Homogeneidad	24
2.1.1.4 Trabajabilidad	24
2.1.2 Propiedades del hormigón endurecido	24
2.1.2.1 Densidad.....	24
2.1.2.2 Resistencia mecánica	25
2.1.2.3 Porosidad.....	25
2.1.3 Materiales cementantes.....	25
2.1.4 Áridos (Agregados)	27
2.1.4.1 Árido fino.....	27
2.1.4.2 Árido grueso.....	27
2.1.4.3 Clasificación de los agregados	27
2.1.4.4 Clasificación por su procedencia	28
2.1.4.5 Agregados naturales	28
2.1.4.6 Agregados artificiales.....	28
2.1.4.7 Agregados livianos artificiales	28
2.2 ARCILLA EXPANDIDA (ARLITA – LECA)	29
2.2.1 Características de la arcilla expandida.....	30
2.2.2 Condiciones de fabricación	30
2.2.3 Propiedades de la arcilla expandida.....	32
2.2.3.1 Densidad o peso unitario.....	32
2.2.3.2 Resistencia a la compresión	32
2.2.3.3 Absorción	33
2.2.3.4 Forma y tamaño de la partícula.....	33
2.2.3.5 Aislamiento térmico y acústico.....	34
2.2.3.6 Resistencia al fuego.....	34
2.2.3.7 Factor de gravedad específica	34
2.2.3.8 Reacción Álcali-Agregado.....	34
2.2.4 Proceso de fabricación de la arcilla expandida (Arlita – Leca)	35
2.2.4.1 Horno rotatorio.....	36
2.2.4.2 Proceso seco.....	37
2.2.4.3 Proceso semi-humedo	37

2.2.4.4	Proceso húmedo	37
2.2.5	Adherencia entre pasta y agregado.....	39
2.3	ENSAYOS REALIZADOS A LOS AGREGADOS.....	39
2.3.1	Granulometría (ASTM E 40 AASHTO T27-99).....	39
2.3.2	Peso específico y absorción de agua en áridos gruesos y finos (AASHTO T85, AASHTO T84).....	40
2.3.3	Desgaste mediante la máquina de los Ángeles (ASTM E 131 AASHTO T96-99).....	40
2.3.4	Desintegración sulfato de sodio (ASTM E 88 AASHTO T104-99)	41
2.3.5	Caras fracturadas en los áridos (ASTM D 5821)	41
2.3.6	Especificaciones que deben cumplir los agregados.....	41
2.3.6.1	Agregado grueso	41
2.3.6.2	Agregado fino.....	42
2.4	ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO PORTLAND	43
2.4.1	Finura del cemento método por tamizado	43
2.4.2	Peso específico del cemento hidráulico (ASTM C188 – AASHTO T133).....	43
2.5	PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	43
2.5.1	Estructura del pavimento rígido	45
2.5.2	Elementos que integran un pavimento rígido	46
2.5.2.1	Sub – rasante	46
2.5.2.2	Sub – base	46
2.5.2.3	Superficie de rodadura	47
2.5.3	Tipos de pavimento rígido.....	47
2.5.3.1	Pavimento de concreto simple	48
2.5.3.2	Pavimento de concreto simple con refuerzo en las juntas.....	48
2.5.3.3	Pavimento de concreto con refuerzo continuo	49
2.5.3.4	Pavimento de concreto pre – esforzado	50
2.5.4	Propiedades y características del pavimento rígido.....	50
2.5.4.1	Propiedades del pavimento rígido.....	50
2.5.4.2	Características del pavimento rígido.....	53
2.6	DOSIFICACIÓN PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN.....	54

2.6.1 Descripción del método A.C.I para el diseño de mezclas de hormigón	54
2.6.1.1 Elección del asentamiento.....	55
2.6.1.2 Elección del tamaño máximo nominal (TMN)	56
2.6.1.3 Estimación de la cantidad de agua de mezclado	56
2.6.1.4 Determinación de la resistencia de diseño	58
2.6.1.5 Estimación de la relación agua cemento (A/C).....	59
2.6.1.6 Cálculo del contenido de cemento	60
2.7 ERROR QUE SE CONSIDERARÁ EN LA INVESTIGACIÓN	61
2.7.1.1 Estadística descriptiva.....	61

CAPÍTULO III

RELEVAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

3.1 CRITERIOS A UTILIZARSE.....	63
3.1.1 Criterios de selección del agregado arcilla expandida (Arlita -Leca)	63
3.1.2 Criterios de selección de banco de materiales	63
3.1.3 Criterios de Selección del cemento hidráulico	64
3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS	65
3.2.1 Ensayo de granulometría (AASTHO T-27) (ASTM C-136).....	65
3.2.1.1 Granulometría de agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)	67
3.2.1.2 Granulometría de agregados pétreos de la chancadora (Charaja).....	71
3.2.2 Ensayo de desgaste por medio de la máquina de los Ángeles (AASTHO T-96) (ASTM C-131)	75
3.2.2.1 Desgaste de agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)	75
3.2.2.2 Desgaste de agregados pétreos (Charaja).....	76
3.2.3 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos para determinar la desintegración (AASTHO T-104) (ASTM C-88)	77
3.2.3.1 Ensayo de durabilidad por el método de los Sulfatos a los agregados pétreos.....	78
3.2.3.2 Ensayo de durabilidad por el método de los sulfatos a los agregados arcilla expandida (Arlita – Leca).....	80
3.2.4 Ensayo de peso específico y absorción de agua en agregados	

gruesos (AASHTO T-85) (ASTM C-127)	80
3.2.4.1 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados pétreos (Charaja)	81
3.2.4.2 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados arcilla expandida (Arlita - Leca)	82
3.2.5 Ensayo de peso específico y absorción de agua del agregado fino (AASHTO T-84) (ASTM C-128)	83
3.2.5.1 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados pétreos (Charaja)	84
3.2.5.2 Ensayo de peso específico y absorción de agua a los agregados arcilla expandida (Arlita – Leca)	85
3.2.6 Ensayo de peso unitario de los agregados (AASHTO T-19) (ASTM C-29)	86
3.2.6.1 Ensayo de peso unitario a los agregados pétreos (Charaja)	86
3.2.6.2 Ensayo de peso unitario a los agregados arcilla expandida (Arlita–Leca)	89
3.2.7 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas en los agregados (NTL-358) (ASTM D-5821)	90
3.2.7.1 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas de los agregados pétreos (Charaja)	91
3.3 ENSAYOS REALIZADOS AL CEMENTO PORTLAND	91
3.3.1 Ensayo de la finura del cemento portland (El Puente IP 30) (ASTM C 204 AASHTO T 153).....	92
3.3.2 Ensayo del peso específico del cemento portland (El Puente IP 30) (ASTM C 188 AASHTO T 133).....	93
3.4 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN.....	94

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN TIPO H 35.....	96
4.1.1 Numero de ensayos para determinar la resistencia a compresión	

y flexión del hormigón	96
4.1.2 Dosificación del hormigón H35 por el método ACI – 211	96
4.1.3 Dosificación del hormigón para probetas cilíndricas	98
4.1.3.1 Dosificación para 3 probetas cilíndricas de hormigón.....	98
4.1.3.2 Dosificación para probetas cilíndricas de hormigón con porcentajes de arcilla expandida (Arlita – Leca).....	99
4.1.4 Dosificación de hormigón para probetas prismáticas (Vigas).....	101
4.1.4.1 Dosificación para 3 probetas prismáticas (Vigas) de hormigón	102
4.1.4.2 Dosificación para probetas prismáticas (Vigas) de hormigón con porcentajes de arcilla expandida (Arlita – Leca).....	102
4.1.5 Procedimiento de la elaboración del hormigón	105
4.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.....	110
4.2.1 Propiedades del hormigón fresco de probetas cilíndricas	110
4.2.2 Propiedades del hormigón fresco de probetas prismáticas (Vigas)	112
4.3 ENSAYOS REALIZADOS AL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	114
4.3.1 Ensayo de la resistencia a la compresión simple de probetas cilíndricas a los 28 días de edad	114
4.3.2 Ensayo de la resistencia a la flexión de probetas prismáticas (vigas)	116
4.4 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	118
4.4.1 Resultados de la resistencia a la compresión y flexión del hormigón a los 28 días de edad	118
4.4.2 Análisis estadístico de las propiedades mecánicas del hormigón endurecido.....	125
4.4.3 Análisis y comparación de resultados de la resistencia a la compresión y flexión del hormigón a los 28 días de edad.	128
4.4.4 Análisis de costos	133
4.4.4.1 Resultados del análisis de precios unitarios	139

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES	141
5.2 RECOMENDACIONES.....	143

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ANEXO 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS

ANEXO 2 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

(EL PUENTE IP 30)

ANEXO 3 DOSIFICACIÓN DEL HORMIGÓN

ANEXO 4 ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

(COMPRESIÓN Y FLEXIÓN)

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1 Variables dependientes.....	5
Tabla 1.2 Variables independientes	6
Tabla 1.3 Peso según el tamaño de la muestra para encontrar el % de caras fracturadas.....	9
Tabla 1.4 Faja granulométrica ASTM.	10
Tabla 1.5 Rango para la relación de desgaste	11
Tabla 1.6 Materiales y equipo a utilizarse	13
Tabla 1.7 Clasificación de resistencias para hormigones.....	15
Tabla 1.8 Resistencia de diseño de obras de pavimento rígido.....	16
Tabla 1.9 Rangos de consistencia	17
Tabla 2.1 Rango de consistencias	23
Tabla 2.2 Densidades del hormigón.....	24
Tabla 2.3 Serie de tamices utilizados para realizar la granulometría.....	40
Tabla 2.4 Especificaciones que debe cumplir el agregado grueso.....	41
Tabla 2.5 Graduación del agregado grueso de acuerdo a (ASTM C 33) Porcentajes que pasan por tamices que tienen aberturas cuadradas	42
Tabla 2.6 Especificaciones que debe cumplir el agregado fino.....	42
Tabla 2.7 Graduación del agregado fino de acuerdo a ASTM C33.....	43
Tabla 2.8 Recomendaciones para módulos de rotura.....	52
Tabla 2.9 Valores de asentamiento recomendados para diversos tipos de construcción	55
Tabla 2.10 Valores recomendados de TMN.....	56
Tabla 2.11 Requerimiento aproximado de agua de mezclado	56
Tabla 2.12 Requerimiento aproximado de agua de mezclado	57
Tabla 2.13 Requerimiento aproximado de agua de mezclado	57
Tabla 2.14 Requerimiento aproximado de agua de mezclado	58
Tabla 2.15 Resistencia de diseño	58
Tabla 2.16 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación A/C.....	59

Tabla 2.17 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación A/C.....	59
Tabla 2.18 Volumen del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	60
Tabla 3.1 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 1.	67
Tabla 3.2 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 2.	68
Tabla 3.3 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Arlita-Leca) del ensayo 3.	68
Tabla 3.4 Granulometría combinada del agregado grueso (Arlita - Leca).....	69
Tabla 3.5 Granulometría promedio del agregado fino (Arlita - Leca)	70
Tabla 3.6 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 1.	71
Tabla 3.7 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 2.	71
Tabla 3.8 Granulometrías de la grava, gravilla y arena (Charaja) del ensayo 3.	72
Tabla 3.9 Granulometrías promedio de la grava, gravilla y arena (Charaja)	72
Tabla 3.10 Granulometría combinada del agregado grueso (Charaja).....	73
Tabla 3.11 Granulometría promedio de la arena (Charaja).....	74
Tabla 3.12 Datos y resultados del ensayo de desgaste gravilla 3/8” (Arlita - Leca).	76
Tabla 3.13 Datos y resultados del ensayo de desgaste para la grava 3/4" (Charaja).	76
Tabla 3.14 Datos del ensayo de desgaste para la gravilla 3/8” (Charaja)	77
Tabla 3.15 Datos del ensayo de durabilidad para el agregado grueso (Charaja).	78
Tabla 3.16 Resultados del ensayo de durabilidad para agregado grueso (Charaja).	79
Tabla 3.17 Datos y resultados del ensayo de durabilidad para agregado fino (Arlita - Leca).	80
Tabla 3.18 Datos del ensayo de peso específico para agregado grueso (Charaja).	81

Tabla 3.19 Resultados de ensayo de peso específico de la grava 1/2” (Arlita - Leca).	82
Tabla 3.20 Resultados de ensayo de peso específico gravilla 3/8” (Arlita - Leca).	83
Tabla 3.21 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Charaja).	84
Tabla 3.22 Datos del ensayo peso específico del agregado fino (Arlita - Leca).	85
Tabla 3.23 Datos y resultados del ensayo de peso unitario de la grava 3/4 (Charaja).	87
Tabla 3.24 Datos y resultados del peso unitario de la gravilla 3/8” (Charaja).....	88
Tabla 3.25 Datos y resultados del peso unitario de la arena (Charaja).	88
Tabla 3.26 Datos y resultados del peso unitario de la grava 1/2” (Arlita - Leca).	89
Tabla 3.27 Datos y resultados del peso unitario de la arena (Arlita - Leca).	89
Tabla 3.28 Peso de la muestra de acuerdo al tamaño del arido.....	90
Tabla 3.29 Datos y resultados del porcentaje de caras fracturadas	91
Tabla 3.30 Especificaciones para los agregados pétreos (Charaja)	91
Tabla 3.31 Datos y resultados de la finura del cemento portland.	93
Tabla 3.32 Datos y resultados del peso específico del cemento portland.	94
Tabla 4.1 Datos obtenidos de los ensayos realizados.....	96
Tabla 4.2 Dosificación de hormigón con agregados convencionales.	98
Tabla 4.3 Dosificación de hormigón con 5% de arcilla expandida.....	100
Tabla 4.4 Dosificación de hormigón con 10% de arcilla expandida.....	100
Tabla 4.5 Dosificación de hormigón con 20% de arcilla expandida.....	100
Tabla 4.6 Dosificación de hormigón con 40% de arcilla expandida.....	101
Tabla 4.7 Dosificación de hormigón con 100% de arcilla expandida.....	101
Tabla 4.8 Dosificación de hormigón con agregados convencionales.	102
Tabla 4.9 Dosificación de hormigón con 5% de arcilla expandida.....	103
Tabla 4.10 Dosificación de hormigón con 10% de arcilla expandida.....	103
Tabla 4.11 Dosificación de hormigón con 20% de arcilla expandida.....	103
Tabla 4.12 Dosificación de hormigón con 40% de arcilla expandida.....	104
Tabla 4.13 Dosificación de hormigón con 100% de arcilla expandida.....	104

Tabla 4.14 Propiedades del hormigón fresco con 0% de arcilla expandida.....	110
Tabla 4.15 Propiedades del hormigón fresco con 5% de arcilla expandida.....	110
Tabla 4.16 Propiedades del hormigón fresco con 10% de arcilla expandida.....	110
Tabla 4.17 Propiedades del hormigón fresco con 20% de arcilla expandida.....	111
Tabla 4.18 Propiedades del hormigón fresco con 40% de arcilla expandida.....	111
Tabla 4.19 Propiedades del hormigón fresco con 100% de arcilla expandida.....	111
Tabla 4.20 Propiedades del hormigón fresco con 0% de arcilla expandida.....	112
Tabla 4.21 Propiedades del hormigón fresco con 5% de arcilla expandida.....	112
Tabla 4.22 Propiedades del hormigón fresco con 10% de arcilla expandida.....	112
Tabla 4.23 Propiedades del hormigón fresco con 20% de arcilla expandida.....	113
Tabla 4.24 Propiedades del hormigón fresco con 40% de arcilla expandida.....	113
Tabla 4.25 Propiedades del hormigón fresco con 100% de arcilla expandida.....	113
Tabla 4.26 Datos que se introducen a la prensa hidráulica.	115
Tabla 4.27 Resultado obtenido del ensayo.....	115
Tabla 4.28 Datos que introducen a la prensa hidráulica	117
Tabla 4.29 Resultado obtenido del ensayo.....	117
Tabla 4.30 Resistencia a la compresión del hormigón con 0% de arcilla expandida.	119
Tabla 4.31 Resistencia a la compresión del hormigón con 5% de arcilla expandida.	119
Tabla 4.32 Resistencia a la compresión del hormigón con 10% de arcilla expandida.	120
Tabla 4.33 Resistencia a la compresión del hormigón con 20% de arcilla expandida.	120
Tabla 4.34 Resistencia a la compresión del hormigón con 40% de arcilla expandida.	121
Tabla 4.35 Resistencia a la compresión del hormigón con 100% de arcilla expandida.	121
Tabla 4.36 Resistencia a la flexión del hormigón con 0% de arcilla expandida.....	122
Tabla 4.37 Resistencia a la flexión del hormigón con 5% de arcilla expandida.....	122
Tabla 4.38 Resistencia a la flexión del hormigón con 10% de arcilla expandida.....	123

Tabla 4.39	Resistencia a la flexión del hormigón con 20% de arcilla expandida.....	123
Tabla 4.40	Resistencia a la flexión del hormigón con 40% de arcilla expandida.....	124
Tabla 4.41	Resistencia a la flexión del hormigón con 100% de arcilla expandida.....	124
Tabla 4.42	Valores de referencia de la desviación estándar para establecer la calidad del hormigón.....	125
Tabla 4.43	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 0% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	125
Tabla 4.44	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 5% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	126
Tabla 4.45	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 10% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	126
Tabla 4.46	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 20% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	126
Tabla 4.47	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 40% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	127
Tabla 4.48	Análisis estadístico de las propiedades del hormigón endurecido con 100% de arcilla expandida (Arlita - Leca).	127
Tabla 4.49	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 0 % de arcilla expandida.	133
Tabla 4.50	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 5% de arcilla expandida.	134
Tabla 4.51	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 10% de arcilla expandida.	135
Tabla 4.52	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 20% de arcilla expandida.	136
Tabla 4.53	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 40% de arcilla expandida.	137
Tabla 4.54	Análisis de precios unitarios de hormigón simple H35 con 100% de arcilla expandida.	138
Tabla 4.55	Resumen del Análisis de costos del hormigón simple H 35 con arcilla expandida.	139

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Esquema del ensayo de compresión.....	12
Figura 1.2 Esquema del ensayo de flexión de vigas.	13
Figura 2.1 Método del cono de Abrams.....	23
Figura 2.2 Arcilla expandida (Arlita – Leca).....	30
Figura 2.3 Proceso de fabricación de la arcilla expandida.....	36
Figura 2.4 Horno rotatorio para producir arcilla expandida	36
Figura 2.5 Proceso humedo para producir arcilla expandida.....	38
Figura 2.6 Diagrama de esfuerzos	44
Figura 2.7 Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido.	44
Figura 2.8 Estructura del pavimento rígido	45
Figura 2.9 Pavimento rígido sometido a carga	46
Figura 2.10 Esquema de un pavimento de concreto hidráulico	47
Figura 2.11 Pavimento rígido simple.....	48
Figura 2.12 Pavimento rígido con refuerzo en las juntas.....	48
Figura 2.13 Pavimento rígido con esfuerzo continuo	49
Figura 2.14 Pavimento rígido pre-esforzado	50
Figura 2.15 Medida del módulo de rotura ASTM C78.....	51
Figura 3.1 Arcilla expandida (Arlita – Leca).	63
Figura 3.2 Zona de muestreo chancadora de (Charaja).	64
Figura 3.3 Agregado pétreo.	64
Figura 3.4 Fábrica de cemento el puente.	65
Figura 3.5 Agregado grueso.....	66
Figura 3.6 Curva granulométrica confeccionada del agregado grueso (Arlita - Leca).....	69
Figura 3.7 Curva granulométrica del agregado fino (Arlita - Leca)	70
Figura 3.8 Curva granulométrica confeccionada del agregado grueso.....	73
Figura 3.9 Curva granulométrica agregado fino	74
Figura 3.10 Desgaste por medio de la máquina de los Ángeles.	75
Figura 3.11 Preparación de la muestra con la solución de sulfato de sodio.	78

Figura 3.12 Proceso del peso sumergido.	81
Figura 3.13 Determinando el peso específico de la arena.....	84
Figura 3.14 Ensayo del peso unitario del agregado grueso y fino.	86
Figura 3.15 Ensayo del porcentaje de caras fracturadas.	90
Figura 3.16 Ensayo de la finura del cemento portland.	92
Figura 3.17 Ensayo del peso específico del cemento portland.	93
Figura 4.1 Muestra del reemplazo en volumen de los agregados con arcilla expandida	105
Figura 4.2 Cantidades de materiales resultado de la dosificación.	106
Figura 4.3 Muestra del mezclado.....	106
Figura 4.4 Proceso para medir el asentamiento	107
Figura 4.5 Proceso para el llenado de los moldes	108
Figura 4.6 Proceso de enrase y a su posterior fraguado.....	108
Figura 4.7 Proceso de elaboración de probetas prismáticas (Vigas).....	109
Figura 4.8 Proceso de curado de las probetas	109
Figura 4.9 Prensa hidráulica para ensayo de compresión de probetas.....	114
Figura 4.10 Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.	114
Figura 4.11 Pantalla de resultado de compresión de la probeta.....	115
Figura 4.12 Ensayo a la flexión de vigas.	116
Figura 4.13 Pantalla para ingresar los datos correspondientes al ensayo.	116
Figura 4.14 Pantalla de resultado del ensayo a la flexión de la viga.	117
Figura 4.15 Curva resistencia del hormigón vs. % de arcilla expandida a los 28 días de edad.	128
Figura 4.16 Curva densidad del hormigón endurecido vs. % de arcilla expandida	129
Figura 4.17 Curva resistencia a la Flexión vs. % de arcilla expandida.....	130
Figura 4.18 Diagrama de barras resistencia a compresión vs. % de arcilla expandida	131
Figura 4.19 Diagrama de barras resistencia a flexión vs. % de arcilla expandida	132
Figura 4.20 Comparación del precio de 1 m ³ de hormigón con adición de	

arcilla expandida.140