

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**



**ANÁLISIS DE LA MEJORA DE PUESTA EN OBRA Y DURABILIDAD DE  
LOS RIEGOS DE LIGA CON NANOMATERIALES (POLVO DE SILICIO Y  
GRAFITO)**

Elaborado por:

**CASTRO MERCADO WILBER**

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN presentada a consideración de la  
"UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para  
optar el grado académico de Licenciatura en ingeniería civil.

SEMESTRE I-2018

TARIJA – BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DEPARTAMENTO DE TOPOGRAFÍA**

**Y VÍAS DE COMUNICACIÓN**

**“ANÁLISIS DE LA MEJORA DE PUESTA EN OBRA Y DURABILIDAD DE  
LOS RIEGOS DE LIGA CON NANOMATERIALES (POLVO DE SILICIO Y  
GRAFITO)”**

**Por:**

**WILBER CASTRO MERCADO**

**SEMESTRE I - 2018**

**TARIJA – BOLIVIA**

.....  
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozálvez

**DECANO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
Y TECNOLOGÍA**

.....  
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa

**VICEDECANA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

**TRIBUNAL:**

.....  
**Ing. Jhonny M. Orgaz Fernández**

.....  
**Ing. Eusebio Ortega Alvarado**

.....  
**Ing. Ricardo N. Morales Retamozo**

### **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 lo dedico primeramente a Dios por permitirme alcanzar este objetivo, y por brindarme sabiduría, paciencia, fuerza y voluntad para realizar esta tesis, y estar siempre conmigo en cada momento de mi vida.

A mis padres: Lino Castro Rodríguez. y Yolanda Mercado Castillo. Por brindarme su apoyo en todas las etapas de mi vida hasta este momento y haber sabido guiarme por el camino del bien, e inculcarme buenos valores.

A mis hermanos (as): por todo su apoyo que siempre me dieron y saber que cuento con ellos en todo momento.

A todas las personas que de una u otra manera contribuyeron a la culminación de este trabajo.

### **AGRADECIMIENTO:**

A DIOS primeramente por permitirme la gracia de la vida y por las fuerzas que me brindó para levantarme en los momentos difíciles, finalmente por permitirme concluir esta meta.

A mis padres: por inculcarme buenos valores que me han permitido lograr esta meta. Por apoyarme incondicionalmente, este logro es gracias a ustedes, gracias por la confianza que han tenido y depositado en mí persona.

A mi hermano y hermana por brindarme su apoyo incondicional en todo momento.

A mis amigos y amigas que no dudaron en brindarme su apoyo en los buenos y malos momentos, en especial por su amistad.

**PENSAMIENTO:**

Podrán desfallecer mi cuerpo y espíritu, pero  
Dios fortalece mi corazón; él es mi herencia  
eterna.

- Salmos 73:26

# ÍNDICE DE CONTENIDO

## CAPÍTULO I

	<b>Página</b>
1.1. Introducción.....	1
1.2. Justificación.....	2
1.3. Planteamiento del problema.....	3
1.3.1. Situación problemática .....	3
1.3.2. Problema.....	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.6. Definición de variables independientes y dependientes.....	6
1.6.1. Variable independiente .....	6
1.6.2. Variable dependiente.....	6
1.7. Diseño metodológico.....	7
1.7.1. Componentes.....	7
1.7.1.1. Unidades de estudio y decisión muestral.....	7
1.7.1.2. Unidades de estudio .....	7
1.7.1.3. Población de estudio .....	7
1.7.1.4. Decisión muestral.....	7
1.8. Métodos y técnicas empleadas.....	7
1.8.1. Método inductivo.....	8
1.8.2. Técnicas empleadas.....	9
1.8.2.1. Diseño experimental.....	9
1.8.2.2. Técnica.....	9
1.8.3. Metodología.....	10



1.8.4. Técnicas de muestreo .....	11
1.8.4.1. Técnicas de muestreo no probabilística .....	11
1.8.4.2. Descripción de equipos e instrumentos.....	11
1.8.4.2.1 Para la caracterización de los agregados de capa base .....	11
1.8.4.2.2 Para caracterización de los asfaltos .....	11
1.8.4.2.3 Para caracterización de los agregados para la mezcla asfáltica.....	12
1.8.4.2.4 Para elaboración de probetas .....	12
1.8.5 Descripción de instrumentos .....	12
1.8.6 Procedimiento de aplicación .....	16
1.9 Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información.....	20
1.9.1 Estadística descriptiva.....	20
1.9.1.1 Gráficos estadísticos a utilizar .....	21
1.9.1.2 Medidas de dispersión.....	21
1.10 Alcance de la investigación.....	22

## **CAPÍTULO II**

### **CEMENTO ASFÁLTICO, RIEGO DE LIGA Y NANOMATERIALES**

2.1 Antecedentes de los asfaltos .....	24
2.2 Definición.....	26
2.3 Producción de asfalto.....	27
2.4 Composición del asfalto .....	29
2.5 Propiedades físicas de los asfaltos.....	31
2.5.1 Durabilidad .....	31
2.5.2 Adhesión y cohesión .....	32
2.5.3 Susceptibilidad a la temperatura.....	32
2.5.4 Endurecimiento y envejecimiento .....	33
2.6 Propiedades químicas del asfalto.....	34
2.7 Ensayos empíricos de del cemento asfáltico.....	35

2.8	Definición de mezclas asfálticas.....	39
2.8.1.	Mezcla asfáltica en caliente.....	40
2.8.1.1	Propiedades de las mezclas asfálticas en caliente .....	40
2.8.2	Mezcla asfáltica en frío .....	41
2.9	Diseño de mezclas asfálticas.....	42
2.9.1	Propiedades consideradas en el diseño de mezclas asfálticas.....	43
2.9.2	Características de los materiales pétreos para las mezclas asfálticas.....	44
2.9.3	Porcentaje de asfalto en la mezcla .....	48
2.9.3.1	Mezcla asfáltica densa .....	49
2.9.3.2	Mezcla asfáltica abierta.....	49
2.10	Tipos de asfaltos .....	50
2.10.1	Asfaltos rebajados de fraguado rápido (FR).....	51
2.10.2	Asfaltos rebajados de fraguado medio (FM) .....	51
2.10.3	Asfaltos rebajados de fraguado lento (FL).....	52
2.11	Reacción del asfalto ante altas temperaturas .....	52
2.12	Definición de riego de imprimación .....	53
2.13	Definición de riego de liga .....	54
2.14	Riego de liga en Bolivia.....	55
2.15	Componentes del riego de liga .....	56
2.16	Propiedades del riego de liga.....	56
2.17	Importancia del riego de liga .....	57
2.18	Aplicación del riego de liga.....	61
2.19	Falla por adherencia en pavimento flexible .....	62
2.20	Procedimiento de puesta en obra del riego de liga .....	67
2.21	Condiciones que debe tener la superficie para recibir el riego de liga .....	70
2.22	Errores más frecuentes que se comete con los riegos de liga .....	70
2.23	Maquinaria y equipo utilizado para la aplicación del riego de liga.....	73
2.24	Limitaciones de la ejecución, puesta en obra y habilitación al tránsito.....	74
2.25	Presión y temperatura de aplicación del riego de liga .....	75
2.26	Consideraciones básicas en la aplicación y puesta en obra del riego de liga .....	76

2.27	Tramo de prueba .....	77
2.28	Plan de control de calidad de riego de liga .....	79
2.29	Plan de ensayo sobre el proceso de distribución del riego de liga.....	81
2.30	Tipos de emulsión asfáltica a utilizar.....	82
2.31	Conservación del riego de liga .....	83
2.32	Efectos nocivos para los riegos de liga.....	85
2.33	Análisis de durabilidad del riego de liga .....	85
2.34	Nanomateriales.....	87
2.35	Características de los nanomateriales es asfaltos.....	88
2.36	Polvo de silicio.....	89
	2.36.1 Propiedades.....	90
	2.36.2 El silicio en Bolivia.....	91
2.37	El grafito .....	92
	2.37.1 Propiedades.....	94
	2.37.2 El grafito en el sector minero de Bolivia.....	94
2.38	Efecto físico-químico de polvo silicio y grafito en los riegos de liga.....	95
2.39	Adherencia .....	95

### **CAPÍTULO III**

#### **APLICACIÓN PRÁCTICA**

3.1	Planteamiento de la investigación.....	98
3.2	Procedencia de los materiales.....	98
	3.2.1 Capa base granular.....	98
	3.2.2 Agregados pétreos.....	100
	3.2.3 Cemento asfáltico.....	101
	3.2.4 Emulsificante .....	102
3.3	Ensayos de caracterización de los materiales.....	102
	3.3.1 Caracterización de la capa base .....	102
	3.3.1.1 Análisis granulométrico de la capa base (documento referencial ASTM D422 AASHTO T88).....	102

3.3.1.2	Determinación del límite líquido del suelo de la capa base (documento referencial ASTM D4318 AASHTO T89 y AASHTO T90).....	104
3.3.1.3	Ensayo de compactación considerando familias de curvas método de un punto (documento referencial AASHTO T272).....	107
3.3.1.4	Determinación de la relación de soporte del suelo del laboratorio (CBR de laboratorio) (documento referencial ASTM D1883 AASHTO T193).....	110
3.3.1.5	Clasificación del suelo de la capa base método AASHTO Y SUCS .....	118
3.3.2	Caracterización de los agregados.....	119
3.3.2.1	Análisis granulométrico de los agregados (documento referencial ASTM E40 C136 AASHTO T27-99).....	119
3.3.2.2	Peso específico y absorción del agregado grueso (documento referencial ASTM C127, AASHTO T85) .....	124
3.3.2.3	Peso específico y absorción del agregado fino (ASTM C128, AASHTO T84) .....	126
3.3.2.4	Peso unitario de los agregados gruesos y finos (ASTM C 29M-97, AASHTO T-27).....	128
3.3.2.5	Equivalente de arena (ASTM D2419, AASHTO T176).....	130
3.3.2.6	Ensayo de desgaste de los agregados por medio de la máquina de los ángeles (ASTM C131, AASHTO T96).....	132
3.3.2.7	Método para determinar el índice de lasjas (AASHTO C-142).....	134
3.3.2.8	Método de los sulfatos para determinar la durabilidad del agregado grueso y fino (ASTM E88, AASHTO T104-99).....	136
3.3.3	Caracterización del cemento asfáltico .....	138
3.3.3.1	Ensayo de penetración de materiales bituminosos (documento referencial ASTM D5, AASHTO T49-97).....	138

3.3.3.2	Ensayo de ductilidad de materiales bituminosos (ASTM D113, AASHTO T51-00).....	139
3.3.3.3	Ensayo de punto de inflamación mediante el vaso abierto de cleveland (ASTM D22, AASHTO T48).....	141
3.3.3.4	Ensayo para determinar el punto de ablandamiento con el aparato de anillo y bola (ASTM D36-89, AASHTO T53-92).....	142
3.3.3.5	Ensayo para determinar la gravedad específica (ASTM D70-76, AASHTO T228-93).....	143
3.4	Elaboración de la mezcla asfáltica .....	145
3.4.1	Diseño de la mezcla asfáltica siguiendo el método Marshall.....	145
3.4.2	Procedimiento para la realización del diseño Marshall de la mezcla asfáltica.....	146
3.4.2.1	Descripción de los instrumentos utilizados.....	146
3.4.2.2	Preparación de la mezcla asfáltica (construcción de las briquetas).....	148
3.4.3	Gradación de los agregados para el diseño de mezclas asfálticas densas siguiendo el método Marshall.....	149
3.5	Procedimiento del ensayo realizado en laboratorio.....	152
3.5.1	Dosificación de la mezcla en función a la cantidad de cemento asfáltico.....	152
3.5.2	Contenido mínimo de cemento asfáltico.....	153
3.5.2.1	Proceso de compactación de las muestras .....	154
3.5.3	Caracterización de las mezclas compactas para la determinación del contenido óptimo de asfalto .....	156
3.5.3.1	Determinación de la densidad de los especímenes .....	156
3.5.3.2	Determinación de la estabilidad y fluencia .....	158
3.5.3.3	Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico.....	162
3.6	Caracterización del polvo de silicio y grafito .....	163
3.6.1	Caracterización del polvo de silicio.....	163
3.6.1.1	Peso específico del polvo de silicio ASTM D854 AASHTO T100.....	163

3.6.1.2 Ensayo del hidrómetro para la granulometría del polvo de silicio ASTM D422 .....	167
3.6.2 Caracterización del grafito.....	173
3.6.2.1 Peso específico del grafito ASTM D854 AASHTO T100.....	173
3.6.2.2 Ensayo de hidrómetro para granulometría del grafito ASTM D422 .....	174
3.7 Descripción y características de los asfaltos líquidos o cortados a utilizar como riego de liga .....	178
3.7.1 Asfalto líquido de curado rápido (RC).....	179
3.7.2 Dosificación del riego de liga .....	179
3.7.2.1 Determinación de las cantidades de cemento asfáltico y solvente para riego de liga.....	180
3.7.2.2 Resultado de la cantidad de cemento asfáltico y solvente para la dosis de riego de liga.....	182
3.7.3 Metodología de aplicación del riego de liga.....	182
3.7.3.1 Determinación de la cantidad de ligante a aplicar .....	183
3.7.4 Calculo de cantidad de polvo de silicio como modificador de riego de liga.....	184
3.7.5 Calculo de cantidad de grafito como modificador de riego de liga.....	185
3.8 Construcción de probetas .....	186
3.8.1 Elaboración de las probetas para el ensayo de corte.....	186
3.8.1.1 Metodología de fabricación de la capa base granular de la probeta.....	187
3.8.1.2 Aplicación del riego de liga .....	189
3.8.1.3 Elaboración de la capa de pavimento flexible.....	190
3.8.1.4 Compactación de las muestras.....	192
3.9 Mejoramiento de puesta en obra del riego de liga .....	193
3.9.1 Dotación de riego de liga.....	193
3.9.2 Presentación de dotación en obra.....	194
3.9.3 Equipos de obra.....	194

3.9.3.1	Tanques de almacenamiento de la emulsión asfáltica.....	194
3.9.3.2	Equipos para la distribución.....	195
3.10	Desarrollo de los ensayos.....	196
3.10.1	Ensayo de adherencia de capas (UNE-EN 12697-48 ensayo SBT).....	196
3.10.1.1	Instrumentos y equipos utilizados.....	197
3.10.1.2	Procedimiento del ensayo de corte.....	199
3.10.2	Ensayo de resistencia a carga con la prensa de hormigón de probetas cilíndricas (ASTM C39 AASHTO T22).....	201
3.10.2.1	Instrumentos y equipos utilizados.....	201
3.10.2.2	Procedimiento del ensayo de compresión.....	203
3.10.3	Ensayo de peso volumétrico.....	204
3.10.3.1	Instrumentos y equipos utilizados para el ensayo.....	204
3.10.3.2	Procedimiento del ensayo.....	205
3.10.4	Ensayo de cántabro.....	205
3.10.4.1	Instrumentos y equipos utilizados.....	206
3.10.4.2	Procedimiento de la práctica.....	206
3.10.5	Ensayo de resistencia a la penetración del agua a la capa base.....	208
3.11	Presentación de resultados.....	208
3.11.1	Ensayo de adherencia.....	209
3.11.1.1	Asfalto líquido o rebajado RC-70 (curado rápido) modificado con polvo de silicio.....	209
3.11.1.2	Asfalto líquido o rebajado RC-70 (curado rápido) modificado con grafito.....	219
3.11.1.3	Asfalto Líquido o rebajado RC-70 (curado rápido) convencional.....	229
3.11.1.4	Resultados de adherencia para diferentes dotaciones de polvo de silicio al riego de liga de curado rápido RC-70.....	231
3.11.1.5	Resultados de adherencia para diferentes dotaciones de grafito al riego de liga de curado rápido RC-70.....	234
3.11.1.6	Determinación del mejor porcentaje de adición de polvo de silicio.....	237
3.11.1.7	Determinación de mejor porcentaje de adición de grafito.....	238

3.11.1.8 Comparación de adherencia entre riego de liga modificado con polvo de silicio y grafito y el riego de liga convencional.....	239
3.11.2 Ensayo a compresión de las probetas.....	240
3.11.2.1 Ensayo a compresión de las probetas con riego de liga modificado con silicio .....	240
3.11.2.2 Ensayo a compresión de las probetas con riego de liga modificado con grafito .....	241
3.11.2.3 Ensayo a compresión de las probetas con riego de liga convencional.....	242
3.11.3 Peso volumétrico de las probetas modificadas con polvo de silicio y grafito .....	243
3.11.4 Ensayo de cántabro.....	245
3.11.5 Ejecución de las obras.....	248
3.11.5.1 Preparación de la superficie de apoyo .....	248
3.11.5.2 Aplicación del riego de liga .....	250
3.11.5.3 Juntas transversales .....	252
3.11.5.4 Coordinación de la puesta en obra .....	253
3.11.6 Tramo de prueba.....	253
3.11.7 Limitaciones de la ejecución y habilitación al tránsito.....	254
3.11.8 Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de liga .....	255
3.11.9 Requisitos del proceso de ejecución .....	256
3.11.9.1 Dotación del residuo asfáltico .....	256
3.11.9.2 Evaluación visual.....	257
3.11.9.3 Adherencia entre capas.....	257
3.11.10 Seguimiento a la dotación de riego de liga en el tramo Temporal San Jacinto.....	258

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

4.1 Análisis de resultados obtenidos .....	261
--	-----



4.1.1 Ensayo de adherencia (resistencia al corte) .....	261
4.1.1.1 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con polvo de silicio.....	262
4.1.1.2 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con grafito.....	267
4.1.1.3 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con riego de liga convencional.....	272
4.1.2 Ensayo de carga (compresión) en la prensa hidráulica .....	276
4.1.2.1 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con silicio.....	276
4.1.2.2 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con grafito.....	277
4.1.2.3 Interpretación y tratamiento estadístico de resultados obtenidos con riego convencional.....	278
4.1.3 Ensayo de relación volumétrica.....	280
4.1.4 Ensayo de cántabro ( desgaste).....	284
4.2 Validación de resultados .....	286
4.3 Análisis de costos .....	291

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1 Conclusiones.....	297
5.2 Recomendaciones .....	299

BIBLIOGRAFIA.....	301
-------------------	-----

## **ANEXOS**

ANEXO A Caracterización de la capa base
ANEXO B Caracterización de material pétreo
ANEXO C Caracterización del cemento asfáltico

ANEXO D Planillas de ensayos de hidrómetro del silicio y grafito, ensayo de adherencia (corte), ensayo a compresión, relación volumétrica.

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1.1.</b> Balanza digital.....	13
<b>Figura 1.2.</b> Horno eléctrico .....	13
<b>Figura 1.3.</b> Serie de tamices metálicos .....	14
<b>Figura 1.4.</b> Ductilímetro .....	14
<b>Figura 1.5.</b> Penetrómetro.....	15
<b>Figura 1.6.</b> Viscosímetro .....	15
<b>Figura 1.7.</b> Picnómetro .....	16
<b>Figura 2.1.</b> Ensayo de penetración .....	35
<b>Figura 2.2.</b> Ensayo de punto de ablandamiento.....	37
<b>Figura 2.3.</b> Ensayo de ductilidad.....	37
<b>Figura 2.4.</b> Ensayo de punto de inflamación.....	38
<b>Figura 2.5.</b> Dotación de riego de liga.....	55
<b>Figura 2.6.</b> Estado de esfuerzo en interfaz de adherencia.....	58
<b>Figura 2.7.</b> Comparación de viga monolítica y viga multicapa.....	60
<b>Figura 2.8.</b> Dotación de riego de liga no uniforme .....	61
<b>Figura 2.9.</b> Esquemas de fuerza de compresión y tracción en viga sometida a flexión.....	64
<b>Figura 2.10.</b> Falla de tipo Shoving o corrimiento fotográfico.....	65
<b>Figura 2.11.</b> Falla de tipo Shoving o corrimiento, esquema y fotografía.....	66
<b>Figura 2.12.</b> Falla de tipo fisura en arco, esquema y fotografía.....	66
<b>Figura 2.13.</b> Patrones de rociado .....	68
<b>Figura 2.14.</b> Boquillas de distribución del camión distribuidor de riego de liga.....	69
<b>Figura 2.15.</b> Proceso de aplicación del riego de liga.....	69
<b>Figura 2.16.</b> Tasa insuficiente de aplicación del riego de liga.....	71

<b>Figura 2.17.</b> Curado del riego de liga.....	72
<b>Figura 2.18.</b> Camión distribuidor del riego de liga .....	74
<b>Figura 2.19.</b> Superficie no uniforme .....	76
<b>Figura 2.20.</b> Incorrecta y correcta aplicación de riego de liga por las boquillas.....	77
<b>Figura 2.21.</b> Polvo de silicio.....	90
<b>Figura 2.22.</b> Grafito.....	93
<b>Figura 3.1.</b> Ubicación de banco de capa base .....	99
<b>Figura 3.2.</b> Capa base en el banco de SE.DE.CA.....	99
<b>Figura 3.3.</b> Ubicación de la planta de áridos “Garzón”.....	100
<b>Figura 3.4.</b> Chancadora para la provisión de material.....	101
<b>Figura 3.5.</b> Acopio de grava en la chancadora “Garzón” .....	101
<b>Figura 3.6.</b> Especificaciones del cemento asfáltico.....	101
<b>Figura 3.7.</b> Material para analizar .....	102
<b>Figura 3.8.</b> Tamizado mediante lavado y secado .....	103
<b>Figura 3.9.</b> Curva granulométrica de la capa base .....	104
<b>Figura 3.10.</b> Material preparado para límites de plasticidad.....	105
<b>Figura 3.11.</b> Realización de ensayo de límites de plasticidad.....	105
<b>Figura 3.12.</b> Curva de límite líquido .....	106
<b>Figura 3.13.</b> Preparación del suelo para su compactación .....	108
<b>Figura 3.14.</b> Realización del ensayo de compactación.....	108
<b>Figura 3.15.</b> Grafica de compactación.....	109
<b>Figura 3.16.</b> Preparación de la suelo para ensayo de CBR.....	111
<b>Figura 3.17.</b> Realización del ensayo de CBR .....	111
<b>Figura 3.18.</b> Curva carga-penetración de CBR 1 .....	113
<b>Figura 3.19.</b> Curva CBR-peso unitario de CBR 1.....	113
<b>Figura 3.20.</b> Curva carga-penetración de CBR 2 .....	115
<b>Figura 3.21.</b> Curva CBR-peso unitario de CBR 2.....	115
<b>Figura 3.22.</b> Curva carga-penetración de CBR 3 .....	117
<b>Figura 3.23.</b> Curva CBR-peso unitario de CBR 3.....	117
<b>Figura 3.24.</b> Materiales para ser tamizado .....	120

<b>Figura 3.25.</b> Tamizado mediante los tamices normalizados ASTM .....	120
<b>Figura 3.26.</b> Curva granulométrica del agregado grueso (grava) .....	121
<b>Figura 3.27.</b> Curva granulométrica del agregado grueso (gravilla) .....	122
<b>Figura 3.28.</b> Curva granulométrica del agregado fino (arena).....	123
<b>Figura 3.29.</b> Muestra sumergida por 24 hrs.....	124
<b>Figura 3.30.</b> Muestra saturada con superficie seca.....	125
<b>Figura 3.31.</b> Obtención del peso sumergido de la muestra.....	125
<b>Figura 3.32.</b> Material sumergido por un tiempo de 24 hrs. ....	127
<b>Figura 3.33.</b> Verificación de la condición de saturado con superficie seca .....	127
<b>Figura 3.34.</b> Determinación del peso sumergido.....	127
<b>Figura 3.35.</b> Peso unitario del agregado grueso (grava) .....	129
<b>Figura 3.36.</b> Peso unitario del agregado grueso (gravilla) .....	129
<b>Figura 3.37.</b> Peso unitario del agregado fino (arena).....	129
<b>Figura 3.38.</b> Muestra de arena consolidada en la solución química.....	131
<b>Figura 3.39.</b> Medición del nivel de arena.....	131
<b>Figura 3.40.</b> Preparación de material para el ensayo de desgaste de los ángeles.....	132
<b>Figura 3.41.</b> Descripción de desgaste dentro de la máquina de los ángeles.....	133
<b>Figura 3.42.</b> Determinación del porcentaje de lajas .....	135
<b>Figura 3.43.</b> Fracción de material retenido en los diferentes tamices.....	136
<b>Figura 3.44.</b> Preparación de la solución de sulfato de sodio .....	137
<b>Figura 3.45.</b> Inmersión de la muestra en el sulfato de sodio .....	137
<b>Figura 3.46.</b> Realización de la penetración de la muestra.....	139
<b>Figura 3.47.</b> Ensayo de ductilidad.....	140
<b>Figura 3.48.</b> Realización del ensayo de punto de inflamación.....	141
<b>Figura 3.49.</b> Realización del ensayo de punto de ablandamiento .....	142
<b>Figura 3.50.</b> Picnómetros utilizados para determinar el peso específico .....	144
<b>Figura 3.51.</b> Determinación del peso del picnómetro + C.A. + agua .....	145
<b>Figura 3.52.</b> Curva granulométrica formada y fajas de control.....	152
<b>Figura 3.53.</b> Colocación de cantidades de agregados y cemento asfáltico.....	154
<b>Figura 3.54.</b> Mezcla preparada.....	154

<b>Figura 3.55.</b> Martillo para compactación .....	155
<b>Figura 3.56.</b> Compactación de la muestra, dando 75 golpes por cara.....	155
<b>Figura 3.57.</b> Extracción de las briquetas de los moldes.....	155
<b>Figura 3.58.</b> Determinación de las dimensiones de las briquetas .....	156
<b>Figura 3.59.</b> Determinación del peso de la briketa en estado seco.....	157
<b>Figura 3.60.</b> Determinación del peso sumergido.....	157
<b>Figura 3.61.</b> Determinación del peso saturado superficialmente seca .....	157
<b>Figura 3.62.</b> Briquetas sumergidas en baño María a 60 °C.....	158
<b>Figura 3.63.</b> Determinación de la estabilidad y fluencia de las briquetas.....	158
<b>Figura 3.64.</b> Gráficas del método Marshall para la determinación del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	161
<b>Figura 3.65.</b> Calibración del matraz en baño María .....	164
<b>Figura 3.66.</b> Incremento de temperatura del matraz en la hornalla eléctrica .....	164
<b>Figura 3.67.</b> Gráficas de la curva de calibración del matraz.....	165
<b>Figura 3.68.</b> Polvo de silicio para el peso específico .....	166
<b>Figura 3.69.</b> Preparación del silicio con defloculante .....	168
<b>Figura 3.70.</b> Lectura del hidrómetro.....	168
<b>Figura 3.71.</b> Curva granulométrica 1 del polvo de silicio.....	170
<b>Figura 3.72.</b> Curva granulométrica 2 del polvo de silicio.....	171
<b>Figura 3.73.</b> Curva granulométrica 3 del polvo de silicio.....	172
<b>Figura 3.74.</b> Matraz más muestra sometido a baño María.....	173
<b>Figura 3.75.</b> Determinación de temperatura y peso del matraz más muestra .....	173
<b>Figura 3.76.</b> Preparación y reposo del grafito con defloculante.....	174
<b>Figura 3.77.</b> Lectura del hidrómetro en la probeta .....	175
<b>Figura 3.78.</b> Curva Granulométrica 1 del grafito .....	176
<b>Figura 3.79.</b> Curva Granulométrica 2 del grafito .....	177
<b>Figura 3.80.</b> Curva Granulométrica 3 del grafito .....	178
<b>Figura 3.81.</b> Materiales para la preparación del riego de liga.....	182
<b>Figura 3.82.</b> Estructura de la probeta cilíndrica .....	186
<b>Figura 3.83.</b> Tamizado del suelo.....	187

<b>Figura 3.84.</b> Preparación del suelo para su humedad optima .....	188
<b>Figura 3.85.</b> Compactación del suelo en los moldes.....	188
<b>Figura 3.86.</b> Probetas compactadas de suelo 15cm.....	188
<b>Figura 3.87.</b> Aplicación del riego de liga modificado con la cantidad calculada ....	189
<b>Figura 3.88.</b> Probetas después de la aplicación del riego de liga modificada .....	190
<b>Figura 3.89.</b> Preparado de la muestra previo al mezclado .....	191
<b>Figura 3.90.</b> Proceso de mezclado.....	192
<b>Figura 3.91.</b> Compactado de la muestra con 150 golpes .....	193
<b>Figura 3.92.</b> Esquema del ensayo de adherencia.....	196
<b>Figura 3.93.</b> Dispositivo de carga (prensa).....	197
<b>Figura 3.94.</b> Probeta a someter a corte .....	198
<b>Figura 3.95.</b> Dispositivo de ensayo de corte .....	199
<b>Figura 3.96.</b> Colocado de la briqueta dentro de la mordaza .....	199
<b>Figura 3.97.</b> Realización del ensayo de corte.....	200
<b>Figura 3.98.</b> Esquema del ensayo .....	201
<b>Figura 3.99.</b> Esquema del ensayo .....	202
<b>Figura 3.100.</b> Pesaje de cada probeta para ensayo de compresión.....	202
<b>Figura 3.101.</b> Rotura de la probeta a compresión .....	203
<b>Figura 3.102.</b> Medición y pesaje de las probetas .....	205
<b>Figura 3.103.</b> Proceso de colocación a la máquina de desgaste .....	207
<b>Figura 3.104.</b> Probetas después del ensayo de desgaste.....	207
<b>Figura 3.105.</b> Probetas sometidas al ensayo penetración del agua.....	208
<b>Figura 3.106.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 2% de silicio .....	210
<b>Figura 3.107.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 4% de silicio .....	212
<b>Figura 3.108.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 6% de silicio .....	214
<b>Figura 3.109.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 8% de silicio .....	216

<b>Figura 3.110.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 10% de silicio .....	218
<b>Figura 3.111.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 2% de grafito.....	220
<b>Figura 3.112.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 4% de grafito.....	223
<b>Figura 3.113.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 6% de grafito.....	225
<b>Figura 3.114.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 8% de grafito.....	227
<b>Figura 3.115.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga modificado con 10% de grafito.....	229
<b>Figura 3.116.</b> Resultados de cargas de rotura en cada probeta ligadas con riego de liga convencional.....	231
<b>Figura 3.117.</b> Resultados de adherencia con 2% y 4% de silicio.....	232
<b>Figura 3.118.</b> Resultados de adherencia con 6% y 8% de silicio.....	233
<b>Figura 3.119.</b> Resultados de adherencia con 10% de silicio.....	233
<b>Figura 3.120.</b> Resultados de adherencia con los 5 porcentajes de silicio.....	234
<b>Figura 3.121.</b> Resultados de adherencia con 2% y 4% de grafito.....	235
<b>Figura 3.122.</b> Resultados de adherencia con 6% y 8% de grafito.....	236
<b>Figura 3.123.</b> Resultados de adherencia con 10% de grafito .....	236
<b>Figura 3.124.</b> Resultados de adherencia con los 5 porcentajes de grafito.....	237
<b>Figura 3.125.</b> Resultados de contenido optimo con los 5 porcentajes de silicio.....	238
<b>Figura 3.126.</b> Resultados de contenido optimo con los 5 porcentajes de grafito.....	239
<b>Figura 3.127.</b> Resultados de riego con silicio vs riego convencional.....	239
<b>Figura 3.128.</b> Resultados de riego con grafito vs riego convencional .....	240
<b>Figura 3.129.</b> Diagrama d resistencia a compresión de riego con silicio.....	241
<b>Figura 3.130.</b> Diagrama de resistencia a compresión de riego con grafito .....	242
<b>Figura 3.131.</b> Diagrama de resistencia a compresión de riego convencional.....	243
<b>Figura 3.132.</b> Diagrama de peso volumétrico vs porcentaje de silicio.....	244

<b>Figura 3.133.</b> Diagrama de peso volumétrico vs porcentaje de grafito.....	245
<b>Figura 3.134.</b> Diagrama de desgaste de probetas con riego modificado con silicio.....	246
<b>Figura 3.135.</b> Diagrama de desgaste de probetas con riego modificado con grafito.....	247
<b>Figura 3.136.</b> Diagrama de desgaste de probetas con riego convencional.....	248
<b>Figura 3.137.</b> Superficie inadecuada tramo Temporal San Jacinto .....	249
<b>Figura 3.138.</b> Superficie con presencia de polvo, huellas y suelo cohesivo tramo Temporal San Jacinto .....	249
<b>Figura 3.139.</b> Distribución no uniforme de riego de liga tramo Temporal San Jacinto.....	252
<b>Figura 3.140.</b> Distribución donde no se toma en cuenta las juntas tramo Temporal San Jacinto .....	252
<b>Figura 3.141.</b> Condición de la vía después del riego de liga tramo Temporal San Jacinto.....	253
<b>Figura 3.142.</b> Riego completado de los 2 carriles.....	258
<b>Figura 3.143.</b> Camión distribuyendo el riego de liga.....	258
<b>Figura 3.144.</b> Condición de los aspersores de riego de liga.....	259
<b>Figura 4.1.</b> Resistencias a corte de cada probeta modificada con porcentajes de polvo de silicio.....	263
<b>Figura 4.2.</b> Resultados de la resistencia a corte para las distintos porcentajes de silicio añadido al ligante de curado rápido RC-70.....	265
<b>Figura 4.3.</b> Determinación de porcentaje óptimo para una mejor adherencia con polvo de silicio.....	266
<b>Figura 4.4.</b> Resistencias a corte de cada probeta, con diferente porcentaje de grafito añadido al riego de liga.....	268
<b>Figura 4.5.</b> Resultados de la resistencia a corte para las distintos porcentajes de grafito añadido al ligante de curado rápido RC-70 .....	270
<b>Figura 4.6.</b> Determinación de porcentaje óptimo para una mejor adherencia con grafito.....	271



<b>Figura 4.7.</b> Resistencia al corte del riego de liga convencional.....	272
<b>Figura 4.8.</b> Comparación de la carga de rotura del riego de liga con polvo de silicio vs riego de liga con grafito .....	274
<b>Figura 4.9.</b> Resistencia media del riego de liga convencional.....	274
<b>Figura 4.10.</b> Variación de la resistencia a corte respecto a la dotación de polvo de silicio .....	275
<b>Figura 4.11.</b> Variación de la resistencia a corte respecto a la dotación de grafito ....	275
<b>Figura 4.12.</b> Variación de la resistencia a compresión del riego de liga modificado con silicio y grafito .....	279
<b>Figura 4.13.</b> Variación de la resistencia a compresión del riego de liga convencional.....	279
<b>Figura 4.14.</b> Variación del peso volumétrico de probetas con riego de liga modificado con polvo de silicio y grafito .....	282
<b>Figura 4.15.</b> Perdida por desgaste de probetas con riego de liga modificado con polvo de silicio .....	283
<b>Figura 4.16.</b> Perdida por desgaste de probetas con riego de liga modificado con grafito .....	284
<b>Figura 4.17.</b> Perdida por desgaste de probetas con riego de liga convencional.....	285
<b>Figura 4.18.</b> Riego de imprimación no uniforme .....	287
<b>Figura 4.19.</b> Condición de la superficie .....	287
<b>Figura 4.20.</b> Control de la dotación de riego de liga.....	288
<b>Figura 4.21.</b> Penetración del agua en las probetas.....	289
<b>Figura 4.22.</b> Penetración del agua en la probeta de riego de liga convencional .....	290
<b>Figura 4.23.</b> Penetración del agua en la probeta de riego de liga modificado con silicio .....	290
<b>Figura 4.24.</b> Penetración del agua en la probeta de riego de liga modificado con grafito .....	291

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1.1.</b> Número de ensayos a realizar para la elaboración de las probetas.....	18
<b>Tabla 1.2.</b> Elaboración de briquetas para obtener la cantidad óptima de C.A .....	19
<b>Tabla 2.1.</b> Composición de un asfalto.....	30
<b>Tabla 2.2.</b> Clasificación de asfalto según su dureza .....	36
<b>Tabla 2.3.</b> Prueba de Marshall para una mezcla densa.....	49
<b>Tabla 2.4.</b> Prueba de Marshall para una mezcla abierta .....	50
<b>Tabla 2.5.</b> Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de liga.....	81
<b>Tabla 3.1.</b> Resultados de la granulometría de la capa base .....	103
<b>Tabla 3.2.</b> Resultados de límite líquido .....	106
<b>Tabla 3.3.</b> Resultados de límite plástico.....	106
<b>Tabla 3.4.</b> Resultados de la compactación.....	109
<b>Tabla 3.5.</b> Datos de contenido de humedad y peso unitario CBR1 .....	112
<b>Tabla 3.6.</b> Datos y cálculos de expansión de CBR 1.....	112
<b>Tabla 3.7.</b> Resultados de CBR 1.....	112
<b>Tabla 3.8.</b> Datos y Resultados de humedad y peso unitario de CBR 2.....	114
<b>Tabla 3.9.</b> Datos y cálculos de expansión de CBR 2.....	114
<b>Tabla 3.10.</b> Resultados de CBR 2.....	114
<b>Tabla 3.11.</b> Datos y Resultados de humedad y peso unitario de CBR 3.....	116
<b>Tabla 3.12.</b> Datos y cálculos de expansión de CBR 3.....	117
<b>Tabla 3.13.</b> Resultados de CBR 3.....	117
<b>Tabla 3.14.</b> Clasificación de suelo método AASHTO .....	118
<b>Tabla 3.15.</b> Clasificación de suelo método SUCS .....	119
<b>Tabla 3.16.</b> Clasificación del suelo de la capa base .....	119
<b>Tabla 3.17.</b> Resultados de la granulometría del agregado grueso (grava) .....	121
<b>Tabla 3.18.</b> Resultados del análisis granulométrico de la gravilla .....	122
<b>Tabla 3.19.</b> Resultados del análisis granulométrico del agregado fino.....	123
<b>Tabla 3.20.</b> Resultados del peso específico del agregado grueso (grava).....	126

<b>Tabla 3.21.</b> Resultados de peso específico del agregado grueso (gravilla).....	126
<b>Tabla 3.22.</b> Resultados del peso específico del agregado fino (arena).....	128
<b>Tabla 3.23.</b> Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (grava).....	130
<b>Tabla 3.24.</b> Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso (gravilla).....	130
<b>Tabla 3.25.</b> Peso unitario suelto y compactado del agregado fino (arena).....	130
<b>Tabla 3.26.</b> Resultados de equivalencia de arena .....	132
<b>Tabla 3.27.</b> Peso del agregado y número de esferas para agregados gruesos.....	133
<b>Tabla 3.28.</b> Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (grava)....	134
<b>Tabla 3.29.</b> Resultados obtenidos del ensayo de desgaste de los ángeles (gravilla) .	134
<b>Tabla 3.30.</b> Resultados del ensayo de índice de lajas .....	136
<b>Tabla 3.31.</b> Resultados de la durabilidad a los sulfatos del agregado grueso.....	137
<b>Tabla 3.32.</b> Resultados de la durabilidad a los sulfatos del agregado fino .....	138
<b>Tabla 3.33.</b> Resultados del ensayo de penetración.....	139
<b>Tabla 3.34.</b> Resultados del ensayo de ductilidad.....	140
<b>Tabla 3.35.</b> Resultados del ensayo de punto de inflamación.....	141
<b>Tabla 3.36.</b> Resultados del ensayo de punto de ablandamiento .....	142
<b>Tabla 3.37.</b> Resultados del ensayo de gravedad específica.....	144
<b>Tabla 3.37.</b> Resumen de ensayos de cemento asfáltico.....	145
<b>Tabla 3.39.</b> Graduación de los agregados y franjas granulométricas de control para mezclas asfálticas densas.....	150
<b>Tabla 3.40.</b> Curva granulométrica formada para el diseño de mezclas asfálticas densas .....	151
<b>Tabla 3.41.</b> Cantidad de agregados y cemento asfáltico para la preparación de la mezcla .....	153
<b>Tabla 3.42.</b> Pesos específicos de los materiales .....	159
<b>Tabla 3.43.</b> Resultados obtenidos del ensayo por el método Marshall.....	160
<b>Tabla 3.44.</b> Resumen de resultados para la obtención del porcentaje óptimo de cemento asfáltico.....	162
<b>Tabla 3.45.</b> Peso y temperatura de calibración del matraz.....	165
<b>Tabla 3.46.</b> Determinación del peso específico del polvo de silicio .....	166

<b>Tabla 3.47.</b> Valores de profundidad efectiva basados en hidrómetros y cilindros de sedimentación dados .....	169
<b>Tabla 3.48.</b> Hidrómetro 1 del polvo de silicio.....	170
<b>Tabla 3.49.</b> Hidrómetro 2 del polvo de silicio.....	171
<b>Tabla 3.50.</b> Hidrómetro 3 del polvo de silicio.....	172
<b>Tabla 3.51.</b> Determinación del peso específico del grafito .....	174
<b>Tabla 3.52.</b> Hidrómetro 1 del grafito.....	175
<b>Tabla 3.53.</b> Hidrómetro 2 del grafito.....	176
<b>Tabla 3.54.</b> Hidrómetro 3 del grafito.....	177
<b>Tabla 3.55.</b> Cantidades de cemento asfáltico y solvente para fabricación del asfalto líquido.....	178
<b>Tabla 3.56.</b> Especificaciones para asfaltos líquidos de curado rápido (RC) .....	179
<b>Tabla 3.57.</b> Dosificación seleccionada para riego de liga .....	180
<b>Tabla 3.58.</b> Cantidad de asfalto y solvente para riego de liga de curado rápido (RC-70) .....	182
<b>Tabla 3.59.</b> Cantidad de riego de liga de curado rápido para cada probeta.....	184
<b>Tabla 3.60.</b> Cantidad de riego de liga y polvo de silicio .....	185
<b>Tabla 3.61.</b> Cantidad de riego de liga y grafito .....	185
<b>Tabla 3.62.</b> Cantidad de material para cada probeta en función al porcentaje óptimo de asfalto.....	191
<b>Tabla 3.63.</b> Ensayo de adherencia entre capas.....	193
<b>Tabla 3.64.</b> Requisitos que debe cumplir la dotación de obra.....	194
<b>Tabla 3.65.</b> Requisitos que deben cumplir los elementos de transporte y almacenamiento de emulsiones asfálticas.....	195
<b>Tabla 3.66.</b> Requisitos que deben cumplir los elementos distribuidores de emulsiones asfálticas.....	195
<b>Tabla 3.67.</b> Porcentajes de nanomateriales con los que se trabajara .....	197
<b>Tabla 3.68.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 2% de polvo de silicio .....	209

<b>Tabla 3.69.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 4% de polvo de silicio .....	211
<b>Tabla 3.70.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 6% de polvo de silicio .....	213
<b>Tabla 3.71.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 8% de polvo de silicio .....	215
<b>Tabla 3.72.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 10% de polvo de silicio .....	217
<b>Tabla 3.73.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 2% de grafito .....	219
<b>Tabla 3.74.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 4% de grafito .....	221
<b>Tabla 3.75.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 6% de grafito .....	223
<b>Tabla 3.76.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 8% de grafito .....	225
<b>Tabla 3.77.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga modificado con 10% de grafito .....	227
<b>Tabla 3.78.</b> Resultados de cargas de rotura y esfuerzos cortantes máximos de probetas ligadas con riego de liga convencional.....	229
<b>Tabla 3.79.</b> Resultados de adherencia de probetas ligadas con riego de liga con 5 porcentajes de silicio .....	231
<b>Tabla 3.80.</b> Resultados de adherencia de probetas ligadas con riego de liga con 5 porcentajes de grafito .....	234
<b>Tabla 3.81.</b> Resultados de promedio de adherencia de probetas con polvo de silicio .....	237

<b>Tabla 3.82.</b> Resultados de promedio de adherencia de probetas con grafito .....	238
<b>Tabla 3.83.</b> Resultados de carga con la prensa de probetas con silicio .....	240
<b>Tabla 3.84.</b> Resultados de carga con la prensa de probetas con grafito .....	241
<b>Tabla 3.85.</b> Resultados de carga con la prensa de probetas con riego convencional.....	242
<b>Tabla 3.86.</b> Resultados de peso volumétrico de probetas con silicio .....	243
<b>Tabla 3.87.</b> Resultados de peso volumétrico de probetas con grafito .....	244
<b>Tabla 3.88.</b> Resultados de cántabro de probetas con silicio .....	245
<b>Tabla 3.89.</b> Resultados de cántabro de probetas con grafito .....	246
<b>Tabla 3.90.</b> Resultados de cántabro de probetas con riego convencional.....	247
<b>Tabla 3.91.</b> Plan de ensayos sobre el proceso de distribución del riego de liga.....	256
<b>Tabla 3.92.</b> Plan de ensayos sobre unidad terminada.....	256
<b>Tabla 4.1.</b> Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de resistencia a corte, para el riego de liga con silicio .....	262
<b>Tabla 4.2.</b> Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de resistencia a corte, para el riego de liga convencional.....	263
<b>Tabla 4.3.</b> Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de resistencia a corte, para el riego de liga con grafito .....	267
<b>Tabla 4.4.</b> Tratamiento estadístico de los resultados obtenidos de resistencia a corte, para el riego de liga convencional.....	272
<b>Tabla 4.5.</b> Resumen estadístico de los resultados de resistencia a corte .....	273
<b>Tabla 4.6.</b> Resumen estadístico de los resultados de resistencia a compresión de riego modificado con silicio .....	276
<b>Tabla 4.7.</b> Resumen estadístico de los resultados de resistencia a compresión de riego modificado con grafito .....	277
<b>Tabla 4.8.</b> Resumen estadístico de los resultados de resistencia a compresión de riego convencional.....	278
<b>Tabla 4.9.</b> Resumen estadístico de los resultados de relación volumétrica de riego con silicio .....	280

<b>Tabla 4.10.</b> Resumen estadístico de los resultados de relación volumétrica de riego con grafito .....	281
<b>Tabla 4.11.</b> Desgaste de las probetas modificadas con silicio.....	283
<b>Tabla 4.12.</b> Desgaste de las probetas modificadas con grafito.....	284
<b>Tabla 4.13.</b> Desgaste de las probetas con riego de liga convencional.....	285
<b>Tabla 4.14.</b> Resultados de la medición de la cantidad de riego de imprimación, usando el método de las bandejas.....	288