

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



**“EVALUACIÓN DEL CONTACTO AGREGADO-AGREGADO Y VACÍOS EN
HORMIGÓN POROSO DE PAVIMENTO APLICANDO RAYOS X”**

Realizado por:
MANCILLA VELASQUEZ, GILMAR HIBRAHIN

GESTIÓN ACADÉMICA 2014

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi hija Isabella que es el suministro de fuerza que me impulsa a esforzarme y luchar por mis metas y objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por la confianza, paciencia y amor entregados a mi persona.

A mi madre por el gran sacrificio e interminable apoyo que tuvo para con mi persona.

A mi hermana Pamela por estar siempre a mi lado y ofrecerme su indispensable colaboración.

A mi tío Juan Carlos por estar siempre pendiente y brindarme su apoyo y los mejores consejos.

ÍNDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCION	1
1.1 ANTECEDENTES.-.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.-	1
1.3 DISEÑO TEÓRICO	4
1.3.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.3.1.1 SITUACIÓN PROBLÉMICA.-	4
1.3.1.2 PROBLEMA.....	4
1.3.2 OBJETIVOS	5
1.3.2.1 OBJETIVO GENERAL.-	5
1.3.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-	5
1.3.3 HIPÓTESIS	5
1.3.4 VARIABLES	6
1.3.4.1 VARIABLE INDEPENDIENTE.-	6
1.3.4.2 VARIABLE DEPENDIENTE.-	6
1.3.5 ALCANCE.....	6
1.4 DISEÑO METODOLÓGICO	9
1.4.1 UNIDAD	9
1.4.2 POBLACIÓN.....	9
1.4.3 MUESTRA	9
1.4.4 MEDIOS	9
1.4.5 MÉTODOS	10

CAPÍTULO II: ESTADO DE CONOCIMIENTO DE CONOCIMIENTO SOBRE LA EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE VACÍOS Y CONTACTO AGREGADO-AGREGADO EN HORMIGONES POROSOS PARA PAVIMENTO	11
2.1 GENERALIDADES	11
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.	11
2.3 HORMIGONES EN PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	11
2.3.1 HORMIGÓN POROSO.....	11
2.3.1.1 PROPIEDADES EN ESTADO FRESCO	13
2.3.1.1.1 CONSISTENCIA (REVENIMIENTO)	13
2.3.1.2 PROPIEDADES EN ESTADO ENDURECIDO.....	15
2.3.1.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	15
2.3.1.2.2 CONTENIDO DE VACÍOS	16
2.3.1.2.3 PESO UNITARIO	17
2.3.1.2.4 CAPACIDAD DE FILTRACIÓN O PERMEABILIDAD	17
2.4 APLICACIÓN DEL HORMIGÓN POROSO EN PAVIMENTOS	19
2.5 AGREGADOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO	23
2.5.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS Y DEL CEMENTO.....	24
2.5.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO	25
2.5.1.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	27
2.5.1.3 PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO	29
2.5.1.4 PORCENTAJE DE DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO	31
2.5.1.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	33
2.5.1.6 MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA	35
2.5.1.7 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO.....	36

2.6 PORCENTAJE DE VACÍOS PRESENTE EN EL HORMIGÓN	37
2.7 DISEÑO DE MEZCLA PARA HORMIGÓN POROS DE PAVIMENTO.....	38
2.8 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS.....	40
2.9 RAYOS X EN MUESTRAS DE HORMIGÓN	42
2.9.1 TOMOGRAFÍA INDUSTRIAL COMPUTARIZADA DE RAYOS X	43
CAPÍTULO III: INVESTIGACIÓN	45
3.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	45
3.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS BANCOS DE MATERIALES.....	45
3.3 CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	46
3.3.1 CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA REDONDEADA	47
3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA TRITURADA.....	53
3.3.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS ARENAS.....	59
3.3.4 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO	62
3.4 DOSIFICACIÓN	64
3.4.1 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS UTILIZANDO AGREGADO GRUESO REDONDEADO.....	64
3.4.2 DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS UTILIZANDO AGREGADO GRUESO TRITURADO.....	77
3.5 ELABORACIÓN DE LAS MUESTRAS	88
3.6 CARACTERÍSTICAS DE LA CONSISTENCIA DE LAS MEZCLAS EN ESTADO FRESCO	88
3.7 CURADO DE LOS ESPECÍMENES	90
3.8 APLICACIÓN DE RAYOS X SOBRE LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN POROSO	90
3.9 CARACTERÍSTICAS DE LAS PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS EN ESTADO ENDURECIDO	93
3.9.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	93

3.9.2 CAPACIDAD DE FILTRACIÓN O PERMEABILIDAD	104
3.9.3 PESO UNITARIO	107
3.10 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE CONTACTO DE LOS AGREGADOS DENTRO DE LA ESTRUCTURA INTERNA DEL HORMIGÓN POROSO	107
3.11 DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS PRESENTES EN LAS MUESTRAS DE HORMIGÓN POROSO DE PAVIMENTO MEDIANTE LAS IMÁGENES COMPUTARIZADAS DE RAYOS X	109
3.12 CONTRASTACIÓN DE LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE VACÍOS PRESENTES EN MEZCLAS DE HORMIGÓN POROSO DE PAVIMENTO MEDIANTE LA RELACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK Y TEÓRICA.....	127
3.13 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	133
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	149
4.1 CONCLUSIONES	149
4.2 RECOMENDACIONES	152

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURAS CAPÍTULO II

Figura 2. 1 Curva de resistencia en función del tiempo	12
Figura 2. 2 Cono de Abrams.....	14
Figura 2. 3 Composición un sistema estructural de una superficie permeable.....	2
Figura 2. 4 Elementos de un sistema estructural de superficies permeables	20
Figura 2. 5 Sistema permeable compuesto por diversos elementos porosos.....	23
Figura 2. 6 Constitución interna y externa de un agregado	27
Figura 2. 7 Esquema de la tomografía computarizada	43

FIGURAS CAPÍTULO III

Figura 3. 1 Área de estudio.....	45
Figura 3. 2 Ubicación del Banco de extracción del agregado grueso.....	46
Figura 3. 3 Ubicación del Banco de extracción del agregado fino.....	46
Figura 3. 4 Ensayo de consistencia sobre la mezcla dosificada con 15% de vacíos	89
Figura 3. 5 Ensayo de consistencia sobre la mezcla dosificada con 20% de vacíos	89
Figura 3. 6 Ensayo de consistencia sobre la mezcla dosificada con 25% de vacíos	89
Figura 3. 7 Pruebas de tomografía computarizada aplicando Rayos X sobre las Probetas de Hormigón Poroso.....	91
Figura 3. 8 Tomografía a probeta completa con 15% de vacíos	92
Figura 3. 9 Tomografía a probeta completa con 20% de vacíos	92
Figura 3. 10 Tomografía a probeta completa con 25% de vacíos	92
Figura 3. 11 Retenedores con base de neopreno	93
Figura 3. 12 Retenedores con base de Neopreno.....	94
Figura 3. 13 Ruptura de probeta utilizando los retenedores con base de Neopreno	94
Figura 3. 14 Ensayo para la determinación de la tasa de infiltración.....	104
Figura 3. 15 Delimitación de área de vacíos sobre la imagen computarizada para una mezcla con 15% de vacíos.....	110
Figura 3. 16 Delimitación de área de vacíos sobre la imagen computarizada para una mezcla con 20% de vacíos.....	110

Figura 3. 17 Delimitación de área de vacíos sobre la imagen computarizada para una mezcla con 15% de vacíos.....	110
Figura 3. 18 Curva granulométrica del agregado grueso.....	134
Figura 3. 19 Resultados de porcentaje de vacíos determinado por los 3 métodos	136
Figura 3. 20 Curva para la determinación del contenido de pasta.....	137
Figura 3. 21 Variación de porcentajes de vacíos para mezcla 1	138
Figura 3. 22 Variación de porcentajes de vacíos para mezcla 2.....	139
Figura 3. 23 Variación de porcentajes de vacíos para mezcla 3.....	140
Figura 3. 24 Variación de porcentajes de vacíos	142
Figura 3. 25 Variación del porcentaje de vacíos en diferentes secciones de cada probeta de las tres mezclas	142
Figura 3. 26 Relación resistencia en función del porcentajes de vacíos.....	144
Figura 3. 27 Resultados de resistencia a la compresión por probeta para las 3 mezclas....	145
Figura 3. 28 Variación de la resistencia a la compresión de mezclas porosas con diferente tipo de agregado grueso (redondeado y triturado).....	146
Figura 3. 29 Relación de la tasa de infiltración en relación al porcentaje de vacíos	147
Figura 3. 30 Relación de la tasa de infiltración en función de la resistencia a la compresión	148

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N° 1: Peso de la muestra para granulometría del agregado grueso.....	25
Cuadro N° 2: Número de esferas y peso de la muestra en función a la gradación para el ensayo de desgaste con la máquina de los ángeles	31
Cuadro N° 3: Gradación de la muestra para el ensayo de desgaste con la máquina de los ángeles	32
Cuadro N° 4: Volumen seco varillado de agregado en una unidad de volumen de hormigón	38
Cuadro N° 5: Resumen de resultados de los ensayos realizados sobre el agregado grueso redondeado.....	53
Cuadro N° 6 Resumen de resultados de los ensayos realizados sobre el agregado grueso triturado	59
Cuadro N° 7: Resumen de resultados del ensayo realizado sobre el agregado fino	62
Cuadro N° 8 Resumen de resultados del ensayo realizado sobre el cemento.....	62
Cuadro N° 9: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 15% de vacíos	73
Cuadro N° 10: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 15% de vacíos	73
Cuadro N° 11: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 20% de vacíos	74
Cuadro N° 12: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 20% de vacíos	74
Cuadro N° 13: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 25% de vacíos	75
Cuadro N° 14: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 25% de vacíos	75
Cuadro N° 15: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 15% de vacíos	85
Cuadro N° 16: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 15% de vacíos	85
Cuadro N° 17: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 20% de vacíos	85

Cuadro N° 18: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 20% de vacíos.....	86
Cuadro N° 19: Proporción en peso de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 25% de vacíos.....	86
Cuadro N° 20: Proporción en volumen de los materiales para elaborar 1m ³ de H°P° con 25% de vacíos.....	86
Cuadro N° 21: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso redondeado dosificada con 15% de vacíos.....	98
Cuadro N° 22: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso redondeado dosificada con 20% de vacíos.....	98
Cuadro N° 23: Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso redondeado dosificada con 25% de vacíos.....	99
Cuadro N° 24: Resultados promedio para cada mezcla de resistencia a la compresión.....	99
Cuadro N° 25 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso triturado dosificada con 15% de vacíos.....	101
Cuadro N° 26 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso triturado dosificada con 20% de vacíos.....	101
Cuadro N° 27 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión para una mezcla con agregado grueso triturado dosificada con 25% de vacíos.....	102
Cuadro N° 28 Resultados promedio para cada mezcla de resistencia a la compresión.....	102
Cuadro N° 29 Valores de las resistencias a la compresión promedio de cada mezcla utilizando diferentes tipos de agregado grueso (redondeado y triturado)	103
Cuadro N° 30: Resultados de la determinación de la tasa de infiltración para una mezcla de H°P dosificada con 15% de vacíos	105
Cuadro N° 31: Resultados de la determinación de la tasa de infiltración para una mezcla de H°P dosificada con 20% de vacíos	105
Cuadro N° 32 Resultados de la determinación de la tasa de infiltración para una mezcla de H°P dosificada con 25% de vacíos	106
Cuadro N° 33: Resultados de la tasa de infiltración promedio por mezcla	106
Cuadro N° 34: Peso Unitario de cada probeta de las tres mezclas	107
Cuadro N° 35: Número de contactos entre partículas de agregado grueso para cada probeta de las tres mezclas	108
Cuadro N° 36 Cuantía de la cantidad de contactos promedio por mezcla.....	109

Cuadro N° 37 Resultado de la cuantificación del porcentaje de vacíos para cada probeta de las tres mezclas	126
Cuadro N° 38 Proporcionamiento de materiales para la elaboración de 1m ³ de hormigón sin vacíos mediante el mismo método de dosificación	127
Cuadro N° 39 Porcentajes de vacíos determinados mediante gravimetría para la mezcla 1	129
Cuadro N° 40 Porcentajes de vacíos determinados mediante gravimetría para la mezcla 2	131
Cuadro N° 41 Porcentajes de vacíos determinados mediante gravimetría para la mezcla 3	132
Cuadro N° 42 Resultados promedios de porcentaje de vacíos obtenidos mediante las tres metodologías.....	133
Cuadro N° 43 Cuadro comparativo del porcentaje de vacíos por probeta obtenido para la mezcla 1 mediante las tres metodologías	138
Cuadro N° 44 Cuadro comparativo del porcentaje de vacíos por probeta obtenido para la mezcla 2 mediante las tres metodologías	139
Cuadro N° 45 Cuadro comparativo del porcentaje de vacíos por probeta obtenido para la mezcla 3 mediante las tres metodologías	140