

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIA DE LOS MATERIALES



**“ESTUDIO DEL DESARROLLO DE HORMIGÓN
CONVENCIONAL CON ADICIÓN DE PLÁSTICOS RECICLADOS
DE BOTELLAS PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO)”**

Por:

FABIOLA MISHEL SIVILA MONTES

Proyecto de investigación presentado a consideración de la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**, como requisito para optar por el Grado Académico de Licenciatura en **INGENIERÍA CIVIL**.

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

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

**“ESTUDIO DEL DESARROLLO DE HORMIGÓN
CONVENCIONAL CON ADICIÓN DE PLÁSTICOS RECICLADOS
DE BOTELLAS PET (TEREFTALATO DE POLIETILENO)”**

Por:

FABIOLA MISHEL SIVILA MONTES

SEMESTRE II - 2019

TARIJA – BOLIVIA

.....
M.Sc. Ing. Ernesto R. Álvarez Gozalvez
DECANO -FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

.....
M.Sc. Lic. Elizabeth Castro Figueroa
VICEDECANO-FACULTAD DE
CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

TRIBUNAL:

.....
Ph.D. Ing. Arturo Juan Jesús Dubravcic Alaiza

.....
M.Sc. Ing. Moisés Díaz Ayarde

.....
Ing. Juan Pablo Ayala Yañez

El Tribunal Calificador de la presente tesis, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el presente trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

DEDICATORIAS:

A mis padres Félix y Lucia, por su apoyo incondicional en esta etapa de mi vida.

A mis hermanos Ismael, Henry y Gisela por ser mis compañeros de vida.

A mis profesores y docentes por forjar en mí el deseo de contribuir a esta sociedad con mi trabajo y conocimiento.

AGRADECIMIENTOS:

A Dios por su infinito amor, bondad y misericordia, que se dio así mismo por aquéllos que estábamos muertos.

A mis padres por haberme dado la oportunidad de tener una mejor educación, por haberme apoyado y motivado para que pudiera seguir adelante y poder culminar esta etapa de mi vida.

A mi hermano Ismael por darme su apoyo incondicional.

A mis docentes guías quienes me ayudaron y orientaron en la elaboración de la tesis.

PENSAMIENTO:

El Señor es mi fuerza y mi escudo; mi corazón en él confía; de él recibo ayuda. Mi corazón salta de alegría, y con cánticos le daré gracias. (Salmo 28:7)

ÍNDICE

Advertencia
Dedicatoria
Agradecimiento
Pensamiento
Resumen

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1	Introducción	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	El problema	2
1.3.1	Planteamiento	2
1.3.2	Formulación	2
1.3.3	Sistematización	2
1.4	Objetivos	3
1.4.1	General	3
1.4.2	Específicos	3
1.5	Justificación	3
1.5.1	Teórica	3

1.5.2	Metodológica	4
1.5.3	Práctica.....	4
1.6	Formulación de la hipótesis	4
1.6.1	Hipótesis	4
1.6.2	Identificación de variables	4
1.7	Alcance del trabajo.....	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	Definición del hormigón	6
2.1.1	Tipos de hormigón	6
2.1.2	Componentes y sus características del hormigón.....	8
2.1.2.1	Cemento	8
2.1.2.2	Agregados o áridos.....	9
2.1.2.3	Agua	16
2.1.2.4	Aire	16
2.1.2.5	Aditivos	16
2.1.2.6	Resistencia a compresión	16
2.1.3	Métodos de dosificación	17
2.1.4	Dosificación	21
2.1.4.1	Procedimiento de diseño	24
2.2	Hormigón convencional.....	25
2.2.1	Hormigón de agregados livianos.....	26
2.3	PET (Tereftalato de Polietileno)	26
2.3.1	Propiedades y características del PET.....	26
2.3.2	Clasificación	29

2.3.3	Desventajas y ventajas del PET	30
2.3.3.1	Desventajas	30
2.3.3.2	Ventajas.....	31
2.4	Propiedades físicas y químicas del Tereftalato de Polietileno (PET)	31
2.4.1	Propiedades físicas y químicas.....	31
2.4.2	Usos más frecuentes.....	32
2.4.3	El PET en la construcción	33
2.4.4	Reciclado de botellas PET	33
2.4.5	Hormigón convencional con adición de material PET	35
2.5	Recolección de los materiales	36
2.5.1	Extracción de los áridos grueso y fino	36
2.5.2	Recolección del material PET	37
2.5.3	Cemento	37
2.6	Ensayos de los a materiales para el hormigón	38
2.6.1	Granulometría y Módulo de Finura del agregado grueso	38
2.6.2	Granulometría y Módulo de Finura del agregado fino	41
2.6.3	Granulometría y Módulo de Finura del agregado PET	44
2.6.4	Peso específico y absorción del agregado grueso	46
2.6.5	Peso específico y absorción del agregado fino	48
2.6.6	Peso unitario de agregado grueso.....	51

2.6.7	Peso unitario de agregado fino.....	53
-------	-------------------------------------	----

CAPITULO III

MARCO PRÁCTICO

3.1	Diseño y dosificación del hormigón Patrón.....	56
3.2	Diseño de hormigón convencional con PET.....	59
3.3	Procedimiento de la elaboración de la mezcla.....	61
3.3	Rotura de las probetas de diseño.....	69

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1	Análisis y discusión de resultados.....	74
4.1.1	Análisis de la caracterización de materiales.....	74
4.1.2	Análisis estadístico.....	75
4.1.3	Análisis de la resistencia a compresión en función de días de rotura	76
4.1.4	Análisis del asentamiento de la mezcla.....	79
4.1.5	Análisis económico	80
4.1.6	Comparación con otros tipos de hormigón que contienen material reciclable	81
4.1.7	Contrastación de Hipótesis.....	83
4.1.8	Aplicación del hormigón convencional	84

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones..... 85

Recomendaciones 87

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

- Anexo I Caracterización de agregados
- Anexo II Dosificación de agregados
- Anexo III Ensayo a compresión
- Anexo IV Análisis de Precios Unitarios
- Anexo V Registro fotográfico de caracterización y dosificación
- Anexo VI Registro fotográfico de ensayo a compresión

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1 Diagrama de flujo para la selección y documentación de la dosificación del concreto	22
Figura 2.2 Símbolo del polímero PET	27
Figura 2.3 Propiedades de los plásticos	29
Figura 2.4 Contaminación de plásticos	35
Figura 2.5 Material PET reciclado	35
Figura 2.6 Seleccionadora San Mateo	36
Figura 2.7 Material PET	37
Figura 2.8 Material PET reciclado	37
Figura 2.9 Cuarteo de la grava seleccionada	39
Figura 2.10 Juegos de tamice y tamizado en el vibrador mecánico	39
Figura 2.11 Pesada de material retenido en los tamices	40
Figura 2.12 Muestra a tamizar de arena	41
Figura 2.13 Tamizado de la arena en el vibrador mecánico	42
Figura 2.14 Pesada de arena retenida en cada uno de los tamices material	42
Figura 2.15 Pesada de material PET	44
Figura 2.16 Tamizado de material PET	44
Figura 2.17 Grava saturada con agua por 24 hrs	46
Figura 2.18 Secado superficial de la grava	46
Figura 2.19 Pesada en el aparato de grava sumergida en agua	47

Figura 2.20 Pesada de arena a saturar por 24 hrs	48
Figura 2.21 Secado superficial de la arena.....	49
Figura 2.22 Prueba de cono para verificar si esta correctamente secado.....	49
Figura 2.23 Pesada de la arena más matraz saturada de agua	50
Figura 2.24 Medición y calibración del molde de agregado grueso	51
Figura 2.25 Vertido y enrasado de la grava en el molde.....	52
Figura 2.26 Compactado y enrasado de la arena.....	53
Figura 2.27 Medición y calibración del molde para la arena	54
Figura 2.28 Vertido suelto de la arena en el molde.....	54
Figura 2.29 Compactado y enrasado de la arena.....	55
Figura 2.30 Arena compactada	55

CAPÍTULO III

Figura 3.1 Lavado de material	61
Figura 3.2 Proporción de agua, cemento, 10% y 15% de PET	62
Figura 3.3 Proporción de materiales para dosificación de 20% y 30%.....	62
Figura 3.4 Dosificación de agua.....	63
Figura 3.5 Dosificación de arena y PET	63
Figura 3.6 Dosificación de cemento.....	64
Figura 3.7 Mezclado de los materiales.....	64
Figura 3.8 Compactado y enrasado de la mezcla en el Cono de Abrams	65
Figura 3.9 Ensayo del Cono de Abrams	65
Figura 3.10 Medición del asentamiento de la mezcla patrón y 10% de PET	66

Figura 3.11 Medición de asentamiento de la mezcla al 15% y 20% de PET	66
Figura 3.12 Medición del asentamiento de la mezcla al 30% de PET	67
Figura 3.13 Aceitado de los moldes	67
Figura 3.14 Compactación, vibrado manual y enrasado	68
Figura 3.15 Probetas marcadas según la fecha.....	68
Figura 3.16 Curado de probetas en piscinas de agua	69
Figura 3.17 Peso de las probetas	69
Figura 3.18 Probetas llevadas a la prensa (ensayo a compresión)	70
Figura 3.19 Colocado de datos iniciales (antes de ruptura) y resultados finales (después de ruptura)	70
Figura 3.20 Fisuras de probetas (patrón, 10% y 15% de PET)	71
Figura 3.21 Probetas después del ensayo de compresión.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II

Tabla 2.1 Requisitos químicos del cemento portland.....	9
Tabla 2.2 Muestra necesaria para el ensayo de granulometría de agregado grueso.....	11
Tabla 2.3 Requisitos granulométricos para el agregado grueso.....	11
Tabla 2.4 Bandas granulométricas árido fino.....	12
Tabla 2.5 Requisitos granulométricos del agregado fino.....	12
Tabla 2.6 Procedimiento de la prueba de resistencia del concreto.....	17
Tabla 2.7 Relaciones A/C de acuerdo con el tipo de ambiente, por razones de durabilidad.....	18
Tabla 2.8 Correspondencia entre la relación A/C y la resistencia a la compresión del concreto.....	19
Tabla 2.9 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.....	19
Tabla 2.10 Requerimientos de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales del agregado.....	20
Tabla 2.11 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.....	20
Tabla 2.12 Factor de modificación para desviación estándar.....	23
Tabla 2.13 Resistencia promedio requerida, cuando existe información para establecer “S”.....	24
Tabla 2.14 f'_{cr} requerida cuando no hay datos disponibles de S.....	24
Tabla 2.15 Otros tipos de plástico.....	30
Tabla 2.16 Propiedades del PET.....	31
Tabla 2.17 Identificación de envases PET.....	33

Tabla 2.18 Cálculo granulométrico de la grava a utilizar de la Chancadora de San Mateo.....	40
Tabla 2.19 Cálculo granulométrico de la arena a utilizar de la Chancadora de San Mateo.....	43
Tabla 2.20 Cálculo granulométrico de agregado PET de la Empresa EMPACAR.....	45
Tabla 2.21 Peso específico de la grava.....	47
Tabla 2.22 Contenido de humedad o absorción (%) de la grava.....	48
Tabla 2.23 Peso específico de la arena.....	50
Tabla 2.24 Contenido de humedad o absorción de la arena	51
Tabla 2.25 Peso unitario suelto de la grava.....	52
Tabla 2.26 Peso unitario compactado de la grava	53
Tabla 2.27 Peso unitario suelto de la arena	54
Tabla 2.28 Peso unitario compactado de la arena	55

CAPÍTULO III

Tabla 3.1 Características de los agregados.....	56
Tabla 3.2 Pesos secos de los ingredientes por m ³ de hormigón	57
Tabla 3.3 Pesos húmedos de los ingredientes por m ³ de hormigón	58
Tabla 3.4 Proporciones necesarias para la elaboración de probetas.....	58
Tabla 3.5 Cuantía de los materiales	59
Tabla 3.6 Datos del PET	59
Tabla 3.7 Proporción de PET respecto al % de grava	60
Tabla 3.8 Muestreo de probetas a elaborar	60

Tabla 3.9 Resumen de datos obtenidos	72
--	----

CAPÍTULO IV

Tabla 4.1 Comparación de granulometría de agregado grueso respecto a la norma ASTM C33	74
Tabla 4.2 Comparación de granulometría de agregado fino respecto a la norma ASTM C33	75
Tabla 4.3 Pérdida de peso y densidad del hormigón	76
Tabla 4.4 Promedio de resistencia.....	78
Tabla 4.5 % de Incremento de resistencia.....	79
Tabla 4.6 Resumen de la relación de incremento de costo respecto al H° común	80
Tabla 4.7 Comparación de distintos hormigón convencionales livianos que incluyen materiales reciclables	82

ÍNDICE DE GRÁFICOS

CAPÍTULO II

Gráfico 2.1 Curva granulométrica del agregado grueso (grava)	41
Gráfico 2.2 Curva granulométrica del agregado fino (arena)	43
Gráfico 2.3 Curva granulométrica del agregado grueso (PET).....	45

CAPÍTULO IV

Gráfico 4.1 Pérdida de peso	76
Gráfico 4.2 Relación de resistencia con respecto al Patrón	77
Gráfico 4.3 Relación del incremento de resistencia	78