

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“RESISTENCIA Y RIGIDEZ A LA FLEXIÓN DE ELEMENTOS NO
ESTRUCTURALES REFORZADO CON FIBRAS TEREFALATO DE
POLIETILENO RECICLADO USADA COMO REFUERZO EN CONCRETO
ARMADO”**

TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LINEA DE INVESTIGACIÓN: ESTRUCTURAS

AUTORES:

BR. MONTOYA CALDERÓN, CARLOS JUNIOR
BR. TANTARAICO SALDAÑA, EVER RENULFO

ASESOR:

ING. URTEAGA GARCÍA, JUAN MANUEL

TRUILLO – PERÚ

2018

JURADO DICTAMINADOR

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, aprueban la tesis desarrollada por los bachilleres **Montoya Calderón Carlos Junior** y **Tantaraico Saldaña Ever Renulfo**, denominada:

“RESISTENCIA Y RIGIDEZ A LA FLEXIÓN DE ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES REFORZADO CON FIBRAS TEREFALATO DE POLIETILENO RECICLADO USADA COMO REFUERZO EN CONCRETO ARMADO”

Ing. FÉLIX GILBERTO, PÉRRIGO SARMIENTO
PRESIDENTE
N° CIP: 29401

Ing. JORGE LUIS, PAREDES ESTACIO
SECRETARIO
N° CIP: 90402

Ing. SEGUNDO ALFREDO, VARGAS LÓPEZ
VOCAL
N° CIP: 18687

Ing. JUAN MANUEL, URTEAGA GARCÍA
ASESOR
N° CIP: 75985

DEDICATORIA

Este logro se lo dedico a mis padres Alejandro y Adriana,
Por haberme inculcado buenos valores para ser
una persona de bien; a mis amigos y compañeros
de trabajo por su comprensión; a mis hermanas por su
infinito apoyo y aliento sobre todo en los momentos
que más los necesité.

Tantaraico Saldaña, Ever Renulfo

A mi mamá Elisa, que ha sabido
formarme con buenos sentimientos,
hábitos y valores; a mis hermanos,
por su apoyo moral; a mi esposa Cynthia
y a mis hijos Nahuel y Estrella que,
me han dado fortaleza para salir adelante
en los momentos más difíciles.

Montoya Calderón, Carlos Junior

AGRADECIMIENTO

A Dios por la salud, la vida por nuestra fe, también a nuestros padres, que con su ejemplo nos han enseñado a no desfallecer ni rendirnos ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos, corrigiendo nuestras fallas y celebrando nuestros triunfos.

A nuestros docentes que desde el inicio de nuestra carrera universitaria nos han brindado palabras de aliento y en especial a nuestro asesor el Ing. Juan Manuel Urteaga García, por todos sus conocimientos brindados durante el desarrollo de la presente tesis. Agradecemos también al personal y compañeros de laboratorio que nos brindaron su apoyo durante la ejecución de esta investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

JURADO DICTAMINADOR	i
DEDICATORIA	ii
AGRACIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE FOTOS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
Capítulo I. Problema de investigación.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema.....	1
1.3. Objetivo general	1
1.4. Objetivos específicos	1
1.5. Justificación de la investigación	2
1.6. Limitaciones de la investigación	2
Capítulo II. Marco Teórico.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas	7
2.2.1. Concreto y sus componentes.	7
2.2.1.1 Cemento.....	8
2.2.1.2 Agregado fino o arena	8
2.2.1.3 Agregado grueso o piedra.....	9
2.2.1.4 Agua.....	9
2.2.2. Resistencia del concreto	9
2.2.2.1 Resistencia del concreto ante sollicitaciones uniaxiales.....	9

2.2.2.2 Resistencia del concreto al esfuerzo cortante	11
2.2.3. Propiedades mecánicas del concreto	11
2.2.3.1 Relación esfuerzo – deformación del concreto a compresión	11
2.2.4. Módulo de elasticidad del concreto	12
2.2.4.1 Concreto armado (NTP E060).....	13
2.2.4.2 Ensayos	13
2.2.5. Fibra tereftalato de polietileno (PET).....	13
2.2.5.1 Propiedades del PET.....	14
2.2.6. Rotura por flexión de elementos de concreto armado	16
2.2.6.1 Estado elástico lineal	16
2.2.6.2 Estado elástico fisurado	17
2.2.6.3 Estado de pre-rotura.....	18
2.2.7. Comportamiento de miembros de concreto armado.....	18
2.2.7.1 Diagrama esfuerzo – deformación del concreto	18
2.3. Definiciones conceptuales	20
2.3.1. Resistencia	20
2.3.2. Rigidez.....	20
2.3.3. Concreto.....	20
2.3.4. Agregados	21
2.3.5. Cemento.....	21
2.3.6. PET (Tereftalato Polietileno).....	21
2.3.7. PET reciclado	21
2.4. Hipótesis	21
2.5. Variables dependiente e independiente	21
2.5.1. Variable independiente	21
2.5.2. Variable dependiente	22

2.6. Operacionalización de las variables.....	22
Capítulo III. Metodología de la investigación.....	23
3.1. Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel.....	23
3.1.1. - Enfoque	23
3.1.2. - Alcance.....	23
3.1.3. - Diseño:	23
3.2. Muestra	23
3.3. Técnicas desarrolladas e instrumentos para la recolección de datos	24
3.3.1. Materiales	24
3.3.1.1 Cemento.....	24
3.3.1.2 Gravilla	24
3.3.1.3 Agregado grueso.....	25
3.3.1.4 Agua.....	25
3.3.1.5 Fibras tereftalato de polietileno PET	25
3.3.2. Equipos	26
3.3.2.1 Deformímetro	26
3.3.2.2 Vernier Digital	26
3.3.2.3 Máquina universal de carga.....	26
3.3.2.4 Máquina de ensayo a compresión.....	27
3.3.2.5 Máquina de ensayos universal INSTRON 8801.....	28
3.4. Técnicas desarrolladas para el procesamiento y análisis de la información.....	28
3.4.1. Ensayos de laboratorio.....	28
3.4.1.1 Geometría de las vigas de ensayo	28
3.4.1.2 Características de vigas reforzadas con PET	29
3.4.1.3 Dosificación de mezcla.....	29
3.4.1.4 Elaboración de las vigas de ensayo	30

3.4.1.5 Ensayo de laboratorio	34
Capítulo IV. RESULTADOS.....	36
4.1. Determinar el esfuerzo de fluencia y el módulo de elasticidad de las fibras PET....	36
4.2. Encontrar el módulo de elasticidad del concreto.....	41
4.3. Determinar el diagrama momento curvatura de (los) elemento no estructural reforzado con fibras PET.	41
4.3.1. Resultados de los ensayos de flexión.	41
4.3.1.1 Momento curvatura del concreto reforzado con 1 soga de fibras PET.	42
4.3.1.2 Momento curvatura del concreto reforzado con 2 sogas de fibras PET.....	48
4.3.1.3 Momento curvatura del concreto reforzado con 3 sogas de fibras PET.....	54
4.3.2. Resumen de ensayos de flexión a las vigas	60
4.4. Determinar el diagrama módulo de rotura, rigidez de la viga.....	62
4.4.1. Momento límite elástico y momento máximo resistente.....	62
4.4.2. Módulo de rotura	64
4.4.3. Rigidez.....	65
4.5. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.....	66
4.6. Discusión de resultados	66
4.6.1. Deformación unitaria en límite elástico.....	66
4.6.1.1 Momento Curvatura Calculado con 01 tereftalato	66
4.6.1.2 Momento Curvatura Calculado con 02 tereftalato	71
4.6.1.3 Momento Curvatura Calculado con 03 tereftalato	76
4.6.1.4 Deformación unitaria del tereftalato.....	82
4.6.2. Módulo de rotura, rigidez, cuantía mínima.	83
4.6.2.1 Momento Límite Elástico y Momento Máximo Resistente.....	83
4.6.2.2 Módulo de rotura	84
4.6.2.3 Rigidez.....	85
4.6.3. Módulo de elasticidad del tereftalato.....	86

4.6.3.1 Ensayo de tracción a probeta N° 01 PET	86
4.6.3.2 Ensayo de tracción a probeta N° 02 PET	87
4.6.3.3 Ensayo de tracción a probeta N° 03 PET	88
4.6.4. Establecer las limitaciones de aplicación de estos elementos a edificaciones. .	89
Capítulo V. CONCLUSIONES	89
5.1. Conclusiones.....	89
5.2. Recomendaciones	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1 : Operacionalización de Variables	22
Tabla N° 2: Codificación para cada grupo de probetas de ensayos.....	24
Tabla N° 3 : Cantidades por m ³	30
Tabla N° 4: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 01 PET).....	36
Tabla N° 5: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 02 PET).....	37
Tabla N° 6: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 03 PET).....	38
Tabla N° 7: Resultados ensayo de tracción a fibras PET	40
Tabla N° 8: Resumen de resultados Módulo de elasticidad de fibras PET	41
Tabla N° 9: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 1 soga	42
Tabla N° 10: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 1 soga	43
Tabla N° 11: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 1 soga	44
Tabla N° 12: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 1 soga	45
Tabla N° 13: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 1 soga	47
Tabla N° 14: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 2 sogas	48
Tabla N° 15: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 2 sogas	49
Tabla N° 16: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 2 sogas	50
Tabla N° 17: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 2 sogas	51
Tabla N° 18: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 2 sogas	53
Tabla N° 19: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 3 sogas	54
Tabla N° 20: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 3 sogas	56
Tabla N° 21: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 3 sogas	57
Tabla N° 22: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 3 sogas	58
Tabla N° 23: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 3 sogas	59
Tabla N° 24: Momento límite elástico	62
Tabla N° 25: Momento máximo resistente.....	63
Tabla N° 26: Resumen MLE Y Mmax	63
Tabla N° 27: Módulo de rotura.....	64
Tabla N° 28: Resumen de Módulo de rotura	64
Tabla N° 29: Rigidez	65
Tabla N° 30: Resumen de Rigidez	65

Tabla N° 31: Resistencia a la compresión de testigos de control de concreto	66
Tabla N° 32: Momento curvatura calculado 1 PET	70
Tabla N° 33: Momento curvatura calculado 2 PET	75
Tabla N° 34: Momento curvatura calculado 3 PET	81
Tabla N° 35: Momento curvatura calculado 3 PET	82
Tabla N° 36: Cuantía en MLE Y $M_{m\acute{a}x}$	83
Tabla N° 37: Cuantía en M_r	84
Tabla N° 38: Cuantía en Rigidez.....	85
Tabla N° 39: Resumen de resultados Módulo de elasticidad de fibras PET	89

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N° 1: Desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto en función del tipo de cemento (Mac. Gregor, 1992, 2° edición)	10
Fig. N° 2: Distribución del esfuerzo horizontal en un cilindro cargado sobre un ancho igual a 1/12 del diámetro (Neville, 1984, Tomos I Y III)	10
Fig. N° 3: Curva esfuerzo – deformación del concreto en compresión (Mac. Gregor, 1992, 2° edición)	12
Fig. N° 4: Diagrama Momento - Curvatura.....	16
Fig. N° 5: Variación de la sección de concreto	17
Fig. N° 6: Diagrama de esfuerzos.....	17
Fig. N° 7 : Esfuerzo - Deformación del concreto	19
Fig. N° 8: Esfuerzo-Deformación del Concreto Según CBH-87.....	19
Fig. N° 9 : Modelo de Mandell.....	20
Fig. N° 10: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 01 PET)	36
Fig. N° 11: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 02 PET)	38
Fig. N° 12: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 03 PET)	39
Fig. N° 13: Diagrama Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 01, 02 y 03 PET)	40
Fig. N° 14: Momento curvatura de probeta 1 de 1 PET	43
Fig. N° 15: Momento curvatura de probeta 2 de 1 PET	44
Fig. N° 16: Momento curvatura de probeta 3 de 1 PET	45
Fig. N° 17: Momento curvatura de probeta 4 de 1 PET	46
Fig. N° 18: Momento curvatura de probeta 5 de 1 PET	48
Fig. N° 19: Momento curvatura de probeta 1 de 2 PET	49
Fig. N° 20: Momento curvatura de probeta 2 de 2 PET	50
Fig. N° 21: Momento curvatura de probeta 3 de 2 PET	51
Fig. N° 22: Momento curvatura de probeta 4 de 2 PET	52
Fig. N° 23: Momento curvatura de probeta 5 de 2 PET	54
Fig. N° 24: Momento curvatura de probeta 1 de 3 PET	55
Fig. N° 25: Momento curvatura de probeta 2 de 3 PET	57
Fig. N° 26: Momento curvatura de probeta 3 de 3 PET	58

Fig. N° 27: Momento curvatura de probeta 4 de 3 PET	59
Fig. N° 28: Momento curvatura de probeta 5 de 3 PET	60
Fig. N° 29: Momento curvatura del concreto reforzado con 1 soga de fibras PET, resumen de 5 probetas.....	61
Fig. N° 30: Momento curvatura del concreto reforzado con 2 sogas de fibras PET, resumen de 5 probetas.....	61
Fig. N° 31: Momento curvatura del concreto reforzado con 3 sogas de fibras PET, resumen de 5 probetas.....	62
Fig. N° 32: MLE, $M_{m\acute{a}x}$	63
Fig. N° 33: M3dulo de rotura	64
Fig. N° 34: Rigidez.....	65
Fig. N° 35: ACI 10.2.7	69
Fig. N° 36: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 1 PET.	71
Fig. N° 37: ACI 10.2.7	74
Fig. N° 38: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 2 PET.	76
Fig. N° 39: ACI 10.2.7	79
Fig. N° 40: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 3 PET.	81
Fig. N° 41: Diagramas Momento-Curvatura para cada secci3n de PET.	82
Fig. N° 42: Diagrama deformaci3n unitaria del PET.	82
Fig. N° 43: Diagrama de MLE, ecuaci3n l3nea de tendencia	83
Fig. N° 44: Diagrama de $M_{m\acute{a}x}$, ecuaci3n l3nea de tendencia	84
Fig. N° 45: Diagrama de M_r , ecuaci3n l3nea de tendencia.....	85
Fig. N° 46: Diagrama de Rigidez, ecuaci3n l3nea de tendencia	86
Fig. N° 47: Ecuaci3n M3dulo de Elasticidad de Probeta N° 01 PET.....	86
Fig. N° 48: Ecuaci3n M3dulo de Elasticidad de Probeta N° 02 PET.....	87
Fig. N° 49: Ecuaci3n M3dulo de Elasticidad de Probeta N° 03 PET.....	88

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N° 1: Herramienta de corte 1	Foto N° 2: Herramienta de corte 2	25
Foto N° 3: Deformímetro		26
Foto N° 4: Vernier		26
Foto N° 5: Máquina universal de carga		27
Foto N° 6: Máquina ensayo a compresión.....		27
Foto N° 7: Máquina universal de ensayos		28
Foto N° 8: Viga de concreto reforzado con PET.....		29
Foto N° 9: Molde de encofrado		30
Foto N° 10: Colocación de sogas PET		31
Foto N° 11: Fijación de sogas PET en moldes.		31
Foto N° 12: Preparación de mezcla.		32
Foto N° 13: Vaciado del concreto		32
Foto N° 14: Desencofrado de vigas		33
Foto N° 15: Curado de vigas		33
Foto N° 16: Colocación de bloque aplicador de carga		34
Foto N° 17: Computadora que brindará los datos de carga y desplazamiento.....		35
Foto N° 18: Inicio de prueba	Foto N° 19: Fin de prueba.....	35
Foto N° 20: Cemento Portlant Extra Forte	Foto N° 21: Piedra chancada de 1/2"	92
Foto N° 22: Arena gruesa	Foto N° 23: Fibra PET (soga trenzada de 6 hebras	92
Foto N° 24: Encofrado de vigas	Foto N° 25: Colocación de fibras PET (tensionadas) ..	93
Foto N° 26: Sujeción de moldes	Foto N° 27: Preparación de mezcla	93
Foto N° 28: Vaciado del concreto en moldes	Foto N° 29: Elaboración de probetas.....	93
Foto N° 30: Desencofrado de probetas	Foto N° 31: Curado de probetas	94
Foto N° 32: Ensayo de compresión EJ-1	Foto N° 33: Ensayo de compresión EJ-2.....	94

RESUMEN

En la presente investigación se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, como refuerzo en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de elementos no estructurales.

Se utilizó como materia prima, para el diseño de mezclas, el cemento Portland Extra Forte, piedra chancada de 1/2", arena gruesa y como refuerzo las fibras de plástico PET, estos residuos sustituyeron al acero corrugado en forma de sogas trenzadas de 6 hebras y 6 almas en variaciones de 1, 2 y 3 respectivamente.

Se elaboraron 15 muestras (vigas) de 15x15x120cm, reforzadas con fibras PET trenzado 5 muestras se reforzaron con 1 fibra PET, 5 con 2 fibras PET y 5 con 3 fibras PET.

Luego de 28 días debidamente curados dichas vigas se realizó la prueba a la flexión teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana 339.079.

Donde se obtuvo resultados de las 15 muestras, dichos resultados fueron tabulados para graficar su comportamiento de cada elemento (diagrama momento curvatura) y posteriormente calcular su módulo de rotura, rigidez y cuantía mínima de refuerzo con fibras PET en el concreto armado.

Así mismo se elaboraron probetas del mismo concreto utilizado para las vigas, por un tema netamente de control de calidad según la Norma Técnica Peruana 339.033, luego se realizó el ensayo de compresión a las probetas, después de 7, 14 y 28 días según la Norma ASTM C39, con lo cual se pudo determinar la resistencia a la compresión del concreto.

Para conocer sus características y comportamiento de las fibras PET trenzadas se realizó la prueba de tensión obteniendo la curva de esfuerzo deformación.

ABSTRACT

In this research it was achieved to determine the results of re-using the residues of plastic PET, as reinforcement in the production of ecological concrete for the construction of non-structural elements.

There used as raw material, for the design of mixtures, the Portland Extra Forte cement, ground stone of 1/2 ", thick sand and as an enhancement the fibers of plastic PET, these residues substituted the corrugated steel in shape of plaited ropes of 6 fibers and 6 souls in variations of 1, 2 and 3 respectively.

There were elaborated 15 samples (girders) of 15x15x120cm, reinforced with PET fibers plaited 5 samples were reinforced by 1 PET fiber, 5 by 2 PET fibers and 5 by 3 PET fibers. After 28 properly cured days those girders, the test was performed to the flexion taking into account the Peruvian technical norm 339.079.

Where it was obtained the results from 15 samples, those results were tabulated to plot the behavior of each element (graph moment curvature) and later to calculate its module of break, rigidity and minimal quantity of reinforcement with PET fibers in the structured concrete.

Likewise there were elaborated manometers of the same concrete used for the girders, just for the quality control according to the Peruvian Technical Norm 339.033, then the compression test was carried out to the manometers, after 7, 14 and 28 days according to the Norm ASTM C39, with that it was possible to determine the resistance of the compression of the concrete. To know its characteristics and behavior of the PET plaited fibers, it was performed the test of tension obtaining the curve of effort deformation.

INTRODUCCION

Son tiempos en los que todo lo que se realiza se hace pensando en el medio ambiente. Es conocida la situación actual del planeta, se sabe que poco a poco con las acciones que se llevan a cabo.

La producción global de plásticos se ha incrementado en los últimos 50 años, y en especial en las últimas décadas. Entre 2002-2013 aumentó un 50%: de 204 millones de toneladas en 2002, a 299 millones de toneladas en 2013. Se estima que en 2020 se superarán los 500 millones de toneladas anuales, lo que supondría un 900% más que los niveles de 1980. (Global Ocean Commission, 2015)

Existen muchos tipos de plásticos, aunque el mercado está dominado por cuatro tipos principales: polietileno (PE, alta y baja densidad); Tereftalato de polietileno (PET); polipropileno (PP); cloruro de polivinilo (PVC); poliestireno (PS, incluido EPS expandido) y poliuretano (PUR). (United Nations Environment Programme, 2016)

El uso desmedido de recursos naturales para beneficio de la humanidad está degradando el planeta, actualmente todo lo que se hace se realiza pensando en el medio ambiente. Los cambios climáticos y los fenómenos naturales devastadores que hemos sufrido últimamente han hecho que se genere miedo o tal vez conciencia, y se está tratando de equilibrar y compensar el daño hecho desde hace miles de años.

La necesidad de buscar alternativas de reutilización para algunos materiales radica en el imperativo ético de preservar nuestro planeta, ya desgastado y afectado por la contaminación. Reciclar PET es reintegrar este polímero en un nuevo ciclo productivo como materia prima. Las botellas sin pigmento (transparentes) tienen mayor valor para el reciclado por sus sendas posibilidades de uso; entre otros, como material de empaque, láminas para termo formados, madera plástica, tarimas y fibra de poliéster. (Mansilla Pérez & Ruiz Ruiz, 2009, pág. 136)

Actualmente se está incentivando al reciclaje, reúso, y en el mejor de casos a la sustitución de materias primas naturales, por otras que no afecten las condiciones del planeta. En otro contexto, y quizás contribuyente a esta realidad es el crecimiento desmedido de la población en el mundo, y por consecuencia la creciente urbanización, que, al no encontrar áreas disponibles para la construcción de viviendas, asechan las zonas naturales. Muy aparte de esto, las construcciones que se tienen que realizar generan un gran consumo de materia prima.

En el Perú - Piura, los residuos plásticos son comercializados a través de recuperadores ubicados en el botadero municipal y acopiadores que los venden en Lima y Trujillo a las fábricas transformadoras. Piura tiene una producción per cápita de residuos promedio de 0.6 kg/día; se generan 7 298 kg/día (219 t/mes) de residuos plásticos, de los cuales se recuperan aproximadamente 20 tn/mes. Los principales materiales plásticos recuperados son: polietileno polipropileno, PET, poliestireno, PVC, que en Piura se clasifican y se embalan para su comercialización. Sólo un reciclador realiza previamente la molienda. Los plásticos recuperados se venden entre S/. 0.12 y S/. 1.00 por kg, siendo los de mayor demanda el PET, El precio de estos plásticos asciende a S/. 1.20 (US\$ 0.35) por kg. (Rivera Távara, 2004)

Durante la historia se han utilizado varios elementos para edificar, desde barro, rocas, arcilla, y muchos productos que con aciertos y desaciertos se han ido mejorando, (Gartner, 2004), menciona: “el concreto es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción”

El requerimiento de los materiales en la ingeniería ha generado el uso de materiales compuestos a lo que según la AEMAC – Asociación Española de Materiales Compuestos lo define como una combinación de dos o más materiales diferentes en forma o composición a escala macroscópica. Los constituyentes no se disuelven ni se funden completamente en uno de ellos, aunque actúan en conjunto. Normalmente, los componentes pueden ser físicamente identificados y exhiben una interface de separación entre ellos, contando con dos fases; la fase que proporciona la forma del elemento se denomina matriz y lo que se encuentra embebido en ella se llama refuerzo. (Baldenebro López, 2015)

El empleo de materiales compuestos, por tanto, se ha extendido en muchos campos de la ingeniería (automoción, naval, construcción) debido a su elevada resistencia y rigidez específica, y a un excelente comportamiento frente a fatiga y corrosión. (Baldenebro López, 2015)

Puesto que existe una gran demanda de materiales para la construcción de buena calidad, se busca por medio de este proyecto de tesis agregar el uso de residuos sólidos como el plástico en forma de fibras de PET en las mezclas de concreto armado sustituyendo completamente al acero corrugado, para proporcionarle propiedades similares al concreto armado. Teniendo en cuenta que las fibras de PET presentan ventajas adicionales. Entre estas ventajas se puede incluir el menor peso que estas presentan y sobre todo la ausencia de corrosión de este tipo de fibras. De este modo se cuidaría el medio ambiente, aplicando el concepto de desarrollo sostenible abundando a esto, se busca obtener buenos resultados sobre la retracción y durabilidad de concretos reforzados con este tipo de fibras. El estudio se realizará en el ámbito de Trujillo con materiales de la localidad.

Capítulo I. Problema de investigación

1.1. Descripción del problema

La optimización de recursos, tiempo y dinero requiere un gran esfuerzo dirigido al desarrollo de nuevos materiales compuestos. En la actualidad, se realizan un gran número de investigaciones en el campo de desarrollo de nuevos materiales, tratando de llevar a cabo mejores diseños que permitan elevar las propiedades mecánicas de éstos. Además de contribuir con el uso desmedido de residuos sólidos que contribuyen a la degradación del medio ambiente, el uso de botellas plásticas, bolsas en otros.

Sin embargo, existen problemáticas para encontrar cantidades y formas de los materiales que componen la mezcla del compuesto y para ese momento ya se ha invertido una cantidad importante de recurso económico, humano y de tiempo. Lo que nosotros planteamos como parte integral en esta investigación, es aplicar la simulación de la fibra PET trenzada reemplazando al acero convencional, se realizaron pruebas a la flexión de dichos elementos reforzados con PET con la finalidad de evaluar numéricamente el comportamiento mecánico de elementos de concreto reforzado con fibras de PET. Así como también ayudar a mitigar el medio ambiente.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la resistencia y rigidez a la flexión de elementos no estructurales reforzado con fibras tereftalato de polietileno reciclado usada como refuerzo en concreto armado?

1.3. Objetivo general

Determinar la resistencia y rigidez de elementos no estructurales reforzado con fibras tereftalato de polietileno reciclado usada como refuerzo en concreto armado.

1.4. Objetivos específicos

- Determinar el esfuerzo de fluencia y el módulo de elasticidad de las fibras PET.
- Encontrar el módulo de elasticidad del concreto.
- Determinar la curva esfuerzo deformación de los elementos PET a probar.
- Determinar el diagrama momento curvatura de (los) elemento no estructural reforzado con fibras PET.
- Establecer las limitaciones de aplicación de estos elementos a edificaciones.

1.5. Justificación de la investigación

El presente proyecto está orientado a experimentar con materiales de reciclaje de plástico tereftalato de polietileno para determinar la resistencia y rigidez de elementos no estructurales reforzados con fibras tereftalato de polietileno reciclado usada como refuerzo en concreto armado. El propósito de esta investigación es que, con los resultados que se pretenden alcanzar sean utilizadas por las entidades constructoras locales y con las cuales puedan realizar construcciones en elementos no estructurales, como prefabricados. Socialmente proporcionará una alternativa más adecuada para afrontar el problema ambiental.

1.6. Limitaciones de la investigación

Esta investigación se centra en la evaluación del comportamiento de resistencia y rigidez en el concreto reforzado con fibras tereftalato de polietileno. Se ha trabajado con material directamente traído a laboratorio, sin alteración alguna; de tal manera que nos aproximamos más a las condiciones reales de trabajo. En consecuencia, con un material más óptimo o seleccionado, eliminando piedras que no aportaban a la resistencia del concreto se obtendrían mejores resultados.

Además, algunos instrumentos para llevar a cabo el ensayo de tracción a las probetas de fibras tereftalato de polietileno, no se encuentran en los laboratorios de la Universidad, por ende, se dispuso de medios alternativos para la realización de dicho ensayo.

Capítulo II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

Reyna Cesar, (2016) Trujillo, en su tesis para optar el grado académico de maestro en ingeniería ambiental “Reutilización de plástico pet, papel y bagazo de caña de azúcar, como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo”. Se logró determinar los resultados de reutilizar los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar como materia prima en la elaboración de concreto ecológico para la construcción de viviendas de bajo costo, quedando demostrado que, si se pueden reutilizar estos residuos, en los porcentajes propuestos, para reemplazar los áridos del concreto. Se determinó el diseño de mezcla para el concreto conteniendo los residuos de plástico PET, papel y bagazo de caña de azúcar, siendo los porcentajes en peso propuestos 5%, 10% y 20%. Se determinó la resistencia de compresión (kg/cm²) del concreto conteniendo los residuos de plástico PET, bagazo de caña de azúcar y papel, obteniéndose el resultado de 459.26 kg/cm² para el concreto conteniendo plástico PET al 5% en peso como la resistencia óptima. La tendencia que se pudo observar es que la resistencia a la compresión del concreto conteniendo los residuos disminuye conforme se aumenta el % en peso de los residuos. Se realizó el análisis de costos unitarios del concreto normal y el concreto conteniendo los residuos de plástico PET al 20%, como resultado se obtuvo que hay un ahorro de S/. 14.25 al utilizar plástico PET.

Vásquez J.L. y Casanova del Ángel (2009) México, en el artículo con arbitraje científico “elaboración de concreto ligero con agregado PET”. Se presenta la elaboración del concreto con un polímero, en vez de un agregado grueso pétreo: conocido como grava. El politereftalato de etileno, PET, es un material utilizado comúnmente por los ingenieros como un elemento estructural y no como un agregado. Se prueba que el reciclado de los envases de PET es técnicamente viable y es una exigencia desde el punto de vista de la preservación del medio ambiente, ya que da lugar a productos con un importante valor agregado y contribuye a disminuir la severa aglomeración de desechos urbanos. La factibilidad de la propuesta se muestra mediante la evaluación de las propiedades mecánicas de concretos elaborados con agregados gruesos; producto de reciclaje de envases no retornables y se comparan, ante igualdad de condiciones de fabricación, con las propiedades de concretos

naturales. Una característica muy importante es el peso volumétrico fresco del concreto ligero, el cual es un 68.88% menos pesado que concreto natural.

Castro Luis, Cerruto Fernando y Pérez Freddy (2011) Bolivia, en la revista de investigación y desarrollo “botellas PET en el hormigón ciclópeo de los cimientos corridos para la construcción de viviendas”. El uso de materiales no convencionales en la construcción de sistemas estructurales ha sido ampliamente estudiado durante los últimos años, con el propósito de implementar técnicas que permitan el desarrollo de construcciones más económicas y eficientes, que puedan ser aplicadas masivamente en futuras urbanizaciones y proyectos de edificación de índole social. Debido a su menor costo relativo, el hormigón ciclópeo es un material utilizado para cimientos corridos en la construcción de viviendas tradicionales, muros de contención, graderías y obras de estabilización. Con una disposición adecuada de las botellas pet inmersas en el hormigón es posible un aprovechamiento de las características físico-mecánicas del hormigón ciclópeo con botellas pet para su aplicación en la construcción de cimientos corridos de viviendas.

Caballero Flores, (2016) Cartagena, Universidad de Cartagena, en su tesis para optar el grado de ingeniero civil “elaboración de bloques de cemento reutilizando el plástico polietileno tereftalato (pet) como alternativa sostenible para la construcción”. La fabricación de bloques con remplazo de agregado fino por material PET puede ser una alternativa en términos de producción en serie, a los métodos de fabricación actual, teniendo en cuenta que cada vez es más preocupante la cantidad de polímeros desechados y se le exige tener a las empresas más conciencia ambiental y en términos aplicativos la creación de estructuras en las cuales más que mayor resistencia se necesite menor peso estático. Al observar y analizar los resultados de peso, es notable que los bloques adicionados con PET triturado debido a que su densidad disminuye como acción del PET reduce el peso del block, lo cual resulta favorable debido a que se disminuyen los pesos de las estructuras cuando se construyan muros no portantes o divisorios con el uso de estos bloques. En cuanto a los costos económicos el uso de bloques con PET triturado resulta más económico que un bloque convencional con diferencias en precios hasta de \$113,17 para una sustitución del 37.5% de arena. Al tener en cuenta el peso y la viabilidad económica de los bloques se debe resaltar que por ser más ligeros contribuyen a que el costo de transporte por unidad disminuya, debido a que los camiones transportadores

que se ven limitados por la carga máxima que pueden transportar aumentarían su capacidad, mientras que el valor del flete seguiría siendo el mismo. Sin embargo, estas ventajas se ven afectadas debido a la disminución de la resistencia a la compresión de bloques, por otro lado, se puede optar por el uso de estos bloques para muros no portantes o divisorios para viviendas y compensadas por el porcentaje de Absorción resultante en los bloques ya que esto permite un aumento en la vida funcional de estos.

Cholan Julio (2016) Cajamarca: Universidad Privada del Norte, en su tesis para optar el grado de ingeniero civil “efecto de tres niveles de pet reciclado como reemplazo de agregado fino en la resistencia a compresión axial del concreto convencional $f'c$ 210 kg/cm²”. Se determinó que, al reemplazar el PET reciclado como agregado fino no llega a mejorar la resistencia a compresión axial, por lo que se refuta la hipótesis planteada. Los especímenes de concreto con 0% de PET reciclado alcanzaron una resistencia a compresión axial de 211.21 kg/cm² lo cual cumple con el diseño de $f'c$ =210 kg/cm²; seguidamente los especímenes con 5% de PET reciclado alcanzaron una resistencia de 204.72 kg/cm²; luego los especímenes con 10% de PET reciclado alcanzaron una resistencia de 195.31 kg/cm². Comparando con la muestra patrón demuestra que al reemplazar PET reciclado en 5%, 10% y 15% en el concreto hace disminuir su resistencia a compresión axial en 3.07%, 7.53% y 11.37% respectivamente.

Chacón E. & Carrera G. (2012). En su Tesis para optar título profesional “estudio comparativo de elementos fabricados de hormigón con material reciclado pet (polietileno tereftalato) y el hormigón convencional”. se propuso realizar la comparación de la resistencia a compresión axial del concreto convencional $f'c$ =180 kg/cm² y $f'c$ =210 kg/cm² diseñados con el método ACI 211, con y sin PET reciclado como agregado fino al 5%, al reemplazar el PET reciclado disminuyó en un 13% y en un 3% respectivamente a los 28 días, a los 56 días el concreto con diseño de $f'c$ =210 kg/cm² con PET reciclado alcanzó una resistencia a compresión axial superior a un 3% respecto al concreto convencional $f'c$ =210 kg/cm²; manteniendo ambos la misma relación agua cemento.

Echevarría Evelyn. (2017) Cajamarca, en su tesis para optar el grado de ingeniero civil “Ladrillos de concreto con plástico pet reciclado”. Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a variación dimensional,

contenido de humedad, porcentaje de vacíos y alabeo no varía sustancialmente comparado con el ladrillo patrón (0% PET), pues estas características están relacionadas con la geometría, proceso de fabricación y condiciones de almacenamiento de los ladrillos, que fueron los mismos para todos los tipos. Las propiedades físicas de los tres tipos de ladrillo de concreto - PET (3%, 6%, 9% PET) en lo que respecta a succión y absorción aumentan a medida que se incluye el PET en la mezcla, este comportamiento es atribuido a la geometría de las hojuelas de PET reciclado, pues no permiten un óptimo acomodo de las partículas del concreto, generando así mayores poros en éste. Los tres tipos de ladrillos de concreto – PET (3%, 6%, 9% PET) según sus propiedades se clasifican como ladrillos Clase III y el ladrillo patrón (0% PET) se clasifica como ladrillo Clase IV, todos pudiendo ser utilizados estructuralmente.

Tueros Reynaldo & López Adriana. (2016) Cusco, en su tesis para optar el grado profesional de ingeniero civil “evaluación comparativa de las propiedades físico-mecánicas de bloques de concreto no estructurales con la sustitución de agregados pétreos por agregados PET en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30% curados por inmersión y comparados con un bloque de concreto patrón”. Se concluye para los bloques sustituidos al 5%, 10% y 15 % CUMPLE la hipótesis general con respecto a la resistencia a compresión. Para los bloques sustituidos al 20%, 25% y 30% NO CUMPLE la hipótesis general con respecto a la resistencia a compresión. Se recomienda hacer el uso de esta investigación sustituyendo el PET por otro tipo de plástico ya que al reciclar se encontró distintos tipos de envases que no están fabricados con tereftalato de polietileno (PET). Se recomienda realizar la mezcla de los agregados y el cemento en seco, para que esta sea homogénea y trabajable ya que al realizarlo en la mezcladora esta tiende a no uniformizarse.

Morales Miller (2016) Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, en su tesis profesional “estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado”. Tiene como objetivo principal determinar la variación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, sustituyendo parcialmente el agregado grueso por PET (Tereftalato de Polietileno) reciclado. Los materiales usados son: cemento Sol tipo 1, los agregados naturales utilizados fueron: arena y agregado grueso, ambos para la muestra patrón. Los PET

reciclados se obtuvieron de la trituración de los plásticos de botellas residuales. Para la investigación, se utilizó un procedimiento para diseñar la mezcla de concreto, teniendo como base las tablas elaboradas por el comité ACI-211.1-91 y la metodología del agregado global. Para ello se determinaron las propiedades físicas de los agregados utilizados, se estudiaron diferentes dosificaciones de mezcla del concreto patrón, con relaciones agua/cemento (0.60, 0.65, 0.70) y mezclas de concreto con reemplazo de 5%,10% y 15% de PET reciclado en peso del agregado grueso.- Se realizó el vaciado de morteros, probetas y vigas de concreto con plástico PET, se determinaron las propiedades físicas del concreto al estado fresco y se ensayaron los especímenes al estado endurecido, efectuando en todo el proceso con las normas técnicas vigentes. Los principales resultados se mencionan a continuación: Para el concreto en estado fresco, el peso unitario del concreto con PET disminuye su valor a mayor reemplazo de PET, así mismo se obtuvo un concreto ligero para la muestra con 15% de PET. Para el concreto en estado endurecido, los valores de las resistencias mecánicas a compresión axial, a compresión diametral y a flexión en vigas, disminuyen conforme mayor PET reciclado presentan las muestras. Finalmente, el PET reciclado tiene una valoración como agregado artificial; ya que por sus características puede reemplazar ventajosamente un porcentaje del agregado grueso, utilizando el concreto con PET en distintos usos que se plantean según su resistencia. Además, contribuir a disminuir la acumulación de los plásticos de botellas residuales del medio ambiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto y sus componentes.

Mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas. (Harmsen, 2002)

El concreto es un material de uso común, o convencional y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo. Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire. (Torre C., 2004)

2.2.1.1 Cemento.

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Está constituido por los siguientes componentes (Pasquel Carbajal, 1992-1993).

- Silicato tricálcico, el cual le confiere la resistencia inicial y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, es un catalizador en la relación de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar éste fenómeno, es preciso añadir yeso durante la fabricación del cemento.
- Aluminio-ferrito tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: óxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio

Existen diversos tipos de cemento, los cuales están especificados en la norma ASTM-C-150-99.

Que son:

Tipo I, que es de uso general y sin propiedades especiales.

Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia al ataque de los sulfatos.

Tipo III, de resistencia temprana y elevado calor de hidratación.

Tipo IV, de bajo calor de hidratación.

Tipo V, de alta resistencia al ataque de los sulfatos.

En la actualidad, en Perú se fabrica los cementos Tipo I, Tipo II, Tipo IV.

2.2.1.2 Agregado fino o arena

El agregado fino debe ser durable, fuerte, limpio, duro y libre de materias impuras como polvo, limo, pizarra, álcalis y materias orgánicas.

No debe tener más de 5% de arcilla o limo ni más de 1.5% de materias orgánicas.

Sus partículas deben tener un tamaño menor a $\frac{1}{4}$ " y su gradación debe satisfacer los requisitos propuestos en la norma ASTM-C-33-99a (Pasquel Carbajal, 1992-1993)

2.2.1.3 Agregado grueso o piedra

El agregado grueso está constituido por rocas graníticas, dioríticas y sieníticas. Puede usarse piedra partida en chancadora o grava zarandeada de los lechos de los ríos o vaciamientos naturales. Al igual que el agregado fino, no deben contener más de un 5% de arcillas y finos de 1.5% de materias orgánicas, carbón, etc. Es conveniente que su tamaño máximo sea menor que $1/5$ de la distancia entre paredes del encofrado, $3/4$ de la distancia libre entre armaduras y $1/3$ del espesor de las losas (ACI-3.3.2).

2.2.1.4 Agua

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites. Ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general, el agua potable es adecuada para el concreto.

Su función principal es hidratar el cemento. Pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

2.2.2. Resistencia del concreto

2.2.2.1 Resistencia del concreto ante sollicitaciones uniaxiales

Resistencia del concreto a la compresión: Este parámetro es obtenido a través del ensayo de un cilindro estándar de 6" (15 cm) de diámetro y 12" (30 cm) de altura. El espécimen debe permanecer en el molde 24 horas después del vaciado y posteriormente debe ser curado bajo agua hasta el momento del ensayo. El procedimiento estándar requiere que la probeta tenga 28 días de vida para ser ensayada, sin embargo, este periodo puede alterarse si se especifica. Durante la prueba, el cilindro es cargado a un ritmo uniforme de 2.45 kg/cm²/s. La resistencia a la compresión (f'_c) se define como el promedio de la resistencia de, como mínimo, dos probetas tomadas de la misma muestra probadas a los 28 días. El procedimiento se describe en detalle en las normas ASTM-C-192M-95 y C-39-96 (Harmsen, 2002)

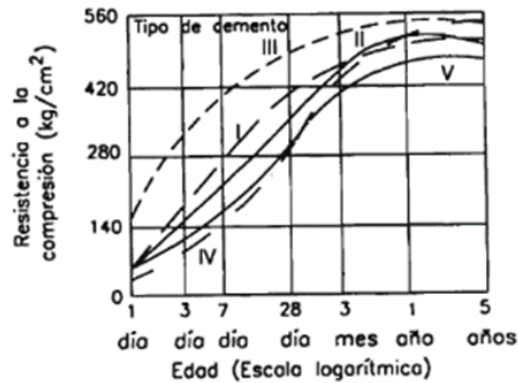


Fig. N° 1: Desarrollo de la resistencia a la compresión del concreto en función del tipo de cemento (Mac. Gregor, 1992, 2° edición)

Resistencia del concreto a la tracción: La resistencia del concreto a la tracción es mucho menor que su resistencia a la compresión constituyendo aproximadamente entre un 8% a 15% de ésta. Para la determinación de este Parámetro no se suele usar ensayos directos debido a las dificultades que se presentan sobre todo por los efectos secundarios que generan los dispositivos de carga. Para estimarlo se ha diseñado dos métodos indirectos.

El primero, llamado prueba brasilera o split-test consiste en cargar lateralmente el cilindro estándar, a lo largo de uno de sus diámetros hasta que se rompa. El procedimiento está especificado en la norma ASTM-C-496-96. En la figura 2 se muestra los esfuerzos que se generan a lo largo del diámetro cargado. (Harmsen, 2002)

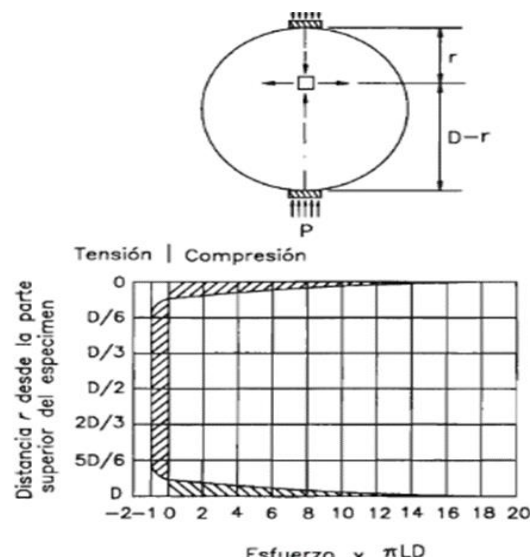


Fig. N° 2: Distribución del esfuerzo horizontal en un cilindro cargado sobre un ancho igual a 1/12 del diámetro (Neville, 1984, Tomos I Y III)

El valor de F_{ct} (resistencia a la tracción) oscila entre $1.59\sqrt{f'_c}$ y $2.2\sqrt{f'_c}$ para concretos normales (Mac. Gregor, 1992, 2° edición)

2.2.2.2 Resistencia del concreto al esfuerzo cortante

El esfuerzo cortante es una sollicitación que se presenta individualmente en casos muy excepcionales y la mayor de las veces actúa en combinación con esfuerzos normales. La resistencia al corte es difícil de evaluar pues no se puede aislar este esfuerzo de la tensión diagonal.

En el laboratorio, se han obtenido resistencias que varían de $0.2f'_c$ a $0.85f'_c$ (Nawy, 1990, 2° Edición). Este rango tan amplio es explicable dada la dificultad que se tiene para aislar esta sollicitación de otras, en los ensayos utilizados para su determinación. En el diseño, los esfuerzos cortantes se limitan a valores bajos a fin de evitar fallas por tensión diagonal. (Harmsen, 2002)

2.2.3. Propiedades mecánicas del concreto

2.2.3.1 Relación esfuerzo – deformación del concreto a compresión

En la figura 3 se muestran curvas esfuerzo-deformación para concretos normales de diversas resistencias a la compresión. Las gráficas tienen una rama ascendente casi lineal cuya pendiente varía de acuerdo a la resistencia y se extiende hasta aproximadamente 113 a 112 de f'_c .

Posteriormente adoptan la forma de una parábola invertida cuyo vértice corresponde al esfuerzo máximo en compresión. La deformación correspondiente a este punto es mayor para los concretos más resistentes. Sin embargo, para los de menor resistencia es casi constante e igual a 0.002. (Harmsen, 2002)

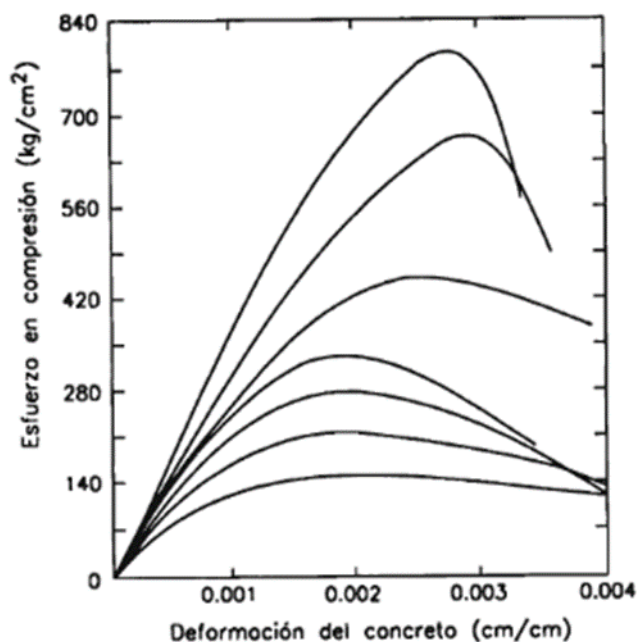


Fig. N° 3: Curva esfuerzo – deformación del concreto en compresión (Mac. Gregor, 1992, 2° edición)

2.2.4. Módulo de elasticidad del concreto

El módulo de elasticidad es función principalmente de la resistencia del concreto y de su peso volumétrico.

El reglamento ACI ha propuesto la siguiente expresión para estimar el módulo de elasticidad del concreto.

$$E_c = w^{1.5} 4000 \sqrt{f'_c}$$

Donde:

E_c = módulo de elasticidad en Kg/cm²

W = peso volumétrico del concreto en Tn/m³

f'_c = resistencia del concreto en kg/cm². (Morales Morales, 2006, 3° Edición)

Si consideramos el peso volumétrico del concreto $W = 2.4$ tn/m³ tenemos.

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c}$$

2.2.4.1 Concreto armado (NTP E060)

Concreto estructural reforzado con no menos de la cantidad mínima de acero, pre esforzado o no, especificada en los Capítulos 1 al 21. Cuando este lleva armaduras de acero como refuerzo y que está diseñado bajo la hipótesis de que los materiales trabajan conjuntamente, actuando la armadura para soportar los esfuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto.

CEMENTO + A. FINO + ARMADURAS = CONCRETO ARMADO

2.2.4.2 Ensayos

Ensayo para la determinación del módulo de elasticidad (ASTM C-469).

- Ensayo de abrasión (ASTM C-131).
- Ensayo en el concreto en estado fresco.
- Ensayo para la medición del asentamiento (ASTM C-143).
- Ensayo para determinar el peso unitario y densidad (ASTM C-138).
- Ensayo para determinar el contenido de aire (ASTM C-138).
- Ensayo para determinar la temperatura (ASTM C-164).
- Ensayo de resistencia a compresión.
- Normas:
 - ASTM C39 - Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto.
 - NTP 339.034 - Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

2.2.5. Fibra tereftalato de polietileno (PET)

Descubierto en 1941 por John Rex Whilfeld y James Tennant Dickson; aparece en el mercado hasta 1965, cuando Nathaniel Wyeth de la empresa DuPont, fabrica envases destinados a bebidas carbonatadas. En 1977, Pepsi-Cola empieza la comercialización de sus productos en botellas de PET biorientadas, haciendo del PET el material con el más alto crecimiento de la época.

El PET se considera un termoplástico de alta calidad que se identifica con el número uno o las siglas PET o PETE, rodeado por tres fechas en el fondo de los envases según el sistema de identificación de la SPI (Sociedad de Industrias de Plástico, por sus siglas en inglés).

Químicamente pertenece a la familia de los poliésteres, cuya principal característica es la Presencia de enlaces tipo éster ($-\text{CO}-\text{O}-$). El PET se constituye por grupos etileno y tereftalato. (Ávila Córdova, Martínez Barrera, Barrera Díaz, Ureña Nuñez, & Loza Sañez, 2015)

2.2.5.1 Propiedades del PET

Dada la regularidad estructural que presenta la unidad repetitiva del PET, éste muestra una alta tendencia a cristalizar. La cristalinidad está relacionada con la polaridad de los grupos éster, ya que el átomo de oxígeno del grupo carbonilo (de carga negativa) y el carbono (con carga positiva) se atraen mutuamente, permitiendo que los grupos éster de cadenas vecinas se alineen entre sí en una forma cristalina (C-PET). No obstante, siempre coexiste una parte cristalina y otra amorfa (A-PET), lo que está directamente en función de las condiciones de operación. De acuerdo a lo anterior, este material se puede encontrar en estado amorfo-transparente o semicristal no, con un 30-40% de cristalinidad; sin embargo, la presencia del anillo aromático hace que la cristalinidad alcanzada dependa fuertemente de la velocidad de enfriamiento: si procede de manera brusca, el fundido es un producto final prácticamente amorfo, con elevada transparencia y aceptable tenacidad. Si posteriormente es calentado a temperaturas iguales o superiores a su temperatura de transición vítrea ($T_g = 74^\circ\text{C}$) y en función del tiempo de tratamiento, se induce una cristalinidad desde el estado sólido (cristalización en frío), generando distorsión dimensional, contracción, opacidad e incremento de la rigidez, hecho que limita su temperatura en servicio.

Las propiedades del PET varían en función del grado de cristalinidad, de tal manera que el C-PET es de color blanco opaco con una densidad de 1.38 g/cm^3 . Sus propiedades mecánicas incluyen:

Altos valores de dureza y de resistencia a la abrasión; valores medios de resistencia a la propagación de grietas por tensión y baja resistencia al impacto así como otras propiedades, que incluyen alta capacidad de absorción de agua, elevada impermeabilidad a gases, vapor

de agua y aromas y aislamiento eléctrico medio. Su rango de temperatura de uso continuo abarca desde $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, y hasta $235\text{ }^{\circ}\text{C}$ en aire caliente.

El A-PET es transparente con una densidad de 1.33 g/cm^3 . Presenta menor rigidez y dureza que el C-PET, pero mejor resistencia al impacto; el rango de temperatura de uso continuo va de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y en ausencia de aire alcanza $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se cristaliza por encima de los $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ (con cierta turbidez). Es resistente a hidrocarburos y tiene buenas propiedades de barrera frente a gases no polares como O_2 y CO .

El PET es un termoplástico higroscópico que absorbe la humedad con facilidad; el contenido de agua en el polímero promueve la degradación y conlleva a la reducción de la masa molecular, lo que a su vez afecta las propiedades para la aplicación que se desee obtener, por lo tanto, deben favorecerse las condiciones óptimas de secado antes del procesamiento.

En el PET existen atracciones de tipo dipolo-dipolo que favorecen una estructura microscópica de entrecruzamiento tipo ovillo. Un mínimo aporte de calor permite que éstas puedan separarse, confiriendo el llamado estado visco elástico, de tal manera que se tiene un material transparente y muy impermeable al aire. La combinación de las propiedades de cristalinidad y viscosidad generan diferentes grados de PET; el cual se procesa primero en estado amorfo y después se le da una orientación uniaxial (para fabricar fibras textiles, cinta y lámina) o biaxial (para fabricar envases, películas y tarros); productos que ofrecen una adecuada relación costo-beneficio en lo referente a calidad, ligereza y precios competitivos.

El PET se comercializa en cuatro líneas de producción:

- a) PET textil como filamento continuo o fibra cortada, para la fabricación de prendas de vestir, telas tejidas, cuerdas, cinturones de seguridad, hilos de costura, refuerzos de llanta y mangueras. Su alta resistencia química permite fabricar cerdas de brocha y cepillos industriales.
- b) PET grado película: para medios magnéticos (películas fotográficas, de rayos X), eléctrico (audio, capacitores, contactos), industrial y artes gráficas (estampado en caliente)
- c) PET para envases, que ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, elevada transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo

d) PET para lámina, disponible en grado amorfo, espumado y cristalino. El amorfo provee claridad, alta pureza y resistencia tanto a bajas temperaturas como a hidrocarburos Clorados y capacidad de esterilización por óxido de etileno; el espumado presenta resistencia a temperaturas simultáneas de horneado-congelación. Otros grados de PET y que en la actualidad están cobrando relevancia, son los reciclados (denominados RPET), algunos de los cuales provienen de desperdicios industriales o post consumo que se regeneran por tratamientos fisicoquímicos. Los RPET se recomiendan para elaborar envases de productos no alimenticios, fibras no tejidas, láminas, feje y madera plástica o bien para el moldeo de otros productos. (Ávila Córdova, Martínez Barrera, Barrera Díaz, Ureña Nuñez, & Loza Sañez, 2015)

2.2.6. Rotura por flexión de elementos de concreto armado

A lo largo del proceso de carga la pieza de Hormigón pasa por tres estados distintos.

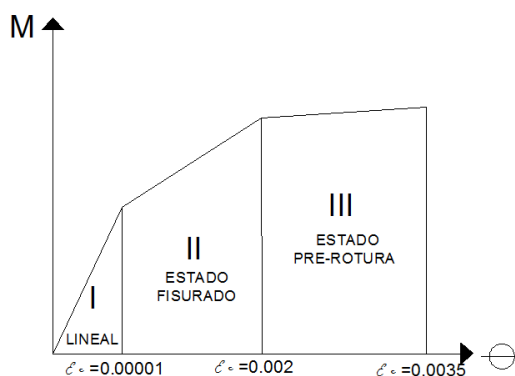


Fig. N° 4: Diagrama Momento - Curvatura

2.2.6.1 Estado elástico lineal

Del diagrama momento curvatura se observa que en el primer estado se tiene una respuesta lineal, esta respuesta lineal tiene los límites definidos por un momento crítico donde se sabe que la tensión del hormigón traccionado "fct" llega al límite. Por tanto, este momento crítico corresponderá a la tensión máxima de tracción del Hormigón que es un valor muy pequeño, pero no nulo; Que ocurre cuando la tensión de tracción de hormigón supera a "fct", si esto ocurre se tendrá un cambio en la sección del Hormigón ya que la inercia del hormigón variará.

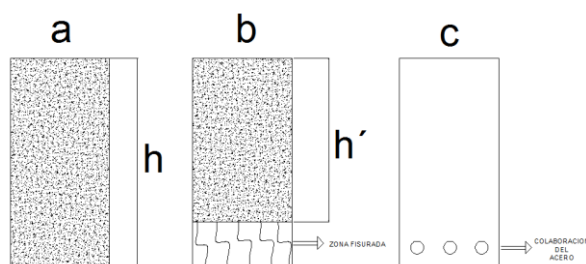


Fig. N° 5: Variación de la sección de concreto

Como se mencionó cuando la tensión por flexión del Hormigón sobre pasa al f_{ct} , la inercia de la sección empieza a variar de una sección con inercia bruta de altura h (figura a); a una sección con fisuras de altura h' (figura b); para ello se acude a utilizar barras de acero (figura c); las cuales son muy importantes ya que si ellas no existieran la sección fallaría.

2.2.6.2 Estado elástico fisurado

Las tensiones flexionantes en el Hormigón fisuran la sección, donde el acero es quien se encarga de soportar estas tensiones, la deformación del acero y del Hormigón ya no son iguales y la distribución de esfuerzos deja de ser lineal como en el estado elástico.

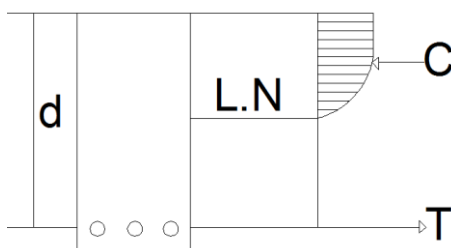


Fig. N° 6: Diagrama de esfuerzos

La distribución de tensiones de la zona comprimida (hormigón) y la zona fraccionada (acero) deberán estar en equilibrio, estas zonas están separadas por la línea neutra de la sección, este estado es admitido hasta una deformación del concreto igual al 2 por 1000 como se observa en la figura 4 del Diagrama Momento-Curvatura.

2.2.6.3 Estado de pre-rotura

Este estado está definido por un comportamiento plástico de la sección de varía desde la deformación del 2 por 1000 hasta la máxima capacidad a compresión del Hormigón admitida del 3.5 por mil, este es el límite de rotura para el hormigón trabajando a flexión compuesta, este estado de cálculo es la zona más insegura, ya que como se observa en la figura 15 para pequeños aumentos de momento la deformación aumenta rápidamente, pero es verdad que en esta zona es donde se aprovecha al máximo el material, llegando a una posición límite de la línea neutra donde ya no se le puede exigir más a la sección

En este estado de pre-rotura no se puede afirmar la ley de Navier.

$$\frac{M}{\Theta} = EI$$

Donde exista una proporcionalidad entre el Momento ya que el producto de EI sería un valor variable y no constante, esto ocurre por el cambio de inercia debido a la fisuración y el valor E también varía según a la compresión que recibe.

2.2.7. Comportamiento de miembros de concreto armado

Según Romo Proaño Marcelo El hormigón armado es un material estructural en el que se integran las propiedades del Hormigón simple y del acero de refuerzo. Para que se produzca ese trabajo integrado es necesario que ambos materiales básicos estén íntimamente unidos e interaccionen a través de las fuerzas de adherencia que se desarrollan en sus superficies de contacto, Con el objeto de favorecer esa adherencia, la superficie del acero debe ser rugosa por lo que estructuralmente se utilizan varillas de acero corrugado, y el hormigón debe ser vibrado luego de ser colocado en los moldes.

2.2.7.1 Diagrama esfuerzo – deformación del concreto

Según Fratelli las curvas de esfuerzo-deformación del concreto se obtiene de ensayos en probetas standard sujetas a carga axial en compresión uniformemente distribuida de corta duración, se indica en la figura 1, en este diagrama se observa que la curva presenta un punto máximo seguido de un trazo descendente, produciéndose la rotura del espécimen para una carga menor que máxima, a la carga máxima le corresponde una deformación unitaria de $\xi_c = 0.003$ según la normativa española esta deformación llega a $\xi_c = 0.0035$

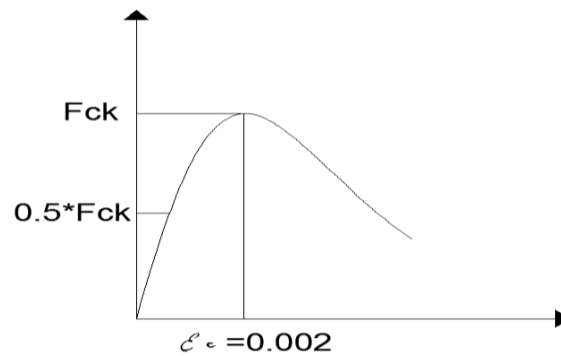


Fig. N° 7 : Esfuerzo - Deformación del concreto

El concreto alcanza su máxima deformación al 0.002 y su resistencia ultima al 0.0035 según la EHE en la cual estaba basado el CBH-87, El módulo de elasticidad del concreto puede ser estimado mediante la siguiente expresión empírica

$$E_c = 15100 * \sqrt{Fck}$$

Modelo constitutivo Grafica

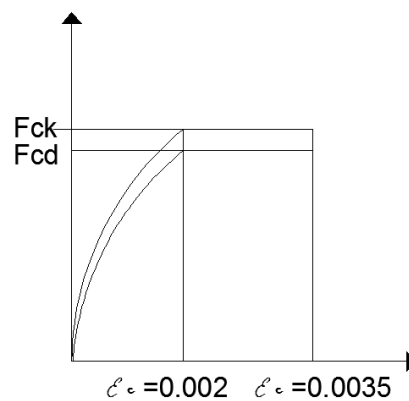


Fig. N° 8: Esfuerzo-Deformación del Concreto Según CBH-87

Grafica esfuerzo-deformación del concreto según CBH-87 donde se puede observar la denominada grafica parábola-rectángulo

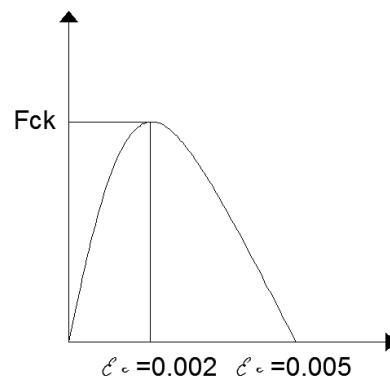


Fig. N° 9 : Modelo de Mandell

Esta grafica conocida como el diagrama de Mandell está incorporada en programas como el SAP2000, tiene una diferencia según al diagrama parábola-rectángulo del CBH-87, ya que la deformación máxima del concreto llega a ser 0.005, esto se debe a que ambos son modelos constitutivos quizá uno más real que el otro y varían según a los códigos de diseño.

2.3. Definiciones conceptuales

2.3.1. Resistencia

“Es la capacidad de un cuerpo, elemento o estructura de soportar cargas sin colapsar”
(Cabrera, 2011)

2.3.2. Rigidez

“Es la propiedad de un cuerpo, elemento o estructura de oponerse a las deformaciones. También podría definirse como la capacidad de soportar cargas o tensiones sin deformarse o desplazarse excesivamente” (Cabrera, 2011)

2.3.3. Concreto

“El concreto es una mezcla, adecuadamente dosificada, de cemento, agua y agregado fino y grueso. Adicionalmente también puede tener en su composición aditivos, adiciones y fibra”
(Rivva López, 2008)

2.3.4. Agregados

“Es el conjunto de partículas de origen natural y artificial, que pueden ser tratados o elaborados y fijados, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta norma. Se les llama áridos” (Rivera Martínez, 2013)

2.3.5. Cemento

“Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire.

Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (RNE, 2009)

2.3.6. PET (Tereftalato Polietileno)

“Es un plástico que forma parte del grupo de los materiales sintéticos termos formables, tiene varios usos; entre los que destacan: fibras, envases y empaques misceláneos. Este compuesto se obtiene de la combinación entre el ácido tereftálico y el etilenglicol” (Juárez N., María E., & Vera M., 2011)

2.3.7. PET reciclado

“El Tereftalato de polietileno es un material que es reciclado, es un tipo de plástico utilizado mayormente en los envases de bebidas, en especial botellas de agua, y en textiles. El reciclaje de PET, tiene una gran importancia dentro de los plásticos, por su presencia masiva” (Juárez N., María E., & Vera M., 2011)

2.4. Hipótesis

Determinar la resistencia y rigidez de elementos no estructurales reforzado con fibras tereftalato de polietileno reciclado usada como refuerzo en concreto armado, teniendo en cuenta la Norma Técnica Peruana (NTP).

2.5. Variables dependiente e independiente

2.5.1. Variable independiente

(V1) = Cuantía (fibras PET)

2.5.2. Variable dependiente

(V2) = Resistencia y rigidez (flexión)

2.6. Operacionalización de las variables

Tabla N° 1 : Operacionalización de Variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento de investigación
Independiente	Fibra PET Como refuerzo en concreto armado	Cuantía (A/bd)	%	Vernier
Dependiente	Momento máximo resistente	$M_{max}=P1L/4$	N.m	Marco de carga con transductor de carga.
	Momento límite elástico (empieza a fluir el PET)	$MLE=P2L/4$	N.m	Marco de carga con transductor de carga.
	Rigidez flexional	$K_{flex}= M/def.$	N.m	Marco de carga con transductor de carga y deformímetro.

Capítulo III. Metodología de la investigación

3.1. Tipo de investigación, enfoque y alcance o nivel

3.1.1. - Enfoque

Aplicada, debido a que en la presente investigación se desarrollaron los conocimientos adquiridos durante nuestra etapa universitaria.

3.1.2. - Alcance

Descriptiva, ya que logramos caracterizar el concreto con diferentes variables respecto a la cantidad de fibras tereftalato de polietileno. Para contar con los datos necesarios y determinar la resistencia y rigidez, asimismo, evaluar la aplicación de este tipo de elementos estructurales. Aparte de evaluar su comportamiento ante diferentes porcentajes de fibras PET. Y finalmente presentar en un informe descriptivo del comportamiento de las variables.

3.1.3. - Diseño:

La investigación según los medios utilizados para obtener los datos fue experimental. Debido a que la variable dependiente a estudiar se determina únicamente por ensayos estipulados normativamente y controlados en laboratorio, al igual que la obtención de las características de las variables independientes.

3.2. Muestra

Se elaboraron 15 probetas de concreto, tipo viga, reforzado con fibras tereftalato de polietileno trenzado. A las cuales se les denominó: A, B y C (cada grupo de 5 probetas), con diferentes dosificaciones de fibras. Teniendo a los del grupo 1: 1 soga de fibra, las del grupo 2: 2 sogas de fibras y las de grupo 3: 3 sogas de fibras.

Las dimensiones de la viga son 1.20m x 0.15 x 0.15m.

A continuación, se presenta en la tabla N° 2 la denominación de cada grupo de especímenes según corresponda a sus criterios para el diseño, siendo el tamaño de la muestra para cada grupo de 5 testigos.

Tabla N° 2: Codificación para cada grupo de probetas de ensayos

CODIFICACION PROBETAS			
Dosificación de Fibra (B)	1 soga	2 sogas	3 sogas
Concreto 210 kg/cm ² (A)	V.1-1	V.1-2	V.1-3
	V.2-1	V.2-2	V.2-3
	V.3-1	V.3-2	V.3-3
	V.4-1	V.4-2	V.4-3
	V.5-1	V.5-2	V.5-3

$$\begin{aligned}
 \text{Número total de probetas} &= (\# \text{ factor A}) \times (\# \text{ factor B}) \times (\# \text{ repeticiones}) \\
 &= (1) \times (3) \times (5) \\
 &= 15
 \end{aligned}$$

3.3. Técnicas desarrolladas e instrumentos para la recolección de datos

3.3.1. Materiales

Los materiales usados fueron los necesarios para la realización de los ensayos de acuerdo a la normatividad.

3.3.1.1 Cemento

Para el desarrollo de la investigación se utilizó el cemento mochica rojo que proviene de la Fabrica Cemento Pacasmayo SA. Este Cemento se comercializa en la ciudad de Trujillo y cumple con las normas NTP 334.082 y ASTM C1157.

3.3.1.2 Gravilla

La gravilla que se utilizó para el desarrollo de la investigación, proviene de la Cantera “Cerro Campana” ubicada en la Calle Miguel Grau – Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad.

3.3.1.3 Agregado grueso

El agregado grueso que se utilizó para el desarrollo de la investigación, proviene de la Cantera “Cerro Campana” ubicada en la Calle Miguel Grau – Distrito de Huanchaco, Provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad.

3.3.1.4 Agua

En la mezcla se utilizó agua potable de suministro doméstico, siguiendo los parámetros de las tesis guías, debido a la presencia excesiva de burbujas en el agua esta debe reposar hasta que no se observen burbujas.

3.3.1.5 Fibras tereftalato de polietileno PET

Se utilizó PET en forma de tiras con un espesor de 5 mm aproximadamente. El proceso de preparación se inicia en el reciclado de botellas de plástico (gaseosa y/o agua 3 litros), Luego estos fueron lavados con agua corriente a fin de eliminar alguna impureza. Luego se dejó secar por 48 horas. y se realizó el corte formando tiras de 5mm, utilizando una herramienta casera. Obtenido las tiras, se realizó el trenzado de 6 hebras con 6 tiras de alma, formando de esta manera la sogá, cuya longitud, objeto de la investigación de hizo a 1.35m.



Foto N° 1: Herramienta de corte 1



Foto N° 2: Herramienta de corte 2

3.3.2. Equipos

3.3.2.1 Deformímetro

Se hizo uso de un deformímetro digital, suministrado por la universidad. Esto nos indicó la deflexión de cada viga.



Foto N° 3: Deformímetro

3.3.2.2 Vernier Digital

Se hizo uso de un vernier digital, suministrado por la universidad. Esto nos indicó la calibración de cada viga.



Foto N° 4: Vernier

3.3.2.3 Máquina universal de carga

Con capacidad de presión máxima de presión de 5800 psi, para ensayo a flexión de las vigas.



Foto N° 5: Máquina universal de carga

3.3.2.4 Máquina de ensayo a compresión

Se realizó el ensayo con una aplicación de carga de (4 ± 0.05) mm/min, para ensayo a compresión de probetas cilíndricas 15 x 30 cm.



Foto N° 6: Máquina ensayo a compresión

3.3.2.5 Máquina de ensayos universal INSTRON 8801

Con capacidad de carga de 100kN, para ensayo a tracción de las fibras PET. Otorgado por una entidad universitaria de la localidad.



Foto N° 7: Máquina universal de ensayos

3.4. Técnicas desarrolladas para el procesamiento y análisis de la información

3.4.1. Ensayos de laboratorio

3.4.1.1 Geometría de las vigas de ensayo

Para definir las dimensiones de las probetas de ensayos es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Las vigas de prueba de cada serie tienen que ser vaciadas a la vez, para que todas cuenten con la misma dosificación.
- Las dimensiones de las probetas serán limitadas teniendo en cuenta su peso, ya que cada una de ellas deben ser transportadas y manipuladas durante la fase de ensayos.,
- La manipulación en forma eficiente de la probeta durante la instrumentación y en ensayo.
- Finalmente, el tamaño de las superficies falladas (fisuradas y/o agrietadas) deben ser representativas de elementos reales.

3.4.1.2 Características de vigas reforzadas con PET

Para el ensayo se elaboraron quince vigas de sección rectangular de 0.15 m de ancho por 0.15 cm de alto y 1.20 de longitud, reforzadas con fibras pet trenzado, el área de sección de la soga es de 71mm² aproximadamente. Conjuntamente se elaborará tres testigos cilíndricos, con el fin de obtener la resistencia del concreto (f'_c), según norma ASTM C- 39, estas fueron Ensayadas a los 28 días. Se diseñó un recubrimiento mínimo de concreto sobre el PET de 3 cm.

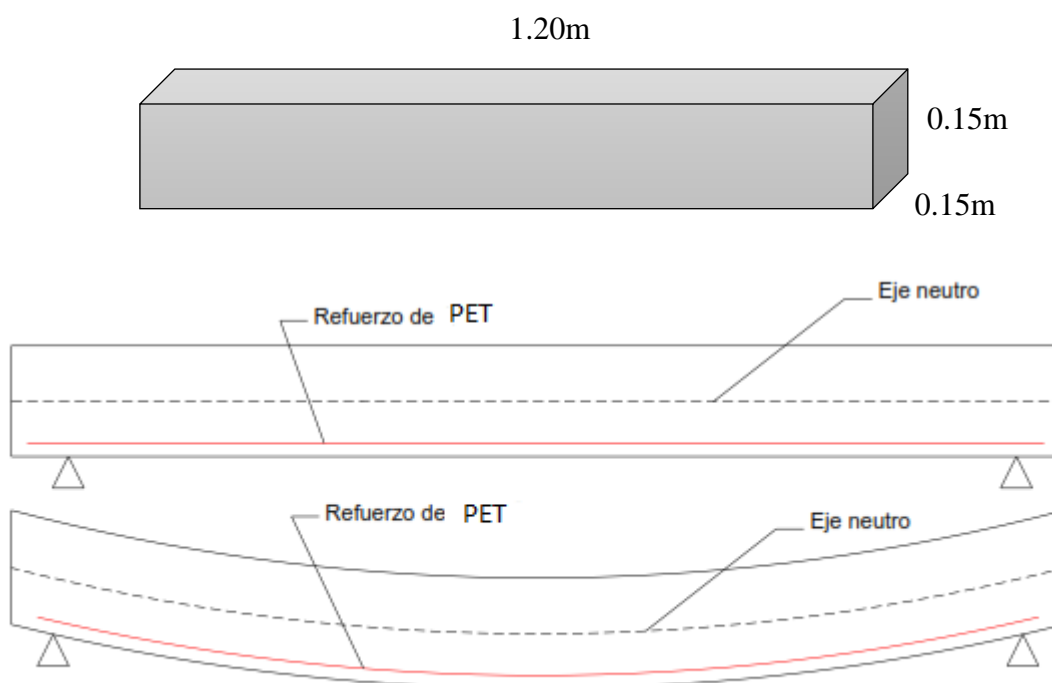


Foto N° 8: Viga de concreto reforzado con PET

Las vigas de concreto reforzadas con PET, fueron elaboradas en el patio del Laboratorio de Resistencia de Materiales de la Universidad Privada Antenor Orrego. Por lo cual una vez que el concreto de las vigas adquiriera la resistencia adecuada (mayor a los 28 días), se procedió a trasladarlas desde su posición original hasta el laboratorio para realizar el posterior ensayo.

3.4.1.3 Dosificación de mezcla

Los materiales que se utilizan deben ser controlados en su dosificación y preparación, ya que la resistencia varía bastante por pequeño que sea el cambio de proporciones de los materiales.

La dosificación base, para un metro cúbico de hormigón, que se siguió en la elaboración de los tres tipos de viga fue la siguiente:

Con una relación agua cemento de 0.66

Tabla N° 3 : Cantidades por m³

Material	Parcial	Desperdicio	Total
Cemento (bolsas)	7.70	0.385	8.08
Arena gruesa (m³)	0.475	0.023	0.498
Piedra Chancada ½” (m³)	0.525	0.026	0.55
Agua (m³)	0.190	-	0.19

Dosificación de mezcla

Cemento (kg)	335.40
Arena gruesa (m³)	0.475
Piedra Chancada ½” (m³)	0.525
Porcentaje de agua	19%
Porcentaje de desperdicios	5%

3.4.1.4 Elaboración de las vigas de ensayo

- A partir de las dimensiones establecidas para las vigas a ensayar (0.15x0.15x1.20), se diseñaron y fabricaron 3 encofrados.



Foto N° 9: Molde de encofrado

- Se colocó las sogas trenzadas de PET como refuerzo en el interior del encofrado de cada una de las vigas, se hizo agujeros en los moldes, con los espaciamientos

adecuados para asegurar el recubrimiento de 2.5 cm. A la vez se hizo una tensión manual a las sogas PET, asimismo permitir una adecuada trabajabilidad con la mezcla. Las sogas PET a colocar por viga fueron una soga en 5 vigas, dos sogas en 5 más, y finalmente tres sogas en las restantes.



Foto N° 10: Colocación de sogas PET



Foto N° 11: Fijación de sogas PET en moldes.

- La elaboración de las vigas, se procedió a realizar la mezcla de concreto, posteriormente al vaciado. Además del compactado del concreto con ayuda del badilejo.



Foto N° 12: Preparación de mezcla.



Foto N° 13: Vaciado del concreto

- Se desencofraron las vigas a las 20 horas y se sometieron a curado. El proceso de curado se realizó por 28 días.



Foto N° 14: Desencofrado de vigas



Foto N° 15: Curado de vigas

3.4.1.5 Ensayo de laboratorio

El ensayo consiste en someter a flexión una viga rectangular de concreto reforzado, cargando la viga con una carga puntual en la mitad de la luz, desde los extremos, de forma que el tramo central de la misma quede sometido a flexión pura, logrando así la sollicitación buscada.

- Se habilitaron los materiales necesarios para la realización del ensayo de resistencia a la flexión de las vigas.
- Se adaptó la maquina universal, colocando un bloque de aplicación de carga, con el fin de distribuir la fuerza que aplica sobre él, el gato empleado en el ensayo. Además, se colocó un deformímetro de ± 0.01 mm de precisión, en la parte central de la viga. Para tener mayor precisión de la carga, se adaptó el transductor de carga digital a la computadora donde se leerá los datos a través de software. Las vigas se apoyaron sobre una estructura metálica, con cilindros que se comportaron como apoyos simples.



Foto N° 16: Colocación de bloque aplicador de carga

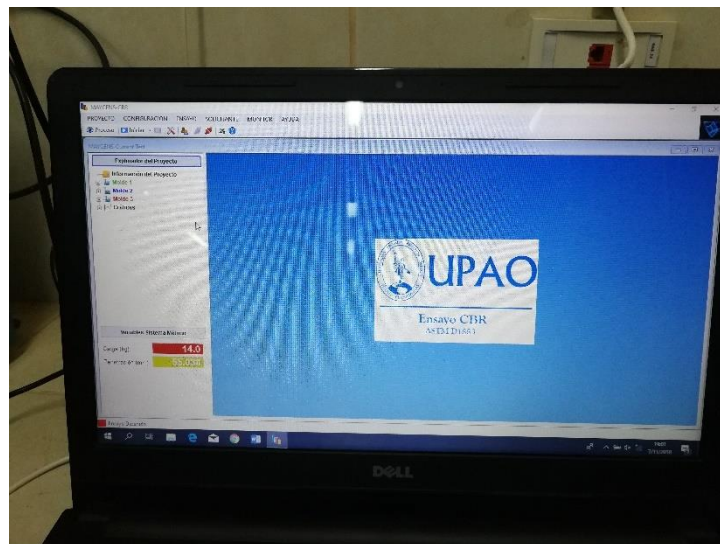


Foto N° 17: Computadora que brindará los datos de carga y desplazamiento.

- Se aplicó la carga progresivamente con la ayuda del gato hidráulico, para de esta manera determinar la carga máxima que soportó, y registrar las deflexiones en cada viga



Foto N° 18: Inicio de prueba



Foto N° 19: Fin de prueba

Capítulo IV. RESULTADOS

Para el mejor desarrollo de la tesis nuestros resultados se han efectuado de forma ordenada según los objetivos.

4.1. Determinar el esfuerzo de fluencia y el módulo de elasticidad de las fibras PET.

Ensayo de tracción a probeta N° 01 PET

Tabla N° 4: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 01 PET)

Esfuerzo - Deformación	
ϵ (mm/mm)	δ (N/mm ²)
0.000	0.00
0.010	25.00
0.021	60.00
0.029	81.00
0.060	58.00
0.150	62.00
0.190	65.00

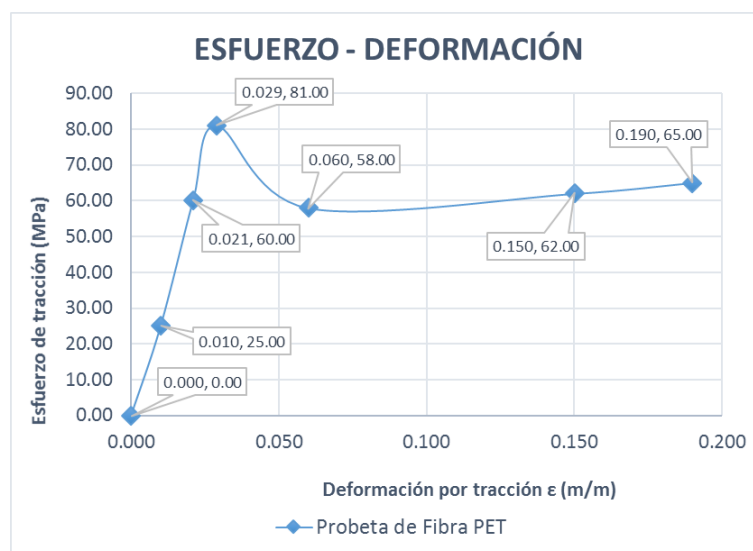


Fig. N° 10: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 01 PET)

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel.

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

Punto de fluencia (Límite elástico) $S_{yt} = 81 \text{ MPa}$

$$S_{yt} = 825.97 \text{ kgf/cm}^2$$

Ensayo de tracción a probeta N° 02 PET

Tabla N° 5: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 02 PET)

Esfuerzo - deformación	
ϵ (mm/mm)	δ (N/mm²)
0.000	0.00
0.010	24.85
0.021	60.42
0.030	82.69
0.064	58.13
0.154	63.51
0.194	66.45

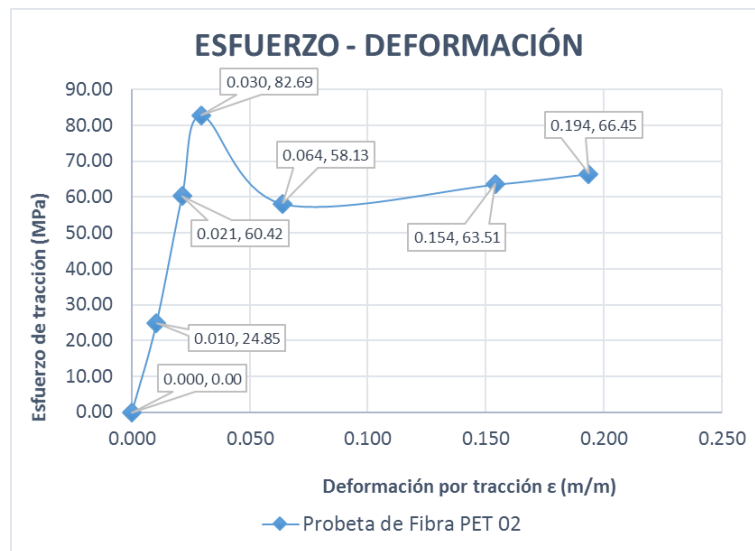


Fig. N° 11: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 02 PET)

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel.

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

Punto de fluencia (Límite elástico) $S_{yt} = 82.69 \text{ MPa}$

$$S_{yt} = 843.20 \text{ kgf/cm}^2$$

Ensayo de tracción a probeta N° 03 PET

Tabla N° 6: Datos de esfuerzo deformación fibras PET (Probeta N° 03 PET)

Esfuerzo - deformación	
ϵ (mm/mm)	δ (N/mm ²)
0.000	0.00
0.011	26.13
0.022	61.30
0.034	83.96
0.068	59.76
0.162	67.51
0.205	69.64

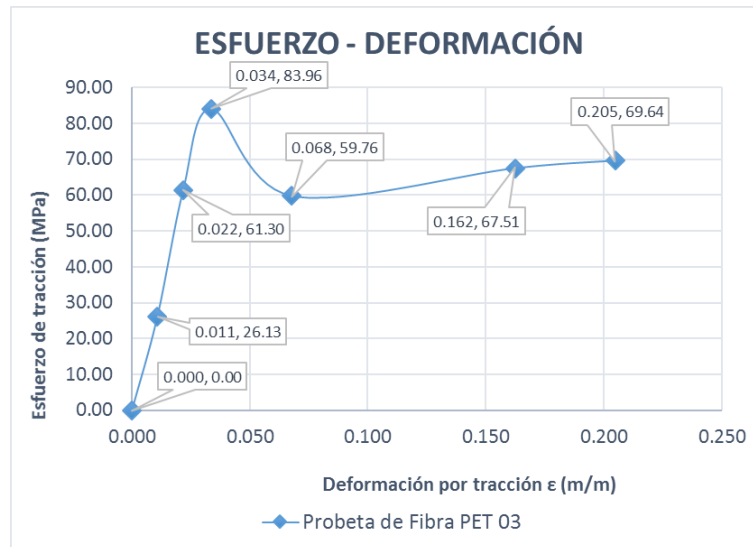


Fig. N° 12: Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 03 PET)

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel.

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

Punto de fluencia (Límite elástico) $S_{yt} = 83.96 \text{ MPa}$

$$S_{yt} = 856.17 \text{ kgf/cm}^2$$

Resumen de los Ensayos de tracción de probetas N° 01, 02 y 03 PET

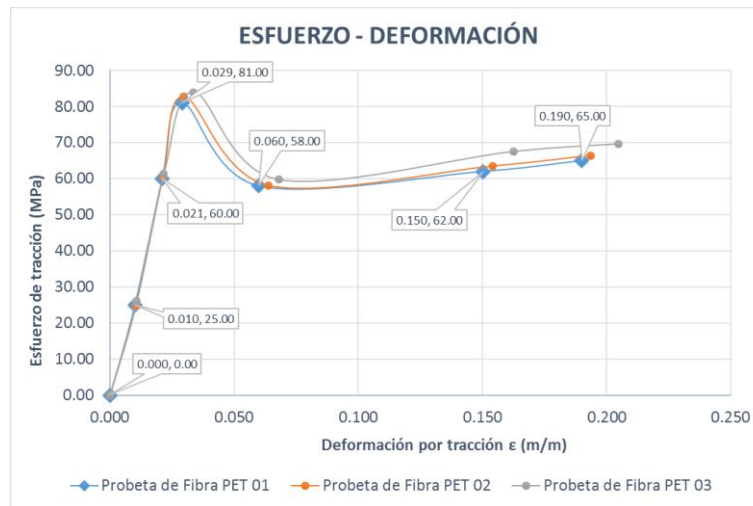


Fig. N° 13: Diagrama Esfuerzo deformación de fibras PET (Probeta N° 01, 02 y 03 PET)

Tabla N° 7: Resultados ensayo de tracción a fibras PET

Probeta	Ensayo	Resultados				Material
		Resistencia a la tracción (MPa)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)	Resistencia a la tracción (kgf/cm ²)	Resistencia a la tracción (kgf/cm ²)	
1	Resistencia a la tracción	81.00	N/mm ²	825.93	kgf/cm ²	Fibras PET
2	Resistencia a la tracción	82.69	N/mm ²	843.20	kgf/cm ²	Fibras PET
3	Resistencia a la tracción	83.96	N/mm ²	856.17	kgf/cm ²	Fibras PET

Promedio de Resultados:

Resistencia a la tracción (máximo esfuerzo)

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 82.55 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 841.77 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla N° 8: Resumen de resultados Módulo de elasticidad de fibras PET

Probeta	Ensayo	Resultados				Material
1	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET
2	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET
3	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET

Promedio de Resultados:

Módulo de elasticidad $E_{pet} = 2,840.10$ MPa

$$E_{pet} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

4.2. Encontrar el módulo de elasticidad del concreto.

Si consideramos el peso volumétrico del concreto $W = 2.4$ tn/m³ tenemos y el concreto usado $f'_c = 210$ kg/cm².

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 15000\sqrt{210} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

4.3. Determinar el diagrama momento curvatura de (los) elemento no estructural reforzado con fibras PET.

4.3.1. Resultados de los ensayos de flexión.

En las tablas numeradas se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de flexión realizados a las probetas de concreto reforzado con fibras PET.

4.3.1.1 Momento curvatura del concreto reforzado con 1 soga de fibras PET.

Tabla N° 9: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 1 soga

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 1, CON 1 PET				PROBETA 1, CON 1 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.00
2	820.70	0.03	0.0002	2	82.07	0.003
3	921.60	0.04	0.0002	3	92.16	0.003
4	977.80	0.05	0.0003	4	97.78	0.004
5	978.00	0.10	0.0005	5	97.80	0.009
6	988.60	0.14	0.0007	6	98.86	0.012
7	1,081.60	0.25	0.0013	7	108.16	0.022
8	1,171.60	0.32	0.0016	8	117.16	0.028
9	1,218.50	0.35	0.0018	9	121.85	0.031
10	1,264.50	0.41	0.0021	10	126.45	0.036
11	1,341.20	0.44	0.0022	11	134.12	0.038
12	1,478.30	0.50	0.0025	12	147.83	0.044
13	1,553.50	0.59	0.0030	13	155.35	0.051
14	1,639.40	0.60	0.0030	14	163.94	0.052
15	1,712.90	0.65	0.0033	15	171.29	0.057
16	1,802.70	0.71	0.0036	16	180.27	0.062
17	1,847.60	0.80	0.0040	17	184.76	0.070
18	2,073.10	0.91	0.0046	18	207.31	0.079
19	2,195.90	0.95	0.0048	19	219.59	0.083
20	2,195.90	4.34	0.0217	20	219.59	0.379
21	121.50	8.50	0.0425	21	12.15	0.741
22	122.50	12.50	0.0625	22	12.25	1.089
23	123.10	15.80	0.0790	23	12.31	1.376
24	145.20	25.60	0.1280	24	14.52	2.222
25	121.50	35.20	0.1760	25	12.15	3.041
Ductilidad de la sección						144.64

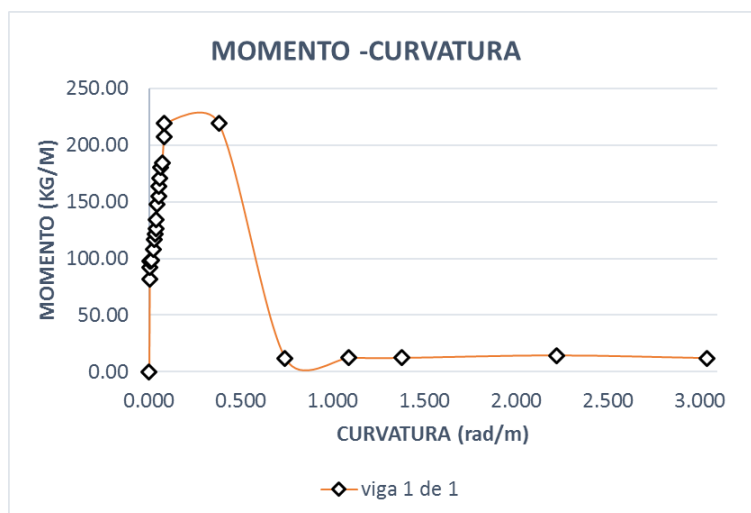


Fig. N° 14: Momento curvatura de probeta 1 de 1 PET

Tabla N° 10: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 1 sogá

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 2, CON 1 PET				PROBETA 2, CON 1 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	345.20	0.03	0.0002	2	34.52	0.003
3	452.25	0.04	0.0002	3	45.23	0.003
4	685.20	0.05	0.0003	4	68.52	0.004
5	700.40	0.08	0.0004	5	70.04	0.007
6	720.50	0.10	0.0005	6	72.05	0.009
7	750.80	0.29	0.0015	7	75.08	0.025
8	775.40	0.40	0.0020	8	77.54	0.035
9	845.20	0.73	0.0037	9	84.52	0.064
10	950.20	1.00	0.0050	10	95.02	0.087
11	1,033.70	1.30	0.0065	11	103.37	0.113
12	1,039.60	1.35	0.0068	12	103.96	0.118
13	1,439.80	1.86	0.0093	13	143.98	0.162
14	1,565.50	2.00	0.0100	14	156.55	0.175
15	1,830.80	2.29	0.0115	15	183.08	0.200
16	2,198.90	4.34	0.0217	16	219.89	0.379
17	121.50	5.50	0.0275	17	12.15	0.480
18	121.80	12.50	0.0625	18	12.18	1.089
19	122.30	15.50	0.0775	19	12.23	1.350
20	122.50	18.90	0.0945	20	12.25	1.644
21	124.50	25.30	0.1265	21	12.45	2.196

22	125.00	30.48	0.1524
23	125.20	35.80	0.1790

22	12.50	2.640
23	12.52	3.091

Ductilidad de la sección

144.64

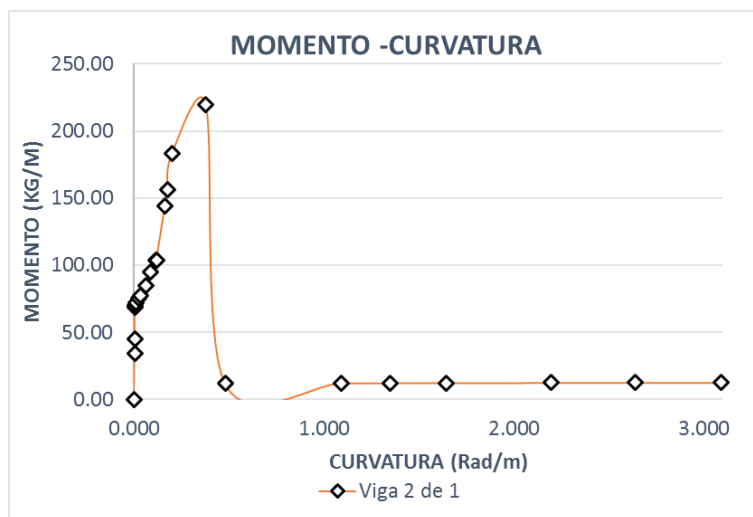


Fig. N° 15: Momento curvatura de probeta 2 de 1 PET

Tabla N° 11: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 1 soga

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 3, CON 1 PET				PROBETA 3, CON 1 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	602.10	0.03	0.0002	2	60.21	0.003
3	650.10	0.27	0.0014	3	65.01	0.024
4	679.00	0.40	0.0020	4	67.90	0.035
5	760.00	0.51	0.0026	5	76.00	0.045
6	873.90	0.74	0.0037	6	87.39	0.065
7	910.60	0.94	0.0047	7	91.06	0.082
8	967.20	1.01	0.0051	8	96.72	0.088
9	1,030.50	1.21	0.0061	9	103.05	0.106
10	1,150.70	1.55	0.0078	10	115.07	0.135
11	1,244.10	1.71	0.0086	11	124.41	0.149
12	1,406.60	2.03	0.0102	12	140.66	0.177
13	1,463.50	2.12	0.0106	13	146.35	0.185

14	1,576.30	2.24	0.0112	14	157.63	0.195
15	1,652.40	2.35	0.0118	15	165.24	0.205
16	1,682.50	2.52	0.0126	16	168.25	0.220
17	1,792.90	2.76	0.0138	17	179.29	0.241
18	2,160.00	3.13	0.0157	18	216.00	0.273
19	2,695.60	4.22	0.0211	19	269.56	0.368
20	2,837.20	8.43	0.0422	20	283.72	0.735
21	131.20	13.20	0.0660	21	13.12	1.150
22	145.20	15.20	0.0760	22	14.52	1.324
23	145.80	19.20	0.0960	23	14.58	1.670
24	148.80	19.80	0.0990	24	14.88	1.722
25	159.20	22.90	0.1145	25	15.92	1.990
26	160.80	26.64	0.1332	26	16.08	2.311
27	175.40	30.12	0.1506	27	17.54	2.609
28	177.60	33.58	0.1679	28	17.76	2.903
				Ductilidad de la sección	280.83	

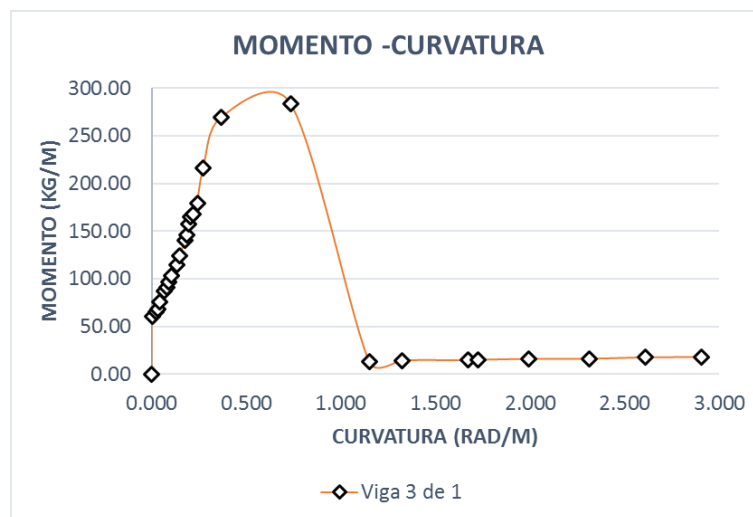


Fig. N° 16: Momento curvatura de probeta 3 de 1 PET

Tabla N° 12: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 1 sogá

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 4, CON 1 PET				PROBETA 4, CON 1 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00	0.0000	1	0.00	0.000
2	385.20	0.03	0.0002	2	38.52	0.003

3	650.20	0.11	0.0006	3	65.02	0.010
4	680.20	0.50	0.0025	4	68.02	0.044
5	725.40	0.55	0.0028	5	72.54	0.048
6	730.50	0.61	0.0031	6	73.05	0.053
7	780.95	0.78	0.0039	7	78.10	0.068
8	840.25	0.95	0.0048	8	84.03	0.083
9	950.20	1.76	0.0088	9	95.02	0.154
10	1,079.30	2.16	0.0108	10	107.93	0.188
11	1,195.40	2.54	0.0127	11	119.54	0.222
12	1,292.50	2.86	0.0143	12	129.25	0.250
13	1,458.30	3.50	0.0175	13	145.83	0.305
14	1,479.10	5.20	0.0260	14	147.91	0.454
15	121.30	11.30	0.0565	15	12.13	0.985
16	122.20	15.60	0.0780	16	12.22	1.359
17	123.50	18.40	0.0920	17	12.35	1.601
18	124.50	25.40	0.1270	18	12.45	2.205
19	125.60	31.13	0.1557	19	12.56	2.695
20	126.30	35.60	0.1780	20	12.63	3.074
				Ductilidad de la sección	173.29	

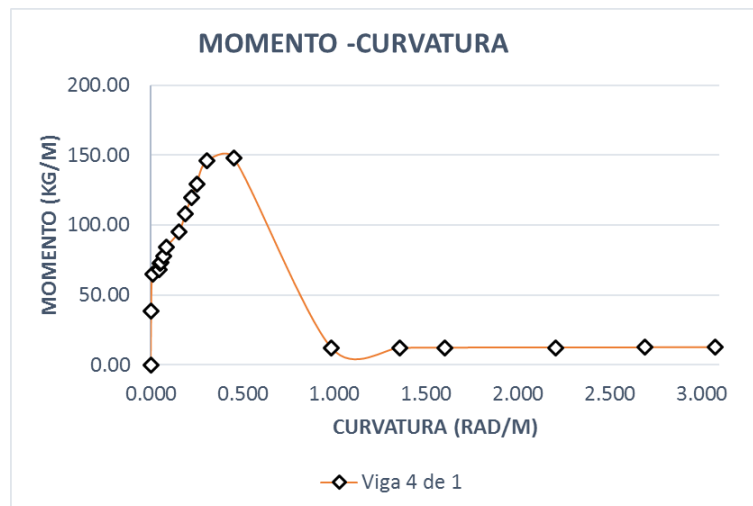


Fig. N° 17: Momento curvatura de probeta 4 de 1 PET

Tabla N° 13: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 1 soga

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 5, CON 1 PET				PROBETA 5, CON 1 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00	0.0000	1	0.00	0.000
2	849.40	0.03	0.0002	2	84.94	0.003
3	950.80	0.05	0.0003	3	95.08	0.004
4	1,030.00	0.32	0.0016	4	103.00	0.028
5	1,098.00	0.43	0.0022	5	109.80	0.038
6	1,148.80	0.59	0.0030	6	114.88	0.051
7	1,188.10	0.68	0.0034	7	118.81	0.059
8	1,370.10	0.99	0.0050	8	137.01	0.086
9	1,471.90	1.13	0.0057	9	147.19	0.099
10	1,455.10	1.26	0.0063	10	145.51	0.110
11	1,595.90	1.37	0.0069	11	159.59	0.120
12	1,663.70	1.50	0.0075	12	166.37	0.131
13	1,932.30	1.83	0.0092	13	193.23	0.160
14	1,946.90	1.95	0.0098	14	194.69	0.170
15	1,960.80	2.08	0.0104	15	196.08	0.182
16	2,017.10	2.17	0.0109	16	201.71	0.189
17	2,017.10	2.70	0.0135	17	201.71	0.236
18	122.50	5.50	0.0275	18	12.25	0.480
19	123.40	10.50	0.0525	19	12.34	0.915
20	124.50	12.58	0.0629	20	12.45	1.096
21	125.50	15.56	0.0778	21	12.55	1.355
22	126.50	18.30	0.0915	22	12.65	1.593
23	126.80	25.14	0.1257	23	12.68	2.182
24	128.50	30.45	0.1523	24	12.85	2.637
25	128.90	35.20	0.1760	25	12.89	3.041
Ductilidad de la sección						89.99

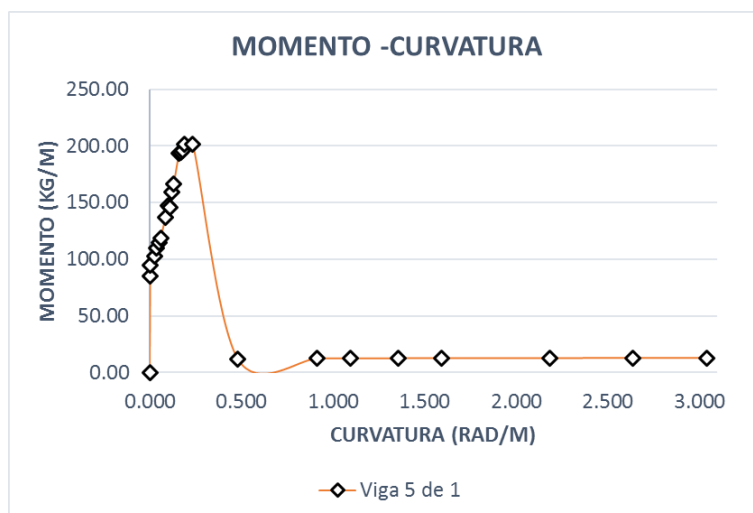


Fig. N° 18: Momento curvatura de probeta 5 de 1 PET

4.3.1.2 Momento curvatura del concreto reforzado con 2 sogas de fibras PET.

Tabla N° 14: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 2 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 1, CON 2 PET				PROBETA 1, CON 2 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	318.90	0.01	0.0001	2	31.89	0.001
3	1,216.90	0.10	0.0005	3	121.69	0.009
4	1,258.10	0.13	0.0007	4	125.81	0.011
5	1,351.50	0.38	0.0019	5	135.15	0.033
6	1,550.90	0.57	0.0029	6	155.09	0.050
7	1,483.10	0.73	0.0037	7	148.31	0.064
8	1,640.60	0.84	0.0042	8	164.06	0.073
9	1,771.70	1.12	0.0056	9	177.17	0.098
10	1,992.40	1.13	0.0057	10	199.24	0.099
11	1,993.50	2.80	0.0140	11	199.35	0.244
12	125.50	6.89	0.0345	12	12.55	0.601
13	126.80	7.16	0.0358	13	12.68	0.625
14	168.10	8.95	0.0448	14	16.81	0.781
15	171.10	10.55	0.0528	15	17.11	0.920
16	172.20	12.69	0.0635	16	17.22	1.106
17	189.80	14.79	0.0740	17	18.98	1.288
18	190.10	19.25	0.0963	18	19.01	1.675
19	198.50	22.79	0.1140	19	19.85	1.980
20	191.12	25.12	0.1256	20	19.11	2.181

21	192.30	35.70	0.1785	21	19.23	3.083
				Ductilidad de la sección		279.98

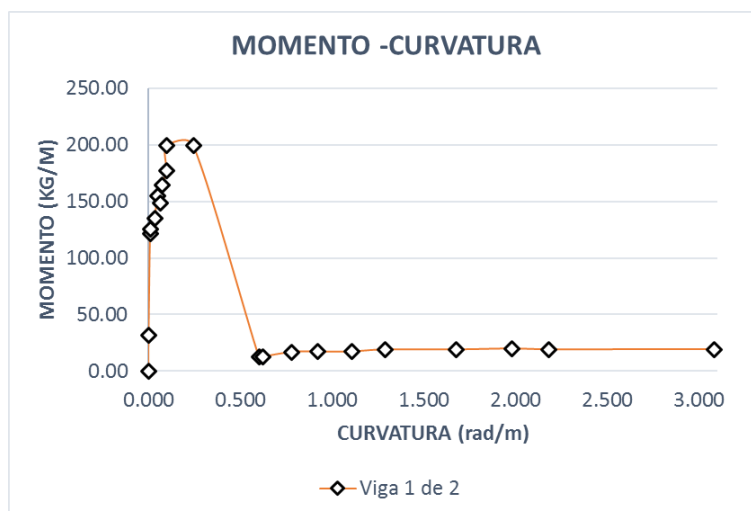


Fig. N° 19: Momento curvatura de probeta 1 de 2 PET

Tabla N° 15: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 2 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 2, CON 2 PET				PROBETA 2, CON 2 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	450.20	0.03	0.0002	2	45.02	0.003
3	1,110.20	0.08	0.0004	3	111.02	0.007
4	1,180.20	0.17	0.0009	4	118.02	0.015
5	1,210.30	0.32	0.0016	5	121.03	0.028
6	1,250.40	0.55	0.0028	6	125.04	0.048
7	1,285.40	0.72	0.0036	7	128.54	0.063
8	1,290.20	1.00	0.0050	8	129.02	0.087
9	1,300.20	1.58	0.0079	9	130.02	0.138
10	1,350.80	1.98	0.0099	10	135.08	0.173
11	1,450.20	2.32	0.0116	11	145.02	0.202
12	1,480.20	2.59	0.0130	12	148.02	0.226
13	1,540.20	2.91	0.0146	13	154.02	0.254
14	1,699.70	3.20	0.0160	14	169.97	0.279
	2,008.00	3.94	0.0197		200.80	0.344
15	2,132.20	3.98	0.0199	15	213.22	0.347
16	2,227.20	4.23	0.0212	16	222.72	0.369

17	120.50	6.71	0.0336
18	157.80	6.94	0.0347
19	249.10	8.90	0.0445
20	253.10	10.38	0.0519
21	279.70	11.52	0.0576
22	284.40	15.10	0.0755
23	301.80	17.41	0.0871
24	315.80	24.66	0.1233
25	353.40	31.05	0.1553
26	384.20	32.39	0.1620

17	12.05	0.585
18	15.78	0.605
19	24.91	0.776
20	25.31	0.905
21	27.97	1.004
22	28.44	1.315
23	30.18	1.515
24	31.58	2.141
25	35.34	2.688
26	38.42	2.802

Ductilidad de la sección

140.98

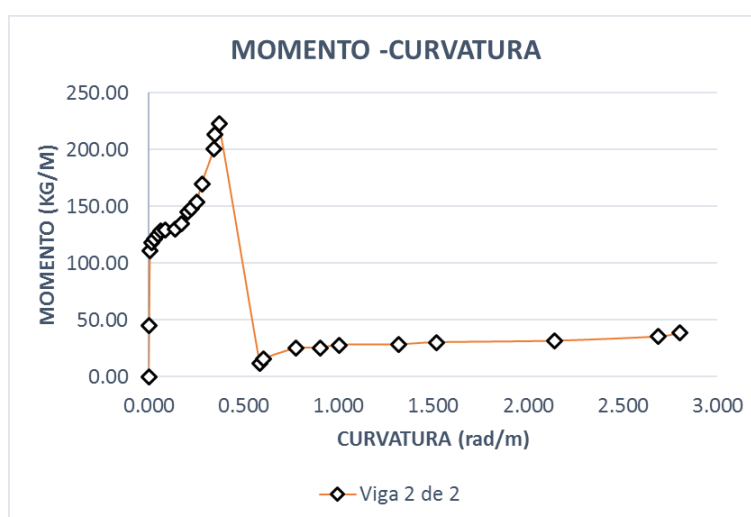


Fig. N° 20: Momento curvatura de probeta 2 de 2 PET

Tabla N° 16: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 2 sogas

DATOS DE EQUIPO			
PROBETA 3, CON 2 PET			
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm
1	0.00	0.00	0.0000
2	445.20	0.03	0.0002
3	950.20	0.07	0.0004
4	1,112.40	0.12	0.0006
5	1,185.20	0.29	0.0015
6	1,190.25	0.89	0.0045
7	1,210.20	1.28	0.0064
8	1,225.20	1.55	0.0078

CÁLCULO		
PROBETA 3, CON 2 PET		
#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.000
2	44.52	0.003
3	95.02	0.006
4	111.24	0.010
5	118.52	0.025
6	119.03	0.078
7	121.02	0.112
8	122.52	0.135

9	1,235.20	2.23	0.0112	9	123.52	0.195
10	1,240.50	2.85	0.0143	10	124.05	0.249
11	1,265.22	3.13	0.0157	11	126.52	0.273
12	1,346.50	3.69	0.0185	12	134.65	0.322
13	1,537.10	4.28	0.0214	13	153.71	0.373
14	1,788.00	4.88	0.0244	14	178.80	0.426
15	1,884.00	5.14	0.0257	15	188.40	0.448
16	1,989.40	5.54	0.0277	16	198.94	0.483
17	2,153.60	5.87	0.0294	17	215.36	0.512
18	2,316.10	6.05	0.0303	18	231.61	0.528
19	133.80	9.03	0.0452	19	13.38	0.787
20	324.90	11.76	0.0588	20	32.49	1.025
21	364.00	16.36	0.0818	21	36.40	1.425
22	436.80	23.29	0.1165	22	43.68	2.023
23	455.30	27.32	0.1366	23	45.53	2.369
24	465.20	32.50	0.1625	24	46.52	2.812
				Ductilidad de la sección	201.61	

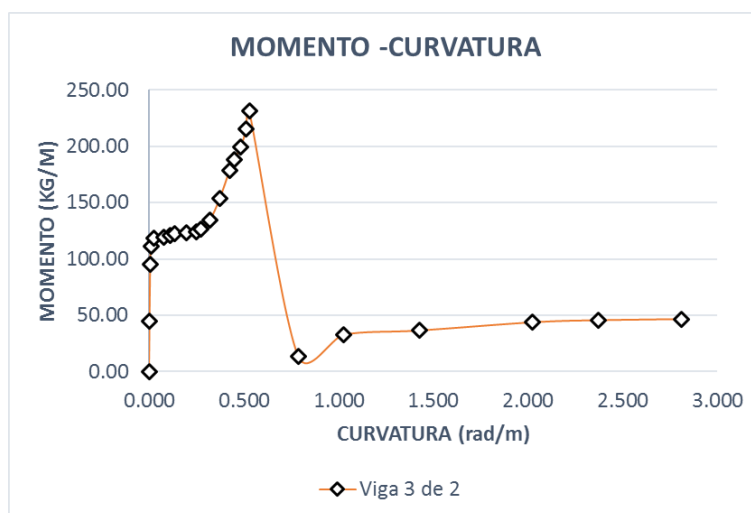


Fig. N° 21: Momento curvatura de probeta 3 de 2 PET

Tabla N° 17: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 2 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 4, CON 2 PET				PROBETA 4, CON 2 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00	0.0000	1	0.00	0.000

2	385.20	0.03	0.0002
3	845.65	0.04	0.0002
4	950.85	0.09	0.0005
5	1,120.58	0.27	0.0014
6	1,150.80	0.53	0.0027
7	1,180.20	1.15	0.0058
8	1,195.60	1.60	0.0080
9	1,210.30	1.81	0.0091
10	1,310.20	2.14	0.0107
11	1,579.90	2.74	0.0137
12	1,651.90	2.82	0.0141
13	1,712.00	2.92	0.0146
14	1,980.70	3.13	0.0157
15	2,164.80	3.45	0.0173
16	2,165.00	3.55	0.0178
17	126.60	7.18	0.0359
18	217.00	7.65	0.0383
19	287.90	9.47	0.0474
20	291.50	11.47	0.0574
21	297.10	16.13	0.0807
22	297.20	20.67	0.1034
23	314.20	22.83	0.1142
24	324.40	28.22	0.1411
25	336.10	33.27	0.1664
26	337.00	41.26	0.2063

2	38.52	0.003
3	84.57	0.003
4	95.09	0.008
5	112.06	0.024
6	115.08	0.046
7	118.02	0.100
8	119.56	0.140
9	121.03	0.158
10	131.02	0.187
11	157.99	0.239
12	165.19	0.246
13	171.20	0.255
14	198.07	0.273
15	216.48	0.301
16	216.50	0.310
17	12.66	0.626
18	21.70	0.667
19	28.79	0.826
20	29.15	1.000
21	29.71	1.405
22	29.72	1.797
23	31.42	1.984
24	32.44	2.447
25	33.61	2.877
26	33.70	3.551

Ductilidad de la sección

118.32

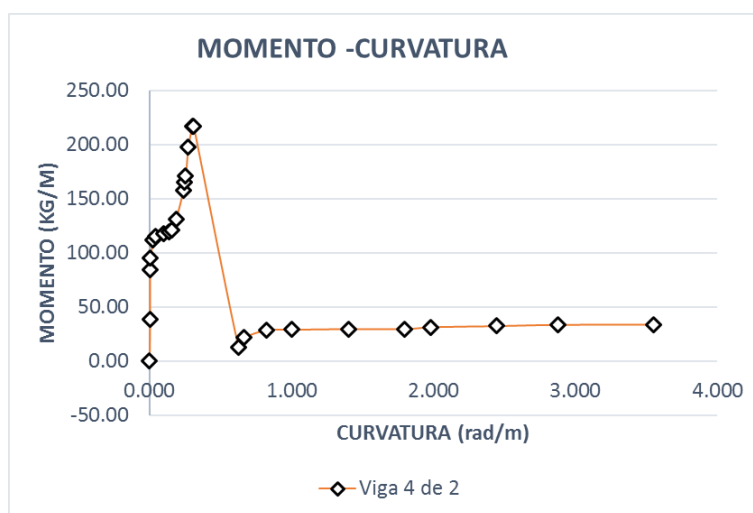


Fig. N° 22: Momento curvatura de probeta 4 de 2 PET

Tabla N° 18: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 2 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 5, CON 2 PET				PROBETA 5, CON 2 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00	0.0000	1	0.00	0.000
2	385.20	0.03	0.0002	2	38.52	0.003
3	785.20	0.10	0.0005	3	78.52	0.009
4	845.20	0.24	0.0012	4	84.52	0.021
5	950.20	0.52	0.0026	5	95.02	0.045
6	985.60	1.29	0.0065	6	98.56	0.113
7	1,032.40	1.64	0.0082	7	103.24	0.143
8	1,166.10	2.05	0.0103	8	116.61	0.179
9	1,422.40	2.48	0.0124	9	142.24	0.216
10	1,674.60	2.82	0.0141	10	167.46	0.246
11	1,838.30	3.13	0.0157	11	183.83	0.273
12	2,045.60	3.44	0.0172	12	204.56	0.300
13	2,119.30	3.52	0.0176	13	211.93	0.307
14	193.50	7.71	0.0386	14	19.35	0.672
15	254.70	9.10	0.0455	15	25.47	0.794
16	259.30	11.62	0.0581	16	25.93	1.013
17	285.10	12.76	0.0638	17	28.51	1.112
18	304.20	15.84	0.0792	18	30.42	1.379
19	333.10	21.90	0.1095	19	33.31	1.904
20	336.20	26.49	0.1325	20	33.62	2.298
21	342.50	32.50	0.1625	21	34.25	2.812
					Ductilidad de la sección	117.32

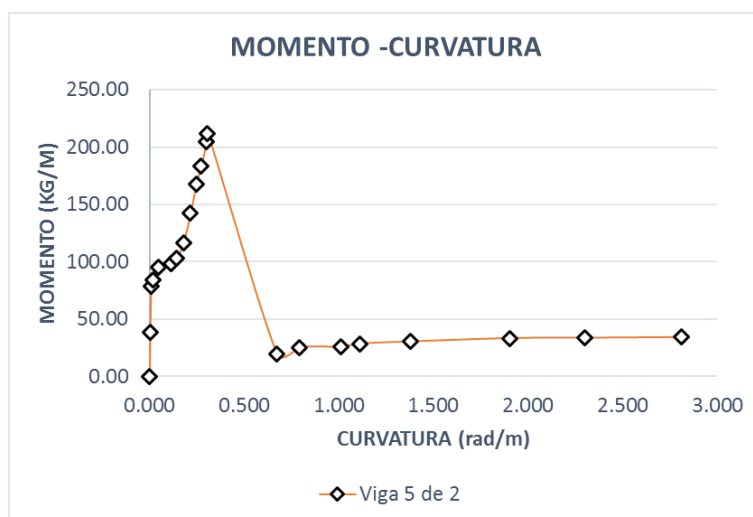


Fig. N° 23: Momento curvatura de probeta 5 de 2 PET

4.3.1.3 Momento curvatura del concreto reforzado con 3 sogas de fibras PET.

Tabla N° 19: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 1 con 3 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 1, CON 3 PET				PROBETA 1, CON 3 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	722.20	0.03	0.0002	2	72.22	0.003
3	829.20	0.08	0.0004	3	82.92	0.007
4	858.20	0.16	0.0008	4	85.82	0.014
5	964.90	0.41	0.0021	5	96.49	0.036
6	1,037.80	0.47	0.0024	6	103.78	0.041
7	1,206.50	0.70	0.0035	7	120.65	0.061
8	1,296.60	1.11	0.0056	8	129.66	0.097
9	1,467.20	1.36	0.0068	9	146.72	0.119
10	1,602.40	1.63	0.0082	10	160.24	0.142
11	1,804.20	1.81	0.0091	11	180.42	0.158
12	1,957.00	1.97	0.0099	12	195.70	0.172
13	2,086.70	2.03	0.0102	13	208.67	0.177
14	2,205.40	2.13	0.0107	14	220.54	0.186
15	2,159.70	2.16	0.0108	15	215.97	0.188
16	2,160.00	3.67	0.0184	16	216.00	0.320

17	122.60	5.13	0.0257	17	12.26	0.448
18	297.30	5.53	0.0277	18	29.73	0.482
19	346.40	6.60	0.0330	19	34.64	0.576
20	380.10	7.57	0.0379	20	38.01	0.660
21	379.60	8.62	0.0431	21	37.96	0.752
22	391.20	10.07	0.0504	22	39.12	0.878
23	450.50	15.87	0.0794	23	45.05	1.382
24	467.20	21.66	0.1083	24	46.72	1.883
25	500.50	30.92	0.1546	25	50.05	2.677
26	515.80	33.63	0.1682	26	51.58	2.908
Ductilidad de la sección						122.32

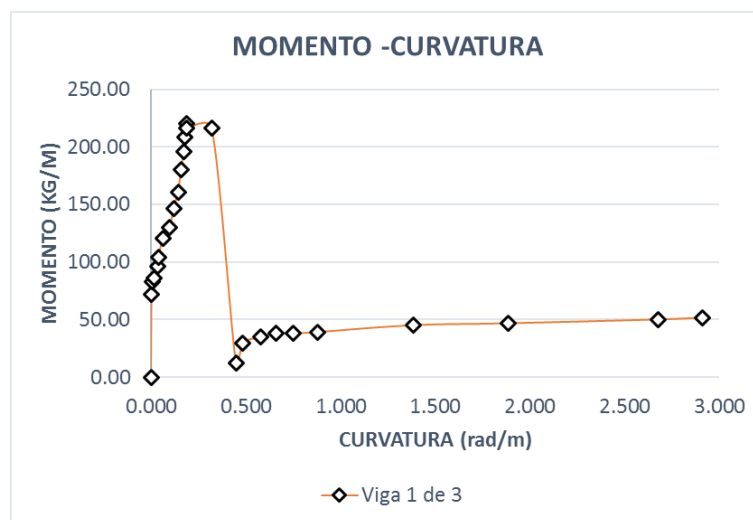


Fig. N° 24: Momento curvatura de probeta 1 de 3 PET

Tabla N° 20: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 2 con 3 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 2, CON 3 PET				PROBETA 2, CON 3 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	485.20	0.03	0.0002	2	48.52	0.003
3	1,120.40	0.07	0.0004	3	112.04	0.006
4	1,130.40	0.12	0.0006	4	113.04	0.010
5	1,200.54	0.20	0.0010	5	120.05	0.017
6	1,285.40	0.36	0.0018	6	128.54	0.031
7	1,325.52	0.77	0.0039	7	132.55	0.067
8	1,350.80	0.92	0.0046	8	135.08	0.080
9	1,389.25	1.20	0.0060	9	138.93	0.105
10	1,410.20	1.59	0.0080	10	141.02	0.139
11	1,450.60	1.98	0.0099	11	145.06	0.173
12	1,510.23	2.42	0.0121	12	151.02	0.211
13	1,603.30	2.80	0.0140	13	160.33	0.244
14	1,813.50	3.01	0.0151	14	181.35	0.263
15	2,363.80	3.56	0.0178	15	236.38	0.311
16	2,422.10	4.28	0.0214	16	242.21	0.373
17	287.80	5.05	0.0253	17	28.78	0.441
18	521.70	6.41	0.0321	18	52.17	0.559
19	554.30	8.10	0.0405	19	55.43	0.706
20	628.20	10.22	0.0511	20	62.82	0.891
21	675.20	14.54	0.0727	21	67.52	1.267
22	695.20	18.79	0.0940	22	69.52	1.635
23	703.30	20.03	0.1002	23	70.33	1.742
24	725.20	23.87	0.1194	24	72.52	2.073
25	542.70	36.47	0.1824	25	54.27	3.148
					Ductilidad de la sección	142.64

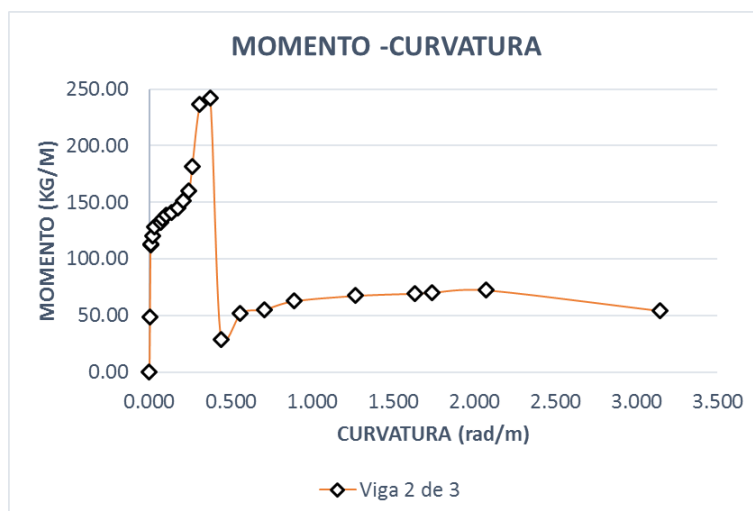


Fig. N° 25: Momento curvatura de probeta 2 de 3 PET

Tabla N° 21: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 3 con 3 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 3, CON 3 PET				PROBETA 3, CON 3 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	552.20	0.03	0.0002	2	55.22	0.003
3	958.20	0.13	0.0007	3	95.82	0.011
4	980.50	0.57	0.0029	4	98.05	0.050
5	995.62	1.30	0.0065	5	99.56	0.113
6	1,036.00	2.40	0.0120	6	103.60	0.209
7	1,238.60	3.01	0.0151	7	123.86	0.263
8	1,435.50	3.54	0.0177	8	143.55	0.309
9	1,763.20	4.11	0.0206	9	176.32	0.359
10	2,218.70	4.52	0.0226	10	221.87	0.394
11	2,221.90	4.88	0.0244	11	222.19	0.426
12	2,392.60	5.23	0.0262	12	239.26	0.456
13	2,393.00	5.50	0.0275	13	239.30	0.480
14	255.70	7.67	0.0384	14	25.57	0.669
15	389.90	10.14	0.0507	15	38.99	0.884
16	625.40	12.60	0.0630	16	62.54	1.098
17	507.90	19.23	0.0962	17	50.79	1.673
18	449.20	25.48	0.1274	18	44.92	2.212
19	317.30	30.15	0.1508	19	31.73	2.611
20	273.20	32.27	0.1614	20	27.32	2.792
					Ductilidad de la sección	183.29

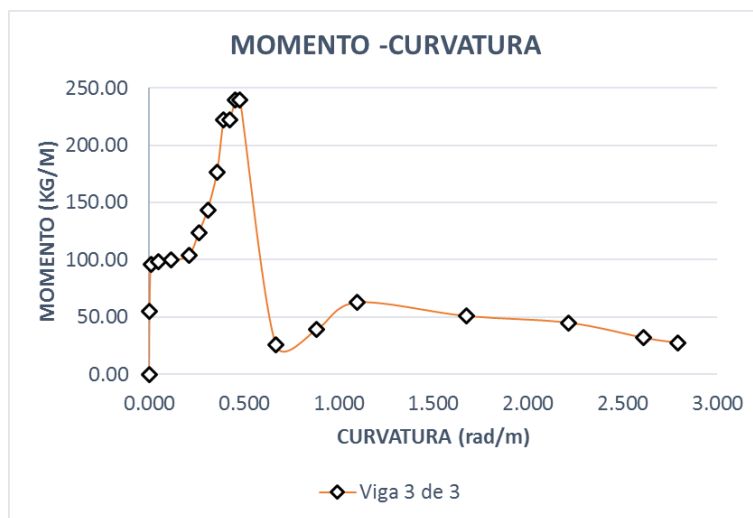


Fig. N° 26: Momento curvatura de probeta 3 de 3 PET

Tabla N° 22: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 4 con 3 sogas

DATOS DE EQUIPO				CÁLCULO		
PROBETA 4, CON 3 PET				PROBETA 4, CON 3 PET		
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm	#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.00		1	0.00	0.000
2	370.20	0.03	0.0002	2	37.02	0.003
3	985.20	0.20	0.0010	3	98.52	0.017
4	990.63	0.55	0.0028	4	99.06	0.048
5	1,023.10	0.89	0.0045	5	102.31	0.078
6	1,058.60	1.16	0.0058	6	105.86	0.101
7	1,090.25	1.46	0.0073	7	109.03	0.127
8	1,110.10	1.75	0.0088	8	111.01	0.153
9	1,192.60	2.02	0.0101	9	119.26	0.176
10	1,350.40	2.36	0.0118	10	135.04	0.206
11	1,728.30	3.06	0.0153	11	172.83	0.267
12	1,929.50	3.42	0.0171	12	192.95	0.298
13	2,097.90	3.56	0.0178	13	209.79	0.311
14	2,098.00	3.75	0.0188	14	209.80	0.327
15	375.10	5.56	0.0278	15	37.51	0.485
16	567.30	6.98	0.0349	16	56.73	0.609
17	611.20	8.36	0.0418	17	61.12	0.729
18	650.80	10.26	0.0513	18	65.08	0.895
19	712.60	15.10	0.0755	19	71.26	1.315
20	754.60	16.99	0.0850	20	75.46	1.479

21	733.10	21.46	0.1073
22	597.10	27.40	0.1370
23	541.90	31.21	0.1561
24	492.90	36.68	0.1834

21	73.31	1.866
22	59.71	2.376
23	54.19	2.702
24	49.29	3.166

Ductilidad de la sección

124.99

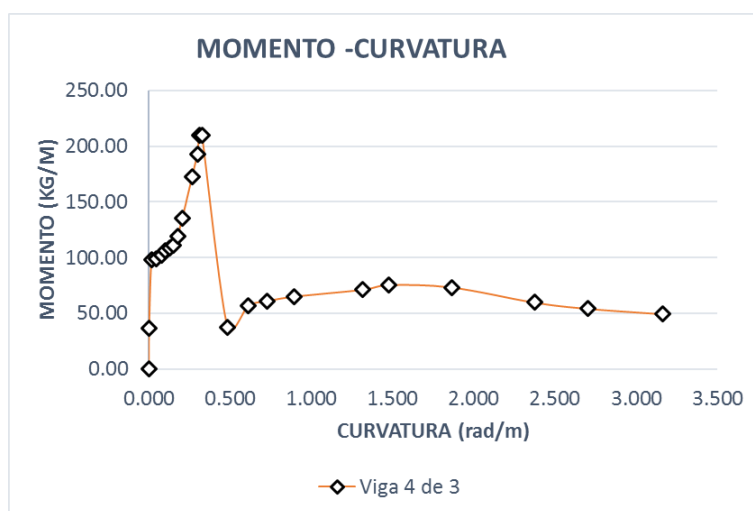


Fig. N° 27: Momento curvatura de probeta 4 de 3 PET

Tabla N° 23: Datos de equipo para calcular el momento curvatura Viga 5 con 3 sogas

DATOS DE EQUIPO			
PROBETA 5, CON 3 PET			
#	CARGA (KG)	PENETRACIÓN mm	Pendiente mm/mm
1	0.00	0.00	
2	285.20	0.03	0.0002
3	885.63	0.10	0.0005
4	896.40	0.14	0.0007
5	903.40	0.53	0.0027
6	950.80	1.59	0.0080
7	1,091.50	2.05	0.0103
8	1,232.90	2.43	0.0122
9	1,489.90	2.88	0.0144
10	1,615.30	3.16	0.0158
11	1,774.50	3.47	0.0174
12	1,906.80	3.84	0.0192
13	2,021.60	3.97	0.0199

CÁLCULO		
PROBETA 5, CON 3 PET		
#	MOMENTO (KG/M)	CURVATURA Rad/m
1	0.00	0.000
2	28.52	0.003
3	88.56	0.009
4	89.64	0.012
5	90.34	0.046
6	95.08	0.139
7	109.15	0.179
8	123.29	0.212
9	148.99	0.251
10	161.53	0.276
11	177.45	0.303
12	190.68	0.335
13	202.16	0.346

14	2,099.70	4.07	0.0204	14	209.97	0.355
15	2,243.50	4.35	0.0218	15	224.35	0.380
16	2,235.50	4.38	0.0219	16	223.55	0.382
17	2,271.00	4.40	0.0220	17	227.10	0.384
18	111.30	8.00	0.0400	18	11.13	0.698
19	328.60	11.58	0.0579	19	32.86	1.009
20	348.60	14.42	0.0721	20	34.86	1.256
21	370.10	19.48	0.0974	21	37.01	1.695
22	421.70	25.57	0.1279	22	42.17	2.219
23	394.50	28.46	0.1423	23	39.45	2.467
24	422.10	33.09	0.1655	24	42.21	2.862
25	415.10	37.63	0.1882	25	41.51	3.246
26	410.10	41.50	0.2075	26	41.01	3.571
Ductilidad de la sección						146.64

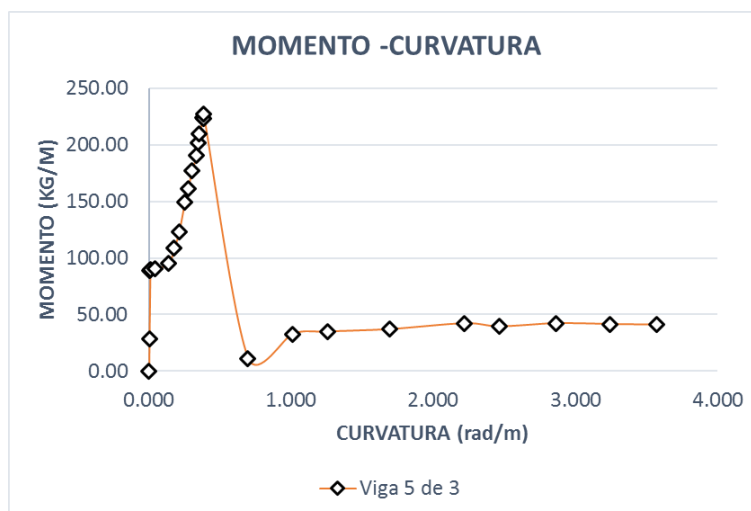


Fig. N° 28: Momento curvatura de probeta 5 de 3 PET

4.3.2. Resumen de ensayos de flexión a las vigas

Se presenta el resumen graficado según los resultados obtenidos de los ensayos de flexión realizados a las probetas de concreto reforzado con fibras PET.

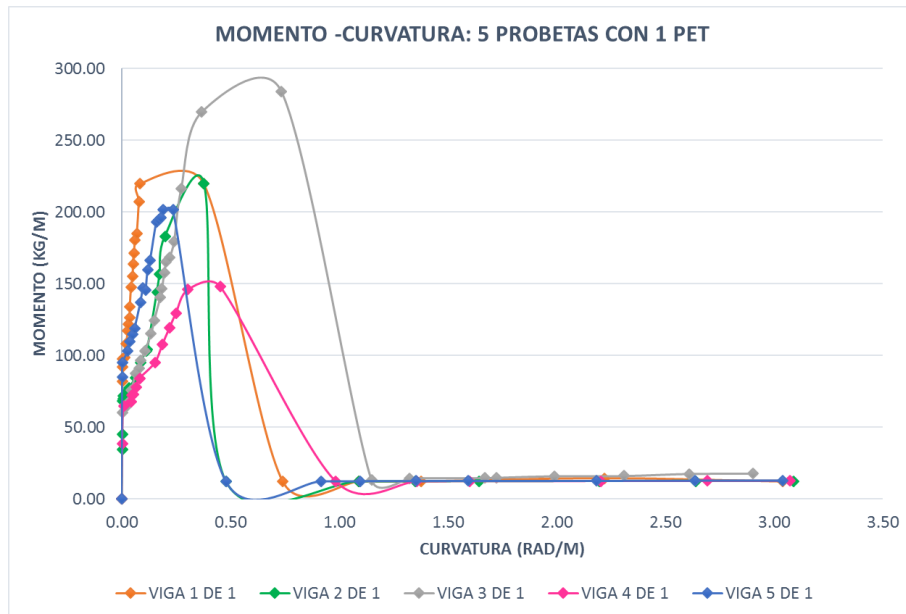


Fig. N° 29: Momento curvatura del concreto reforzado con 1 soga de fibras PET, resumen de 5 probetas

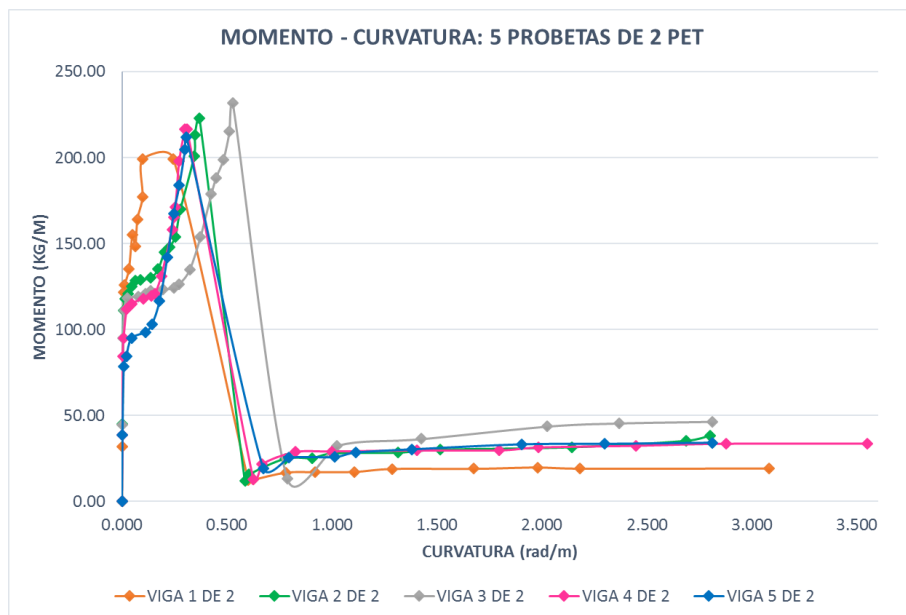


Fig. N° 30: Momento curvatura del concreto reforzado con 2 sogas de fibras PET, resumen de 5 probetas

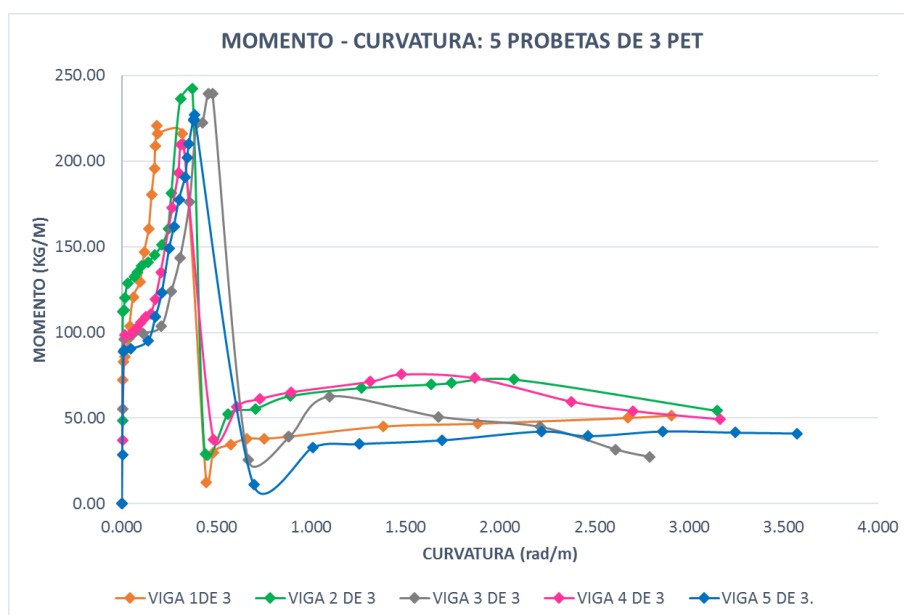


Fig. N° 31: Momento curvatura del concreto reforzado con 3 sogas de fibras PET, resumen de 5 probetas

Se observa que con las 3 fibras de PET el elemento no estructural presenta una mayor resistencia a la flexión. Esto se debe a que el plástico PET tiene buenas propiedades mecánicas (elevada resistencia a la tracción, elevado límite elástico, entre otros).

4.4. Determinar el diagrama módulo de rotura, rigidez de la viga.

4.4.1. Momento límite elástico y momento máximo resistente

Tabla N° 24: Momento límite elástico

MOMENTO LÍMITE ELÁSTICO			
Muestra	Viga 1 Tereftalato	Viga 2 Tereftalato	Viga 3 Tereftalato
1	219.59	184.14	215.97
2	183.08	213.22	236.38
3	269.56	215.36	239.26
4	145.83	216.48	209.79
5	201.71	204.56	223.55
	203.95	206.75	224.99

Tabla N° 25: Momento máximo resistente

MOMENTO MÁXIMO RESISTENTE			
Muestra	Viga 1 Tereftalato	Viga 2 Tereftalato	Viga 3 Tereftalato
1	222.10	215.20	220.25
2	221.20	225.75	242.21
3	295.20	231.61	240.10
4	152.20	218.50	210.20
5	205.20	211.93	227.10
	219.18	220.60	227.97

Tabla N° 26: Resumen MLE Y Mmax

Numero	Muestra	MLE	M máx
0	0	0	0
1	V. 1 Teref.	203.954	219.180
2	V. 2 Teref.	206.752	220.598
3	V. 3 Teref.	224.990	227.972

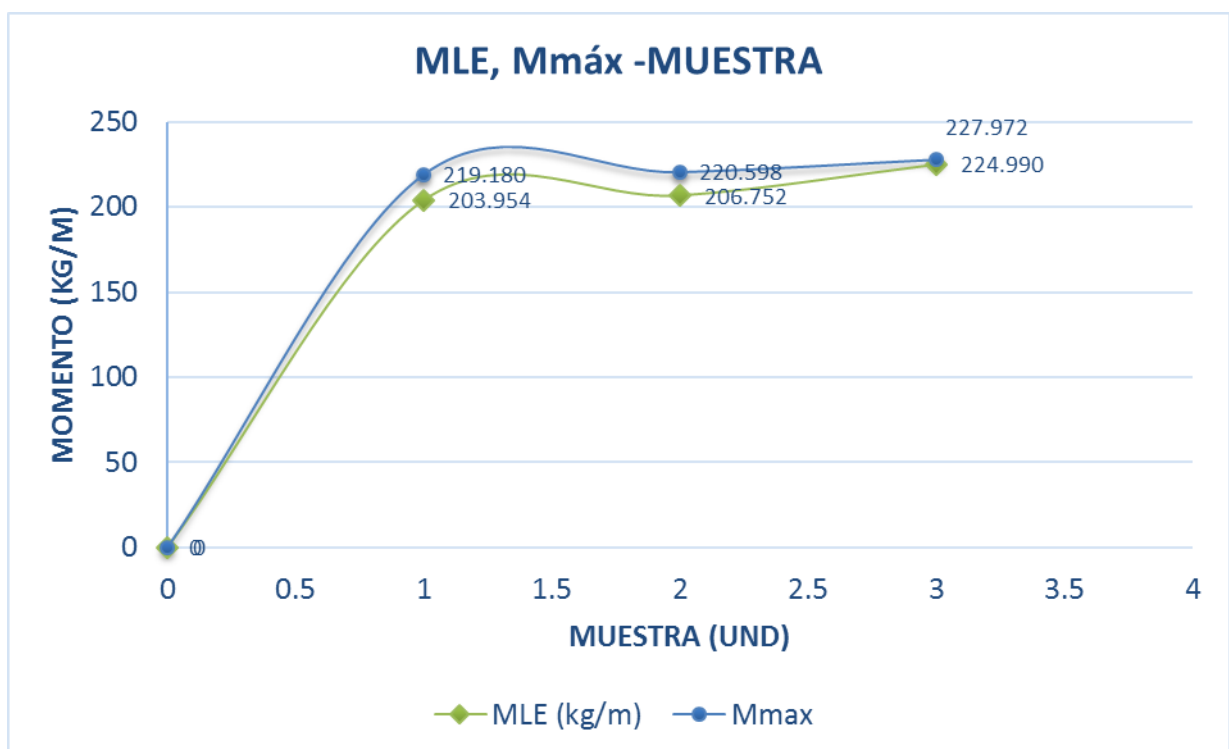


Fig. N° 32: MLE, Mmáx

4.4.2. Módulo de rotura

Tabla N° 27: Módulo de rotura

MÓDULO DE ROTURA (Mr)			
Muestra	Viga 1 Tereftalato	Viga 2 Tereftalato	Viga 3 Tereftalato
1	40.58	36.84	39.91
2	40.68	41.16	44.76
3	52.43	42.80	44.22
4	27.33	40.01	38.77
5	37.27	39.16	41.97
	39.66	39.99	41.93

Tabla N° 28: Resumen de Módulo de rotura

Numero	Muestra	Mr
0	0	0
1	V. 1 Teref.	39.658
2	V. 2 Teref.	39.994
3	V. 3 Teref.	41.926

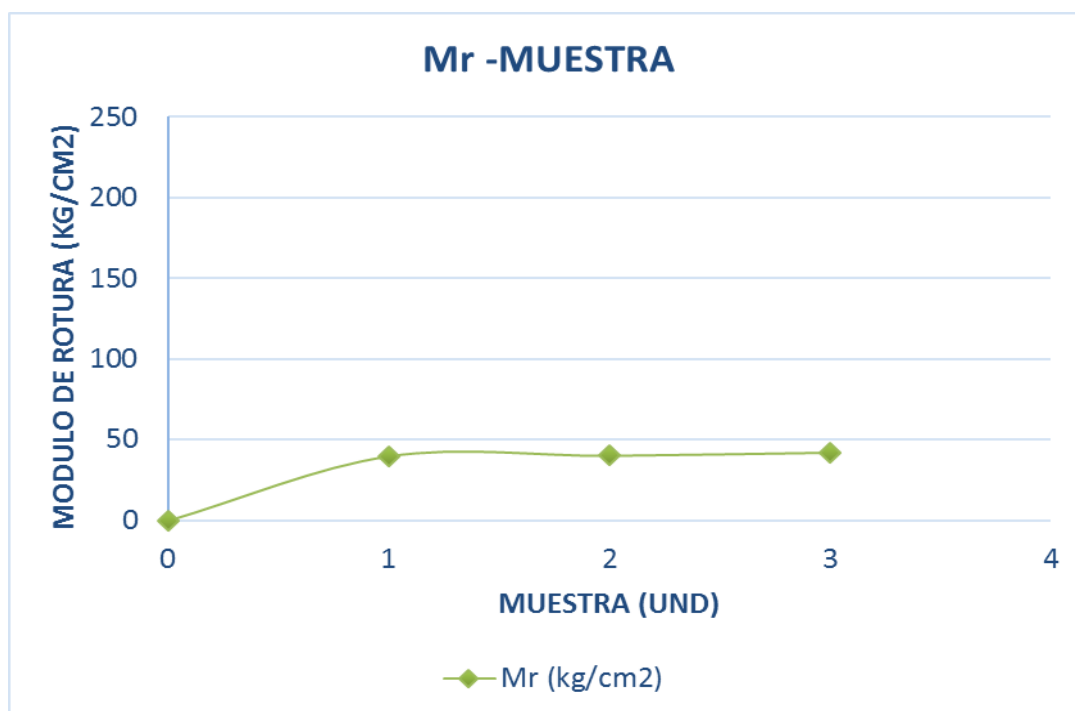


Fig. N° 33: Módulo de rotura

4.4.3. Rigidez

Tabla N° 29: Rigidez

RIGIDEZ			
Muestra	Viga 1 Tereftalato	Viga 2 Tereftalato	Viga 3 Tereftalato
1	579.89	815.9	674.51
2	580.68	603.44	648.59
3	385.9	438.82	498.7
4	326.02	698.92	641.18
5	856.14	690	591.54
	545.726	649.416	610.904

Tabla N° 30: Resumen de Rigidez

Numero	Muestra	Rigidez
0	0	0
1	V. 1 Teref.	545.726
2	V. 2 Teref.	649.416
3	V. 3 Teref.	610.904

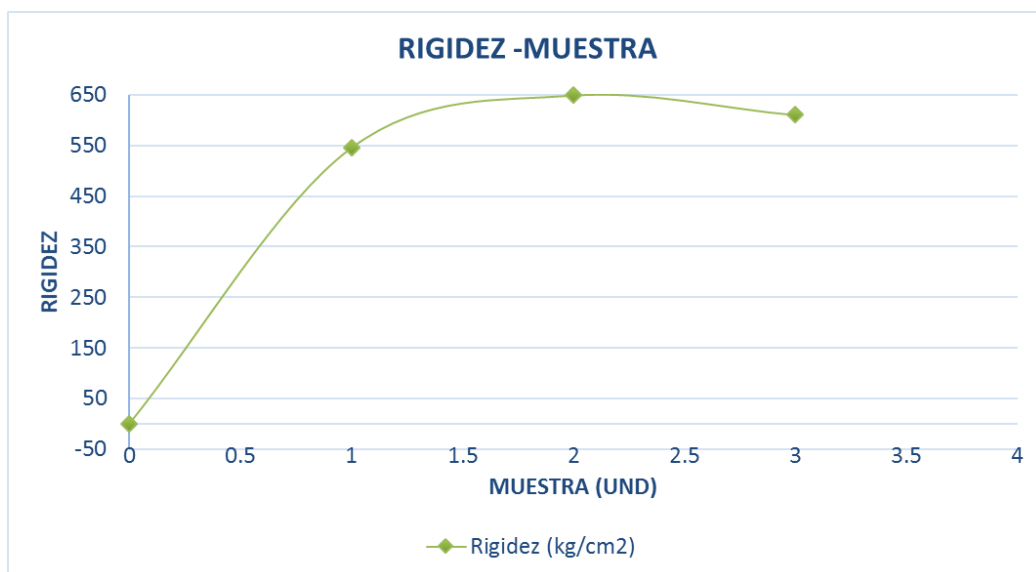
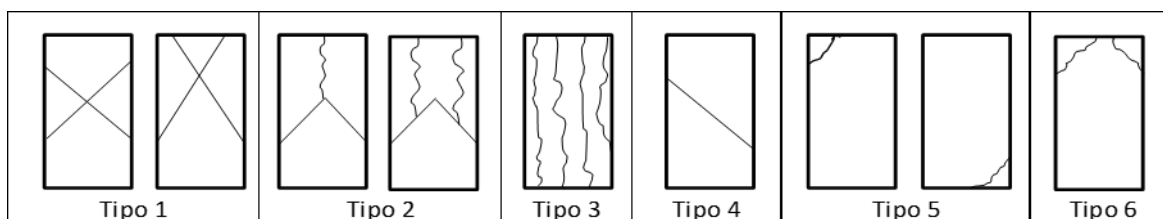


Fig. N° 34: Rigidez

4.5. Resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.

Tabla N° 31: Resistencia a la compresión de testigos de control de concreto

N°	DESC.	FECHA VACIADO	FECHA ENSAYO	EDAD (días)	PESO (g)	CARGA (kg)	DIÁM. (cm.)	RESIST. OBT. (kg/cm ²)	RESIST. DISEÑO (kg/cm ²)	%	TIPO FALLA
1	P-1	10-10-18	17-10-18	7	12,459	29,879	15.00	169	210	80	2
1	P-2	10-10-18	24-10-18	14	13,176	40,169	15.00	227	210	108	2
1	P-3	10-10-18	07-11-18	28	13,180	41,140	15.00	233	210	111	2



4.6. Discusión de resultados

4.6.1. Deformación unitaria en límite elástico.

4.6.1.1 Momento Curvatura Calculado con 01 tereftalato

Datos:

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 841.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{pet} = 28,960.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 15.00 \text{ cm}$$

$$b = 15.00 \text{ cm}$$

$$\phi_{pet1} = 0.0736 \text{ cm}$$

$$\phi_{estribo} = 0.00 \text{ cm}$$

$$r = 4.50 \text{ cm}$$

$$A_{pet1} = 0.426 \text{ cm}^2$$

Solución:

Punto A: Agrietamiento

Esfuerzo de agrietamiento:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} = 2\sqrt{210} = 28.98 \text{ kg/cm}^2$$

Elasticidad del concreto:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 15000\sqrt{210} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

Peralte efectivo:

$$d = h - r - \phi_{estribo} - \frac{1}{2}\phi_{pet1} = 15 - 4.5 - 0 - 0.5(0.0736) = 10.46 \text{ cm}$$

Relación de módulos:

$$n = \frac{E_{pet}}{E_c} = \frac{28,960.95}{217,370.65} = 0.13$$

Área de PET a flexión:

$$A_{pet} = A_{pet1}$$

$$A_{pet1} = 0.426 \text{ cm}^2$$

Profundidad al agrietamiento:

$$c = \frac{(bh)\left(\frac{h}{2}\right) + (n-1)A_{pet1}d}{(bh) + (n-1)A_{pet1}} = \frac{(15)(15)\left(\frac{15}{2}\right) + (0.13-1)(0.426)(10.46)}{(15)(15) + (0.13-1)(0.426)}$$

$$c = 7.50 \text{ cm}$$

Inercia con respecto al centro geométrico:

$$I_{CG} = \frac{bh^3}{12} + bh \left(c - \frac{h}{2} \right)^2 + (n - 1)A_{pet1}(d - c)^2$$

$$I_{CG} = \frac{(15)(15)^3}{12} + (15)(15) \left(7.5 - \frac{15}{2} \right)^2 + (0.13 - 1)(0.426)(10.46 - 7.5)^2$$

$$I_{CG} = 4,215.50 \text{ cm}^4 = 4.2155 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

Momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{CG}}{h - c} = \frac{(28.98)(4,215.5)}{(15 - 7.5)} = 16,288.69 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{cr} = 162.8 \text{ kg} - \text{m}$$

Curvatura por agrietamiento:

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r}{E_c(h - c)} = \frac{28.98}{(217,370.65)(15 - 7.5)} = 1.778 \times 10^{-5} \text{ rad/cm} = 0.00178 \text{ rad/m}$$

Punto B: Fluencia del PET en tracción

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } \frac{f_c cb}{2} = A_{pet1} f_y$$

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\epsilon_c}{C} = \frac{\epsilon_y}{d - C}$$

$$\text{Constitutivas: } f_c = E_c \epsilon_c; f_y = E_{pet} \epsilon_y; f_c \leq 0.70 f'_c$$

Momento por fluencia:

$$M_y = A_{pet1} f_y \left(d - \frac{C}{3} \right) \text{ si } f_c \leq 0.70 f'_c; M_y = A_{pet1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70 f'_c$$

$$\text{Curvatura por fluencia: } \varphi_y = \frac{\epsilon_y}{d - C}$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$bc^2 + 2A_{pet1}nc - 2dA_{pet1}n = 0 \text{ (resolver en c)}$$

$$(15)C^2 + 2(0.426)(0.13)C - 2(10.46)(0.426)(0.13) = 0 \rightarrow C = 0.29 \text{ cm}$$

De la compatibilidad y constitutiva: $\varepsilon_c = 0.00081 \rightarrow f_c = 177.01 \text{ kg/cm}^2 \gg 0.70f'_c$

Como el esfuerzo máximo en el concreto (f_c) es mayor al límite ($0.70f'_c$), entonces se toma solamente para el cálculo de los momentos como si fuera una distribución rectangular y no triangular.

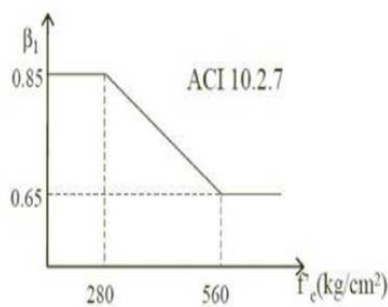


Fig. N° 35: ACI 10.2.7

Profundidad del bloque en compresión:

$$\beta_1 = 0.85 \text{ (vér gráfico ACI)}$$

$$a = \beta_1 C = (0.85)(0.29) = 0.24 \text{ cm}$$

Momento de fluencia:

$$M_y = A_{pet1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70f'_c$$

$$M_y = (0.426)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.24}{2} \right) = 37.09 \text{ kg} - m$$

Curvatura por fluencia:

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - C} = \frac{\left(\frac{841.77}{28,960.65} \right)}{(10.46 - 0.29)} = 0.2856 \text{ rad/m}$$

Punto C: Deformación última

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } 0.85f'_c b a = A_{pet1} f_y$$

Profundidad del bloque en compresión:

$$a = \frac{A_{pet1} f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(0.426)(841.77)}{0.85(210)(15)} = 0.13 \text{ cm}$$

Profundidad de eje neutro:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0.13}{0.85} = 0.16 \text{ cm}$$

Verificamos que la deformación del PET es mayor que la deformación por fluencia.

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\epsilon_{cu}}{C} = \frac{\epsilon_{pet}}{d - C} \rightarrow \epsilon_{pet} = \frac{\epsilon_{cu}}{C} (d - C) = \frac{(0.003)(10.46 - 0.16)}{0.16} = 0.19$$

Momento último:

$$M_u = A_{pet1} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = (0.426)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.13}{2} \right) = 37.28 \text{ kg} - m$$

Curvatura última:

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{C} = \frac{0.003}{0.16} = 1.904 \text{ rad/m}$$

Resumen de datos del momento curvatura:

Tabla N° 32: Momento curvatura calculado 1 PET

	MOMENTO	CURVATURA
1	0.0000	0.0000
2	162.7968	0.0018
3	37.0858	0.2856
4	37.2803	1.9040

A continuación, se grafica el diagrama Momento-Curvatura para la sección con una soga PET.

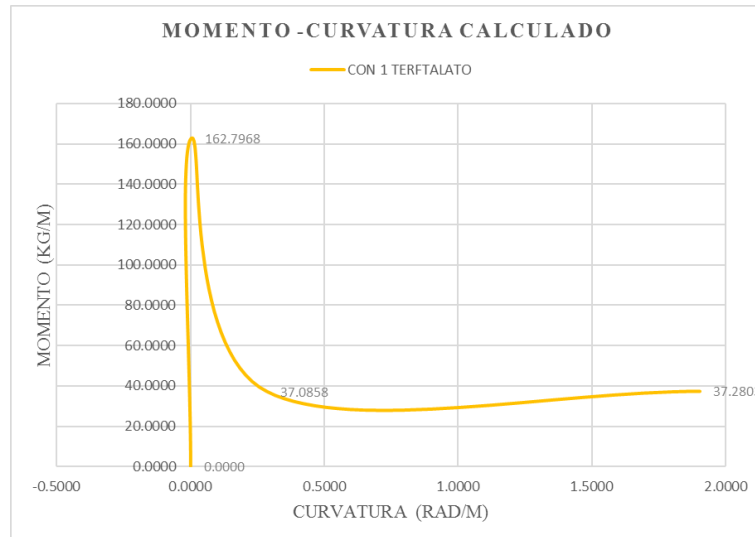


Fig. N° 36: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 1 PET.

Ductilidad por curvatura (μ_ϕ) = $\frac{\phi_u}{\phi_y}$

Sección 1: $\mu_\phi = \frac{1.904}{0.2856} = 6.67$, a mayor resistencia, menor ductilidad.

4.6.1.2 Momento Curvatura Calculado con 02 tereftalato

Datos:

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 841.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{pet} = 28,960.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 15.00 \text{ cm}$$

$$b = 15.00 \text{ cm}$$

$$\phi_{pet1} = 0.0736 \text{ cm}$$

$$\phi_{estribo} = 0.00 \text{ cm}$$

$$r = 4.50 \text{ cm}$$

$$A_{pet2} = 0.852 \text{ cm}^2$$

Solución:

Punto A: Agrietamiento

Esfuerzo de agrietamiento:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} = 2\sqrt{210} = 28.98 \text{ kg/cm}^2$$

Elasticidad del concreto:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 15000\sqrt{210} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

Peralte efectivo:

$$d = h - r - \phi_{estribo} - \frac{1}{2}\phi_{pet1} = 15 - 4.5 - 0 - 0.5(0.0736) = 10.46 \text{ cm}$$

Relación de módulos:

$$n = \frac{E_{pet}}{E_c} = \frac{28,960.95}{217,370.65} = 0.13$$

Área de PET a flexión:

$$A_{pet2} = 2(A_{pet1})$$

$$A_{pet2} = 0.852 \text{ cm}^2$$

Profundidad al agrietamiento:

$$c = \frac{(bh)\left(\frac{h}{2}\right) + (n-1)A_{pet2}d}{(bh) + (n-1)A_{pet2}} = \frac{(15)(15)\left(\frac{15}{2}\right) + (0.13-1)(0.852)(10.46)}{(15)(15) + (0.13-1)(0.852)}$$

$$c = 7.49 \text{ cm}$$

Inercia con respecto al centro geométrico:

$$I_{CG} = \frac{bh^3}{12} + bh \left(c - \frac{h}{2} \right)^2 + (n - 1)A_{pet2}(d - c)^2$$

$$I_{CG} = \frac{(15)(15)^3}{12} + (15)(15) \left(7.49 - \frac{15}{2} \right)^2 + (0.13 - 1)(0.852)(10.46 - 7.49)^2$$

$$I_{CG} = 4,212.24 \text{ cm}^4 = 4.2122 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

Momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{CG}}{h - c} = \frac{(28.98)(4,212.24)}{(15 - 7.49)} = 16,256.51 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{cr} = 162.57 \text{ kg} - \text{m}$$

Curvatura por agrietamiento:

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r}{E_c(h - c)} = \frac{28.98}{(217,370.65)(15 - 7.49)} = 1.775 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi_{cr} = 0.00178 \text{ rad/m}$$

Punto B: Fluencia del PET en tracción

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } \frac{f_c c b}{2} = A_{pet2} f_y$$

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\epsilon_c}{C} = \frac{\epsilon_y}{d - C}$$

$$\text{Constitutivas: } f_c = E_c \epsilon_c; f_y = E_{pet} \epsilon_y; f_c \leq 0.70 f'_c$$

Momento por fluencia:

$$M_y = A_{pet2} f_y \left(d - \frac{c}{3} \right) \text{ si } f_c \leq 0.70 f'_c; M_y = A_{pet2} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70 f'_c$$

$$\text{Curvatura por fluencia: } \varphi_y = \frac{\epsilon_y}{d - C}$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$bc^2 + 2A_{pet2}nc - 2dA_{pet2}n = 0 \text{ (resolver en } c)$$

$$(15)c^2 + 2(0.852)(0.13)c - 2(10.46)(0.852)(0.13) = 0 \rightarrow c = 0.41 \text{ cm}$$

De la compatibilidad y constitutiva: $\epsilon_c = 0.00117 \rightarrow f_c = 254.69 \text{ kg/cm}^2 \gg 0.70f'_c$

Como el esfuerzo máximo en el concreto (f_c) es mayor al límite ($0.70f'_c$), entonces se toma solamente para el cálculo de los momentos como si fuera una distribución rectangular y no triangular.

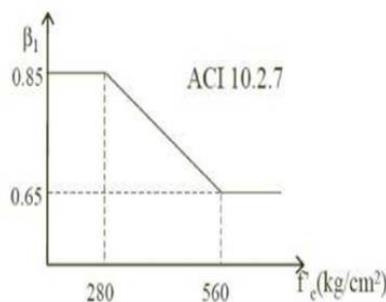


Fig. N° 37: ACI 10.2.7

Profundidad del bloque en compresión:

$$\beta_1 = 0.85 \text{ (vér gráfico ACI)}$$

$$a = \beta_1 c = (0.85)(0.41) = 0.34 \text{ cm}$$

Momento de fluencia:

$$M_y = A_{pet2}f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70f'_c$$

$$M_y = (0.852)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.34}{2} \right) = 73.81 \text{ kg} - m$$

Curvatura por fluencia:

$$\varphi_y = \frac{\epsilon_y}{d - c} = \frac{\left(\frac{841.77}{28,960.65} \right)}{(10.46 - 0.41)} = 0.289 \text{ rad/m}$$

Punto C: Deformación última

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } 0.85f'_c b a = A_{pet} f_y$$

Profundidad del bloque en compresión:

$$a = \frac{A_{pet} f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(0.852)(841.77)}{0.85(210)(15)} = 0.27 \text{ cm}$$

Profundidad de eje neutro:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0.27}{0.85} = 0.32 \text{ cm}$$

Verificamos que la deformación del PET es mayor que la deformación por fluencia.

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\epsilon_{cu}}{C} = \frac{\epsilon_{pet}}{d - C} \rightarrow \epsilon_{pet} = \frac{\epsilon_{cu}}{C} (d - C) = \frac{(0.003)(10.46 - 0.32)}{0.32}$$

$$\epsilon_{pet} = 0.09661$$

Momento último:

$$M_u = A_{pet} f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) = (0.852)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.27}{2} \right) = 74.08 \text{ kg} - m$$

Curvatura última:

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{C} = \frac{0.003}{0.32} = 0.952 \text{ rad/m}$$

Resumen de datos del momento curvatura:

Tabla N° 33: Momento curvatura calculado 2 PET

	MOMENTO	CURVATURA
1	0.00	0.0000
2	162.57	0.0018
3	73.81	0.2890
4	74.08	0.9520

A continuación, se grafica el diagrama Momento-Curvatura para la sección con dos sogas PET.

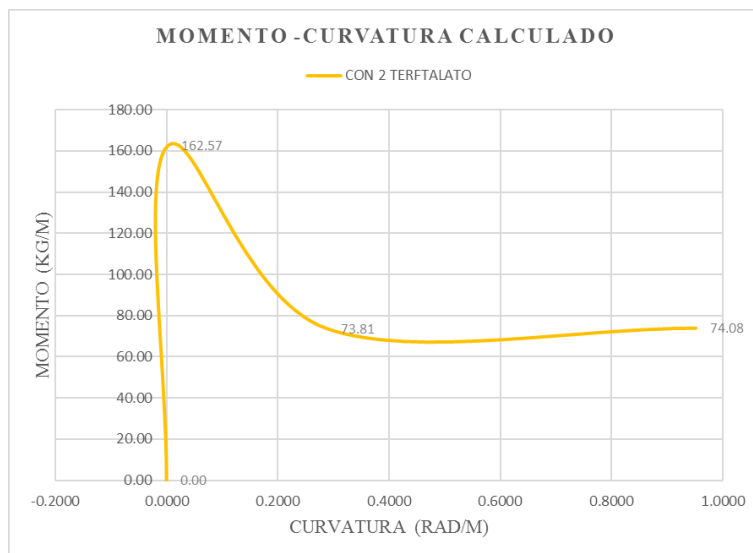


Fig. N° 38: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 2 PET.

$$\text{Ductilidad por curvatura } (\mu_{\varphi}) = \frac{\varphi_u}{\varphi_y}$$

$$\text{Sección 2: } \mu_{\varphi} = \frac{0.952}{0.289} = 3.29, \text{ a mayor resistencia, menor ductilidad.}$$

4.6.1.3 Momento Curvatura Calculado con 03 tereftalato

Datos:

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_c = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_y = 841.77 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_{pet} = 28,960.95 \text{ kg/cm}^2$$

$$h = 15.00 \text{ cm}$$

$$b = 15.00 \text{ cm}$$

$$\phi_{pet1} = 0.0736 \text{ cm}$$

$$\phi_{estribo} = 0.00 \text{ cm}$$

$$r = 4.50 \text{ cm}$$

$$A_{pet3} = 1.278 \text{ cm}^2$$

Solución:

Punto A: Agrietamiento

Esfuerzo de agrietamiento:

$$f_r = 2\sqrt{f'_c} = 2\sqrt{210} = 28.98 \text{ kg/cm}^2$$

Elasticidad del concreto:

$$E_c = 15000\sqrt{f'_c} = 15000\sqrt{210} = 217,370.65 \text{ kg/cm}^2$$

Peralte efectivo:

$$d = h - r - \phi_{estribo} - 1/2 \phi_{pet1} = 15 - 4.5 - 0 - 0.5(0.0736) = 10.46 \text{ cm}$$

Relación de módulos:

$$n = \frac{E_{pet}}{E_c} = \frac{28,960.95}{217,370.65} = 0.13$$

Área de PET a flexión:

$$A_{pet3} = 3(A_{pet1})$$

$$A_{pet2} = 1.278 \text{ cm}^2$$

Profundidad al agrietamiento:

$$c = \frac{(bh)\left(\frac{h}{2}\right) + (n-1)A_{pet3}d}{(bh) + (n-1)A_{pet3}} = \frac{(15)(15)\left(\frac{15}{2}\right) + (0.13-1)(1.278)(10.46)}{(15)(15) + (0.13-1)(1.278)}$$

$$c = 7.49 \text{ cm}$$

Inercia con respecto al centro geométrico:

$$I_{CG} = \frac{bh^3}{12} + bh\left(c - \frac{h}{2}\right)^2 + (n-1)A_{pet3}(d-c)^2$$

$$I_{CG} = \frac{(15)(15)^3}{12} + (15)(15)\left(7.49 - \frac{15}{2}\right)^2 + (0.13-1)(1.278)(10.46-7.49)^2$$

$$I_{CG} = 4,208.98 \text{ cm}^4 = 4.209 \times 10^3 \text{ cm}^4$$

Momento de agrietamiento:

$$M_{cr} = \frac{f_r I_{CG}}{h-c} = \frac{(28.98)(4,208.98)}{(15-7.49)} = 16,233.29 \text{ kg} - \text{cm}$$

$$M_{cr} = 162.33 \text{ kg} - \text{m}$$

Curvatura por agrietamiento:

$$\varphi_{cr} = \frac{f_r}{E_c(h-c)} = \frac{28.98}{(217,370.65)(15-7.49)} = 1.7743 \times 10^{-5} \text{ rad/cm}$$

$$\varphi_{cr} = 0.00177 \text{ rad/m}$$

Punto B: Fluencia del PET en tracción

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } \frac{f_c cb}{2} = A_{pet3} f_y$$

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\varepsilon_c}{C} = \frac{\varepsilon_y}{d-C}$$

$$\text{Constitutivas: } f_c = E_c \varepsilon_c; f_y = E_{pet} \varepsilon_y; f_c \leq 0.70 f'_c$$

Momento por fluencia:

$$M_y = A_{pet3}f_y \left(d - \frac{c}{3} \right) \text{ si } f_c \leq 0.70f'_c; \quad M_y = A_{pet3}f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70f'_c$$

$$\text{Curvatura por fluencia: } \varphi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - C}$$

De las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$bc^2 + 2A_{pet3}nc - 2dA_{pet3}n = 0 \text{ (resolver en } c)$$

$$(15)c^2 + 2(1.278)(0.13)c - 2(10.46)(1.278)(0.13) = 0 \rightarrow C = 0.50 \text{ cm}$$

De la compatibilidad y constitutiva: $\varepsilon_c = 0.00145 \rightarrow f_c = 316.14 \text{ kg/cm}^2 \gg 0.70f'_c$

Como el esfuerzo máximo en el concreto (f_c) es mayor al límite ($0.70f'_c$), entonces se toma solamente para el cálculo de los momentos como si fuera una distribución rectangular y no triangular.

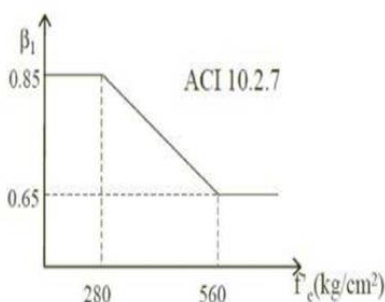


Fig. N° 39: ACI 10.2.7

Profundidad del bloque en compresión:

$$\beta_1 = 0.85 \text{ (vér gráfico ACI)}$$

$$a = \beta_1 C = (0.85)(0.50) = 0.42 \text{ cm}$$

Momento de fluencia:

$$M_y = A_{pet3}f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \text{ si } f_c > 0.70f'_c$$

$$M_y = (1.278)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.42}{2} \right) = 110.28 \text{ kg} - m$$

Curvatura por fluencia:

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_y}{d - C} = \frac{\left(\frac{841.77}{28,960.65}\right)}{(10.46 - 0.50)} = 0.2917 \text{ rad/m}$$

Punto C: Deformación última

$$\text{Equilibrio: Compresión (C) = Tracción (T): } 0.85f'_c b a = A_{pet} f_y$$

Profundidad del bloque en compresión:

$$a = \frac{A_{pet} f_y}{0.85 f'_c b} = \frac{(1.278)(841.77)}{0.85(210)(15)} = 0.40 \text{ cm}$$

Profundidad de eje neutro:

$$c = \frac{a}{\beta_1} = \frac{0.40}{0.85} = 0.47 \text{ cm}$$

Verificamos que la deformación del PET es mayor que la deformación por fluencia.

$$\text{Compatibilidad: } \frac{\varepsilon_{cu}}{C} = \frac{\varepsilon_{pet}}{d - C} \rightarrow \varepsilon_{pet} = \frac{\varepsilon_{cu}}{C} (d - C) = \frac{(0.003)(10.46 - 0.47)}{0.47}$$

$$\varepsilon_{pet} = 0.06341$$

Momento último:

$$M_u = A_{pet} f_y \left(d - \frac{a}{2}\right) = (1.278)(841.77) \left(10.46 - \frac{0.40}{2}\right) = 110.40 \text{ kg} - m$$

Curvatura última:

$$\varphi_u = \frac{\varepsilon_{cu}}{C} = \frac{0.003}{0.47} = 0.63467 \text{ rad/m}$$

Resumen de datos del momento curvatura:

Tabla N° 34: Momento curvatura calculado 3 PET

	MOMENTO	CURVATURA
1	0.00	0.0000
2	162.33	0.0018
3	110.28	0.2917
4	110.40	0.6347

A continuación, se grafica el diagrama Momento-Curvatura para la sección con tres sogas PET.

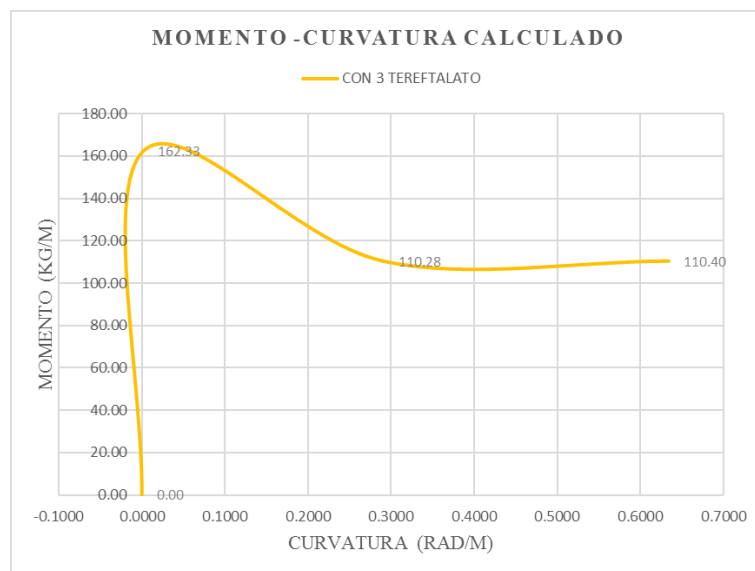


Fig. N° 40: Diagrama Momento-Curvatura calculado con 3 PET.

Ductilidad por curvatura (μ_{ϕ}) = $\frac{\phi_u}{\phi_y}$

Sección 3: $\mu_{\phi} = \frac{0.63467}{0.2917} = 2.18$, a mayor resistencia, menor ductilidad.

A continuación, se grafican los diagramas Momento-Curvatura para cada sección de PET.

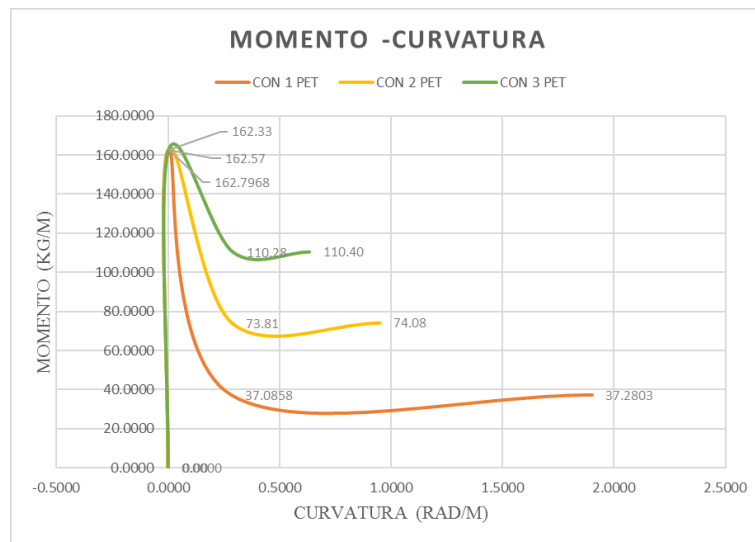


Fig. N° 41: Diagramas Momento-Curvatura para cada sección de PET.

4.6.1.4 Deformación unitaria del tereftalato

Tabla N° 35: Momento curvatura calculado 3 PET

Numero	Muestra	ϵ_{pet}
0	0	0
1	V. 1 Teref.	0.196
2	V. 2 Teref.	0.097
3	V. 3 Teref.	0.063

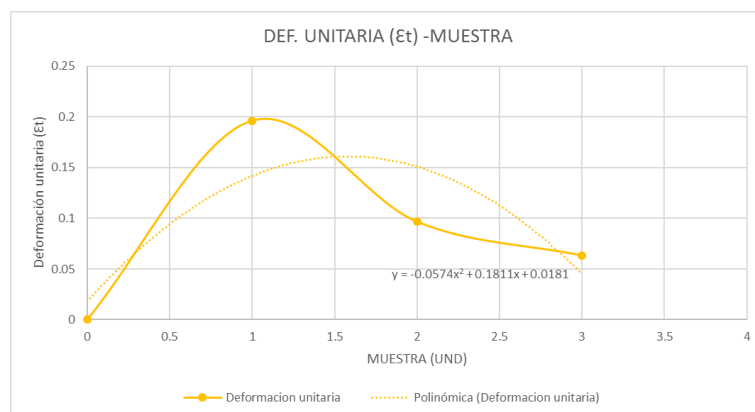


Fig. N° 42: Diagrama deformación unitaria del PET.

Del diagrama anterior, se obtuvo la ecuación de la línea de tendencia, en Excel:

$$-0.0574x^2 + 0.1811x + 0.0181 = 0 \rightarrow x = 0.1577$$

4.6.2. Módulo de rotura, rigidez, cuantía mínima.

4.6.2.1 Momento Límite Elástico y Momento Máximo Resistente

Tabla N° 36: Cuantía en MLE Y Mmáx

Numero	ρ (cuantía)	Muestra	MLE	M max
0	0	0	0	0
1	0.002704762	V. 1 Teref.	203.954	219.180
2	0.005409524	V. 2 Teref.	206.752	220.598
3	0.008114286	V. 3 Teref.	224.990	227.972

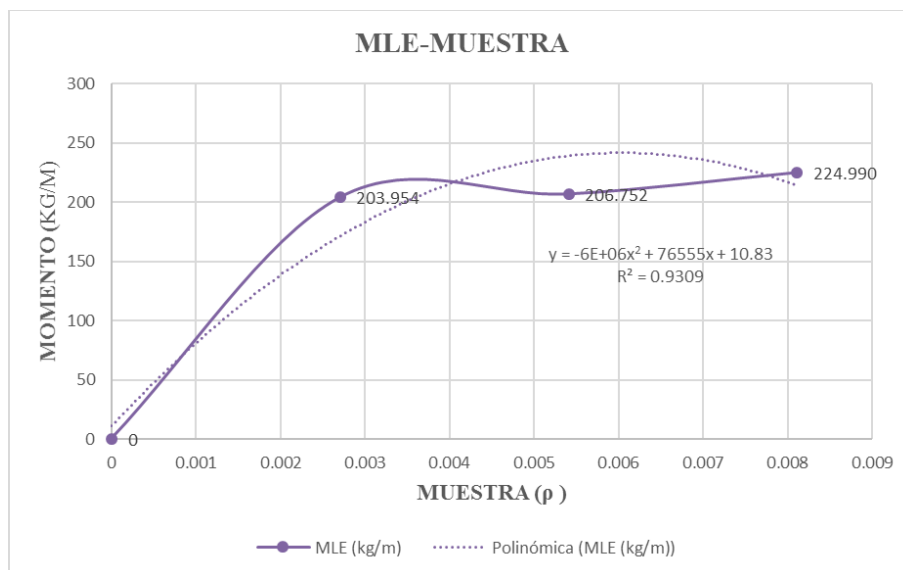


Fig. N° 43: Diagrama de MLE, ecuación línea de tendencia

Cuantía en el Momento Límite Elástico:

$$-6000000x^2 + 76555x + 10.83 = 0 \rightarrow x = 0.0064 \rightarrow x = 0.64 \%$$

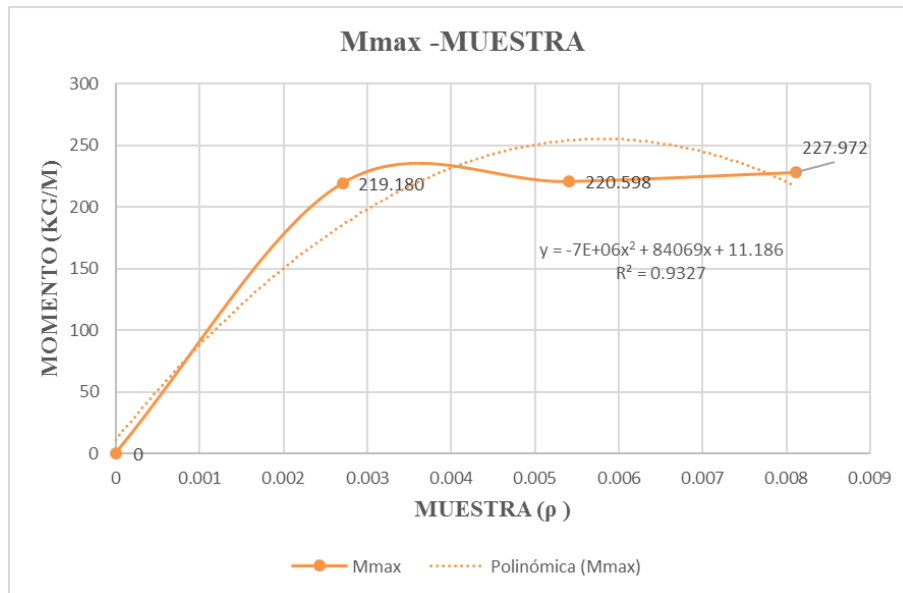


Fig. N° 44: Diagrama de M_{\max} , ecuación línea de tendencia

Cuantía en el Momento Máximo Resistente:

$$-7000000x^2 + 84069x + 11.186 = 0 \rightarrow x = 0.0060 \rightarrow x = 0.60 \%$$

4.6.2.2 Módulo de rotura

Tabla N° 37: Cuantía en M_r

Numero	ρ (cuantía)	Muestra	M_r
0	0	0	0
1	0.002704762	V. 1 Teref.	39.658
2	0.005409524	V. 2 Teref.	39.994
3	0.008114286	V. 3 Teref.	41.926

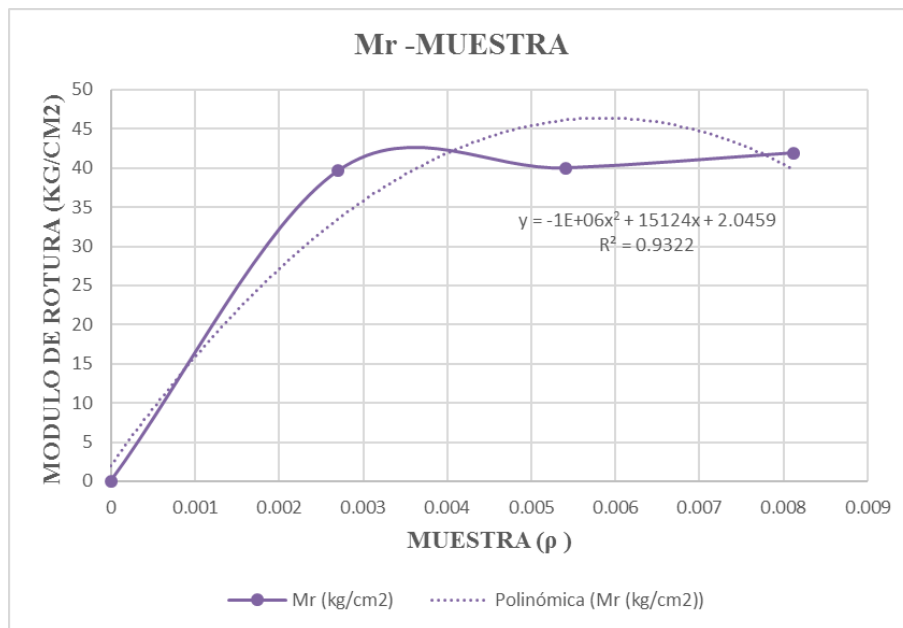


Fig. N° 45: Diagrama de Mr, ecuación línea de tendencia

Cuantía en el Módulo de Rotura:

$$-1000000x^2 + 15124x + 2.0459 = 0 \rightarrow x = 0.0076 \rightarrow x = 0.76 \%$$

4.6.2.3 Rigidez

Tabla N° 38: Cuantía en Rigidez

Numero	ρ (cuantía)	Muestra	RIGIDEZ
0	0	0	0
1	0.00270476	V. 1 Teref.	545.726
2	0.00540952	V. 2 Teref.	649.416
3	0.00811429	V. 3 Teref.	610.904

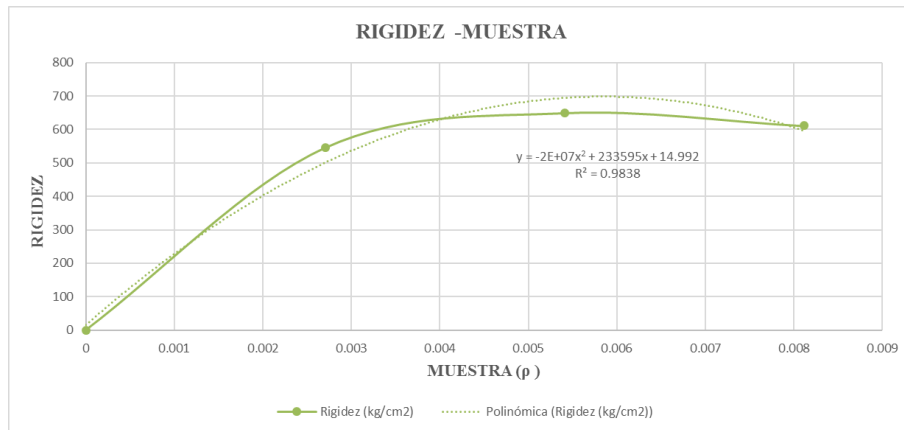


Fig. N° 46: Diagrama de Rigidez, ecuación línea de tendencia

Cuantía en la Rigidez:

$$-20000000x^2 + 233595x + 14.992 = 0 \rightarrow x = 0.0058 \rightarrow x = 0.58 \%$$

4.6.3. Módulo de elasticidad del tereftalato.

4.6.3.1 Ensayo de tracción a probeta N° 01 PET

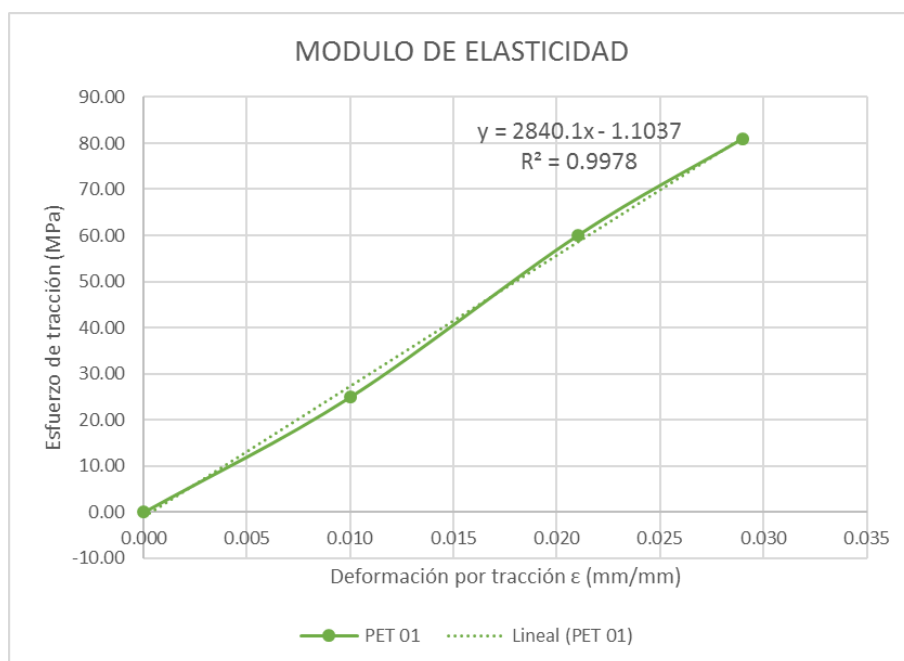


Fig. N° 47: Ecuación Módulo de Elasticidad de Probeta N° 01 PET

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel, a la cual tenemos que derivar para hallar el resultado.

$$2840.1x - 1.1037 = 0 \rightarrow x = 2840.1$$

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

4.6.3.2 Ensayo de tracción a probeta N° 02 PET

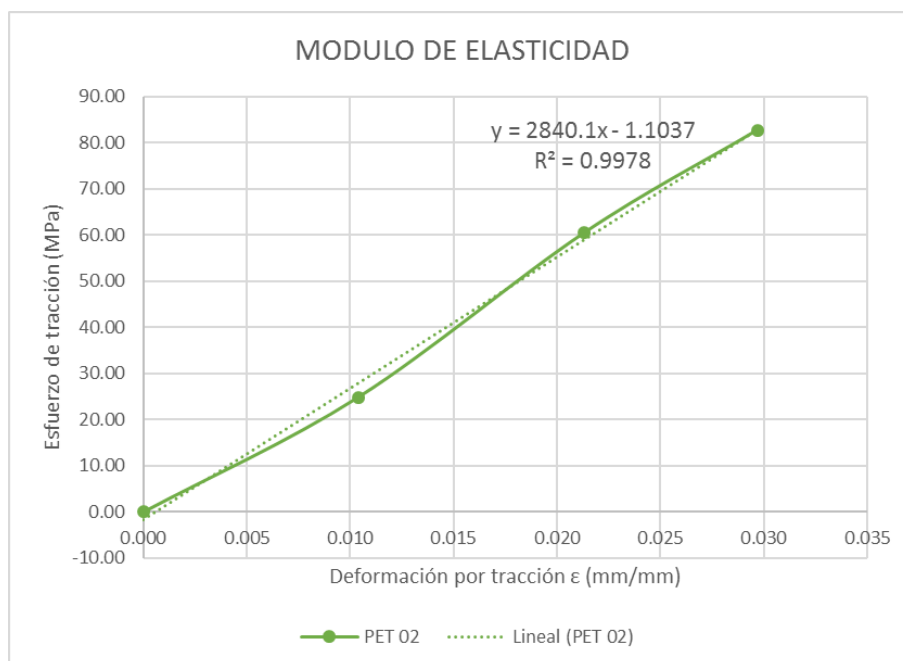


Fig. N° 48: Ecuación Módulo de Elasticidad de Probeta N° 02 PET

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel, a la cual tenemos que derivar para hallar el resultado.

$$2840.1x - 1.1037 = 0 \rightarrow x = 2840.1$$

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

4.6.3.3 Ensayo de tracción a probeta N° 03 PET

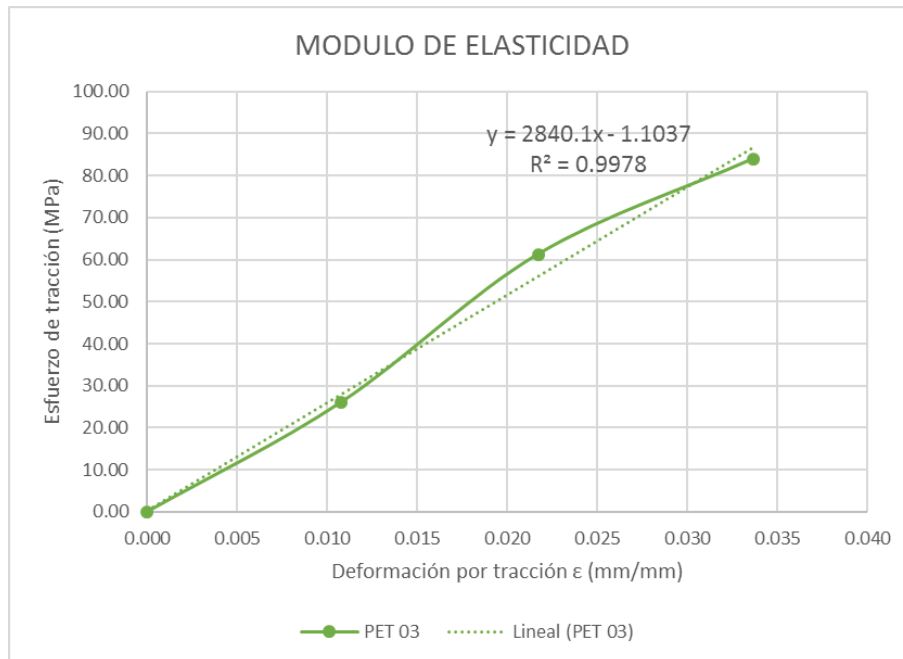


Fig. N° 49: Ecuación Módulo de Elasticidad de Probeta N° 03 PET

Resultados:

Módulo de elasticidad: Ecuación de la línea de tendencia, efectuada en Excel, a la cual tenemos que derivar para hallar el resultado.

$$2840.1x - 1.1037 = 0 \rightarrow x = 2840.1$$

$$E_{pet} = 2,840.10 \text{ Mpa} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

Se procedió a promediar los resultados obtenidos en los ensayos al tereftalato polietileno.

Para ello se hizo la siguiente tabla:

Tabla N° 39: Resumen de resultados Módulo de elasticidad de fibras PET

Probeta	Ensayo	Resultados				Material
1	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET
2	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET
3	Módulo de elasticidad	2,840.10	N/mm ²	28,960.95	kgf/cm ²	Fibras PET

Promedio de Resultados:

Módulo de elasticidad $E_{pet} = 2,840.10$ MPa

$$E_{pet} = 28,960.95 \text{ kgf/cm}^2$$

4.6.4. Establecer las limitaciones de aplicación de estos elementos a edificaciones.

Las aplicaciones del concreto reforzado con tereftalato de polietileno se pueden dar en la construcción de elementos no estructurales como; por ejemplo, dinteles, mesadas, parapetos, elementos de arriostre no estructurales, lavaderos y bancas.

Capítulo V. CONCLUSIONES

5.1. Conclusiones

Según los resultados obtenidos materia del presente estudio se concluye lo siguiente:

- La cuantía mínima de refuerzo con fibras PET en el momento limite elástico es de 0.64%.
- La deformación unitaria en el límite elástico calculado en flexión 0.1577
- El límite de la fluencia del PET es 841.77 kg/cm²
- De las muestras probadas el momento limite elástico promedio alcanzado es 211.89 kg/cm².

- De las muestras probadas el momento máximo resistente promedio alcanzado es 222.58 kg/cm².
- En las muestras probadas se observó que las fibras PET tienen dificultad para adherirse al concreto.
- Los elementos reforzados con fibra PET presenta una gran ductilidad debido a que las fibras PET tiene una alta capacidad de deformación sin romperse.
- El módulo de rotura de los elementos probados no supera los 50 kg/cm².

5.2. Recomendaciones

- Usar el PET únicamente en elementos no estructurales; por sus grandes deformaciones (comportamiento confiable).
- Se recomienda continuar con las investigaciones en la reutilización de los residuos sólidos como el plástico PET en forma de pellets y fibras, dado los resultados obtenidos, este incluso se podría utilizar en elementos estructurales de concreto armado mejorando su adherencia y quizá la resistencia (columnas, vigas y zapatas).
- Finalmente, se recomienda investigar el comportamiento de otros residuos sólidos como los envases tetra pack, el caucho de las llantas, el latón como constituyentes, en parte, del concreto o asfalto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ávila Córdova, L., Martínez Barrera, G., Barrera Díaz, C., Ureña Nuñez, F., & Loza Sañez, A. (2015). PET de desecho y su uso en concreto. *OmniaScience*. , pp. 95-122.
- Baldenebro López, F. J. (2015). Estudio numérico-experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto. (*Tesis para optar doctorado en materiales*). Centro de investigación en materiales, Chihuahua.
- Cabrera, J. (2011). <https://civilgeeks.com/2011/09/27/resistencia-vs-rigidez/>.
- Gartner, E. (2004). Industrially interesting approaches to "low-CO₂" cements. *Cement and Concrete Research*, 1489-1498.
- Global Ocean Commission. (2015). *Plastics - Keeping them out of the ocean*. Global Ocean Commission.

- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Juárez N., M., María E., S., & Vera M., J. (2011). Estudio de factibilidad para la manufactura de empuñaduras de PET reciclado. *e-Gnosis [online]*, Vol. 9 Art. 2.
- Mac. Gregor, J. (1992, 2° edición). *Reinforced Concrete, Mechanic and Design*. New Jersey: Prentice - Hall.
- Mansilla Pérez, L., & Ruiz Ruiz, M. (2009). Reciclaje de botellas de PET para obtener fibra de poliéster. *Ingeniería Industrial*, (27) 123-137.
- Morales Morales, R. (2006, 3° Edición). *Diseño en concreto armado*. Lima: ICG.
- Nawy, E. (1990, 2° Edición). *Concreto reforzado, un enfoque básico*. México: Prentice- Hall Hispano americana .
- Neville, A. (1984, Tomos I Y III). *Tecnología del concreto* . México: Editorial Limusa.
- Pasquel Carbajal, E. (1992-1993). *Tópico de tecnología del concreto en el Perú*. Lima: Libro 17 de la colección del Ingeniero Civil.
- Rivera Martínez, L. E. (2013). Materiales alternativos para la elaboración de tabiques ecológicos. (*Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería en Administración de la Construcción*). Instituto Tecnológico de Sonora, Sonora, México.
- Rivera Távara, R. (2004). Propuesta de reciclaje mecánico de los plásticos en la ciudad de Piura. *Tesis para optar título profesional*. Universidad de Piura, Piura.
- Rivva López, E. (2008). *Materiales para el concreto*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- RNE. (2009). *Norma E.060 Concreto Armado*. Lima - Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Torre C., A. (2004). *CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO PARA INGENIEROS CIVILES*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- United Nations Environment Programme. (2016). *Marine plastic debris and microplastics - Global lessons and research to inspire action and guide policy change*. Nairobi: United Nations Environment Programme.

ANEXOS

Anexo A-1: Materias primas utilizadas



Foto N° 20: Cemento Portland Extra Forte



Foto N° 21: Piedra chancada de 1/2"

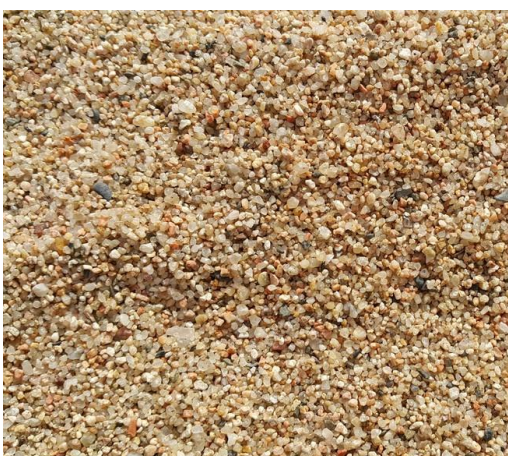


Foto N° 22: Arena gruesa



Foto N° 23: Fibra PET (soga trenzada de 6 hebras)

Materia prima para la elaboración de las probetas según el diseño de mezcla respectivo.

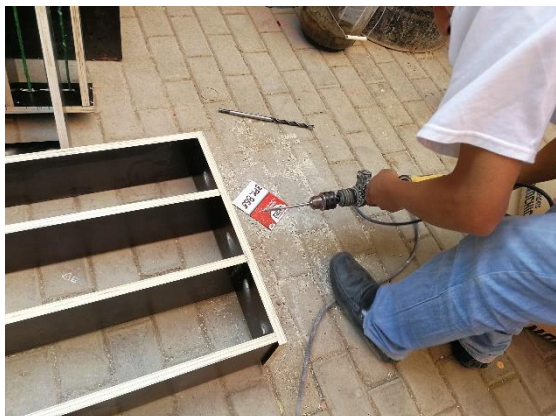


Foto N° 24: Encofrado de vigas



Foto N° 25: Colocación de fibras PET (tensionadas)



Foto N° 26: Sujeción de moldes



Foto N° 27: Preparación de mezcla



Foto N° 28: Vaciado del concreto en moldes



Foto N° 29: Elaboración de probetas



Foto N° 30: Desenfofrado de probetas



Foto N° 31: Curado de probetas



Foto N° 32: Ensayo de compresión EJ-1



Foto N° 33: Ensayo de compresión EJ-2

Procedimiento experimental