

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN
SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION
INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO**

PRESENTADO POR:

- Br. CAMA VILLALBA, JHON MAYCKOL
- Br. PUMACCAHUA CRUZ, CRISTIAN

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Dr. ADRIEL GAMARRA DURAND

Cusco-Perú

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACEÑO presentado por: JHON MAYCKOL CAMA VALLALBA con DNI Nro.: 73331022 presentado por: CRISTIAN PUTACCAHUA CRUZ con DNI Nro.: 76600789 para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 7%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 09 de ENERO de 2024

Firma

Post firma ADRIEL GAMARRAN DURAND

Nro. de DNI 23873047

ORCID del Asesor 0000-0003-4402-9916

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: OID: 27259:302492247

NOMBRE DEL TRABAJO

**TESIS-CAMAVILLALBA, PUMACCAHUA
CRUZ.pdf**

RECUENTO DE PALABRAS

49846 Words

RECUENTO DE PÁGINAS

289 Pages

FECHA DE ENTREGA

Jan 9, 2024 10:04 AM GMT-5

RECUENTO DE CARACTERES

263019 Characters

TAMAÑO DEL ARCHIVO

43.7MB

FECHA DEL INFORME

Jan 9, 2024 10:07 AM GMT-5**● 7% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 3% Base de datos de trabajos entregados
- 0% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 30 palabras)

Dedicatoria

A mis padres, por estar siempre a mi lado por ser los únicos que creyeron en mí y por darme consejos para hacer de mí una mejor persona; me formaron con dedicación y al final me motivaron para alcanzar mis anhelos. A mi padre Alfredo Cama, que nunca se cansa de darnos consejos, por ser un ejemplo de superación para sus hijos y por demostrarnos que todo está en la mente. A mi madre Aydé Villalba que siempre está al pendiente de mí, por haberme corregido cuando iba por el mal camino y sobre todo por haber amado a sus hijos de una manera incondicional.

A mi hermano Jhinmy por tener paciencia conmigo, y haberme brindado sus conocimientos en el inicio de mi aventura con mi carrera profesional, gracias a ti hermano soy un profesional.

A mi hermana Karen que es un ejemplo de dedicación y estudio para esta familia, por ser un ejemplo a seguir.

Sin ustedes que son mi familia nada de esto hubiese sido posible, siempre estaré agradecido por todo lo que han hecho por mi

Bach. Cama Villalba Jhon Mayckol

Dedicatoria

A Dios por entregarme una linda familia.

A mis padres por todo el apoyo incondicional que me han brindado, sus consejos, y por haber creído en mí.

A mis hermanos por ser mis compañeros de juego, motivarme a ser una mejor persona cada día y por permitirme ser su ejemplo.

A mis demás familiares, compañeros de estudio y amigos, que forman parte de mí.

Bach. Pumacahua Cruz Cristian

Agradecimientos

A nuestra querida Universidad Nacional san Antonio Abad del Cusco, facultad de Ingeniería Civil, le agradecemos por brindarnos una formación profesional a través de sus docentes e infraestructura.

A nuestro asesor Dr. Ing. ADRIEL GAMARRA DURAND por su gran aporte a esta investigación, además de mostrar un gran conocimiento en la especialidad correspondiente a la presente investigación en la rama de estructuras y resistencia de materiales.

Agradecemos también al Ing. JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL, por el apoyo constante y supervisión en las pruebas de laboratorio realizadas para la presente tesis.

Principal agradecimiento al Mgt. Ing. MIJAIL MONTESINOS ESCOBAR Por el asesoramiento en los ensayos de laboratorio y su muestra de interés para con nuestra tesis.

Resumen

En la presente tesis de investigación se tiene el objetivo de determinar la relación momento curvatura en secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero en una determinada proporción en función del volumen del concreto a ensayar, metodológicamente la investigación es de tipo aplicada de nivel descriptivo experimental con un diseño cuasiexperimental y de enfoque cuantitativo, cuya población y muestra se encuentra comprendido de 96 muestras de forma cilíndrica o briquetas separados con 0%, 1%, 2% y 3% de fibra de acero, 6 vigas de concreto simplemente armadas con cuantía mínima e incorporación de fibra de acero en 0% y 1% y 6 vigas de concreto doblemente armadas con incorporación de fibra de acero en 0% y 1%, se realizó el diseño de mezclas correspondiente, dosificación de agregados y cemento, se realizaron los ensayos a compresión y tracción indirecta del concreto, de otra parte, se realizó ensayos de flexión de las vigas de concreto. Los resultados mostraron que al incrementar 1% de fibra de acero en el concreto se logra mejorar la resistencia a compresión a un 148.59% y la resistencia a tracción a un 124.56%, en cuanto a la ductilidad de curvatura se logra incrementar en vigas simplemente armadas, sin embargo, se ha observado que se reduce en vigas doblemente. Se concluye que, al incrementar la cantidad de fibra de acero a 1% se produce un incremento de resistencia a la compresión y tracción del concreto, parámetros de suma importancia en la determinación de la ubicación del eje neutro y el momento último, por lo tanto, se logra una mayor resistencia y una disminución en ductilidad de las secciones. Sin embargo, al incrementar mucho más de este porcentaje la incorporación de las fibras de acero resulta perjudicial en el concreto reduciendo las resistencias de las propiedades mecánicas del concreto.

***Palabras clave:** Relación momento – curvatura, ductilidad, fibra de acero, resistencia a compresión, resistencia a tracción, curvatura, agrietamiento, cedencia, agotamiento.*

Abstract

In this research thesis, the objective is to determine the curvature moment relationship in reinforced concrete sections subjected to bending, incorporating steel fibers in a certain proportion depending on the volume of the concrete to be tested, methodologically the research is of a level applied type. experimental descriptive with a quasi-experimental design and quantitative approach, whose population and sample is comprised of 96 cylindrical-shaped samples or separated briquettes with 0%, 1%, 2% and 3% steel fiber and with 12 reinforced concrete beams with steel or minimum amount with incorporation of steel fiber in 0% and 1%, the design of the corresponding mixtures, dosage of aggregates and cement was carried out, the compression and traction tests of the concrete were carried out, on the other hand, a bending test of concrete beams. The results showed that by increasing 1% of steel fiber in the concrete, it is possible to improve the compressive strength by 148.59% and the tensile strength by 124.56%, in terms of the curvature moment relationship and the ductility, it is possible to increase significantly improve these parameters, achieving an improvement from 5.42 to 8.54, it is concluded that, by increasing the amount of steel fiber to 1%, there is an increase in the compressive and tensile strength of the concrete, parameters of great importance in determining the location of the neutral axis and the ultimate moment, therefore, a greater resistance and ductility of the sections is achieved. However, by increasing much more than this percentage, the incorporation of steel fibers is detrimental in the concrete, reducing the resistance of the mechanical properties of the concrete.

Keywords: *Moment – curvature relationship, ductility, steel fiber, compressive strength, tensile strength, curvature, cracking, yielding, exhaustion.*

Índice de contenido

Dedicatoria.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Índice de contenido.....	vi
Índice de tablas.....	i
Índice de figuras.....	v
Introducción.....	i
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. FORMULACION INTERROGATIVA DEL PROBLEMA.....	1
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	1
1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION.....	1
1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	1
1.3.2. LIMITACIÓN TEMPORAL.....	2
1.3.3. JUSTIFICACION SOCIAL.....	2
1.3.4. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD.....	2

1.3.5.	JUSTIFICACION POR RELEVANCIA.....	2
1.4.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.....	3
1.4.1.	LIMITACION ESPACIAL.....	3
1.4.2.	LIMITACIÓN NORMATIVA	3
1.4.3.	LIMITACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS.....	4
1.4.4.	LIMITACIÓN DE ENSAYOS	4
1.4.5.	LIMITACIÓN DE MATERIALES	4
1.5.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
1.5.1.	OBJETIVO GENERAL.....	1
1.5.2.	OBJETIVOS ESPECIFICOS	1
CAPITULO II: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO.....		1
2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	1
2.1.1.	ANTECEDENTES LOCALES	1
2.1.2.	ANTECEDENTES NACIONALES.....	3
2.1.3.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES	5
2.2.	MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL	7
2.2.1.	CONCRETO.....	7
2.2.1.1.	COMPONENTES DEL CONCRETO.....	8
2.2.1.2.	PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO	10
2.2.1.3.	MODELOS ESFUERZO-DEFORMACION DEL CONCRETO	13
2.2.1.4.	ENSAYOS DEL CONCRETO	16
2.2.2.	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	17
2.2.2.1.	METODO A.C.I 211.1	17

2.2.3.	ACERO DE REFUERZO	29
2.2.3.1.	MODELO DE ESFUERZO DEFORMACION DEL ACERO.....	30
2.2.4.	FIBRAS DE ACERO.....	32
2.2.5.	MOMENTO CURVATURA.....	35
2.2.5.1.	CURVATURA	35
2.2.5.2.	CURVA BILINEAL IDEALIZADA.....	38
2.2.5.3.	DUCTILIDAD.....	39
2.2.6.	GALGAS EXTENSIOMETRICAS.....	41
2.2.6.1.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.....	42
2.2.6.2.	TIPOS DE GALGAS.....	42
2.2.6.3.	CAMPOS DE APLICACIÓN DE LAS GALGAS EXTENSOMETRICAS.....	47
2.3.	HIPOTESIS	50
2.3.1.	HIPOTESIS GENERAL	50
2.3.2.	SUB HIPOTESIS	50
2.4.	VARIABLES E INDICADORES.....	50
2.4.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES	50
2.4.1.1.	CONCRETO	50
2.4.1.2.	FIBRAS DE ACERO.....	51
2.4.2.	VARIABLES DEPENDIENTES.....	52
2.4.2.1.	MOMENTO CURVATURA.....	52
2.4.2.2.	DUCTILIDAD DE SECCIONES	53
2.4.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	53
CAPITULO III: METODOLOGÍA		58
3.1.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	58
3.1.1.	SEGÚN EL ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN	58
3.1.2.	SEGÚN EL NIVEL DE INVESTIGACIÓN	58

3.1.3.	SEGÚN EL TIPO DE LA INVESTIGACIÓN.....	59
3.1.4.	SEGÚN EL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	59
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	60
3.2.1.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	60
3.2.2.	DISEÑO DE INGENIERÍA	60
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	62
3.3.1.	POBLACIÓN.....	62
3.3.2.	MUESTRA – TAMAÑO Y CÁLCULO DE LA MUESTRA	62
3.3.3.	METODO DE MUESTREO.....	64
3.3.4.	CRITERIOS DE INCLUSIÓN	65
3.4.	INSTRUMENTOS.....	67
3.4.1.	INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O DE MEDICIÓN	67
3.4.2.	INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA	73
CAPITULO IV: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....		74
4.1.	PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	74
4.1.1.	CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS.....	74
4.1.1.1.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	74
4.1.1.2.	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	78
4.1.1.3.	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.....	83
4.1.1.4.	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	87
4.1.1.5.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO Y GRUESO	91
4.1.1.6.	PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO FINO.....	93
4.1.1.7.	PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO GRUESO	95
4.1.1.8.	RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS	98

4.1.2.	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	98
4.1.3.	RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO	104
4.1.4.	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO	112
4.1.5.	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO	120
4.1.5.1.	VIGAS DE CONCRETO SIMPLEMENTE ARMADAS	120
4.1.5.2.	VIGAS DE CONCRETO DOBLEMENTE ARMADOS CON CONFINAMIENTO	134
CAPITULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		149
4.2.	PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	149
4.2.1.	RELACIÓN MOMENTO CURVATURA.....	149
4.2.1.1.	CALCULOS PARA VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS.....	149
4.2.1.2.	COMPARACION DE GRAFICAS DE RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS	169
4.2.1.3.	CÁLCULO PARA VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS.....	172
4.2.1.4.	COMPARACION DE RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS	192
4.2.2.	DUCTILIDAD DE SECCIONES.....	195
4.2.2.1.	CALCULO DE DUCTILIDAD PARA VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS	195
4.2.2.2.	CALCULO DE DUCTILIDAD PARA VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS	195
CAPITULO VI: DISCUSIONES		197
CAPITULO VII: CONCLUSIONES.....		201
RECOMENDACIONES.....		206
BIBLIOGRAFÍA		207
ANEXOS		212

Índice de tablas

Tabla 1 Asentamiento Recomendados para Construcciones	18
Tabla 2 Valores Recomendados de TMN según el tipo de Construcción	19
Tabla 3 <i>Requerimientos Aproximados de Agua de Mezclado y Contenido de Aire</i>	19
Tabla 4 Relación agua-cemento vs $f'c$	20
Tabla 5 Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto	21
Tabla 6 Primera estimación del concreto fresco	22
Tabla 7 Límites de Granulometría para los Agregados Gruesos	26
Tabla 8 Límites de Granulometría para el Agregado Fino	27
Tabla 9 Propiedades Geométricas y Mecánicas de Fibra de Acero	34
Tabla 10 Clasificación de Demanda de Ductilidad de Componentes	41
Tabla 11 Campos de aplicación de las galgas extensiométricas	47
Tabla 12 Matriz de Operacionalización de Variables	54
Tabla 13 Numero de muestras cilíndricas de concreto a compresión.....	63
Tabla 14: Número de muestras cilíndricas a tracción indirecta.....	63
Tabla 15 Número de muestras en vigas	64
Tabla 16 Requisitos de Especímenes Cilíndricos para Ensayos	66
Tabla 17 Requisitos de Especímenes de Viga para Ensayos	66
Tabla 18 Instrumentos de Ingeniería.....	73
Tabla 19 Datos de Muestra de Agregado Fino	76
Tabla 20 Análisis Granulométrico del Agregado Fino	77
Tabla 21 Requisitos granulométricos del agregado grueso	81
Tabla 22 Datos de Muestra de Agregado Grueso	82
Tabla 23 Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	82
Tabla 24 Peso Específico de Agregado Fino	86

Tabla 25 Absorción de Agregado Fino	87
Tabla 26 Peso Específico de Agregado Grueso	90
Tabla 27 Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso	91
Tabla 28 Contenido de Humedad de Agregado Fino.....	93
Tabla 29 Contenido de Humedad de Agregado Grueso	93
Tabla 30 Peso Unitario del Agregado Fino.....	95
Tabla 31 Peso Unitario de Agregado Grueso.....	97
Tabla 32 Resumen de Características del Agregado Fino	98
Tabla 33 Resumen de Características del Agregado Grueso	98
Tabla 34 Resistencia a la Compresión Promedio.....	99
Tabla 35 Volumen Unitario de Agua.....	99
Tabla 36 Determinación de Contenido de Aire Atrapado.....	100
Tabla 37 Determinación del Contenido de Aire Atrapado	100
Tabla 38 Determinación del Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Concreto	101
Tabla 39 Determinación de la Proporción en Peso del Concreto	103
Tabla 40 Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto Convencional.....	107
Tabla 41: Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 1% de Fibra de Acero.....	108
Tabla 42 Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 2% de Fibra de Acero.....	109
Tabla 43 Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 3% de Fibra de Acero.....	110
Tabla 44 Resistencias a Compresión de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero	111
Tabla 45 Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto Convencional	115

Tabla 46 Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 1% de Fibra de Acero.....	116
Tabla 47 Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 2% de Fibra de Acero.....	117
Tabla 48 Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 3% de Fibra de Acero.....	118
Tabla 49 Resistencias a Tracción de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero	119
Tabla 50: Identificación de vigas simplemente armadas	122
Tabla 51 Resistencia a Flexión de Vigas simplemente armadas con 0% de fibras de acero.	126
Tabla 52 Carga de Viga simplemente reforzada con 0% de Fibra de Acero	127
Tabla 53 Resistencia a Flexión de Vigas simplemente armadas	131
Tabla 54 Cargas en Viga simplemente armada con 1% de Fibra de Acero.....	132
Tabla 55: Tipo de falla en vigas simplemente armadas.....	132
Tabla 56 Comparativa de Cargas en vigas simplemente armadas	133
Tabla 57: Identificación de vigas doblemente armadas.....	135
Tabla 58 Resistencia a Flexión de Vigas doblemente armadas	140
Tabla 59 Carga de Viga doblemente reforzada con 0% de Fibras de acero	141
Tabla 60 Resistencia a Flexión de Vigas doblemente armadas	145
Tabla 61 Cargas en Viga doblemente armada con 1% de fibras de acero	146
Tabla 62: Tipo de fallas en vigas doblemente armadas con confinamiento	147
Tabla 63 Comparativa de Cargas en vigas doblemente armadas.....	148
Tabla 64 Valores de beta 1 de acuerdo a la norma E-060.....	155
Tabla 65 Tabla de momentos y curvaturas teóricos en viga simplemente armada con 0% de FA.	156

Tabla 66 Momentos experimentales en vigas simplemente armadas con 0% de fibra de acero	157
Tabla 67 Valores Esfuerzo - Deformación para el concreto con 0% de fibra de acero	158
Tabla 68 Momentos y curvaturas experimentales para viga simplemente armada con 0% FA	160
Tabla 69 Tabla de resumen -momentos y curvaturas teóricos para viga simplemente armada con 1% de FA.....	165
Tabla 70 momentos experimentales en vigas simplemente armadas con 1% de FA.....	166
Tabla 71 Tabla de esfuerzo deformación en viga simplemente armada con el modelo de Hognestad	166
Tabla 72 Momentos y curvaturas experimentales para viga simplemente armada con 1% FA	168
Tabla 73 Curvaturas teóricos en vigas doblemente armadas con 0% de FA	177
Tabla 74 Tabla de error de adquisición de datos	178
Tabla 75 Momento y curvatura para viga 01 doblemente armada con 0% de fibras de acero	178
Tabla 76 Momento y curvatura para viga 02 doblemente armada con 0% de fibras de acero	179
Tabla 77 Momento y curvatura para viga 03 doblemente armada con 0% de fibras de acero.	180
Tabla 78 Momentos y curvaturas experimentales para viga doblemente armada con 0% FA	184
Tabla 79 Momentos y curvaturas para viga doblemente armada con el RESPONSE 2000.	186
Tabla 80 Momento y curvatura para viga 01 doblemente armada con 1% de fibras de acero	186

Tabla 81 Momento y curvatura para viga 02 doblemente armada con 1% de fibras de acero:	187
Tabla 82 Momento y curvatura para viga 03 doblemente armada con 1% de fibras de acero.	189
Tabla 83 Momentos y curvaturas experimentales para viga doblemente armada con 1% FA	192
Tabla 84 Variación de Ductilidad Experimental.....	202
Tabla 85 Variación de Resistencia Experimental	204

Índice de figuras

Figura 1. Relación Triangular del Concreto	10
Figura 2 Efecto de la Velocidad de Carga en la Resistencia a la Compresión del Concreto .	11
Figura 3. Módulo de Elasticidad.....	12
Figura 4 Modelo de Esfuerzo-Deformación del Concreto de Hognestad.....	14
Figura 5 Modelo del Concreto de Kent y Park	16
Figura 6 Diagrama de Dispositivo de Ensayo a Flexión en Vigas	17
Figura 7 Curva Típica Esfuerzo-Deformación de Aceros de Refuerzo.....	30
Figura 8 Diagrama Momento - Curvatura	35
Figura 9 Curvatura de una Sección de Concreto Bajo Solicitaciones de Flexión	36
Figura 10 Distribución de Deformaciones Unitarias en una Sección de Viga de Concreto ...	37
Figura 11: Curva idealizada por CALTRANS	39
Figura 12 Tipos de Ductilidad	40
Figura 13 Efecto peiorresistivo.....	42
Figura 14 Constitución de una galga de filamento	43
Figura 15 galgas desoldadas	44

Figura 16 Galga Uniaxial.....	45
Figura 17 Galga Biaxial.....	45
Figura 18 Roseta Rectangular.....	46
Figura 19 Roseta Delta	46
Figura 20 galgas de diafragma.....	47
Figura 21 Procedimiento de Tesis de Investigación	61
Figura 22 Ficha de Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Fino	68
Figura 23 Ficha de Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso y Fino	69
Figura 24 Ficha de Contenido de Humedad y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso y Fino	70
Figura 25 Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compactado y Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso y Fino.....	71
Figura 26 Ficha de Diseño de Mezcla por Método ACI 211	72
Figura 27 Procedimiento de Ensayo Granulométrico de Agregado Fino.....	75
Figura 28 Tamizado de Agregado Fino	76
Figura 29 Curva Granulométrica de Agregado Fino	78
Figura 30 Cuarteo del agregado grueso	79
Figura 31 Procedimiento de Ensayo Granulométrico de Agregado Grueso.....	80
Figura 32 Tamizado de Agregado Grueso	80
Figura 33 Curva Granulométrica de Agregado Grueso	83
Figura 34 Procedimiento de Ensayo de Peso Específico de Agregado Fino	85
Figura 35 Procedimiento de Ensayo de Absorción de Agregado Fino.....	86
Figura 36 Procedimiento de Ensayo de Peso Específico de Agregado Grueso.....	88
Figura 37 Procedimiento de Ensayo de Porcentaje de Absorción de Agregado Grueso	89

Figura 38 Procedimiento de Ensayo de Contenido de Humedad de Agregado Fino y Grueso	92
Figura 39 Procedimiento de Ensayo de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de Agregado Fino	94
Figura 40 Procedimiento de Ensayo de Peso Unitario y Porcentaje de Vacios de Agregado Grueso	96
Figura 41: Tipos de falla en compresión para probetas ensayadas a compresión	105
Figura 42 Procedimiento de Rotura de Briquetas de Concreto	106
Figura 43: Falla (tipo I) típica en probetas con 0% de fibras de acero	107
Figura 44: Falla (tipo I) típica en probetas con 1% de fibras de acero	108
Figura 45:	109
Figura 46: Falla (tipo I) típica en probetas con 3% de fibras de acero	110
Figura 47 Comparativa de Resistencia a Compresión del Concreto.	111
Figura 48 Procedimiento de Ensayo a Tracción del Concreto.....	113
Figura 49: Falla típica (frágil) en probetas cilíndricas con 0% de fibras de acero sometidas a tracción indirecta.....	114
Figura 50 Comparativa de Resistencia a Tracción del Concreto.....	119
Figura 51 Detalle de dimensiones y armado de viga simplemente armada.....	121
Figura 52 Procedimiento de Ensayo de Resistencia a Flexión en Vigas simplemente armadas	121
Figura 53: puntos de aplicación de carga en vigas simplemente armadas	122
Figura 54 Modo de falla en Viga V-01 S.A. - 0%F.A.....	123
Figura 55 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 S.A. - 0%F.A.....	123
Figura 56 Modo de falla en Viga V-02 S.A. - 0%F.A.....	124
Figura 57 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 S.A. - 0%F.A.....	124

Figura 58 Modo de Falla en Viga V-03 S.A. - 0%F.A.	125
Figura 59 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 S.A. - 0%F.A.....	125
Figura 60 Diagrama Carga - Deflexión de Vigas simplemente armadas con 0% de FA	126
Figura 61 Punto de Agrietamiento, Cedencia y Ultimo de Viga simplemente armada con 0% de FA.....	127
Figura 62 Modo de falla en Viga V-01 S.A. - 1%F.A.....	128
Figura 63 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 S.A. - 1%F.A.....	128
Figura 64 Modo de falla en Viga V-02 S.A. - 1%F.A.....	129
Figura 65 Diagrama Carga- Deflexión de Viga V-02 S.A. - 1%F.A.....	129
Figura 66 Modo de falla en Viga V-03 S.A. - 1%F.A.....	130
Figura 67 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 S.A. - 1%F.A.....	130
Figura 68 Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas simplemente armadas con 1% de FA	131
Figura 69 Punto de Agrietamiento, Cedencia y Agotamiento de Viga con 1% de Fibra de Acero	132
Figura 70 Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas simplemente armadas con 0% y 1% de fibras de acero	133
Figura 71: Detalle de dimensiones y armado de viga doblemente armada con confinamiento	134
Figura 72 procedimiento de ensayo de resistencia a flexión en vigas doblemente armadas	135
Figura 73: Puntos de aplicación de carga en vigas doblemente armadas.	136
Figura 74 modo de falla en viga V-01 D.A. - 0%F. A.....	137
Figura 75 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 D.A. - 0%F. A.....	137
Figura 76 Modo de falla en Viga V-02 D.A. - 0%F. A.	138
Figura 77 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 D.A. - 0%F. A.....	138

Figura 78 Modo de falla en Viga V-03 D.A. - 0%F. A.	139
Figura 79 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 D.A. - 0%F. A.	139
Figura 80 Diagrama Carga - Deflexión de vigas doblemente armadas con 0% de FA	140
Figura 81 Punto de agrietamiento, Cedencia y Ultimo de viga doblemente armada con 0% de FA	141
Figura 82 Modo de falla en viga V-01 D.A. - 1%F. A.	142
Figura 83 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 D.A. - 1%F. A.	142
Figura 84 Modo de falla en viga V-02 D.A. - 1%F. A.	143
Figura 85 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 D.A. - 1%F. A.	143
Figura 86 Modo de falla en viga V-03 D.A. - 1%F. A.	144
Figura 87 Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 D.A. - 1%F. A.	144
Figura 88 Comparativa de Carga - Deflexión en vigas doblemente armadas con 1% de FA	145
Figura 89 Punto de agrietamiento, Cedencia y Ultimo representativo de viga doblemente armada con 1% de FA.....	146
Figura 90 Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas doblemente armadas con 0% y 1% de fibras de acero.	147
Figura 91 vista en corte de viga simplemente armada con 0% de fibra de acero	150
Figura 92 Diagrama Esfuerzo - Deformación de Agrietamiento en viga con 0% FA.....	151
Figura 93 Diagrama esfuerzo deformación de la sección simplemente armada con 0%FA	152
Figura 94 Diagrama esfuerzo deformación en estado de agotamiento caso - 1	154
Figura 95 Diagrama Momento - Curvatura Teórico de Viga simplemente armada con 0% de Fibra de Acero.....	156
Figura 96 Modelo de Esfuerzo-Deformación del Concreto de Hognestad.....	158

Figura 97 Diagrama esfuerzo deformación por el método de Hognestad para vigas simplemente armadas con 0% FA.....	159
Figura 98 Diagrama Momento - Curvatura Experimental de Viga simplemente armada con 0% de Fibra de Acero.....	160
Figura 99 vista en corte de viga simplemente armada con 1% de fibra de acero.....	161
Figura 100 Diagrama Esfuerzo deformación de Agrietamiento en viga con 1% FA.....	162
Figura 101 Diagrama Esfuerzo - deformación de la sección simplemente armada con 1%FA.....	163
Figura 102 Diagrama esfuerzo - Deformación en estado de agotamiento para vigas con 1% de FA.....	164
Figura 103 Diagrama Momento - Curvatura teórico de viga simplemente armada con 1% de Fibra de Acero.....	165
Figura 104 Diagrama esfuerzo deformación por el modelo de Hognestad para vigas simplemente armadas con 1% FA.....	167
Figura 105 Diagrama Momento - Curvatura Experimental de Viga simplemente armada con 1% de Fibras de Acero.....	169
Figura 106 Comparación de gráficas momento curvatura teóricos en vigas simplemente armadas.....	170
Figura 107 Comparación de gráficas momento curvatura experimentales en vigas simplemente armadas.....	171
Figura 108 Comparación de gráficas momento curvatura teórico y experimentales en vigas simplemente armadas con 0% de fibras de acero.....	171
Figura 109 Comparación de gráficas momento curvatura teórico y experimentales en vigas simplemente armadas con 1% de fibras de acero.....	172
Figura 110 Ensayo a flexión en vigas doblemente armadas.....	173

Figura 111 Distribución de acero en vigas doblemente armadas	173
Figura 112 Galga Extensiométrica BX120 - 5AA.....	174
Figura 113 proceso de toma de datos mediante las galgas extensiométricas	174
Figura 114 Gráfico ilustrativo de compresión y tracción en galgas	175
Figura 115 Datos de viga doblemente armada 0% ingresados al programa RESPONSE 2000	176
Figura 116 Gráfico Momento Curvatura - Response 2000 VIGA 0% de Fibras de acero. ..	176
Figura 117: Curva bilineal idealizada teórico en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero.	177
Figura 118 Diagrama Momento Curvatura de viga N°-01 doblemente armada con 0% de FA	179
Figura 119 Diagrama Momento Curvatura de viga N°-02 doblemente armada con 0% de FA	180
Figura 120 Diagrama Momento Curvatura de viga 3 doblemente armada con 0% de FA...	181
Figura 121 Comparación de diagramas momento curvatura en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero.	182
Figura 122 Diagrama momento curvatura representativa de viga doblemente armada con 0% de F.A.....	182
Figura 123: Comparación de áreas para curva bilineal idealizada en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero.	183
Figura 124:	183
Figura 125 Datos de viga doblemente armada 1% ingresados al programa RESPONSE 2000	184
Figura 126 Gráfico Momento Curvatura - Response 2000 VIGA 1%FA	185

Figura 127: Curva bilineal idealizada teórico en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.	185
Figura 128 Diagrama Momento Curvatura de viga N°- 01 doblemente armada con 1% de FA	187
Figura 129 Diagrama Momento Curvatura de viga N°- 02 doblemente armada con 1% de FA	188
Figura 130 Diagrama Momento Curvatura de viga N°-03 doblemente armada con 1% de FA	189
Figura 131 Comparación de diagramas momento curvatura en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.....	190
Figura 132 Diagrama momento curvatura representativa de viga doblemente armada con 1% de F.A.....	190
Figura 133: Comparación de áreas para curva bilineal idealizada en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.	191
Figura 134: Diagrama momento curvatura con curva idealizada en viga doblemente armada con 0% de fibras de acero.	191
Figura 135 Comparación de gráficas momento curvatura teóricos en vigas doblemente armadas	192
Figura 136 Comparación de gráficas momento curvatura exp. en vigas doblemente armadas.	193
Figura 137: Comparación de gráficas bilineales idealizadas en vigas doblemente armadas	193
Figura 138 Comparación de gráficas momento curvatura teórico y experimentales en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero	194
Figura 139 Comparación de gráficas momento curvatura teórico y experimentales en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.	194

Figura 140 Costo de Producción de Concreto Convencional por Metro Cubico	199
Figura 141 Costo de Producción de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero por Metro Cubico	200
Figura 142 Comparativa de Diagrama Momento Curvatura Experimental en vigas doblemente armadas	201
Figura 143 Comparativa de Ductilidad Experimental	202
Figura 144 Comparativa de Resistencia Ultima experimental en vigas doblemente armadas	205

Introducción

El comportamiento sísmico de las edificaciones depende de la resistencia de todos los elementos componentes de la estructura, es decir, de los elementos tipo viga, columna, muros estructurales, losas entre otros, por lo tanto, conocer cuál es el comportamiento de cada uno de estos elementos es fundamental a fin de verificar la ductilidad de las secciones cuando se incrementa la carga a la cual es diseñada.

La relación momento curvatura en secciones de concreto armado permiten conocer de manera precisa cual es el comportamiento de estos dentro de toda la historia de cargas que pueden ser cíclicas o en una sola dirección, dicha relación parte de la sección de concreto armado, así como de la relación de esfuerzo deformación de los materiales tanto del concreto como del acero. Este valor nos permite conocer la ductilidad de una sección, es decir la capacidad de una sección determinada de incursionarlo en un rango no lineal antes de llegar al fallo o agotamiento.

Entonces, la mejora en la resistencia del concreto, así como la deformación unitaria ayudará a mejorar la ductilidad de la sección y por lo tanto la relación momento curvatura, además permitirá obtener un mejor comportamiento ante el incremento de carga con secciones menores garantizando así la estabilidad global de la edificación en un rango lineal y no lineal.

Al incrementar la ductilidad se logrará que las secciones soporten mayores deformaciones y por lo tanto mayor capacidad de soporte a esfuerzos de flexión generados por acciones externas tales como los sismos o cargas externas a las cuales las estructuras se encuentran sometidas.

CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En los eventos sísmicos la distribución de elementos estructurales, dimensiones y acero de refuerzo en estructuras de concreto armado son fundamentales para resistir los esfuerzos y deformaciones que se generan por la inercia de la edificación, al alterar el comportamiento estático del conjunto se generan fuerzas distribuidas por cada nivel de entrepiso lo cual implica que se diseñe los elementos estructurales para soportar esfuerzos de flexión, compresión, tracción, flexo compresión a través de los momentos y cortantes.

El diseño por desempeño es una filosofía de diseño que se basa en realizar un análisis no lineal con el objetivo de lograr una mayor exactitud y poder predecir los niveles de seguridad de la edificación controlando el mecanismo de colapso de la estructura, se basa en garantizar que ante sismos de baja intensidad no sufran daños estructurales, en sismos moderados se pueden presentar daños reparables y en sismos de mayor intensidad no se produzca el colapso.

El análisis sísmico actual normado en el reglamento nacional de Edificaciones (RNE) se basa en un análisis lineal con fuerzas reducidas por un factor de reducción sísmica o factor R que depende del sistema estructural de la edificación, este factor se relaciona directamente con la ductilidad de la estructura que depende de la propia ductilidad de las secciones componentes de una edificación.

Esta reducción genera una cierta incertidumbre en el comportamiento inelástico de la estructura, debido a que la formación de las rotulas plásticas dependen de las características mecánicas de los materiales componentes de las estructuras, al asumir valores estándar tales como los esfuerzos de fluencia de los materiales no se tiene la certeza del comportamiento de la edificación ante movimientos telúricos, además, a esto suma incertidumbre en el proceso de construcción por parte de la mano de obra que en muchos casos no son calificadas.

La determinación de la ductilidad de las secciones de concreto armado se encuentran en función del comportamiento lineal y no lineal de los materiales componentes, de acuerdo a estas características se determina la relación momento curvatura de la sección de concreto, esta relación permite conocer la ductilidad, en otras palabras, lograr determinar el potencial de incursionar en un rango no lineal antes de llegar al punto de falla o colapso.

Una dificultad encontrada es la determinación del comportamiento isotrópico o anisotrópico de la sección, de acuerdo a la teoría de resistencia de materiales se considera que las secciones tienen un comportamiento isotrópico, en una sección de concreto armado es posible definir las propiedades mecánicas que definen el comportamiento elástico y plástico, sin embargo, no podemos afirmar y asumir que la sección de concreto armado es isotrópico, debido a que se encuentra compuesto por 2 elementos diferentes, es decir, que el comportamiento dependerá de las cantidades y posiciones relativas de estos materiales, el diagrama de momento-curvatura es una correlación entre el esfuerzo de flexión simple y la curvatura que genera este esfuerzo en la sección estableciendo 4 regiones los cuales son secciones no fisuradas, secciones fisuradas, secciones plastificadas y región post ultima o marginal.

En esta investigación se plantea la incorporación de fibras de acero (F.A.) en vigas de concreto armado sin alterar la distribución de acero longitudinal a tracción o compresión, verificando así la variación en la capacidad de deformación o ductilidad de secciones sometidos a flexión a través de la relación momento curvatura.

1.2.FORMULACION INTERROGATIVA DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

PG: ¿Cómo varia la relación momento curvatura en secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECIFICOS

PE1: ¿Cuál es la variación de la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?

PE2: ¿Cómo influye la incorporación de fibras de acero en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión?

PE3: ¿Cuál es la diferencia de la resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?

1.3.JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACION

1.3.1. JUSTIFICACIÓN TÉCNICA

El artículo N°3 de la Norma E.030 DISEÑO SISMORESISTENTE nos indica la filosofía y principios de diseño que debemos tener frente a un sismo, como asegurar la continuidad de los servicios básicos, evitar pérdida de vidas humanas, evitar el colapso de estructuras, para lo cual es de suma importancia garantizar el tipo de falla dúctil, incrementando la ductilidad de las secciones de concreto armado, utilizando fibras de acero y saber mediante pruebas experimentales el momento de fluencia en el diagrama momento curvatura.

El incremento en la ductilidad de las secciones aumenta directamente la capacidad de deformación de la edificación, al proponer la incorporación de fibras de acero en el concreto se mejora la ductilidad, sin alterar la distribución de acero de refuerzo que de incrementarse sin control o cálculo podría generarse una falla frágil disminuyendo la ductilidad.

1.3.2. LIMITACIÓN TEMPORAL

La investigación se limita a medir la relación momento curvatura de vigas de concreto armado reforzado con fibras de acero en el año 2023.

1.3.3. JUSTIFICACION SOCIAL

Esta investigación desarrolla los conocimientos técnicos para incrementar la ductilidad de las secciones de concreto, al lograr el objetivo se beneficia socialmente de manera directa a todo el público usuario de diferentes edificaciones sean estas de categoría A, B y C.

También beneficia a toda la población estudiantil y profesionales en el ejercicio de la ingeniería civil, es decir, incrementar el conocimiento técnico para mejorar el diseño sismo resistente de las edificaciones en general, además, la aplicación también puede extenderse hasta el diseño de concreto armado en general.

1.3.4. JUSTIFICACIÓN POR VIABILIDAD

Para el desarrollo de esta investigación se cuenta con la documentación técnica necesaria como el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), bibliografía técnica de resistencia de materiales, manuales de laboratorio del ASTM entre otros.

También se tiene el acceso a los materiales utilizados de las canteras para la obtención de agregados, de concreto y acero corrugado, además, se cuenta también con la disponibilidad de equipos de laboratorio que permiten la demostración experimental del incremento de la ductilidad de las secciones.

Por estas razones, la investigación resulta viable y factible de realizar las pruebas y por ende demostrar las hipótesis establecidas inicialmente.

1.3.5. JUSTIFICACION POR RELEVANCIA

Esta investigación será de importancia para el sector de diseño estructural, resistencia de materiales en la construcción, se propone el incremento de la ductilidad en el concreto conservando las cuantías de acero en las secciones de concreto.

Esta investigación se basa en resultados experimentales del incremento en el comportamiento mecánico de vigas a flexión demostrando el aumento de ductilidad de las secciones de concreto y la influencia de la fibra de acero en el comportamiento no lineal.

1.4. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION

1.4.1. LIMITACION ESPACIAL

Los horarios y disponibilidad de laboratorios de la sede de la UNSAAC (Perayoc), con tiempos controlados y accesibilidad de los investigadores para realizar los ensayos necesarios.

1.4.2. LIMITACIÓN NORMATIVA

La investigación se limita aplicar las disposiciones generales de normativas y documentos técnicos de aplicación nacional tales como:

- Reglamento Nacional de Edificaciones.
- E.060 – Concreto Armado.
- NTP 339.034 (ensayo a compresión en probetas de concreto).
- NTP 339.185 (contenido de humedad de los agregados gruesos y finos).
- NTP 400.012 (granulometría en la caracterización de los agregados).
- NTP 400.017 (determinación del peso unitario del agregado grueso).
- NTP 400.021 (peso específico de agregado grueso).
- NTP 400.022 (peso específico de agregado fino).
- ACI 211.1 (diseño de mezcla del concreto)
- NTP 339.078 – CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo.
- NTP 339.079 – CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo.

- ASTM C78 y ASTM C293 – Método de ensayo a flexión en vigas de concreto.

1.4.3. LIMITACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS

La investigación se limitó a obtener dos resultados experimentales, la primera parte consta de la determinación de la resistencia a compresión del concreto simple y reforzado a los 28 días con fibras de acero, para esta fase se realizaron los ensayos correspondientes a los materiales y la resistencia de diseño.

Una vez determinado la dosificación de agregados y el porcentaje de fibras de acero. se procedió a elaborar las vigas reforzadas con varillas de acero corrugado con una cuantía a tracción mínima de acuerdo a las dimensiones de las secciones a preparar para luego de 28 días someter a ensayos correspondientes a flexión del elemento.

1.4.4. LIMITACIÓN DE ENSAYOS

Esta investigación es limitada al uso de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales ensayados, tales como los siguientes:

- Resistencia a la compresión del concreto f'_c determinado por resistencia a través de ensayos de laboratorio a través de probetas cilíndricas incorporando fibras de acero.
- La resistencia de diseño de mezclas es de 210 kg/cm^2 .
- El diseño de mezclas para la preparación de las probetas se realizó a través del método ACI, cumpliendo lo estipulado en la norma mencionada.
- La determinación de la relación momento curvatura se determinará a través de los ensayos de flexión en vigas simplemente apoyadas.

1.4.5. LIMITACIÓN DE MATERIALES

Esta investigación es limitada al uso de materiales comerciales al alcance de los investigadores.

- Para la preparación de la mezcla de concreto se realizó con cemento tipo IP marca yura con un peso específico de 2.85 gr/cm^3
- Se utilizó acero corrugado de ACEROS AREQUIPA S.A.
- Las fibras de acero son de marca MACCAFERRI, el tipo de fibra es WIRAND FF1 en alambre trefilado para el refuerzo de hormigón.
- Galgas extensiométricas para la medición de deformaciones.

1.5.OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. OBJETIVO GENERAL

OG: Determinar la relación momento curvatura en secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.

1.5.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

OE1: Calcular la variación de la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.

OE2: Determinar la influencia de la incorporación de fibras de acero en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión.

OE3: Calcular la diferencia de resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.

CAPITULO II: ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

2.1.ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES LOCALES

Tesis: “Resistencia al corte del concreto, adicionado con fibras de acero, mediante ensayos tipo Push-off, aplicado a pavimentos rígidos en la ciudad de Cusco”.

Autor: Marcelino Escalante Puma, Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, 2020

La presente investigación de maestría tuvo el objetivo de determinar el grado o la influencia de la incorporación de las fibras de acero en la resistencia al corte del concreto utilizando el ensayo de corte de tipo Push – Off, investigación de tipo aplicado, con un diseño experimental y con un enfoque experimental, la población y muestra se encuentra determinado por probetas cubicas de tipo Z, se utilizó el método de observación directa y de tratamiento estadístico a través del software SPSS. Los resultados mostraron que las fibras de acero incorporado en cantidades de 20, 25, 40, 35, 40, 45 y 50 kg/m³ presentan diferencias significativas con respecto al promedio de la resistencia al corte del concreto, La presente investigación de maestría tuvo el objetivo de determinar el grado o la influencia de la incorporación de las fibras de acero en la resistencia al corte del concreto utilizando el ensayo de corte de tipo Push – Offe.

Tesis: “Análisis de la influencia de las fibras de polipropileno en el concreto usado en pavimentos rígidos con agregados de la cantera de Huambutio, Cusco, 2017”.

Autores: Jordano Achancaray Manotupa & Luis Enrique Grajeda Roca, Universidad Nacional San Antonio Abad de Cusco, 2019.

Esta investigación de pregrado tiene el objetivo de analizar el efecto producido por la incorporación de fibras de acero y polipropileno en concreto de resistencia de 210 kg/cm² y 280 kg/cm² para pavimentos rígidos en la región Cusco. Metodológicamente la investigación es de tipo aplicado, con un alcance correlacional, diseño experimental y un enfoque

cuantitativo, se realizaron ensayos de laboratorios tales como la resistencia a compresión simple, tracción indirecta, flexión y, módulo de elasticidad. Los resultados evidenciaron que el concreto con 600 gr/m³ de fibra de polipropileno presenta resultados más favorables que los demás mejorando así la calidad del concreto, se concluye que la incorporación de fibras de acero mejora significativamente la calidad de concreto y el comportamiento mecánico de la misma, el costo de producción de una losa de pavimento con concreto con adición de fibra de polipropileno es mucho más económico que uno con concreto con adición de fibra de acero y malla de temperatura.

Tesis: “Análisis comparativo del módulo de elasticidad y módulo de rotura de un concreto patrón $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ reemplazado con fibras de ralladura de caucho y fibra de acero al agregado fino, Cusco – 2017”.

Autores: Vania Cristell Bustamante Lazarte & Verónica Fernández Sánchez, Universidad Andina del Cusco, 2017

Esta investigación de pregrado, tuvo la finalidad principal de realizar una comparación del módulo de elasticidad y módulo de rotura de un concreto patrón $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$, comparado con un concreto $f'c$ de 210 kg/cm^2 , investigación de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental y de tipo aplicada, el procedimiento consta de reemplazar fibra de acero al 2.48% , y la de ralladura de caucho en diferentes porcentajes al agregado fino, la población y muestra consta de realizar de 120 muestras cumpliendo con la normativa NTP 339.033, de las cuales 60 briquetas son cilíndricas para analizar el módulo de elasticidad y 60 viguetas para el ensayo a flexión, se determinó que el módulo de elasticidad con fibras de ralladuras de caucho en un 3%, 5% y 7% del peso de agregado fino disminuye y se produce un incremento el módulo de rotura, se concluye que la incorporación en el agregado fino de fibras de acero y ralladura de caucho es óptimo a un porcentaje de 3% mejorando el comportamiento mecánico del concreto, se disminuye el módulo de elasticidad y se incrementa el módulo de rotura.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Tesis: “Efectos de la incorporación de fibras de acero en las propiedades mecánicas del concreto con aditivo plastificante, Lambayeque 2020”.

Autor: Fernando Edilberto Sandoval Siesquen, Universidad Señor de Sipan, Pimentel – Lambayeque, 2022.

En esta investigación de pregrado se tuvo la finalidad de determinar el efecto de la incorporación de las fibras de acero en las propiedades mecánicas del concreto con aditivo, esta investigación es de enfoque cuantitativo, con un diseño experimental, la población se define por todos los ensayos de laboratorio del concreto con una resistencia a la compresión de $f_c=210$ kg/cm² y 280 kg/cm², la muestra se encuentra limitada por un total de 90 probetas cilíndricas cada uno para los ensayos de resistencia a la compresión y tracción, 30 probetas prismáticas para la flexión, 30 probetas cilíndricas para el módulo de elasticidad y 10 ensayos de asentamiento del concreto fresco (Slump), las fibras de acero se incorporaron en función del volumen en un 1%, 2%, 3% y 4% estas son de tipo KF 80/60 de 0.75 mm de diámetro y 6 cm de largo, las propiedades evaluadas fueron la resistencia a la compresión, tracción, flexión; y módulo de elasticidad. Los resultados mostraron que los parámetros de temperatura y asentamiento son óptimos hasta una incorporación del 3% en volumen de fibras de acero, en cuanto a las propiedades mecánicas se determinó que los porcentajes de 2% y 4% aumentaron la resistencia a la compresión y módulo de elasticidad, mientras que para la resistencia a la tracción fueron de 2% y 3%, para la resistencia a la flexión fue de 4% de fibras de acero para ambos diseños de concreto. Por último, se concluye que la mejor dosificación en el concreto de una resistencia de 210 kg/cm² es de 2%, mientras que para la resistencia de 280 kg/cm² fue de 4% en estas dosificaciones mejoraron las propiedades mecánicas del concreto.

Tesis: “Influencia de la adición de fibra de acero en las propiedades físicas y mecánicas del concreto”.

Autor: Meliza Puellas Gutierrez, Universidad Peruana de los Andes, Huancayo, 2021

En esta investigación de pregrado se tuvo el objetivo de verificar la influencia de la adición de fibra de acero en las propiedades físicas y mecánicas del concreto, investigación de enfoque cuantitativo, de nivel explicativo, tipo aplicado y de diseño experimental, la población se encuentra determinada por el concreto convencional y otro con fibra de acero 4D se elaboró 120 especímenes de concreto incorporando un porcentaje del 0.5%, 1.0% y 1.5% respecto al agregado fino, se realizaron ensayos de laboratorio en estado fresco para la evaluación de las propiedades físicas y en estado endurecido para las propiedades mecánicas. Al adicionar las fibras al 1% se obtuvo 232.57 kg/cm² en compresión y 55.18 kg/cm² en flexión con un costo de S/. 35.02 Se obtuvieron los resultados de la resistencia a compresión para el concreto con fibra de acero al 1 % fue 232.57 kg/cm² y a la flexión de 55.18 kg/cm² con un costo de fabricación de S/ 35.02 soles. Se concluye que, la adición de fibra de acero influye significativamente mejorando las propiedades físicas y mecánicas del concreto, mejorando la manejabilidad, rendimientos, incremento de resistencia tanto en flexión y compresión 1.5% de adición de fibra de acero respecto a un concreto de 210 kg/cm².

Tesis: “Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibra de acero en el análisis estructural de placas en el proyecto de ampliación del centro médico San Conrado en los Olivos, Lima. - Perú”.

Autores: Dennys Jenny Ñaupas Tenorio & Darwin Máximo Sosa Soto, Universidad San Martín de Porres, Lima, 2019

En esta investigación de pregrado se tuvo el objetivo de verificar la influencia en las propiedades mecánicas del concreto con incorporación fibra de acero en el análisis estructural de placas en el proyecto de ampliación del centro médico de San Conrado en los Olivos, investigación de enfoque cuantitativo, de tipo descriptivo y diseño experimental, la población y muestra se encuentra comprendido por la elaboración de briquetas y prismas con variación

en el contenido de fibras de acero por cada metro cubico de concreto, se tomaron en cuenta las cantidades de 60, 75, 90 y 105 kg/m³ haciendo un total de 45 probetas cilíndricas y 15 probetas prismáticas, se realizaron ensayos a los agregados, al concreto en estado fresco y endurecido, es decir, la resistencia a compresión, resistencia a la flexión y la elasticidad del concreto. Los resultados mostraron que para los ensayos a los 28 días de concreto se encuentra un incremento máximo con una incorporación de fibra de acero de 90 kg/m³ obteniendo una resistencia a compresión de 288.55 kg/cm², en cuanto a los ensayos de rotura o flexión se determinó una resistencia de 79.39 kg/cm², estos resultados se utilizaron en un análisis estructural aplicado al centro médico en estudio, evidenciando una reducción de desplazamientos en ambas direcciones de análisis, por último, se concluye que uso de aditivo plastificante ayuda a mejorar la trabajabilidad para altas cantidades de fibra de acero, evidenciando una mejora en la ductilidad de las estructuras mejorando la capacidad de los esfuerzos de compresión y flexión.

2.1.3. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Tesis: “Evaluación del aporte de fibras sintéticas en el módulo de rotura del concreto”.

Autor: Henry Alirio López Patiño, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja – Colombia, 2019.

En esta investigación se tuvo la finalidad verificar el aporte de las fibras sintéticas en el módulo de rotura del concreto, investigación de enfoque cuantitativo y diseño experimental, la población y la muestra se fabricaron cuatro especímenes prismáticos de concreto por cada muestra de concreto con adición y sin adición de fibras sintéticas, cuyas dimensiones mínimas son de 150mm x 150 mm x 550 mm de acuerdo a la normativa INV E-402-13, para el análisis se utilizaron cinco tipos de fibras sintéticas en cinco proporciones diferentes cada una, obteniéndose un total de 25 mezclas de concreto con adición de fibras, las dosificaciones se basaron en recomendaciones del fabricante, diferenciándose en microfibras y macrofibras, además de la diferencia de materiales, todas se incorporaron en función del peso a agregar en

un intervalo de 55.00 a 315.60 gramos, se concluye que, la inclusión de microfibras sintéticas en las mezclas de concreto NO aportan resistencia en el módulo de rotura del concreto (M.R.). La inclusión de algunas macrofibras sintéticas en las mezclas de concreto aportan resistencia en el M.R. del concreto de acuerdo a la dosificación utilizada, la cual podrá variar de acuerdo a las resistencias requeridas, uso del concreto y en especial a la calidad, cantidad, tamaño y forma de los agregados utilizados en la producción del concreto.

Tesis: “Análisis de vigas de hormigón sometidas a flexión que incorporan fibras metálicas obtenidas de neumáticos reciclados”.

Autores: Paola Elizabeth Mosquera Barrionuevo & Rosa Estefania Tenelema Barre, Quito - Ecuador, 2017

Tesis de pre grado cuyo objetivo fue la de estudiar y analizar el comportamiento del hormigón al incorporar porcentajes de fibra metálica de neumáticos reciclados, investigación de enfoque cuantitativo, de diseño experimental y de tipo aplicada, se realizaron ensayos que corresponden a la obtención de parámetros mecánicos, es decir, que se incorporaron 0.3%, 0.6% y 0.9% para el ensayo de compresión y flexión se incorporó unas cantidades de 0.3%, 0.6%, 0.9%, 1.2% y 1.5% estos porcentajes se incorporó en función del volumen de las muestras, los resultados mostraron que para un hormigón convencional la resistencia a la compresión es de 248,42 kg/cm² con un módulo de rotura de 41,69 kg/cm², al incorporar la fibra de neumáticos reciclados en el hormigón se tiene una máxima resistencia a la compresión de 251,01 kg/cm² con una concentración de fibra de 0.6%, el módulo de rotura presenta un valor de 44,55 kg/cm² con una concentración de fibra de 1.2%. Dando como resultado el 2% de incremento, porcentaje que no influye en la resistencia a la compresión con la incorporación de fibras de neumáticos reciclados. Por último, se concluye que, según se incrementa la incorporación de la fibra se observa una disminución uniforme existiendo una acumulado, sin embargo, con una incorporación de 0.9% el comportamiento del concreto es óptimo.

Artículo: “Momento curvatura de vigas de hormigón armado: un análisis analítico y experimental”.

Autores: J.M. Suthar, U.K. Koshti, S.P. Purohit, H.J. Jadeja, India 2022

El comportamiento de las secciones de vigas de hormigón armado depende de su capacidad para sufrir grandes deformaciones inelásticas. Los métodos de análisis no lineales, como el análisis Pushover, exigen entradas como relaciones de curvatura de momento de secciones críticas. Este artículo propone un estudio analítico y experimental de secciones de vigas rectangulares estáticamente determinadas de Concreto Armado. Las muestras de vigas se ensayaron bajo carga de flexión. También se determinó el comportamiento del hormigón y el acero. Se ha validado un estudio experimental con varios modelos de confinamiento disponibles en diversos trabajos de investigación.

2.2.MARCO TEÓRICO- CONCEPTUAL

2.2.1. CONCRETO

(Rivva, 2014) indica que “el concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado llamado agregado”.

(González, 2014) afirma que el concreto “es un material pétreo que se genera de forma artificial a través de la mezcla de cemento, agregados y agua, el cual al secarse o fraguarse se comporta como un solo elemento sólido, de características similar a los elementos pétreos”.

De lo mencionado líneas arriba afirmamos que el concreto es el conjunto mezclado de agregado pétreo que de acuerdo a la granulometría son finos y gruesos los cuales son incorporados con la pasta compuesto de agua y cemento, este elemento es moldeable y dependerá de la dosificación de cada uno de los componentes para obtener una determinada resistencia a la compresión.

2.2.1.1.COMONENTES DEL CONCRETO

2.2.1.1.1. CEMENTO

(Rivva, 2014) afirma que el cemento es el componente principal del concreto, según texto literal indica “es el componente más activo del concreto debido a que actúa como un ligante entre los agregados pétreos y la pasta, en síntesis, que las propiedades y características del concreto dependerán de las características de los materiales componentes”.

Para (Harmsen, 2017) afirma que “El cemento es producto de una pulverización obtenida a través de medios mecánicos de un componente preliminar denominado Clinker, este último es producido por la calcinación de materiales de origen calcáreos y arcillosos, al agregar al Clinker otros componentes es posible la fabricación de diferentes tipos de cementos, los cuales serán utilizados de acuerdo a características propias de su uso o de la ubicación del trabajo en concreto”.

(Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2014)mencionan que “en un promedio el 80% del total del peso del concreto a producir se encuentra compuesto de los agregados, debido a que gran volumen del concreto se encuentran los agregados, el comportamiento y la calidad de los materiales son decisivos en la mezcla del concreto, por ende, se asume que los agregados son importantes en la fase de endurecimiento y que de acuerdo a la cantidad determinara de manera directa la resistencia a diferentes esfuerzos del concreto que dependiendo de la aplicación de las cargas se obtendrán las resistencias a compresión y flexión”.

(Harmsen, 2017) considera que actualmente se utilizan los siguientes tipos de materiales con las siguientes características:

- Tipo I, de uso general y sin propiedades especiales
- Tipo II, de moderado calor de hidratación y alguna resistencia a 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 sulfatos

2.2.1.1.2. AGREGADOS

(Rivva, 2014) define así, “es aquel componente del concreto cuyo origen es de inorgánico, natural o artificial estas dimensiones se encuentran comprendidos entre aquellos límites fijados de acuerdo a la resistencia requerida, al ocupar la mayor parte del volumen del concreto es predominante la dosificación de estos para un adecuado comportamiento mecánico exclusivamente en función de la resistencia y durabilidad”.

(Ortega, 2015) hace mención que, “los agregados de origen pétreos pueden ser clasificados en dos grupos: gruesos o gravas y finos o arenas, se encuentra en un rango de volumen de concreto en un porcentaje de 70% a 75% del volumen de la masa endurecida, además, el factor económico y mecánico se encuentra en una relación directamente proporcional en base al grado de compactación de los agregados, siendo fundamental la granulometría”.

2.2.1.1.3. AGUA

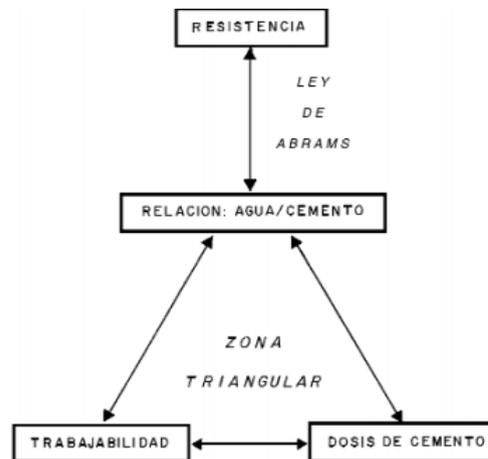
(Harmsen, 2017) afirma que, “otro componente importante es el agua incorporada en la mezcla, el agua deberá ser libre de cualquier agente externo que afecte a su composición química interna, no deberá presentarse agentes tales como aceites, ácidos, sales y materias orgánicas, en la mayoría de casos el agua potable es el adecuado para la fabricación de concreto, la función principal de este componente es la de hidratar el cemento y mejorar la trabajabilidad del concreto”.

(Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2014) menciona que, “es necesario contar con una adecuada dosificación de los componentes del concreto, principalmente en la cantidad de agua, este último tiene relación directa con la trabajabilidad y la resistencia,

es decir, que a mayor cantidad de agua se obtiene una mayor trabajabilidad, pero es posible reducir la resistencia del concreto”.

Figura 1.

Relación Triangular del Concreto



Fuente: (Porrero, Ramos, Grases, & Gilberto, 2014, pág. 39)

De la anterior ilustración y citando a los autores se afirma que el factor de resistencia en las propiedades mecánicas del concreto es proporcional de manera directa a la calidad y características de los agregados sean estos de tipo grueso o fino este factor depende de la granulometría de estos, además, la relación de agua – cemento es de suma importancia debido a que es directamente proporcional a la trabajabilidad e indirectamente proporcional a la resistencia mecánica del concreto.

2.2.1.2. PROPIEDADES MECANICAS DEL CONCRETO

2.2.1.2.1. RESISTENCIA A COMPRESION DEL CONCRETO

(Ortega, 2015) afirma que, “el concreto es utilizado en su totalidad para resistir esfuerzos bajo compresión, por ende, el conocer el comportamiento bajo una relación de esfuerzo – deformación es de suma importancia”.

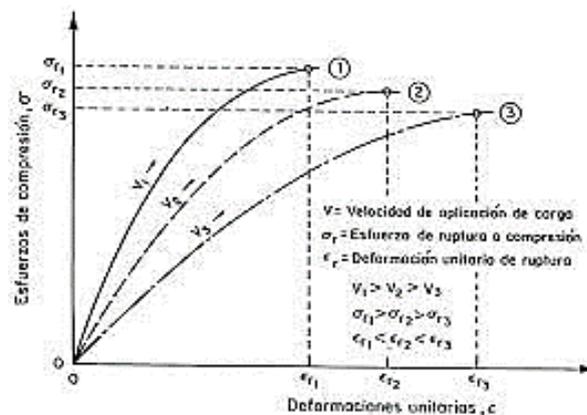
(Nilson, 2012) manifiesta que, “La estructura que es sometido a esfuerzos producto de cargas cíclicas o de cualquier otro tipo dependen directamente de la relación de esfuerzo y la deformación del concreto, debido a que el concreto tiene una

alta resistencia a compresión es de suma importancia conocer la curva que relaciona el esfuerzo y la deformación, el cual es obtenido a través de mediciones constantes de deformación unitaria aplicadas generalmente a briquetas de forma cilíndrica”.

Para (Harmsen, 2017) “la resistencia a compresión se muestra en la curva esfuerzo – deformación el cual tiene una variación de acuerdo a la velocidad de carga, si la velocidad de carga es alta, la resistencia máxima obtenida es mayor que si la carga se incrementa a una menor razón. Este efecto debe tenerse presente cuando se analice los resultados de laboratorio”.

Figura 2

Efecto de la Velocidad de Carga en la Resistencia a la Compresión del Concreto



Fuente: (Noel, 2015)

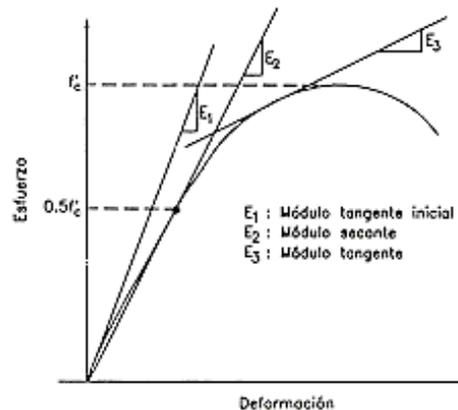
2.2.1.2.2. MODULO DE ELASTICIDAD

(Meza & Ortiz, 2014) afirman que, “El concreto es utilizado en su totalidad para resistir esfuerzos bajo compresión, por ende, el conocer el comportamiento bajo una relación de esfuerzo – deformación es de suma importancia, esta relación permite determinar el módulo de elasticidad del material”.

Para (Harmsen, 2017) “es un parámetro que permite la medición del esfuerzo en relación a la deformación solo en rango elástico”.

Figura 3.

Módulo de Elasticidad



Fuente: (Harmsen, 2017)

Según el autor mencionado se sugiere emplear la siguiente fórmula según lo estipulado en el reglamento del ACI 318-18 en su ecuación N° 19.2.2.1a:

$$E_c = 0.14 w^{1.5} \sqrt{f'_c} \tag{1}$$

Donde:

E: Modulo de elasticidad del concreto (Kgf/cm²)

W: Peso unitario del concreto en Kgf/m, solamente es válido si este parámetro se encuentra entre 1440 y 2480 Kgf/m

f'c: Resistencia a la compresión del concreto (Kgf/cm²)

Por otro lado, la normativa E.060 del reglamento nacional de edificaciones en el punto 8.5 la ecuación 8-2 nos indica, que el módulo de elasticidad para un concreto puede ser relacionado directamente con la resistencia a compresión a través de:

$$E_c = 15000 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \tag{2}$$

2.2.1.2.3. RESISTENCIA A TRACCION DEL CONCRETO

La normativa (MVCS E-060, 2016) indica que, la resistencia del concreto a tracción por flexión, es decir, que el módulo de rotura es posible definirlo a través de una formula correlacional, a falta de información experimental se podría considerar, para concretos de peso normal, como:

$$f_r = 2 \sqrt{f'_c} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \quad (3)$$

(Moreno & Solis, 2016) manifiestan que:

Es complicado la obtención de la resistencia a tensión del concreto en forma directa, por lo que se determina por métodos indirectos, como son las pruebas de tensión por compresión y de tensión por flexión. Los resultados de la primera se utilizan para determinar el agrietamiento por cortante, mientras que los de la segunda, para el agrietamiento por flexión.

2.2.1.3. MODELOS ESFUERZO-DEFORMACION DEL CONCRETO

Los modelos esfuerzo – deformación del concreto son divididos en función del confinamiento existente en el concreto, para concretos no confinados y concretos confinados.

2.2.1.3.1. MODELO DE HOGNESTAD

Villagrán y Vera (2013) indican que:

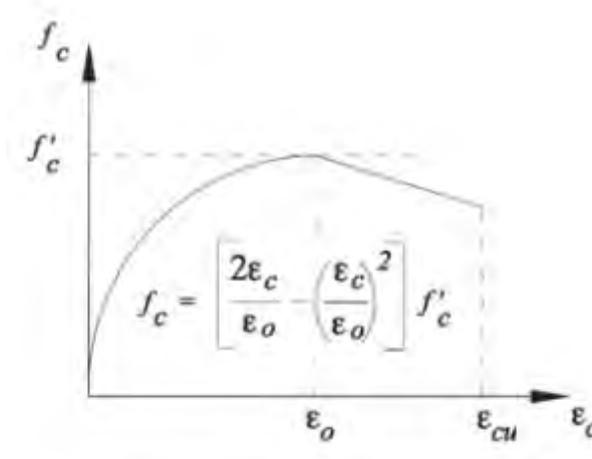
Con base en investigaciones de carácter experimental, Hognestad et al propusieron un modelo de esfuerzo – deformación del concreto en compresión que se encuentra compuesto por una parte de forma curvilínea descrita por una parábola que comienza de cero y termina cuando el concreto a compresión alcanza la resistencia máxima f'_c en este punto la parábola es tangente a la horizontal. A partir de este punto se produce una disminución de manera lineal que ocurre hasta la falla. La expresión que representa este modelo es:

$$f_c = \begin{cases} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_o} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_o} \right)^2 \right] f'_c & \varepsilon_c \leq \varepsilon_o \\ [1 - 100 (\varepsilon_c - \varepsilon_o)] f'_c & \varepsilon_o < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases} \quad (4)$$

Donde f_c y ε_c es el esfuerzo y la deformación unitaria en el concreto, respectivamente, mientras que ε_o es la deformación unitaria correspondiente a f'_c y ε_{cu} es la deformación unitaria máxima útil del concreto en compresión.

Figura 4

Modelo de Esfuerzo-Deformación del Concreto de Hognestad



Fuente: (Villagran & Vera, 2013)

2.2.1.3.2. MODELO DE KENT Y PARK

Park y Priestley (1982) indican que:

Con el uso de estribos y secciones rectangulares, el propuesto es uno de los más conservadores puesto que la resistencia del concreto no se modifica a pesar de la presencia de confinamiento, consideran una parte parabólica hasta una resistencia f'_c luego se presenta una degradación con pendiente lineal y por último un tramo totalmente lineal.

$$\varepsilon_o = 0.002 \quad \varepsilon_{50u} = \frac{0.21 + 0.002 f'_c}{f'_c - 70} \quad \varepsilon_{uu} = 1.60\varepsilon_{50u} - 0.60\varepsilon_o \quad (5)$$

$$\varepsilon_{50h} = 0.75 \rho_s \sqrt{\frac{b_c}{S_h}} \quad \varepsilon_{50c} = \varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} \quad \varepsilon_{20c} = 1.60\varepsilon_{50c} - 0.60\varepsilon_0 \quad (6)$$

$$\rho_s = \frac{\text{Vol Acero Confinamiento}}{\text{Vol Nucleo Confinado}} = \frac{2 A_c(b_c + h_c)}{b_c h_c S_h} \quad (7)$$

$$f_c = f'_c \left\{ 2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right\} \quad 0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \quad (8)$$

$$f_c = f'_c \left\{ 1 - \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_0}{2(\varepsilon_{50u} - \varepsilon_0)} \right\} \quad \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{uu} \quad (9)$$

$$f_c = f'_c \left\{ 1 - \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_0}{2(\varepsilon_{50c} - \varepsilon_0)} \right\} \quad \varepsilon_0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{20c} \quad (10)$$

La ecuación 9 se define para la rama descendente de concreto no confinado, mientras que la ecuación 10 definirá la rama descendente del concreto confinado, las otras variables se definen como:

ρ_s = Cuantía volumétrica

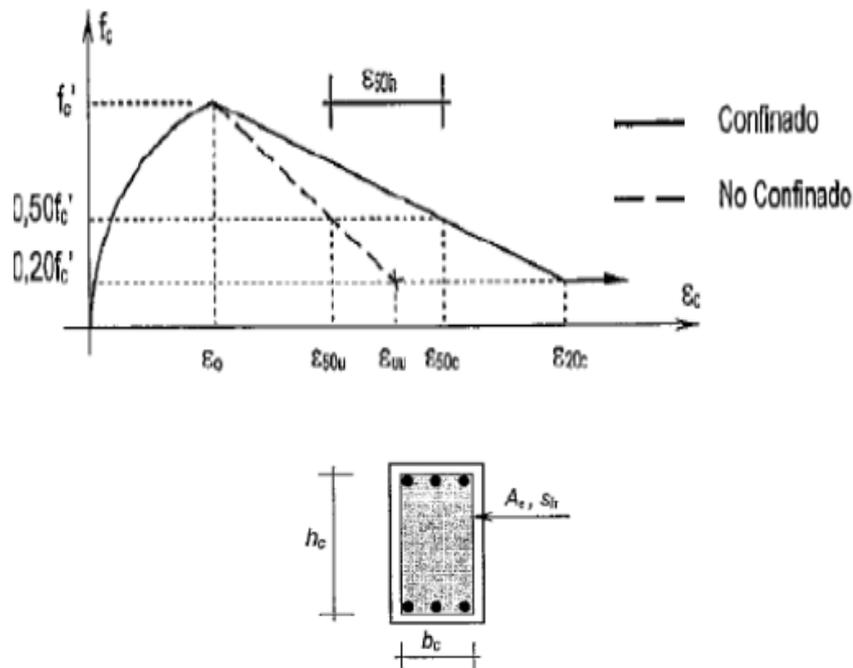
h_c = Dimensión longitudinal del área confinada del elemento, medida entre los bordes extremos del refuerzo transversal en cm

b_c = Dimensión transversal del área confinada del elemento, medida entre los bordes extremos del refuerzo transversal en cm

f'_c = Resistencia especificada de la compresión del concreto en kgf/cm²

Figura 5

Modelo del Concreto de Kent y Park



Fuente: (Park, Priestley, & Gill, 1982)

2.2.1.4. ENSAYOS DEL CONCRETO

2.2.1.4.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

Según la norma técnica peruana NTP 339.034 (2015) se indica que:

Con base en investigaciones de carácter experimental, Hognestad et al propusieron un modelo de esfuerzo – deformación del concreto en compresión que se encuentra compuesto por una parte de forma curvilínea descrita por una parábola que comienza de cero y termina cuando el concreto a compresión alcanza la resistencia máxima f_c' en este punto la parábola es tangente a la horizontal. A partir de este punto se produce una disminución de manera lineal que ocurre hasta la falla.

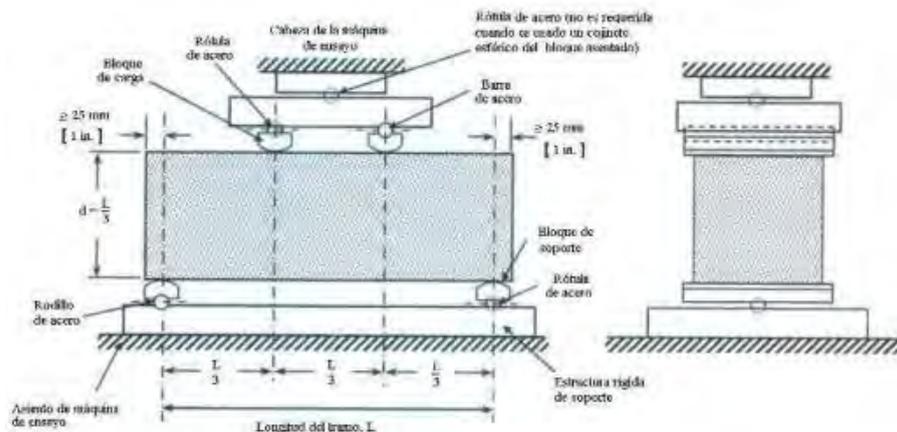
2.2.1.4.2. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXION

Según la norma técnica (INDECOPI NTP 339.078, 2012) indica que:

Este método de ensayo consiste en aplicar una carga en los tercios de la luz de la viga de ensayo hasta que ocurra la falla, el módulo de rotura se calculara, según la ubicación de la falla: dentro del tercio medio a una distancia de este no mayor del 5% de la luz libre.

Figura 6

Diagrama de Dispositivo de Ensayo a Flexión en Vigas



Fuente: (INDECOPI NTP 339.078, 2012)

2.2.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

2.2.2.1.METODO A.C.I 211.1

Para Huerta (Huerta, 2004)

Este método es utilizado para poder lograr alcanzar una determinada resistencia a la compresión del concreto requerido calculando la dosificación necesaria de cada uno de los componentes del concreto, el principio se basa en la determinación de los pesos y volúmenes correspondientes a los agregados, agua y aire incorporado de ser necesario, en concreto se siguen nueve (09) procedimientos o pasos para determinar la cantidad necesaria.

- Elección del revenimiento o asentamiento
- Elección del tamaño máximo de agregado
- Cálculo del agua de mezclado y el contenido de aire

- Selección de la relación agua- cemento
- Cálculo del contenido de cemento
- Estimación del contenido de agregado grueso
- Estimación del contenido de agregado fino
- Ajuste por humedad del agregado
- Ajustes en las mezclas de prueba

A) Paso 1: Elección del revenimiento

Huerta (2004) indica que “los rangos del revenimiento que se muestran son aplicables cuando se emplea el vibrado el concreto. Se muestra a continuación en la tabla 1 los valores a utilizar”.

Tabla 1

Asentamiento Recomendados para Construcciones

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	MÁXIMO	MÍNIMO
Zapatas y Muros de cimentación reforzados	3”	1”
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	3”	1”
Vigas y Muros reforzados	4”	1”
Columnas de edificios	4”	2”
Pavimentos y losas	3”	1”
Concreto Ciclópeo	2”	1”

Fuente: (Huerta, 2004)

B) Paso 2: Selección del tamaño máximo nominal (TMN)

(Huerta, 2004) indica que “se trata de elegir una adecuada granulometría, tener una masa más compacta y con menos vacíos. La tabla 2, muestra los valores recomendados del TMN para los diferentes tipos de construcciones”. Además, se tendrá en consideración que el taman a máximo del agregado debe ser el mayor disponible económicamente y compatible con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo nominal debe exceder 1/5 de la menor dimensión entre los lados de las

cimbras, 1/3 del espesor de las losas, ni 3/4 del espaciamiento en las varillas individuales o con paquetes de barras

Tabla 2

Valores Recomendados de TMN según el tipo de Construcción

Dimensión mínima del elemento (cm)	Tamaño máximo nominal en MM (Pulgadas)			
	Muros reforzados, vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6-15	12(1/2") – 19(3/4")	19(3/4")	19(3/4")-25(1")	19(3/4")-38(1 1/2")
19-29	19(3/4")- 38(1 1/2")	38(1 1/2")	38(1 1/2")-76(3")	
30-74	38(1 1/2")-76(3")	76(3")	38(1 1/2")-76(3")	76(3")
75 o mas	38(1 1/2")-76(3")	152(6")	38(1 1/2")-76(3")	76(3")-152(6")

Fuente: (Niño, 2010)

C) Paso 3: Estimación del Contenido de Aire

La trabajabilidad y la cohesión de la mezcla de concreto en estado fresco tiene relación directa con el aire dentro de la composición de la mezcla, en la siguiente tabla se estiman el contenido de aire de la mezcla cuyos valores son recomendados de acuerdo a la normativa.

Tabla 3

Requerimientos Aproximados de Agua de Mezclado y Contenido de Aire

Asentamiento	Agua, en 1/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
Concretos con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: (Rivva, 2014)

D) Paso 4: Selección de la relación agua cemento (a/c)

La relación agua - cemento de la mezcla de concreto se encuentra determinada por la resistencia requerida y por la durabilidad dentro de la mezcla a la edad de los 28 días, cuando no se cuenta con datos necesarios, se utilizarán los siguientes valores propuestos.

Tabla 4

Relación agua-cemento vs f'c.

F'c a 28 días (Kgf/cm ²)	Relación Agua/ Cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.60
150	0.79	0.70

Fuente: (Rivva, 2014)

E) Paso 5: Cálculo del contenido de cemento

Para la determinación del contenido de cemento requerido por cada unidad de volumen de concreto se obtiene dividiendo el agua de mezclado obtenido en la estimación de aire y la relación de agua – cemento determinado en el paso anterior.

$$C = \frac{A}{a/c} \tag{11}$$

Dónde:

C = Contenido de Cemento, Kgf/m³

A = Agua de Mezcla, Kgf/m³

a/c = Relación agua cemento para f'c

F) Paso 6: Estimación del contenido de agregado grueso

En la siguiente tabla se muestra los volúmenes de agregado grueso por cada unidad de volumen de concreto y depende directamente del tamaño máximo, en cuanto al agregado fino dependerá del valor del agregado fino.

Tabla 5

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tamaño máximo nominal	Volumen de agregado grueso seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos Módulos de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72

Tamaño máximo nominal	Volumen de agregado grueso seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos Módulos de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: (Abanto Castillo)

G) Paso 7: Estimación del contenido de agregado fino

La metodología A.C.I. 211 proporciona dos maneras de determinar el contenido de agregado fino.

METODO 01: Método del peso

La aplicación de este método se da cuando el diseñador de mezcla desea un cálculo teórico de manera precisa y exacta del peso del concreto fresco por cada metro cubico de concreto, se emplea la siguiente formula:

$$U = 10 G_a(100 - A) + CM \left(1 - \frac{G_a}{G_a} \right) - W_M(G_a - 1) \tag{12}$$

Donde:

U: Peso del concreto fresco, por m³.

Ga: Promedio pesado del peso específico de la combinación de agregado fino y grueso, a granel en condición.

Gc: Peso específico del cemento, Kgf/m³

A: Porcentaje de contenido de aire, %

WM: Requerimiento de agua de mezclado, Kgf/m³

CM: Requerimiento de cemento, Kgf/m³

De otra parte, el cálculo del agregado grueso se determina aplicando la siguiente formula:

$$P.A.F = P.C^{\circ} - [P.A.M + P.C + P.A.G] \quad (13)$$

Donde:

P.A.F = Cantidad de Agregado Fino, Kgf

P.C^o = Peso del Concreto, Kgf

P.A.M = Peso del Agua de Mezclado, Kgf

P.C. = Peso del Cemento, Kgf

P.A.G = Peso Agregado Grueso, Kgf

Para realizar una primera estimación del peso unitario de concreto se realiza en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso, se utilizarán los valores de la siguiente tabla:

Tabla 6

Primera estimación del concreto fresco

Tamaño máximo nominal del agregado	Primer estimado del peso unitario de concreto, Kgf/m ³	
	Concreto sin inclusión de aire	Concreto con aire incluido
9.5 mm 3/8"	2280	2200
12.5 mm 1/2"	2310	2230
19 mm 3/4"	2345	2275

25 mm	1”	2380	2290
37.5 mm	1 ½”	2410	2350
50 mm	2”	2445	2345
75 mm	3”	2490	2405
150 mm	6”	2530	2435

Fuente: (Abanto Castillo)

METODO 02: Método del volumen absoluto

Procedimiento que brinda resultados más exactos para calcular la cantidad requerida de agregados finos, se considera el cálculo de los volúmenes de los componentes que serán desplazados este cálculo se realizara considerando las gravedades específicas de los agregados, para esta metodología, se considera que el volumen que será desplazado por los componentes conocidos tales como el agregado grueso, cemento y aire en la mezcla resta al volumen unitario del concreto, la diferencia será el volumen de agregado fino.

H) Paso 8: Ajuste por contenido de humedad de los agregados

Para el método A.C.I. se debe determinar un volumen necesario para el agregado grueso y fino, los cuales tienen un porcentaje de absorción y de contenido de humedad, estos parámetros afectaran a la composición global del contenido de agua en la mezcla.

AJUSTE DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO

$$P.A.G.H = P.A.G.S \times (1 - Wg \%) \quad (14)$$

Donde:

P.A.G.H: Peso del Agregado Grueso Húmedo, Kg.

P.A.G.S : Peso del Agregado Grueso Seco, Kg.

Wg % : Porcentaje de Humedad del agregado Grueso, Kg.

AJUSTE DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO

$$P.A.F.H = P.A.F.S \times (1 - Wf \%) \quad (15)$$

Donde:

P.A.F: Peso del Agregado Fino, Kg.

P.A.G.S: Peso del Agregado Fino Seco, Kg.

Wg %: Porcentaje de Humedad del agregado Fino, Kg.

ADICION DE AGUA EN LA MEZCLA

$$A.A = A.N - PAFSx(Wf\% - AF\%) - PAGSx(WG\% - AF\%) \quad (16)$$

De donde:

A.A: Agua a Añadir, Kg

A.N: Agua Neta o efectiva, Kg

P.A.G.S: Peso del Agregado Grueso Seco, Kg

P.A.F.S: Peso del Agregado Fino Seco, Kg

I) *Caracterización de los agregados*

i. Granulometría

(Niño, 2010) hace mención que:

La granulometría comprende la composición de diversos tamaños del agregado, generalmente se determina en proporción del tamaño de mayor a menor tamaño, se representa en función del peso y porcentaje parcial de la muestra global, que se encuentra retenido o que pasa en el juego de tamices normadas para el uso obligatorio del ensayo.

El tamaño de un agregado es determinado a través del empleo de tamices, siendo el máximo tamaño el que corresponde a la abertura del menor tamiz de todo el juego de tamices que permite el paso del 100% del total del material, en cuanto al tamaño máximo nominal es la abertura de tamiz inmediatamente superior a aquel tamiz en el cual se tiene un porcentaje retenido acumulado superior o igual al 15%.

En diversos ensayos de laboratorio se comprueba que el tamaño máximo nominal es el tamaño considerado como promedio de todas las partículas de mayor tamaño dentro de la masa total del agregado.

La determinación de la granulometría de un agregado grueso garantiza la máxima densidad, mas no permite una buena manejabilidad en estado fresco, de otra parte, la granulometría del agregado fino tiene relación directa con la trabajabilidad en la mezcla, debido a que tiene un mayor valor de superficie específica.

- **Granulometría del Agregado Grueso**

(Rivva, 2014) considera que:

El agregado grueso es considerado cuando es retenido por la malla N°04 cuyo origen se encuentra determinado por la desintegración de origen natural de una roca, el agregado grueso debe contar con una gradación que se encuentre dentro de los rangos o límites establecidos en la norma técnica peruana NTP 400.037 o en la norma internacional (ASTM, 2003), los cuales se encuentran indicados en la siguiente tabla:

Tabla 7

Limites de Granulometría para los Agregados Gruesos

Tamaño nominal	% Que pasa de tamices normalizados												
	100 mm (4")	90 mm (3 ½")	75 mm (3")	63 mm (2 ½")	50 mm (2")	37.5 mm (1 ½")	25 mm (1")	19 mm (¾")	12.5 mm (½")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm N°4	2.36 mm N°8	1.18 mm N°16
90 mm a 37.5 mm (3 ½" a 1 ½")	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
63 mm a 37.5 mm (2 ½" a 1 ½")	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
50 mm a 25 mm (2" a 1")	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
50 mm a 4.75 mm (2" a N°4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
37.5 mm a 19 mm (1 ½" a 1/4")	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
37.5 mm a 1 ½" mm (1 ½" a N°4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
25 mm a 12.5 mm (1" a 1/2")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
25 mm a 4.75 mm (1" a N°4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
19 mm a 4.75 mm (¾" a N°4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
12.5 mm a 4.75 mm (½" a N°4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
9.5 mm a 2.36 mm (3/8" a N°8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: (Rivva, 2014)

- **Tamaño máximo del agregado grueso**

Para la Comisión de Reglamentos Técnicos y comerciales - INDECOPI (2002) de acuerdo con la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, “el tamaño máximo del agregado es el que corresponde al menor tamiz por el que pasa la muestra de agregado grueso”.

- **Granulometría del Agregado Fino**

De otra parte, el agregado fino es considerado al igual que el agregado grueso aquel proveniente de la desintegración de origen natural o artificial de las rocas, sin embargo, la diferencia se encuentra determinado por que pasa el tamiz de NTP 9.5 mm (3/8) y es retenido en la malla N° 200 además que cumple con los límites establecido en la NTP 400.037

La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas N° 4, N°8, N°16, N°30, N°50, y N°100 de la serie de Tyler.

Tabla 8

Límites de Granulometría para el Agregado Fino

MALLA	% QUE PASA
3/8”	100
N° 4	95 – 100
N° 8	80 – 100
N° 16	50 – 85
N°30	25 – 60
N°50	10 – 30
N°100	2 -10

Fuente: ASTM C33

ii. Peso Unitario

De acuerdo a (INDECOPI, 2011)

En la norma ASTM C-29 (NTP 400-017) define el método estándar para evaluarlo, en la condición de acomodo de las partículas luego de compactarlas en un molde metálico apisonándolas con 25 golpes con una varilla de 5/8” en 3 capas. El valor obtenido es el que se emplea en algunos métodos de diseño de mezcla para estimar las proporciones y también para hacer conversiones de dosificaciones en peso a dosificaciones en volumen.

iii. Peso Específico

Para (INDECOPI, 2011) “es una constante en el sentido de que es un valor que no cambia para cada sustancia ya que a medida que aumenta su peso también aumentara su volumen ocupado, al igual que sucede con la densidad”.

iv. Porcentaje de Vacíos

Es la medida del volumen dada en porcentaje de espacios entre las partículas de agregados.

La norma ASTM C-29, establece la siguiente fórmula para calcular el porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ Vacios} = 100 \times \left[\frac{(S \times W) - M}{S \times W} \right] \quad (17)$$

Donde:

S: Peso Específico de masa, Kgf/m³

W: Densidad, Kgf/m³

M: Peso Unitario compactado seco, Kgf

v. Absorción

Para la Comision de Reglamentos Tecnicos y comerciales - (Comision de Reglamentos Tecnicos y comerciales - INDECOPI, 2002):

Es la cantidad de agua absorbida por el agregado después de ser sumergido 24 horas en ésta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera "seco" cuando éste ha sido mantenido a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

Las normas NTP 400.021 (ASTM C-127) y NTP 400.022 (ASTM C-128), establecen la metodología para su determinación en agregados gruesos expresada en la siguiente formula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{\text{Peso Muestra Saturada Seca} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \quad (18)$$

vi. Contenido de Humedad

(INDECOPI, 2013) sostiene que:

Es la cantidad de agua superficial retenida en un momento determinado por las partículas de agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezcla, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en el proporcionamiento de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. Según la norma NTP 339-185 (ASTM C-566), la humedad se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{\text{Peso Original de la muestra} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}} \times 100 \quad (19)$$

2.2.3. ACERO DE REFUERZO

(McCormac & Brown, 2017) El refuerzo usado en estructuras de concreto puede presentarse en forma de varillas o de malla soldada de alambre los cuales pueden ser lisas o corrugadas, estas últimas son los más recomendables debido a que incrementa la adherencia con el concreto mejorando el comportamiento en conjunto de una sección de concreto armado

(Harmsen, 2017) Para los elementos de concreto armado, los esfuerzos de compresión son resistidos principalmente por el concreto, mientras que, para los esfuerzos de tracción son

resistidos en su mayoría por el acero de refuerzo, el comportamiento conjunto del concreto y el acero se mantiene la buena adherencia entre los dos materiales después que el concreto pasa su estado de endurecimiento.

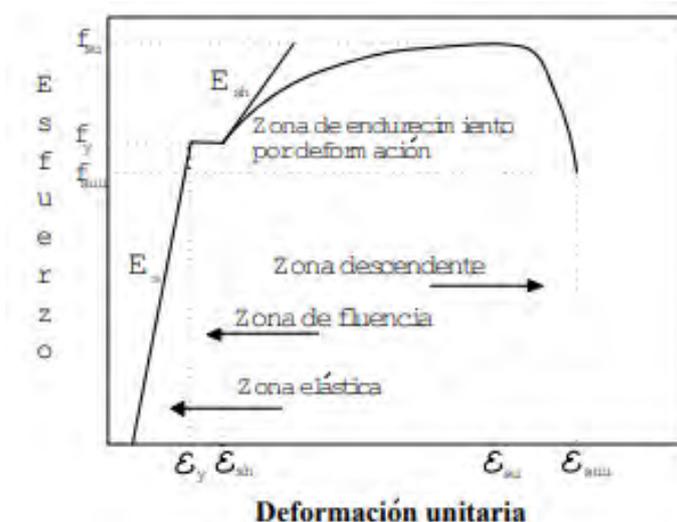
(Carrillo & Aperador, 2013) La resistencia a tensión y la capacidad de deformación post agrietamiento que exhiben las secciones de concreto armado al someterse a esfuerzos externos a su punto de equilibrio depende íntegramente del comportamiento del acero de refuerzo.

2.2.3.1. MODELO DE ESFUERZO DEFORMACION DEL ACERO

(Gonzales & Botero, 2005) Para determinar el diagrama esfuerzo – deformación del acero de refuerzo se realiza el ensayo de tracción sobre una varilla de acero el cual es sometido a la aplicación de una carga axial estática que incrementa monótonicamente hasta lograr la rotura de la varilla, en la siguiente figura se muestra una curva típica de esfuerzo-deformación que se obtiene al someter una probeta de acero a un ensayo de tracción.

Figura 7

Curva Típica Esfuerzo-Deformación de Aceros de Refuerzo



Fuente: (Gonzales & Botero, 2005)

Donde f_y , f_{su} y f_{suu} son los esfuerzos de fluencia, máximo y el asociado a la fractura, respectivamente para ε_y , ε_{sh} , ε_{su} y ε_{suu} son las deformaciones de fluencia, la del inicio de endurecimiento por reformación, la última y la asociada a la fractura de la probeta, respectivamente. El módulo de elasticidad E_s y E_{sh} es el módulo inicial de endurecimiento por deformación, con estos puntos es posible la definición de cuatro zonas en el comportamiento del acero

2.2.3.1.1. ZONA ELASTICA

(Gonzales & Botero, 2005) Es representada linealmente que inicia en el origen y finaliza en el punto de fluencia. El material se distingue por contar con un comportamiento puramente elástico, el esfuerzo en cualquier punto de la zona f_s , se obtiene del producto del módulo elástico y su respectiva deformación.

$$f_s = E_s * \varepsilon_s \quad (20)$$

Cuando ε_s alcanza el máximo valor en la zona, ε_y , el acero fluye y el esfuerzo asociado a dicha deformación, f_y , queda definido por:

$$f_y = E_s * \varepsilon_y \quad (21)$$

2.2.3.1.2. ZONA DE FLUENCIA

(Gonzales & Botero, 2005) Esta zona se encuentra comprendido en el intervalo entre la deformación de fluencia, ε_y , y la deformación al inicio de la zona de endurecimiento por deformación, ε_{sh} . El acero tiene un comportamiento plástico. Esta zona no es totalmente plana, pero debido a sus pequeñas variaciones puede considerarse perfectamente horizontal. El esfuerzo en esta zona se puede calcular como.

$$f_s = f_y \quad (22)$$

2.2.3.1.3. ZONA DE ENDURECIMIENTO POR DEFORMACION

(Gonzales & Botero, 2005) Se refiere al tramo comprendido entre la deformación final de la plataforma de fluencia, ε_{sh} y la deformación correspondiente

al esfuerzo máximo, ε_{su} . En esta zona las deformaciones se incrementan de manera rápida que los esfuerzos, por esta razón, la gráfica esfuerzo – deformación toma una forma curva. Los esfuerzos de esta zona se definen mediante la siguiente relación:

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_s}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)^P \quad (23)$$

Donde P se puede calcular seleccionando un punto intermedio dentro de la zona de endurecimiento por deformación $(\varepsilon_{sh1}, f_{sh1})$.

$$P = \frac{\log \left(\frac{f_{su} - f_{sh1}}{f_{su} - f_y} \right)}{\log \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh1}}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)} \quad (24)$$

2.2.4. FIBRAS DE ACERO

(Harmsen, 2017) El concreto reforzado con fibras, se denomina Fiber Reinforced Concrete (FRC), no es más que un concreto hecho a partir de cementos hidráulicos y que contiene fibras cortas, discontinuas, dispersas y orientadas aleatoriamente, la incorporación de las fibras en el concreto no sustituye al refuerzo convencional debido a que no es posible lograr la misma relación de área de refuerzo/área de concreto porque las fibras se distribuyen de manera aleatoria por toda la sección.

Existe una amplia gama de materiales como el acero, el vidrio, los materiales sintéticos o los materiales naturales, como la celulosa de madera. Las longitudes de las fibras varían entre 60 a 150 mm con espesores en un rango de 0.005 a 0.75 mm, usualmente se especifican por:

- Tipo de fibra, de acuerdo con su material.
- Longitud de fibra
- Relación de aspecto entre la longitud y el diámetro equivalente
- Dosificación de la fibra en el concreto

(Alvarado & Mendoza, 2021) La incorporación de fibras de acero en el concreto tiene su origen en la premisa de fortalecer el núcleo o matriz de concreto ante esfuerzos de tensión,

la distribución de fibras en el concreto mejora el comportamiento frágil del elemento, mejorando la tenacidad debido a que las fibras pueden absorber la energía antes de llegar al colapso o la falla del elemento, las fibras de acero ayudan al convertir el comportamiento frágil del concreto a lograr una condición de mayor ductilidad, debido a que las fibras quedan distribuidas y orientadas de manera aleatoria en todas las direcciones en la masa del concreto.

(Sika Peru, 2021) Las fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto usado en losas de concreto tradicional e industriales y elementos de concreto prefabricado, especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto durante el mezclado, evitando la aglomeración de las fibras individuales, permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.

Las características del producto se indica a continuación

- Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.
- Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).
- No afecta los tiempos de fraguado.
- Su condición de encolada (pegada) asegura una distribución uniforme en el concreto y shotcrete vía húmeda.
- Relación longitud / diámetro igual a 80 para un máximo rendimiento.
- Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.

En cuanto a la dosificación en el concreto se tendrá en consideración las siguientes disposiciones:

(Sika Peru, 2021) Las fibras de acero se pueden agregar en la tolva de pesado de la dosificadora de concreto, en la correa de alimentación, en camión mixer y mezcladora de concreto como a continuación se indica en cada caso:

- En la tolva de pesado de la dosificadora, abra las bolsas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las bolsas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas

de descarga. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso.

- En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras mientras el mixer de concreto está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución; mezclar 30 segundos adicionales si la distribución no es uniforme.
- En la mezcladora de concreto, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras y mezclar por 30 segundos por cada pie cúbico a menos que se observe una distribución homogénea en menor tiempo.

(MACCAFERRI, 2009) La fibra de acero WINRAND FF1 está compuesto de alambre de acero trefilado cuyo uso es para el reforzamiento de hormigón, la forma de este tipo de fibra tiene ganchos en las extremidades garantizando de esta manera la adherencia al hormigón, cumple con el estándar de la normativa ASTM A820-01 “Standard specification for Steel fiber-reinforced concrete”, las características geométricas y mecánicas de la fibra de acero se detalla a continuación:

Tabla 9

Propiedades Geométricas y Mecánicas de Fibra de Acero

Características Geométricas	
Diámetro (D)	1.00 mm
Largo (L)	55 mm
Relación de esbeltez L/D	55
Características mecánicas	
Tensión de ruptura por tracción del alambre (Rm)	> 1200 MPa (Según ACI 544.3R-08)
Elongación a la ruptura (Al)	< 4%
Módulo de elasticidad	210 000 N/mm ²

Fuente: (MACCAFERRI, 2009)

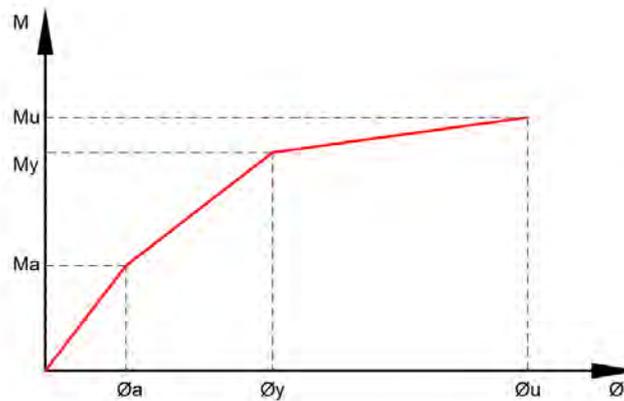
2.2.5. MOMENTO CURVATURA

(McCormac & Brown, 2017) Las relaciones momento-curvatura son utilizadas para describir el comportamiento de secciones sometidas a flexión y flexo – compresión. Consiste en la construcción de una gráfica que expresa el grado de variación de la curvatura respecto al momento resistente, con o sin presencia de carga axial.

(Inesa TECH, 2022) La distribución real de esfuerzos a compresión en el concreto es compleja y no es conocida en su totalidad de manera explícita, diversas investigaciones desarrollados lograron demostrar que las propiedades pueden ser estimadas utilizando diversas suposiciones y las más comunes son la representación de esfuerzos de forma trapezoidal o rectangular, el comportamiento de un elemento sometido a flexión alcanza valores característicos los cuales son el momento de agrietamiento, momento cedente y momento ultimo.

Figura 8

Diagrama Momento - Curvatura



2.2.5.1. CURVATURA

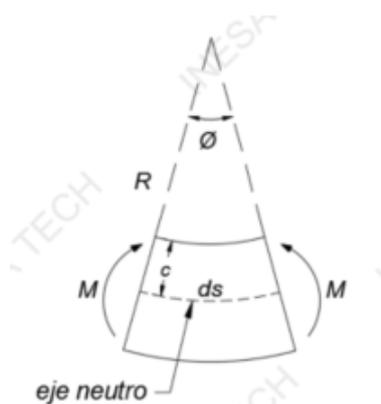
(Mora & Aguilar, 2015) La curvatura de un miembro sometido a flexión se refiere a la rotación por longitud unitaria de una sección en un momento de análisis determinado, en una sección de tipo viga, la curvatura es el cociente entre la deformación unitaria que sufre una fibra paralela al eje longitudinal de la viga y su

distancia al eje neutro. En todo miembro estructural sometido a flexión, existirán fibras que se comportan de manera comprimida y traccionadas que se encuentren separadas por el eje neutro.

El comportamiento de la zona comprimida proporcionara un esfuerzo distribuido sobre la porción de concreto que se extienda desde el eje neutro hasta la fibra de concreto más comprimida, el comportamiento y la distribución de esfuerzos en el concreto y en el acero de refuerzo, varía dependiendo del valor de momento flector actuando en la sección.

Figura 9

Curvatura de una Sección de Concreto Bajo Solicitaciones de Flexión



Fuente: (Inesa TECH, 2022)

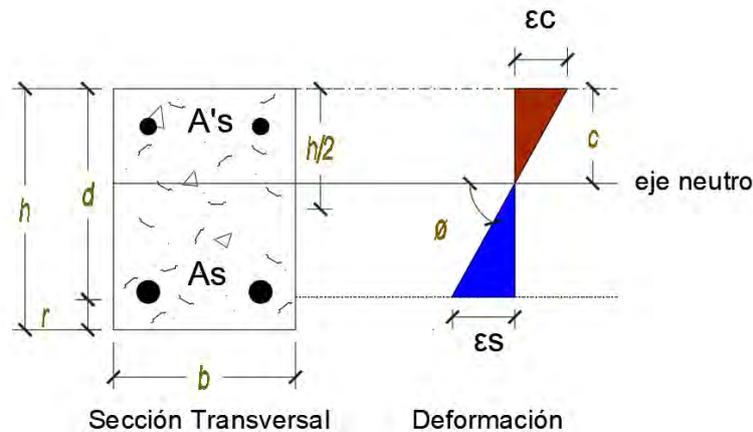
(Inesa TECH, 2022) La curvatura de la sección será entonces:

$$\varphi = \frac{1}{R} = \frac{\varepsilon}{c} \tag{25}$$

Con el valor de ε se denota la deformación unitaria de la sección con respecto al eje neutro, el valor de c corresponde a la distancia de la fibra de concreto más comprimida hasta dicho eje y se conoce como la profundidad del eje neutro. El valor de curvatura aumentará con el incremento del valor de deformación unitaria en el concreto ε_c y disminuirá con el incremento de la profundidad del eje neutro c .

Figura 10

Distribución de Deformaciones Unitarias en una Sección de Viga de Concreto



(Ottazzi, 2011). Este diagrama representa la capacidad a flexión y su deformación por curvatura (rotación por unidad de longitud) en el rango lineal y no lineal de una sección de concreto armado. El diagrama Momento-Curvatura ($M-\theta$) brinda una idea clara de la máxima capacidad de deformación inelástica, las características de disipación de energía, el comportamiento no lineal de la sección. Cuanta más ductilidad tenga una sección mayor será la capacidad de disipación energía del elemento y de la estructura.

El diagrama Momento-Curvatura ($M-\theta$) se construye a partir de los modelos constitutivos del concreto y acero; y estudiando la sección en 3 estados:

- Estado de agrietamiento (θ_A, M_A)
- Estado de fluencia (θ_y, M_y)
- Estado de agotamiento o ultimo (θ_u, M_u)

El momento y la curvatura en una sección de concreto armado tienen una relación lineal siempre y cuando los momentos sean menores al momento de agrietamiento (M_A). Luego del agrietamiento la relación continua casi lineal, pero con pendiente diferente hasta que la fluencia del acero (M_y) o el agotamiento del concreto

(M_u) se alcance. Si primero se produce la fluencia del acero, la sección puede seguir deformándose hasta que el concreto alcanza su máximo esfuerzo (M_u) y finalmente su máxima (Ottazzi, 2011).

2.2.5.2.CURVA BILINEAL IDEALIZADA

Según (CALTRANS, 2013) La capacidad de momento plástico de todos los elementos de hormigón dúctil se calculará mediante un análisis $M-\phi$ basado sobre las propiedades esperadas del material. El análisis de curvatura de momento deriva las curvaturas asociadas con un rango de Momentos para una sección transversal basados en los principios de compatibilidad de deformaciones y equilibrio de fuerzas. El $M-\phi$ La curva se puede idealizar con una respuesta elástica perfectamente plástica para estimar la capacidad de momento plástico de una sección transversal del miembro. La porción elástica de la curva idealizada debe pasar por el punto que marca la fluencia de la primera barra de refuerzo. La capacidad de momento plástico idealizada se obtiene equilibrando las áreas entre Las curvas $M-\phi$ real e idealizada más allá del primer punto de fluencia de la barra de refuerzo.

Figura 11:

Curva idealizada por CALTRANS

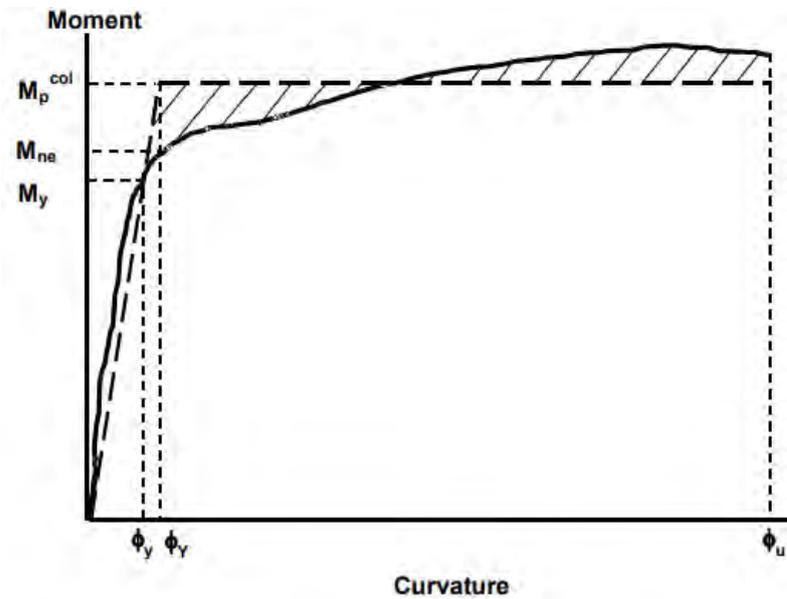


Figure 3.3.1-1 Moment Curvature Curve

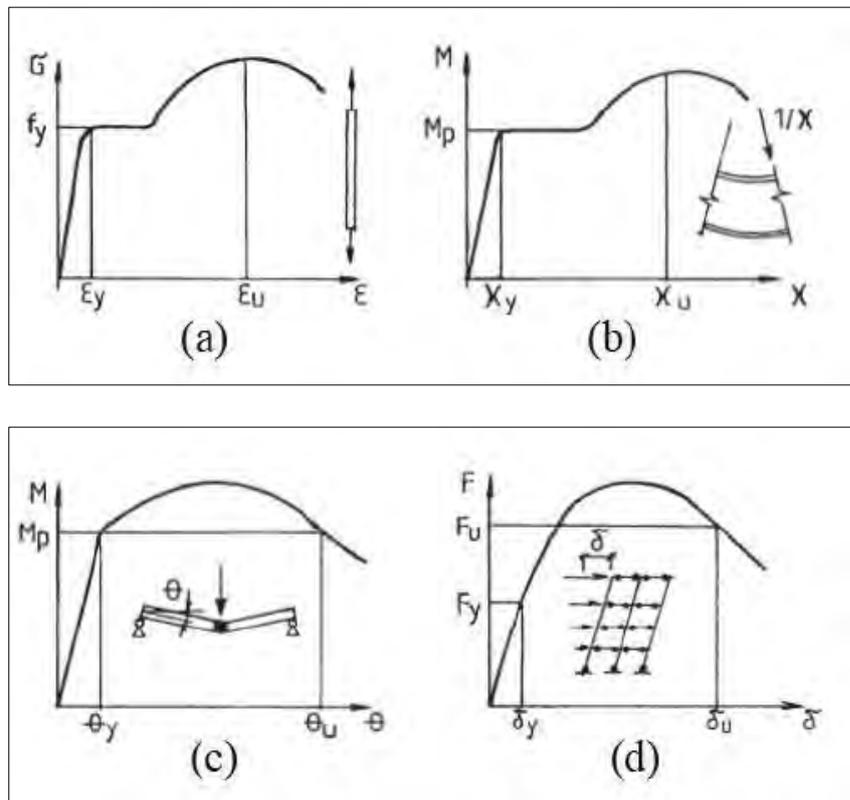
Fuente: (CALTRANS, 2013).

2.2.5.3.DUCTILIDAD

(Gioncu & Mazazolani, 2002) La ductilidad es la capacidad de un elemento estructural, de un sistema estructural o del material componente de deformarse inelásticamente ante la aplicación de cargas externas, en caso del concreto armado, la ductilidad se logra principalmente por la ductilidad del acero corrugado de refuerzo, este elemento componente permite alcanzar grandes deformaciones pasando por el punto de equilibrio elástico.

Figura 12

Tipos de Ductilidad



Fuente: (Gioncu & Mazazolani, 2002)

- Ductilidad del material o ductilidad axial (a), que caracteriza a las deformaciones plásticas del propio material.

$$\mu\epsilon = \epsilon_u / \epsilon_y \quad (26)$$

- Ductilidad de la sección transversal (b), o ductilidad de curvatura, que se refiere a las deformaciones plásticas de la sección transversal, teniendo en cuenta la interacción entre las partes que componen la sección transversal en sí.

$$\mu\chi = \chi_u / \chi_y \quad (27)$$

- Ductilidad del elemento (c), o la ductilidad de rotación, cuando se consideran las propiedades del elemento.

$$\mu\theta = \theta_u / \theta_y \quad (28)$$

- Ductilidad de la estructura (d), o ductilidad de desplazamiento, que considera el comportamiento de toda la estructura.

$$\mu\delta = \delta u / \delta y \quad (29)$$

(ASCE 41-17, 2017) La ductilidad de edificaciones y por ende de los componentes de los elementos estructurales pueden contar con una relación directa de la ductilidad de demanda de acuerdo al comportamiento elástico y plástico de edificaciones, los factores o valores se pueden clasificar en cuanto bajo, moderado y alto.

Tabla 10

Clasificación de Demanda de Ductilidad de Componentes

Valor máximo de DCR o Ductilidad de desplazamiento	Descripción
< 2	Demanda baja de ductilidad
2 a 4	Demanda de ductilidad moderada
> 4	Demanda de alta ductilidad

Fuente: (ASCE 41-17, 2017)

2.2.6. GALGAS EXTENSIOMETRICAS

(Pablo Xavier & Molina, 2010) indican lo siguiente:

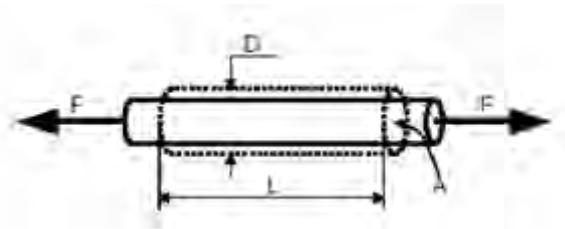
Las galgas extensométricas son transductores activos, es decir que requieren corriente o voltaje para trabajar; y que, aplicados sobre un espécimen, permiten medir la fuerza ejercida sobre él a partir de la deformación resultante. Así, fuerzas de compresión, tracción o torsión, aplicadas sobre materiales elásticos, generan deformaciones que son transmitidas a la galga, respondiendo ésta con una variación de su propia resistencia eléctrica.

2.2.6.1. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

El principio de funcionamiento se basa en el efecto piezorresistivo de metales y semiconductores, según el cual, su resistividad varía en función de la deformación a la que están sometidos, el material de que está hecho y el diseño adoptado.

Figura 13

Efecto pieorresistivo



Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

Si se considera un hilo metálico de longitud l , sección transversal A y resistividad ρ , su resistencia eléctrica R es:

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Por otro lado, tenemos que el cambio en resistencia de un medidor de deformación por lo general se expresa en términos de un parámetro determinado por el fabricante empíricamente llamado factor de galga, GF expresado como:

$$GF = \frac{\partial R/R}{\epsilon}$$

2.2.6.2. TIPOS DE GALGAS

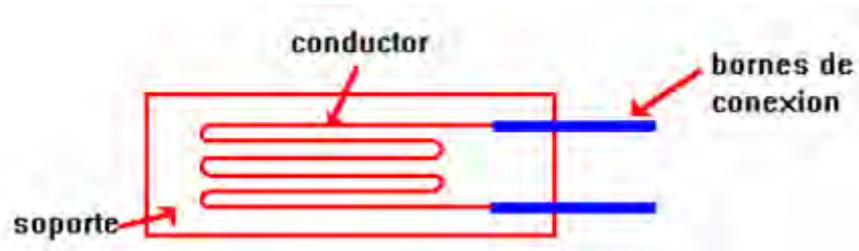
A) SEGÚN SU MATERIAL CONSTITUTIVO

- **GALGAS METÁLICAS**

El elemento sensible es un hilo conductor metálico con una sección circular de 0.025mm aproximadamente de diámetro y encolado sobre una base aislante de resina epoxíca o poliéster. Para obtener la máxima longitud activa dentro de un área reducida, el hilo presenta varios repliegues siguiendo la disposición que se muestra en la figura.

Figura 14

Constitución de una galga de filamento



Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

- **GALGAS SEMICONDUCTORA**

Las galgas semiconductoras son similares a las anteriores. En este tipo de galgas se sustituye el hilo metálico por un material semiconductor. La principal diferencia constructiva de estas galgas respecto a las anteriores se encuentra en el tamaño. Los materiales más abundantes para fabricar estas galgas son: Silicio y Germanio, estas pueden ser tipo N o P. Las galgas de tipo P aumentan su resistencia con el esfuerzo aplicado mientras que las galgas N la disminuyen. En ambos casos, interesa trabajar con materiales que presenten un bajo coeficiente térmico.

Este tipo de galgas poseen un coeficiente K mucho mayor que las fabricadas con material metálico, por lo que su variación de resistencia es más sensible debido a la deformación que sufre el material. Pero su costo es excesivo debido a su método de fabricación por lo que son poco utilizadas.

B) SEGÚN SU FORMA DE COLOCACION

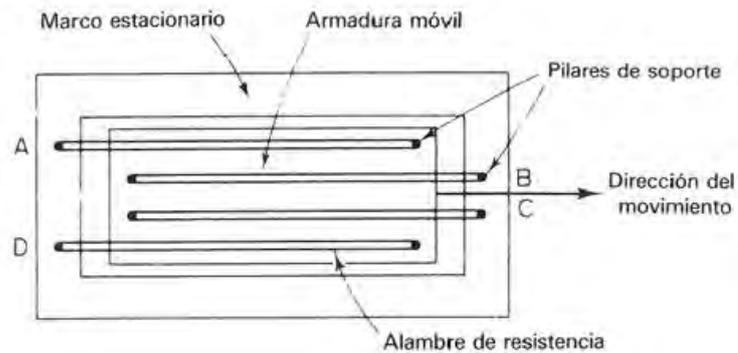
- **GALGAS SOLDADAS**

Son conductores metálicos que han de colocarse sobre un marco estacionario. Tienen necesariamente que fijarse en una posición de equilibrio en tracción (pretensado) de forma que las variaciones de longitud que puedan resultar de su uso mantengan el hilo en tensión. La resistencia de equilibrio corresponde entonces a la resistencia de

pretensado, los filamentos son de igual longitud y tiene un arreglo como se muestra en la figura.

Figura 15

galgas desoldadas



Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

Cuando se aplica una fuerza externa a la galga, la armadura se mueve en la dirección indicada. Los elementos A y D incrementan su longitud, mientras los elementos B y C disminuyen. El cambio de resistencia de los cuatro filamentos es proporcional al cambio de longitud, y esto se puede medir mediante el puente de Wheatstone.

- **GALGAS DESOLDADAS**

Son las más comunes en el mercado, estas constan de un hilo metálico o semiconductor que se encuentra encapsulado en una fina lamina de material aislante, mediante el cual se adhieren de forma rígida mediante un pegamento especial al elemento a medir. La deformación de la galga es igual al elemento de soporte.

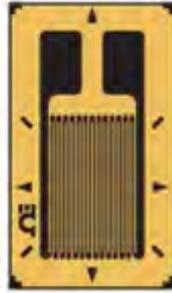
C) SEGÚN SU GEOMETRIA

- **GALGA UNIAXIAL**

Miden la deformación que sufre la galga en dirección de sus hilos, son casi insensibles a la deformación transversal, por lo que se ocupan para medir deformaciones simples o en una sola dirección.

Figura 16

Galga Uniaxial



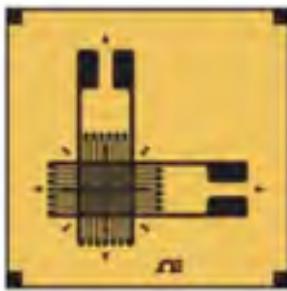
Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

- **GALGA BIAxIAL**

Estas galgas miden simultáneamente esfuerzos en dos direcciones, se ocupan principalmente para aumentar la precisión de las mediciones en cargas simples, debido a que con esta galga se miden las deformaciones longitudinales (alargamiento o reducción de la barra) y deformaciones transversales (aumento o disminución de la sección de la barra).

Figura 17

Galga Biaxial



Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

- **GALGAS TIPO ROSETA**

Una roseta de deformaciones es un arreglo de tres galgas extensiométricas utilizado para medir el estado de deformaciones de un material en el plano, lo cual implica medir

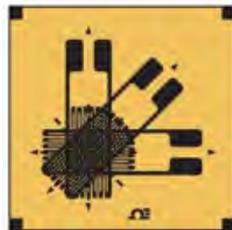
la deformación normal en x (ϵ_x), la deformación normal en y (ϵ_y) y la deformación cortante en el plano (γ_{xy}).

ROSETA RECTANGULAR

Una roseta se dice que es rectangular cuando sus galgas están arregladas con una diferencia de 45° entre sí, por lo que una roseta se encontrará en posición horizontal, una en posición vertical y otra a un ángulo de 45° .

Figura 18

Roseta Rectangular



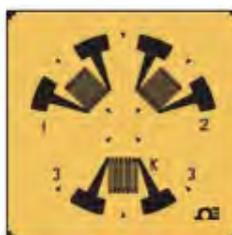
Fuente: (Pablo Xavier & Molina, 2010)

ROSETA DELTA

Se dice roseta delta a aquella que tiene sus galgas posicionadas con una diferencia de 60° entre sí, por lo que habrá una en posición horizontal, otra a 60° y, por último, una a 120° .

Figura 19

Roseta Delta



TANGENCIAL O DE DIAFRAGMA

Se utilizan en membranas cuando no existen direcciones principales de esfuerzo, este tipo de galgas se utiliza para medir deformaciones en grietas.

Figura 20

galgas de diafragma



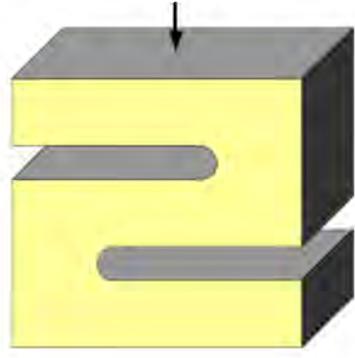
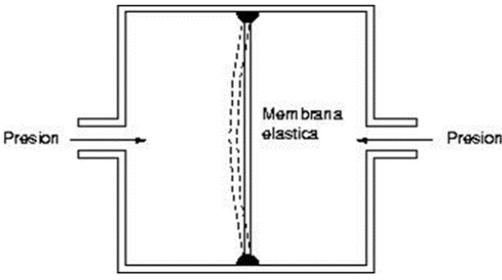
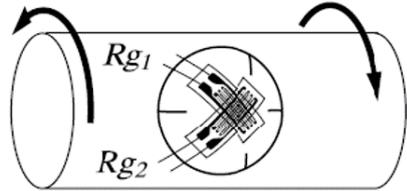
2.2.6.3.CAMPOS DE APLICACIÓN DE LAS GALGAS EXTENSOMETRICAS

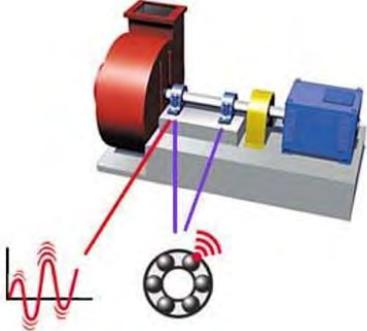
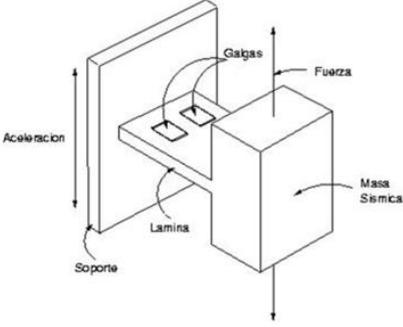
El campo de acción de las galgas extensiométricas es muy extenso, aunque su mayor aplicación la encontramos en las industrias del diseño mecánico y estructural, en donde se es necesario el control riguroso de la deformación sufrida (como por ejemplo aviones, vagones de tren, puentes, grúas, columnas de hormigón armado, automóviles, edificios, entre otros).

Tabla 11

Campos de aplicación de las galgas extensiométricas

ESQUEMA	TIPO DE MEDICION
<p>El diagrama muestra un elemento rectangular que se está desplazando verticalmente. Una galga (etiquetada como 'Galgas') está adherida a la superficie superior del elemento. Una línea horizontal indica el desplazamiento ('Desplazamiento') del punto de medición de la galga.</p>	<p>Medición de desplazamiento: colocando galgas en lugares adecuados se puede relacionar la deformación que sufre la misma con el desplazamiento de un punto específico del elemento.</p>

 <p>A 3D perspective diagram of a yellow rectangular concrete beam with two horizontal grey reinforcement bars. A downward-pointing arrow is positioned above the top surface of the beam, indicating an axial load.</p>	<p>Medición de Fuera Axial y Peso: es uno de los transductores más utilizados en la industria, su funcionamiento se debe a que se puede relacionar la deformación que sufre la galga con la fuerza y/o el peso que causa dicha deformación.</p>
 <p>A schematic cross-section of a pressure transducer. It shows a rectangular cavity with two ports on the left and right sides, each labeled 'Presion' with an arrow pointing inward. In the center of the cavity is a vertical dashed line representing a 'Membrana elastica' (elastic membrane).</p>	<p>Medición de Presión: se puede medir presiones absolutas o manométricas, para lo cual este transductor consta de una cavidad en donde se encuentra colocada una membrana a la que están adheridas adecuadamente las galgas, si existiera una diferencia de presión entre ambos lados de la membrana elástica, esta se flexionara quedando una deformación en la galga que puede ser medida.</p>
 <p>A diagram of a cylindrical torque transducer. Two curved arrows on the top and bottom surfaces indicate the direction of torque. A circular cross-section of the cylinder is shown in the center, with a rosette strain gauge (a grid of four lines) attached to its surface. The gauge is labeled with Rg_1 and Rg_2.</p>	<p>Medición de torque: utilizando una galga de roseta se puede relacionar la deformación sufrida por el material con el torque que produce dicha deformación.</p>

	<p>Medición de Vibraciones: cuando un elemento produce vibraciones (generalmente por desgaste mecánico), éstas se convierten en esfuerzos que también pueden ser medidos mediante galgas extensiométricas.</p>
	<p>Medición de Aceleración: la aceleración a la que está sometida el conjunto produce una fuerza sobre la masa sísmica que flexiona la lámina de unión entre soporte y masa.</p>

2.3.HIPOTESIS

2.3.1. HIPOTESIS GENERAL

HG: Al adicionar fibras de acero a las secciones de concreto se incrementa la relación de momento curvatura sometidos a flexión.

2.3.2. SUB HIPOTESIS

HE1: Existe un incremento en la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.

HE2: La incorporación de las fibras de concreto influye directamente en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión.

HE3: La resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión es mayor al incorporar fibras de acero en el concreto.

2.4.VARIABLES E INDICADORES

2.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

2.4.1.1.CONCRETO

DEFINICIÓN CONCEPTUAL

(González, 2014) afirma que el concreto “es un material pétreo que se genera de forma artificial a través de la mezcla de cemento, agregados y agua, el cual al secarse o fraguarse se comporta como un solo elemento sólido, de características similar a los elementos pétreos”.

DEFINICIÓN OPERACIONAL

(Ortega, 2015) afirma que:

El concreto es utilizado en su totalidad para resistir esfuerzos bajo compresión, y por ende, el conocer el comportamiento bajo una relación de esfuerzo – deformación es de suma importancia.

La normativa (MVCS E-060, 2016) indica que:

La resistencia del concreto a tracción por flexión, es decir, que el módulo de rotura es posible definirlo a través de una formula correlacional, a falta de información experimental se podría considerar, para concretos de peso normal.

DIMENSIONES E INDICADORES

- Resistencia a compresión del concreto (Kg/cm²)
- Resistencia a tracción del concreto (Kg/cm²)
- Dosificación de componentes de agregados, agua, cemento (kg)

2.4.1.2.FIBRAS DE ACERO

DEFINICIÓN CONCEPTUAL

(Alvarado & Mendoza, 2021) La incorporación de fibras de acero en el concreto tiene su origen en la premisa de fortalecer el núcleo o matriz de concreto ante esfuerzos de tensión, la distribución de fibras en el concreto mejora el comportamiento frágil del elemento, mejorando la tenacidad debido a que las fibras pueden absorber la energía antes de llegar al colapso o la falla del elemento, las fibras de acero ayudan al convertir el comportamiento frágil del concreto a lograr una condición de mayor ductilidad, debido a que las fibras quedan distribuidas y orientadas de manera aleatoria en todas las direcciones en la masa del concreto.

DEFINICIÓN OPERACIONAL

(Harmsen, 2017) Existe una amplia gama de materiales como el acero, el vidrio, los materiales sintéticos o los materiales naturales, como la celulosa de madera. Las longitudes de las fibras varían entre 60 a 150 mm con espesores en un rango de 0.005 a 0.75 mm, usualmente se especifican por:

DIMENSIONES E INDICADORES

- Tipo de fibra, de acuerdo con su material. (Adimensional)
- Longitud de fibra (mm)

- Relación de aspecto entre la longitud y el diámetro equivalente (Adimensional)
- Dosificación de la fibra en el concreto (Kg)

2.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

2.4.2.1.MOMENTO CURVATURA

DEFINICIÓN CONCEPTUAL

(McCormac & Brown, 2017) Las relaciones momento-curvatura son utilizadas para describir el comportamiento de secciones sometidas a flexión y flexo – compresión. Consiste en la construcción de una gráfica que expresa el grado de variación de la curvatura respecto al momento resistente, con o sin presencia de carga axial.

DEFINICIÓN OPERACIONAL

(Ottazzi, 2011) El momento y la curvatura en una sección de concreto armado tienen una relación lineal siempre y cuando los momentos sean menores al momento de agrietamiento (M_A). Luego del agrietamiento la relación continua casi lineal, pero con pendiente diferente hasta que la fluencia del acero (M_y) o el agotamiento del concreto (M_u) se alcance. Si primero se produce la fluencia del acero, la sección puede seguir deformándose hasta que el concreto alcanza su máximo esfuerzo (M_u) y finalmente su máxima.

DIMENSIONES E INDICADORES

- Momento de agrietamiento (Tonfef-m)
- Momento de cedencia o fluencia (Tonfef-m)
- Momento de agotamiento (Tonfef-m)
- Curvatura de agrietamiento (ϕ_a)
- Curvatura de cedencia o fluencia (ϕ_y)
- Curvatura de agotamiento (ϕ_u)

2.4.2.2. DUCTILIDAD DE SECCIONES

DEFINICIÓN CONCEPTUAL

(Gioncu & Mazazolani, 2002) La ductilidad es la capacidad de un elemento estructural, de un sistema estructural o del material componente de deformarse inelásticamente ante la aplicación de cargas externas, en caso del concreto armado, la ductilidad se logra principalmente por la ductilidad del acero corrugado de refuerzo, este elemento componente permite alcanzar grandes deformaciones pasando por el punto de equilibrio elástico.

DEFINICIÓN OPERACIONAL

(Gioncu & Mazazolani, 2002) Ductilidad de la sección transversal (b), o ductilidad de curvatura, que se refiere a las deformaciones plásticas de la sección transversal, teniendo en cuenta la interacción entre las partes que componen la sección transversal en sí.

DIMENSIONES E INDICADORES

- Demanda de baja ductilidad ($\mu < 2$)
- Demanda de ductilidad moderada ($2 < \mu < 4$)
- Demanda de alta ductilidad ($\mu > 4$)

2.4.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Las variables dependientes e independientes se relacionan y se muestran la siguiente matriz de operacionalización de variables de la investigación.

Tabla 12

Matriz de Operacionalización de Variables

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES						
VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	NIVEL DE DIMENSIONES	DEFINICION DE LAS DIMENSIONES	INDICADORES
X1: Concreto	González (2014) afirma que el concreto “es un material pétreo que se genera de forma artificial a través de la mezcla de cemento, agregados y agua, el cual al secarse o fraguarse se comporta como un solo elemento sólido, de características similar a los elementos pétreos”.	Ortega (2015) afirma que: El concreto es utilizado en su totalidad para resistir esfuerzos bajo compresión, y por ende, el conocer el comportamiento bajo una relación de esfuerzo – deformación es de suma importancia. La normativa E.030 (2016) indica que: La resistencia del concreto a tracción por flexión, es decir, que el módulo de rotura es posible definirlo a través de una fórmula correlacional, a falta de información experimental se podría considerar, para concretos de peso normal.	Dosificación de Concreto	Cemento	Enrique Rivva (2014) afirma que es el componente más activo del concreto debido a que actúa como un ligante entre los agregados pétreos y la pasta.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso (Kg) • Peso específico (Kg/m3)
				Agregados	Ortega (2015) hace mención que: Los agregados de origen pétreos pueden ser clasificados en dos grupos: gruesos o gravas y finos o arenas, se encuentra en un rango de volumen de concreto en un porcentaje de 70% a 75% del volumen de la masa endurecida.	<ul style="list-style-type: none"> • Peso (Kg) • Módulo de fineza • Tamaño máximo nominal • Contenido de humedad • Absorción
				Agua	Porrero, Ramos, Grases y Gilberto (2014) menciona que: Es necesario contar con una adecuada dosificación de los componentes del concreto, principalmente en la cantidad de agua.	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen (m3)
		Propiedades mecánicas de concreto	Resistencia a la compresión del concreto	Para Harmsen (2017) La resistencia a compresión se muestra en la curva esfuerzo – deformación el cual tiene una variación de acuerdo a la velocidad de carga, si la velocidad de carga es alta, la resistencia máxima obtenida es mayor que si la carga se incrementa a una menor razón.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a compresión (Kg/cm2) 	
			Resistencia a la tracción del concreto	Moreno y Solís (2016) manifiesta que: Es complicado la contención de la resistencia a tensión del concreto en forma directa, por lo que se determina por métodos indirectos, como son las pruebas de tensión por compresión y de tensión por flexión.	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a tracción o flexión (Kg/cm2) 	

X2: Fibras de acero	(Alvarado & Mendoza, 2021) La incorporación de fibras de acero en el concreto tiene su origen en la premisa de fortalecer el núcleo o matriz de concreto ante esfuerzos de tensión, la distribución de fibras en el concreto mejora el comportamiento frágil del elemento	(Harmsen, 2017) Existe una amplia gama de materiales como el acero, el vidrio, los materiales sintéticos o los materiales naturales, como la celulosa de madera. Las longitudes de las fibras varían entre 60 a 150 mm con espesores en un rango de 0.005 a 0.75 mm	Propiedades Geométricas de fibras de acero	Tipo y dimensiones de fibras de acero	(MACCAFERRI, 2009) La fibra de acero WINRAND FF1 este compuesto de alambre de acero trefilado cuyo uso es para el reforzamiento de hormigón, la forma de este tipo de fibra tiene ganchos en las extremidades garantizando de esta manera la adherencia al hormigón.	<ul style="list-style-type: none"> Tipo de fibra de acero (FF1) Diámetro (mm) Longitud (mm) Esbeltez
			Propiedades mecánicas de fibras de acero	Tensión y módulo de elasticidad de las fibras de acero	(MACCAFERRI, 2009) La fibra de acero WINRAND FF1 cumple con el estándar de la normativa ASTM A820-01 “Standard specification for Steel fiber-reinforced concrete” para las resistencias requeridas	<ul style="list-style-type: none"> Tensión de ruptura (MPa) Elongación a la rotura (%) Módulo de elasticidad (N/mm²)
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	NIVEL DE DIMENSIONES	DEFINICION DE LAS DIMENSIONES	INDICADORES
Y1: Momento - Curvatura	(McCormac & Brown, 2017) Las relaciones momento-curvatura son utilizadas para describir el comportamiento de secciones sometidas a flexión y flexo – compresión. Consiste en la construcción de una gráfica que expresa el grado de variación de la curvatura respecto al momento resistente, con o sin presencia de carga axial.	(Ottazzi, 2011) Luego del agrietamiento la relación continua casi lineal, pero con pendiente diferente hasta que la fluencia del acero (M_y) o el agotamiento del concreto (M_u) se alcance. Si primero se produce la fluencia del acero, la sección puede seguir deformándose hasta que el concreto alcanza su máximo esfuerzo (M_u) y finalmente su máxima.	Relación Momento – Curvatura	Momento	(Inesa TECH, 2022) La distribución real de esfuerzos a compresión en el concreto es compleja y no es conocida en su totalidad de manera explícita, las más comunes son la representación de esfuerzos de forma traapezoidal o rectangular.	<ul style="list-style-type: none"> Momento de agrietamiento (Tonnesf-m) Momento de cedencia (Tonnesf-m) Momento de agotamiento (Tonnesf-m)
				Curvatura	(Mora & Aguilar, 2015) La curvatura de un miembro sometido a flexión se refiere a la rotación por longitud unitaria de una sección en un momento de análisis determinado, en una sección de tipo viga, la curvatura es el cociente entre la deformación unitaria que sufre una fibra paralela al eje longitudinal de la viga y su distancia al eje neutro	<ul style="list-style-type: none"> Curvatura de agrietamiento (ϕ_a) Curvatura de cedencia o fluencia (ϕ_y) Curvatura de agotamiento (ϕ_u)

<p>Y2: Ductilidad</p>	<p>(Gioncu & Mazazolani, 2002) La ductilidad es la capacidad de un elemento estructural, de un sistema estructural o del material componente de deformarse inelásticamente ante la aplicación de cargas externas</p>	<p>(Gioncu & Mazazolani, 2002) Ductilidad de la sección transversal (b), o ductilidad de curvatura, que se refiere a las deformaciones plásticas de la sección transversal, teniendo en cuenta la interacción entre las partes que componen la sección transversal en sí.</p>	<p>Ductilidad</p>	<p>Ductilidad de secciones</p>	<p>(ASCE 41-17, 2017) La ductilidad de edificaciones y por ende de los componentes de los elementos estructurales pueden contar con una relación directa de la ductilidad de demanda de acuerdo al comportamiento elástico y plástico de edificaciones, los factores o valores se pueden clasificar en cuanto bajo, moderado y alto.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda de baja ductilidad ($\mu < 2$) • Demanda de ductilidad moderada ($2 < \mu < 4$) • Demanda de alta ductilidad ($\mu > 4$)
------------------------------	--	---	-------------------	--------------------------------	--	---

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES Y DIMENSIONES
¿Cómo varía la relación momento curvatura en secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?	Determinar la relación momento curvatura en secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero	Al adicionar fibras de acero a las secciones de concreto se incrementa la relación de momento curvatura sometidos a flexión.	<p>Independiente X1: Concreto con fibras de acero</p> <p>Dimensiones: ✓ Resistencia a la compresión (kg/cm²) ✓ Fibras de acero (fy)</p> <p>Dependiente Y1: Relación momento curvatura</p> <p>Dimensiones: ✓ Parámetros mecánicos del concreto (Deformación unitaria, resistencia a la compresión) ✓ Cuantía de acero Cuantía de acero a compresión y flexión (%)</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICOS	
¿Cuál es la variación de la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?	Calcular la variación de la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.	Existe un incremento en la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.	
¿Cómo influye la incorporación de fibras de acero en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión?	Determinar la influencia de la incorporación de fibras de acero en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión	La incorporación de las fibras de concreto influye directamente en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión.	
¿Cuál es la diferencia de la resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero?	Calcular la diferencia de resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero	La resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión es mayor al incorporar fibras de acero en el concreto.	
¿Cómo varía el peralte de una viga de concreto armado con incorporación de fibras de acero con respecto de una viga sin fibras de acero?	Calcular la variación del peralte de una viga con fibra de acero respecto de una sin fibras de acero.	El peralte de una viga incorporando fibras de acero se reduce respecto del peralte de una viga sin fibras de acero	

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1.METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. SEGÚN EL ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

(Hernández, Fernández, & Baptista, 2014) El enfoque cuantitativo se basa en la recolección de datos los cuales son utilizados para la validación o la demostración de hipótesis que fueron inicialmente planteadas de manera numérica, es decir, que el tratamiento de los datos recolectados de campos es medido a través de cuantificaciones numéricas, el tratamiento estadístico o el análisis de los resultados también tienen demostraciones numéricas.

Esta investigación tiene el enfoque cuantitativo, debido a que la recolección de datos se realizó a través de ensayos de laboratorio los cuales se realizaron a través de cálculos numéricos aplicando normatividad que también se encuentra en términos cuantitativos.

3.1.2. SEGÚN EL NIVEL DE INVESTIGACIÓN

(Vásquez, 2005) Una investigación descriptiva ayuda a que esta responda a incógnitas de cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y cada uno de sus componentes integrantes de una de las variables, este tipo de investigación permite detallar un fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos.

(Carrasco, 2019) La investigación de nivel experimental se realiza luego de conocer las características del fenómeno y sus causas que determinaron esas características, investigación descriptiva sirve para analizar cómo es y cómo se manifiesta un fenómeno y sus componentes. Permiten detallar el fenómeno estudiado básicamente a través de la medición de uno o más de sus atributos.

La presente investigación es descriptiva experimental, ya que busca describir la influencia o el cambio en la ductilidad y el momento curvatura agregando fibras de acero

en la mezcla de concreto, además, la demostración de este cambio del fenómeno se realizó a través de estudios experimentales de laboratorio.

3.1.3. SEGÚN EL TIPO DE LA INVESTIGACIÓN

(Ceroni, 2010) Una investigación de tipo aplicada tiene diferencia por contar con propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir que, la investigación se desarrolla con el objetivo de actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad

La investigación es de tipo aplicada, se tiene el objetivo de evaluar la influencia en el momento curvatura de las secciones de concreto armado con la incorporación de fibras de acero, con el objetivo de modificar las propiedades mecánicas del concreto tales como la resistencia y ductilidad de la sección.

3.1.4. SEGÚN EL MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

(Hernandez, 2008) El método hipotético – deductivo es definido como aquel método que se inicia en el planteamiento de unas hipótesis los cuales son sustentadas en el desarrollo teórico de un determinado campo de investigación, y a través de reglas lógicas de deducción o algún medio probatorio que puede ser estadístico o experimental, permiten llegar a determinar nuevas conclusiones y predicciones empíricas, los cuales también llegan a ser verificadas.

La tesis de investigación tiene el método hipotético – deductivo, debido a que en una primera fase de la investigación se realizó la recolección de la información planteando hipótesis preliminares las cuales fueron demostrados luego de haber realizado las pruebas y ensayos de laboratorio.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. DISEÑO METODOLÓGICO

(Bono, 2012) El diseño cuasiexperimental es utilizado generalmente en investigaciones de tipo aplicados, son esquemas de investigación de un comportamiento no aleatorio, es decir, que en este tipo de diseño de investigación no es posible establecer una equivalencia inicial de los grupos de forma exacta, al no contar con una asignación aleatoria en todos los aspectos, no son posibles establecer en un inicio límites del error muestral.

(Carrasco, 2019) Dentro de los diseños cuasiexperimentales se encuentra una subdivisión de diseño, uno de ellos es el Diseño con posprueba únicamente y grupos intactos, en este tipo de investigación presenta dos grupos de control: el primero recibe el estímulo experimental y el segundo no, se aplica cuando la posprueba se administra con el propósito de medir los efectos de la variable independiente sobre la dependiente.

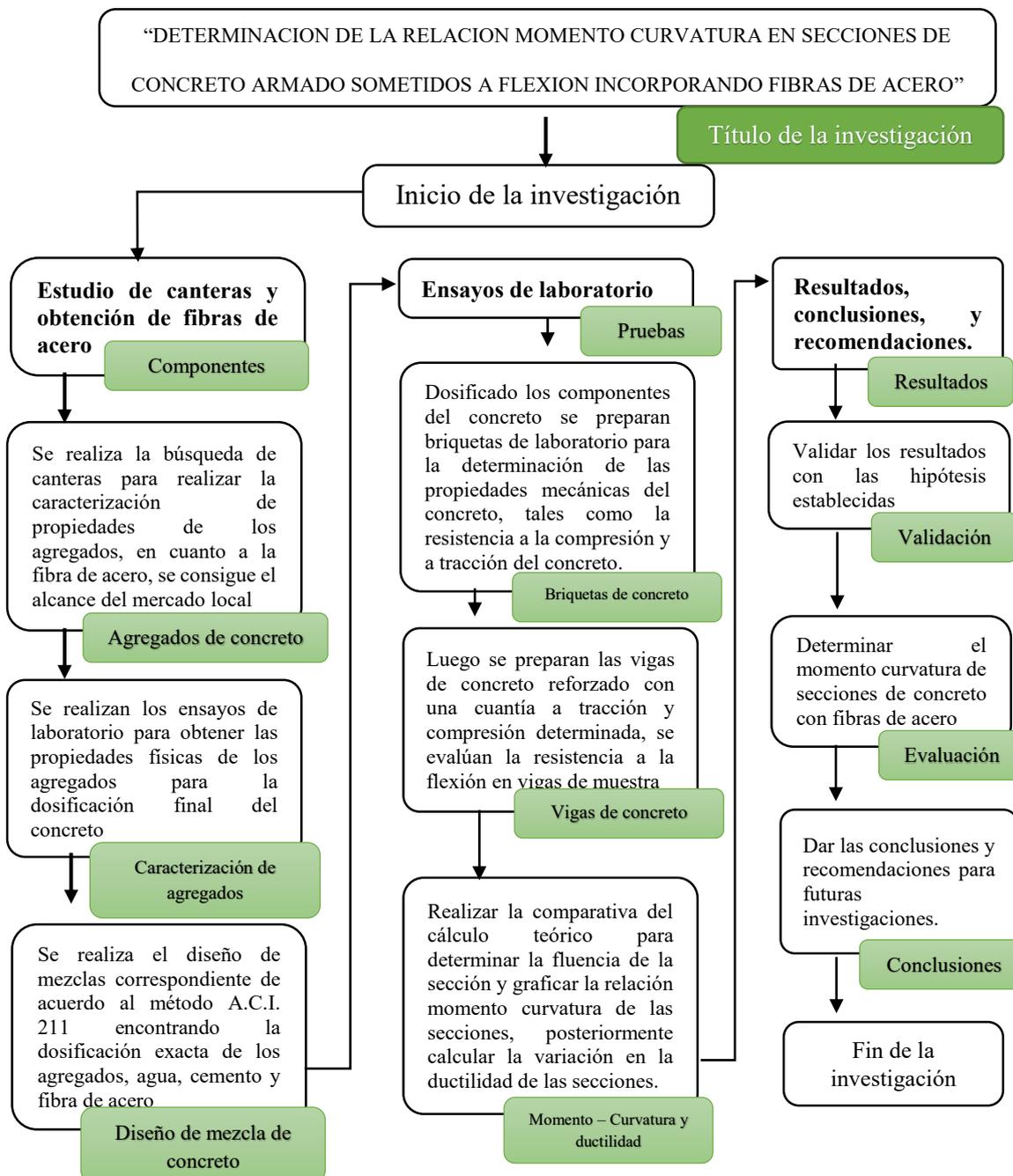
Por ende, la investigación realizada es de diseño cuasiexperimental, debido a que la preparación de las muestras experimentales se seleccionó a criterio de los investigadores y no de la selección aleatoria de las mismas, además, las muestras ensayadas no pueden ser ensayadas por segunda vez, es decir que se verifica los efectos de la variable independiente luego de realizar las pruebas.

3.2.2. DISEÑO DE INGENIERÍA

Se muestra a continuación el procedimiento de la investigación:

Figura 21

Procedimiento de Tesis de Investigación



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

(López, 2007) La población es considerada como aquel conjunto de personas, animales o cosas que tienen alguna característica en particular en relación con las variables de estudio, es considerado por otra parte como un grupo de observación de un fenómeno a estudiar pueden ser aplicados en un contexto determinado y bajo situaciones diferentes.

La población de estudio es considerada todas las muestras de concreto necesarios para la determinación de los objetivos de la investigación, incluyen las muestras con la incorporación de fibra de acero en función del volumen total de las muestras.

3.3.2. MUESTRA – TAMAÑO Y CÁLCULO DE LA MUESTRA

(Argibar, 2009) La muestra es un subconjunto de la población seleccionada, se diferencia de la población al ser un conjunto unitario o menor que tiene algún tipo de criterio de inclusión los cuales permiten representar a la población en general, debido a que la muestra se considera representativa en su totalidad a la población, los resultados obtenidos se generalizan para toda la población y el efecto del fenómeno también.

La selección de muestra se realizó tomando en cuenta la Norma E – 060 de Concreto Armado en donde en su capítulo 5. 1. 6 indica que se considera como un ensayo de resistencia al promedio de las resistencias de dos probetas cilíndricas hechas de la misma muestra de concreto ensayadas a los 28 días y en su capítulo 5.6.3.3 indica que cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a $f'c$, en resumen la norma E-060 nos indica que para probetas se deben ensayar como mínimo 6 unidades por lo que se ha tomado 12 unidades de concreto para cada porcentaje de fibra de acero incorporada, esto servirá de base tanto para las pruebas en compresión como para las pruebas en tracción indirecta:

Tabla 13

Numero de muestras cilindricas de concreto a compresión

Tipo de espécimen	Contenido de fibra	Pruebas realizadas	Nro de muestras	Tipo de ensayo
	Sin fibra de acero	A los 28 días	12	Compresión
	con 1% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Compresión
	con 2% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Compresión
	con 3% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Compresión
TOTAL			48	

Tabla 14:

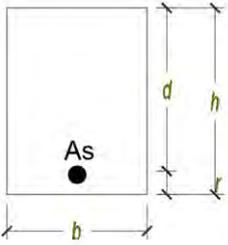
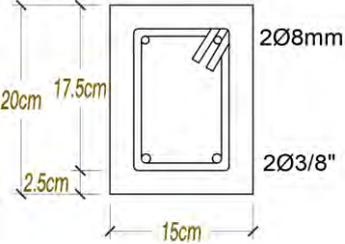
Número de muestras cilindricas a tracción indirecta

Tipo de espécimen	Contenido de fibra	Pruebas realizadas	Nro de muestras	Tipo de ensayo
	Sin fibra de acero	A los 28 días	12	Tracción indirecta
	con 1% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Tracción indirecta
	con 2% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Tracción indirecta
	con 3% de contenido de fibra de acero	A los 28 días	12	Tracción indirecta
TOTAL			48	

En el caso de las vigas se ha visto por conveniente utilizar vigas con dos tipos de acero de refuerzo, una simplemente armada y la otra doblemente armada con refuerzo transversal; como se muestra en el cuadro siguiente.

Tabla 15

Número de muestras en vigas

Tipo de espécimen	Contenido de fibra	Pruebas realizadas	Nro de muestras	Tipo de ensayo
	0% fibra de acero	A los 28 días	3	Flexión
	1% fibre de acero	A los 28 días	3	Flexión
	0% fibra de acero	A los 28 días	3	Flexión
	1% fibre de acero	A los 28 días	3	Flexión

3.3.3. METODO DE MUESTREO

(Otzen & Manterola, 2017) Los métodos de muestreo se pueden dividir en 2 grupos, de manera probabilística y no probabilística, esta última se subdivide en tres clases intencional, por conveniencia y accidental o consecutivo, la primera selecciona la muestra limitada a la población, es decir, se utiliza en los cuales las características de selección son mínimas y la población es muy variable. El método por conveniencia permite la selección de muestras que sean accesibles para el investigadores, por último, la selección accidental o consecutivo recolecta la muestra en grupos hasta completar el total requerido de la población.

El método de muestreo es no probabilístico por conveniencia, debido a que se seleccionó la población y muestra de estudio de acuerdo a criterio de los investigadores,

además, también se tuvo en consideración el número total de muestras requeridas en concordancia con los objetivos de la investigación.

3.3.4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

(Arias & Villais, 2016) Los criterios de inclusión son aquellas características que son consideradas como particulares que debe contar un sujeto u objeto de estudio para que sea parte de la investigación.

El criterio de inclusión para las muestras se vio reflejada en la selección de las muestras que cumplen con ciertas características y particularidades de acuerdo a las normativas del ASTM C 31 y ASTM C 172.

(NRMCA, 2019) El moldeado de los cilindros de prueba preparados en campo deberá de cumplir con las siguientes especificaciones:

- Se marcará el exterior del molde, no en la tapa o superficie
- Colocar los moldes cilíndricos en una superficie nivelada
- Determinar el método de compactación, en caso de contar con asentamiento menor a 1” se debe usar vibrado en caso contrario se apisona la mezcla
- Determinar el número de capas en el molde, en caso de compactarlo con una varilla, se deberá de contar con 3 capas iguales de 6”x12” y en dos capas en caso sea de 4”x8”, de otra parte, si la compactación es con vibración se utilizarán dos capas.
- Colocar el concreto en el interior del molde y compactarlo apisonando 25 veces uniformemente distribuidas por capa
- Golpear los lados del molde de 10 a 15 veces con mazo de caucho
- Enrazar la superficie con una espátula

(ASTM C 172, 2008) —Muestree el concreto recogiendo dos o más porciones tomadas a intervalos regularmente espaciados durante la descarga de la porción media de

la amasada. Obtenga estas porciones dentro del límite de tiempo especificado, el lapso de tiempo entre la obtención de la primera porción y la porción final de la muestra compuesta no debe exceder de 15 min.

(ASTM C 31, 2008) Las muestras de concreto sean en especímenes cilíndricos o para vigas deberán cumplir con los siguientes requerimientos a fin de cumplir con lo solicitado en la normativa de preparación y curado de especímenes de ensayo de concreto en la obra.

Tabla 16

Requisitos de Especímenes Cilíndricos para Ensayos

Especímenes cilíndricos	
Descripción	Determinación de resistencia a la compresión o a la tracción
Longitud de cilindro	Al menos 2 veces el diámetro
Diámetro de cilindro	Al menos 3 veces el TMN del agregado grueso
Dimensiones estandarizadas	<ul style="list-style-type: none">• Cilindros de 6x12 in (150 x 300 mm)• Cilindro de 4x8 in (100x200 mm)

Fuente: (ASTM C 31, 2008)

Tabla 17

Requisitos de Especímenes de Viga para Ensayos

Especímenes de Viga	
Descripción	Determinación de resistencia a flexión en posición horizontal
Longitud de cilindro	Al menos 2” (50mm) más grande que 3 veces la profundidad ensayada
Relación de ancho y profundidad	No mayor a 1.5
Sección transversal	Viga de 6x6 in (150x150 mm)

Fuente: (ASTM C 31, 2008)

Se tuvo en consideración el procedimiento de mezclado de concreto en estado fresco, además, como criterio de inclusión de las muestras se tuvo en consideración las dimensiones o límites de longitud y diámetro de acuerdo a normativa.

3.4. INSTRUMENTOS

3.4.1. INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS O DE MEDICIÓN

La recolección de datos para la investigación comprende fichas previamente elaboradas según guías y normativas de diseño, los cuales son adecuados para la toma de datos de laboratorio los cuales son las siguientes:

- Análisis granulométrico de agregado fino y grueso – NTP 400.012 (Figura 21).
- Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino – NTP 400.021 (Figura 22).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción del agregado grueso y fino - NTP 339.185 (Figura 23).
- Peso unitario suelto, peso unitario compactado y porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino - NTP 400.017 (Figura 24).
- Diseño de mezclas por el método A.C.I 211 (Figura 25).
- Determinación de resistencia a la compresión de briquetas cilíndricas (Figura 26).
- Determinación de resistencia a la flexión de vigas de concreto (Figura 27).

Figura 22

Ficha de Análisis Granulométrico de Agregado Grueso y Fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 	
TESIS:	DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO
TESISTAS:	BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN
CANTERA:	
FECHA:	MARZO 2023
LABORATORIO:	LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL UNSAAC
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO - AGREGADO GRUESO (NTP 400.012)

DATOS	PESO
Pmuestra + Precipiente	
Peso del recipiente	
Peso de la muestra	
TM	
TMN	
Modulo de fineza	
% Error	
Corrección	

Tamiz	Diametro (mm)	Peso Retenido (gr)	Peso Retenido Corregido (gr)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa

Limete Superior		
TAMIZ	ø (mm)	% PASA
Limete Inferior		
TAMIZ	ø (mm)	% PASA

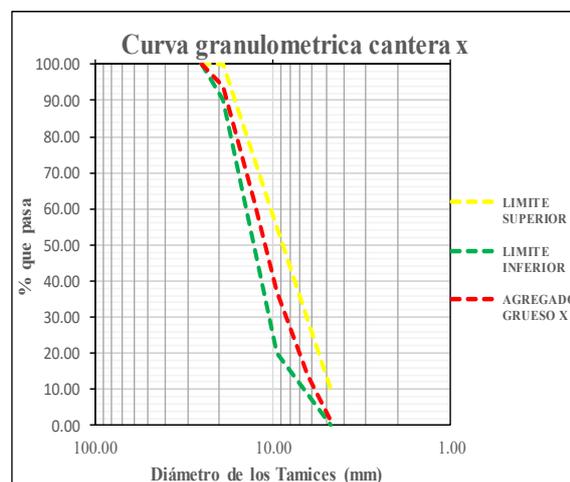


Figura 23

Ficha de Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso y Fino

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL	
TESIS:	DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO	
TESISTAS:	BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN	
CANTERA:		
FECHA:	MARZO 2023	
LABORATORIO:	LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL UNSA	
ENSAYO:	PESO ESPECIFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCION DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)	

DATOS:

	PESO (gr)	SIMBOLO
Muestra secada al horno		A
Muestra saturada de superficie seca (SSS)		B
Muestra sumergida		C

1. CÁLCULO DE LAS DENSIDADES

DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	FORMULA	PESO ESPECIFICO (p.e) gr/cm ³	PESO ESPECIFICO (p.e) kg/m ³
Peso específico - Masa seca	γ	$\frac{A}{B - C}$		
Peso específico saturado superficialmente seco	γ_{SSS}	$\frac{B}{B - C}$		
Peso específico aparente	γ_a	$\frac{A}{A - C}$		

2. CÁLCULO DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN

DESCRIPCIÓN	SIMBOLO	FORMULA	RESULTADO
Porcentaje de absorción	%A	$\frac{B - A}{A} * 100$	

Figura 24

Ficha de Contenido de Humedad y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso y Fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 			
TESIS:	DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO		
TESISTAS:	BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN		
CANTERA:			
FECHA:	MARZO 2023		
LABORATORIO:	LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL UNSAAC		
ENSAYO:	CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO (NTP 339.185)		
DESCRIPCIÓN	TARA		
	N° 01	N° 02	N° 03
Peso de la Tara (gr)			
Peso de la Tara + Muestra (gr)			
Peso de la Muestra (gr) [A]			
Peso de la Tara + Muestra Seca (gr)			
Peso de la Muestra (gr) [B]			
% de Humedad [(A-B)/B]			
% de Humedad Final			

Figura 25

Peso Unitario Suelto, Peso Unitario Compactado y Porcentaje de Vacíos del Agregado Grueso y Fino

 UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL 	
TESIS:	DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO
TESISTAS:	BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN
CANTERA:	
FECHA:	MARZO 2023
LABORATORIO:	LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL UNSAAC
ENSAYO:	PESO UNITARIO SUELTO (PUS), PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC) Y PORCENTAJE DE VACIOS (NTP 400.017) AG

1. PESO UNITARIO SUELTO (PUS)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DEL RECIPIENTE (gr) [A]		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³) [V]		
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE (gr) [B]		
PESO DE LA MUESTRA (gr) [M= B-A]		
PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm ³) [PUS=M/V]		
PROMEDIO (gr/cm ³)		

2. PESO UNITARIO COMPACTADO (PUC)

	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO DEL RECIPIENTE (gr) [A]		
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm ³) [V]		
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE (gr) [B]		
PESO DE LA MUESTRA (gr) [M= B-A]		
PESO UNITARIO COMP. (gr/cm ³) [PUS=M/V]		
PROMEDIO (gr/cm ³)		

3. PORCENTAJE DE VACIOS

	MUESTRA 1	MUESTRA 2
PESO ESPECIFICO (ADIMENSIONAL) [G]		
PESO UNITARIO COMPACTADO (kg/m ³) [U]		
PESO UNITARIO DEL AGUA (kg/m ³) [W]		
% DE VACIOS [(G*W)-U/(G*W)]		
PROMEDIO DE % DE VACIO		

Figura 26

Ficha de Diseño de Mezcla por Método ACI 211

	UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADE DE CUSCO FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL							
TESIS:	DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO							
TESISTAS:	BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN							
CANTERA:								
FECHA:	MARZO 2023							
LABORATORIO:	LABORATORIO DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL UNSAAC							
ENSAYO:	DISEÑO DE MEZCLA - MÉTODO ACI211							
DATOS PRINCIPALES:								
	A.F.	A.G.	f'c					
PESO ESPECIFICO DE LA MASA			TIPO DE CEMENTO					
ABSORCION			PESO ESPECIFICO					
CONTENIDO DE HUMEDAD								
MODULO DE FINEZA								
PESO SECO COMPACTADO								
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL								
CALCULOS								
PASO 1: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA PROMEDIO								
TABLA N° 01								
	f'c	f'cr		f'cr	kg/cm3			
	< 210	f'c + 70						
	210 A 350	f'c + 84						
	> 350	f'c + 98						
PASO 2: SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL								
	TMN	1/2"						
PASO 3: SELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO								
	CONSISTENCIA	SLUMP	TRABAJABILIDAD					
	SECA	0" A 2"	POCO TRABAJABLE	PLASTICA	3" a 4"			
	PLASTICA	3" A 4"	TRABAJABLE					
	FLUIDA	> 5"	MUY TRABAJABLE					
PASO 4: VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
TABLA 10.2.1								
VOLUMEN UNITARIO DE AGUA								
AGUA EN lt/m3 PARA LOS TMN DEL AGREGADO GRUESO Y CONSISTENCIA INDICADOS								
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
ASENTAMIENTO	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	220	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-
VOL UNITARIO AGUA	216 lt							
PASO 5: CONTENIDO DE AIRE								
TABLA 11.2.1								
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO								
	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	AIRE ATRAPADO						
	3/8"	3.00%				%AIRE	2.50%	
	1/2"	2.50%						
	3/4"	2.00%						
	1"	1.50%						
	1 1/2"	1.00%						
	2"	0.50%						
	3"	0.30%						
	6"	0.20%						

3.4.2. INSTRUMENTOS DE INGENIERÍA

La investigación se encuentra dentro de la rama de tecnología de concreto y resistencia de materiales, específicamente en concreto armado, los instrumentos de ingeniería se obtuvieron de los laboratorios de la escuela profesional de Ingeniería Civil de la UNSAAC que cuenta con los equipos implementados de acuerdo a normativas de aplicación nacional, estos se mencionan a continuación:

Tabla 18

Instrumentos de Ingeniería

FASE DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTO
Granulometría de agregados	<ul style="list-style-type: none"> • Juego de tamices para agregado grueso y fino • Balanza con precisión de 0.01 gr • Balanza de 100 Kgf
Peso específico, absorción y contenido de humedad de los agregados gruesos	<ul style="list-style-type: none"> • Recipiente hermético • Canastilla de abertura N°6 • Balanza con precisión de 0.01 gr • Horno de laboratorio de 110 ± 5 °C
Peso específico, absorción y contenido de humedad de los agregados finos	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de bomba de vacíos • Molde cónico de 3” • Fiola de 500 cm³ • Balanza con precisión de 0.01 gr • Horno de laboratorio de 110 ± 5 °C
Peso unitario de agregados	<ul style="list-style-type: none"> • Molde y varilla metálica. • Balanza con precisión de 0.01 gr • Horno de laboratorio de 110 ± 5 °C
Consistencia del concreto	<ul style="list-style-type: none"> • Cono de Abrams y varilla
Preparación de briquetas para ensayo	<ul style="list-style-type: none"> • Briquetera cilíndrica • Tubería PVC
Resistencia a compresión	<ul style="list-style-type: none"> • Equipo de ensayo a compresión • Balanza • Wincha y Vernier
Resistencia a la flexión	<ul style="list-style-type: none"> • Máquina de ensayo universal • Balanza • Wincha y Vernier

CAPITULO IV: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

4.1.PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la determinación del momento curvatura en vigas de concreto armado es necesario la recolección de datos en primer lugar de los componentes del concreto a ensayar, se caracterizaron los agregados grueso y fino, luego se hizo un diseño de mezclas con las dosificaciones correspondientes para luego ser ensayados.

4.1.1. CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Los ensayos de laboratorio para obtener el diseño de mezcla se hicieron de acuerdo a las Normas Técnicas Peruanas vigentes, cuyos resultados nos permitirán realizar el diseño de mezcla.

4.1.1.1.ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO

El objetivo de este ensayo es determinar la distribución por tamaño de partículas del agregado fino mediante el tamizado con diferentes tamaños de mallas normalizadas, así como también determinar el módulo de fineza y la curva granulométrica del agregado fino y grueso; datos que nos serán necesarios en el diseño de mezcla. Los procedimientos a realizar en este ensayo serán de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 400.012 (Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global).

A) Procedimiento

- Seleccionamos la muestra, esta debe ser un material que pase completamente por la malla 3/8” (70% Vicho y 30% arena fina de Cunyac) luego secamos el material seleccionado a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Pesamos el agregado fino seleccionado, este no deberá tener un peso menor a 300g.

- Seleccionamos los tamices de tamaños: 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200 y cazuela. Ordenando los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra previamente pesada sobre el tamiz superior previniendo la sobrecarga de material sobre cada tamiz individual.
- Tapando herméticamente efectuamos el tamizado manual durante un tiempo adecuado para que así se distinga el tamaño de agregado en cada una de los tamices.

Figura 27

Procedimiento de Ensayo Granulométrico de Agregado Fino



- Una vez concluido el tamizado abrimos la tapa para luego observar que no haya ningún grano de agregado en el tamiz 3/8”
- Determinamos los pesos retenidos en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido con aproximación mínima a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.
- A continuación, se muestra el material retenido por cada una de las mallas

Figura 28

Tamizado de Agregado Fino



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos.

Tabla 19

Datos de Muestra de Agregado Fino

DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	VICHO Y CUNYAC
MUESTRA	70%VICHO+30%CUNYAC
MASA TOTAL	1000.00 g
MASA TOTAL DESPUÉS DEL TAMIZADO	997.28 g

Tabla 20

Análisis Granulométrico del Agregado Fino

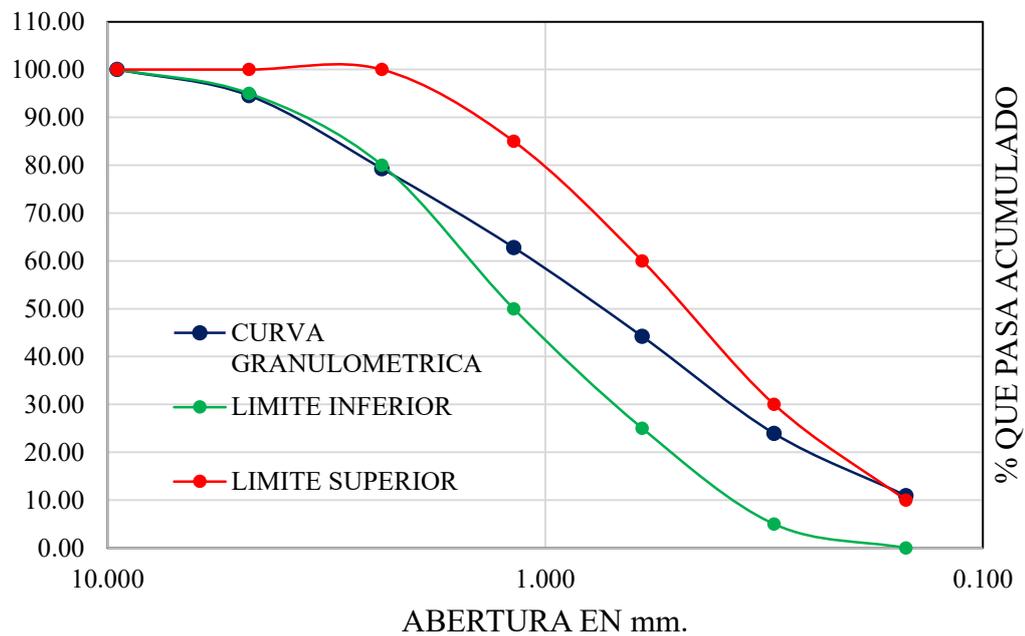
TAMIZ	DIÁMETRO (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO CORREGIDO	% DE RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA ACUMULADO	Limites ASTM C-33 LIMITE INF. LIMITE SUP.	
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	0	100.00	100	100
N°4	4.750	54.54	54.54	5.45	5.45	94.55	95	100
N°8	2.360	152.63	152.63	15.26	20.72	79.28	80	100
N°16	1.180	164.92	164.92	16.49	37.21	62.79	50	85
N°30	0.600	185.88	185.88	18.59	55.80	44.20	25	60
N°50	0.300	202.63	202.63	20.26	76.06	23.94	5	30
N°100	0.150	129.83	129.83	12.98	89.04	10.96	0	10
N°200	0.075	84.62	84.62	8.46	97.51	2.49	0	0
cazuela	0.000	22.23	24.950	2.49	100.00	0.00		
TOTAL		997.28	1000.00	100				

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\sum \% \text{ retenido en mallas } 3/8", N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100}{100} \quad (30)$$

Módulo de fineza = 2.84

Figura 29

Curva Granulométrica de Agregado Fino



4.1.1.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO

Al igual que el análisis granulométrico del agregado fino, es necesario la obtención de la granulometría del agregado grueso componente de la mezcla a diseñar.

A) Procedimiento

- Seleccionamos la muestra,” (agregado grueso - Vicho) luego secamos el material seleccionado a una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
- Seleccionamos una muestra representativa de acuerdo con la tabla 1 de la norma NTP 400.010, medidas de las muestras.

Figura 30

Cuarteo del agregado grueso



- Pesamos el agregado grueso seleccionado, este no deberá tener un peso menor a 300g.
- Seleccionamos los tamices de tamaños: 3/4", 1/2", 3/8", N° 4 y cazuela. Ordenando los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, y colocar la muestra previamente pesada sobre el tamiz superior previniendo la sobrecarga de material sobre cada tamiz individual.
- Tapando herméticamente efectuamos el tamizado manual durante un tiempo adecuado para que así se distinga el tamaño de agregado en cada una de los tamices.
- Una vez concluido el tamizado abrimos la tapa para luego observar que no haya ningún grano de agregado en el tamiz 3/4"
- Determinamos los pesos retenidos en cada tamiz, con una balanza que cumpla lo exigido con aproximación mínima a 0,5 g y exactitud a 0,1% del peso de la muestra a ser ensayada.

- Se debe tener en cuenta la Norma técnica peruana NTP 400.037, para seleccionar el HUSO de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso que vamos a utilizar.

Figura 31

Procedimiento de Ensayo Granulométrico de Agregado Grueso



Figura 32

Tamizado de Agregado Grueso



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos:

Tabla 21

Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS DEL AGREGADO GRUESO - PORCENTAJE QUE PASA POR TAMICES NORMALIZADOS (ASTM C-33 y NTP 400.037)													
		4 pulg.	3 1/2 pulg.	3 pulg.	2 1/2 pulg.	2 pulg.	1 1/2 pulg.	1 pulg.	3/4 pulg.	1/2 pulg.	3/8 pulg.	Nº 4	Nº 8	Nº16	Nº 50
1	3 1/2 pulg a 1 1/2pulg	100	90 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 15	-----	0 a 15	-----	-----	-----	-----	-----	
2	2 1/2 pulg a 1 1/2pulg	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 5	-----	-----	-----	-----	-----	
3	2 pulg a 1 pulg	-----	-----	-----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-----	0 a 15	-----	-----	-----	-----	
357	2 pulg a Nº 4	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	-----	0 a 5	-----	-----	
4	1 1/2 pulg a 1/4 pulg	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	-----	0 a 5	-----	-----	-----	
467	1 1/2 pulg a Nº 4	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	35 a 70	-----	10 a 30	0 a 5	-----	-----	
5	1 pulg a 1/2pulg	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----	-----	-----	
56	1 pulg a 3/8 pulg	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-----	-----	
57	1 pulg a Nº 4	-----	-----	-----	-----	-----	100	95 a 100	-----	25 a 60	-----	0 a 10	0 a 5	-----	
6	3/4 pulg a 3/8 pulg	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-----	-----	
67	3/4 pulg a Nº 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	55 a 85	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-----	
7	1/2 pulg a Nº 4	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-----	
8	3/4 pulg a Nº 8	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	3/8 pulg a Nº 16	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	90 a 100	25 a 55	5 a 30	0 a 10	
9	Nº 4 a Nº 16	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

Fuente: Norma NTP 400. 037

Tabla 22

Datos de Muestra de Agregado Grueso

DATOS DE LA MUESTRA	
CANTERA	VICHO
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1/2"
MASA TOTAL	2457.69 g
MASA TOTAL DESPUES DEL TAMIZADO	2455.66 g

Tabla 23

Análisis Granulométrico del Agregado Grueso

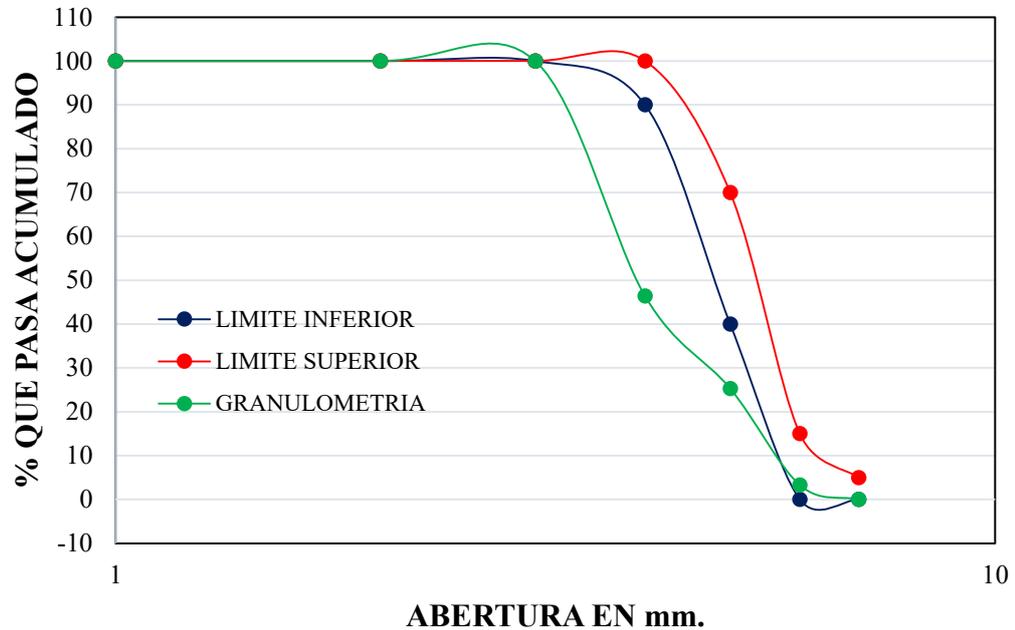
TAMIZ	DIAMETRO (mm)	PESO RETENIDO (g)	PESO RETENIDO CORREGIDO	% DE RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	%PASA ACUMULADO	Limites ASTM C-33 LIMITE INF. LIMITE SUP.	
<u>1 1/2"</u>	37.5 mm	0	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
<u>1"</u>	25 mm	0	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
<u>3/4"</u>	19 mm	0	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
<u>1/2"</u>	12.5 mm	1317.03	1317.03	53.59	53.59	46.41	90	100
<u>3/8"</u>	9.5 mm	518.14	518.14	21.08	74.67	25.33	40	70
<u>#4</u>	4.75 mm	540.54	540.54	21.99	96.66	3.34	0	15
<u>#8</u>	2.36 mm	79.95	81.98	3.34	100.00	0.00	0	5
TOTAL		2455.66	2457.69	96.66				

$$\text{Módulo de fineza} = \frac{\sum \% \text{ retenido en mallas } 1 \frac{1}{2}" , 3/4" , 1/2" , 3/8" , N^{\circ}4 , N^{\circ}8 , N^{\circ}16 , N^{\circ}30 , N^{\circ}50 , N^{\circ}100}{100} \quad (31)$$

Módulo de fineza = 7.56

Figura 33

Curva Granulométrica de Agregado Grueso



4.1.1.3.PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

El objetivo de este ensayo es determinar la masa por unidad de volumen, el porcentaje de absorción correspondiente al agregado fino y de esa manera poder tener mayor manejabilidad del agregado tanto en kg como en m³, la norma que rige este ensayo es la norma NTP 400.022 (Método de ensayo normalizado para la densidad relativa “peso específico” y absorción del agregado fino).

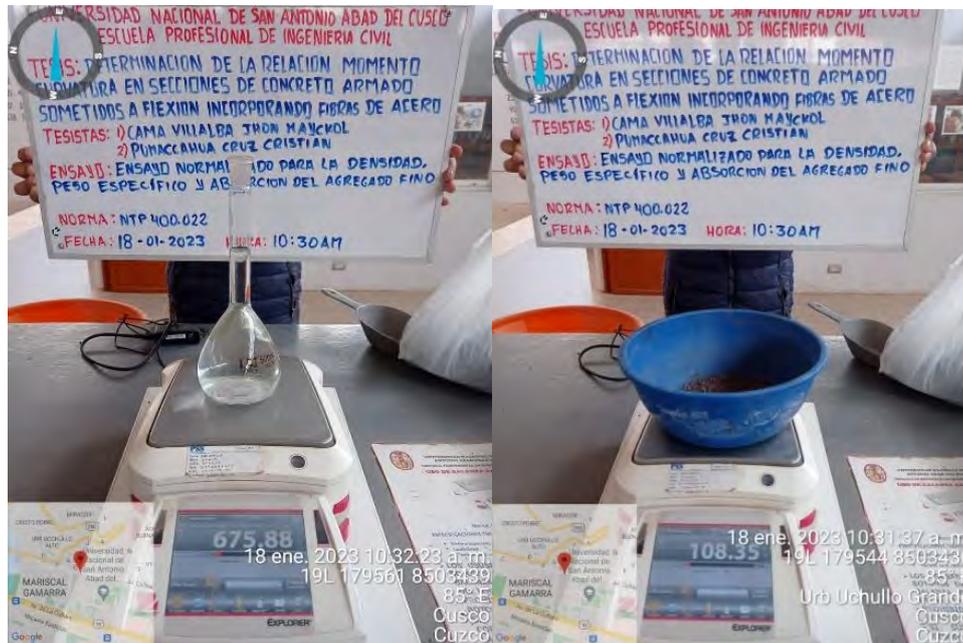
A) Procedimiento

- Seleccionamos una muestra representativa del agregado fino (70% Confitillo de Vicho y 30% arena fina de Cunyac) mediante el método de cuarteo de acuerdo a la norma NTP 339.089. Los instrumentos que se utilizará para dicho ensayo vienen a ser: Tamiz de 3/8”, Matraz, Bomba de aire, embudo, pipeta y recipiente para la manejabilidad del agregado

- Una vez obtenida la muestra representativa se procese a llenar agua en el matraz hasta el menisco para luego proceder a pesar el matraz conjuntamente con el agua.
- Seguidamente pesar la muestra representativa del agregado fino, esta masa debe ser prudente, pues no puede ser muy alto y si lo fuera no sería contenido en el volumen del matraz. El peso obtenido representara el peso del material.
- Vaciamos el agua del matraz hasta una tercera parte aproximadamente del volumen inicial de agua, luego en reemplazo del agua introducimos el agregado fino al matraz, cuidando que no escape ni un solo grano del material, con este objetivo utilizaremos un embudo.
- Utilizamos un gotero para que el material que se adhiere en las paredes del matraz entre completamente.
- Procedemos a extraer los vacíos (aire) que se encuentran en el agregado vertido en el matraz con la ayuda de la bomba de aire, el cual será conectado al matraz y sacudido simultáneamente al trabajo de la bomba. Este proceso se realiza con el fin de obtener un peso preciso y exacto a la vez, el cual nos guiara a un resultado verdadero.
- Llenamos agua hasta el nivel del menisco y pesamos, este peso representara el peso del matraz más agua más el agregado fino.

Figura 34

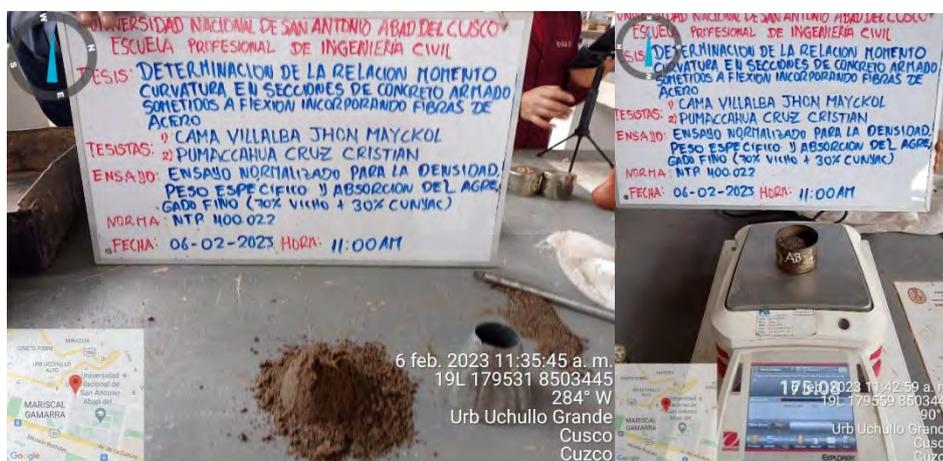
Procedimiento de Ensayo de Peso Específico de Agregado Fino



- De otra parte, también se detalla el procedimiento realizado para la obtención del porcentaje de absorción del agregado fino, en primer lugar, introducimos material fino en el agua durante 24 horas, luego de ello realizamos la prueba del cono y medimos cuan seco está. Esta prueba se realiza en tres capas sacando los vacíos golpeando con la varilla verticalmente.
- Para saber que está listo para la prueba debe perder la forma de un tronco de cono al liberarlo del molde.
- Pesamos cada una de las capsulas a utilizar
- Obtenemos las masas de capsulas más material SSS
- Introducimos dichas capsulas en el horno una temperatura de 110°C durante 24 horas, después de pasado ese tiempo volvemos a pesarlás en la balanza lo cual representara el peso seco al horno (Se tomaron 3 muestras representativas).

Figura 35

Procedimiento de Ensayo de Absorción de Agregado Fino



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos para la obtención del peso específico del agregado fino:

$$Pe_{af} = \frac{W_{af}}{W_{af} + W_{m+a} - W_{total}} \quad (32)$$

Donde:

Pe_{af} = Peso Específico del agregado fino

W_{af} = Peso del agregado fino.

W_{m+a} = Peso del matraz con contenido de agua.

W_{total} = Peso del matraz más agua más el agregado fino.

Tabla 24

Peso Específico de Agregado Fino

DATOS DE PESO ESPECIFICO DE AGREGADO FINO	
Peso del agregado fino.	108.34 g
Peso del matraz con contenido de agua.	675.88 g
Peso del matraz más agua más el agregado fino	744.58 g
Peso Específico	2.73 g/cm3

Posteriormente, se determina el porcentaje de absorción:

$$\%ABS_{A.F.} = \frac{(W_{S.S.S.} - W_{S.H.}) * 100\%}{W_{S.H.}} \quad (33)$$

Donde:

$\%ABS_{A.F.}$ = Porcentaje de absorción del agregado fino

$W_{S.S.S.}$ = Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca

$W_{S.H.}$ = Peso de la muestra seca al horno (en 24 horas).

Tabla 25

Absorción de Agregado Fino

DATOS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO			
	MUESTRA.01	MUESTRA.02	MUESTRA.03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	133.92 g	120.44 g	128.75 g
Peso de la muestra seca al horno	130.22 g	117.09 g	125.04 g
% De absorción	2.84 %	2.86 %	2.97 %
Porcentaje de absorción promedio	2.89 %		

4.1.1.4. PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El objetivo de este ensayo es determinar la masa por unidad de volumen y el porcentaje de absorción del agregado grueso, para así poder tener mayor manejabilidad del agregado tanto en kg como en m³, la norma que rige este ensayo es la norma NTP 400.021 (Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso). Indica también los materiales a ser utilizados durante el ensayo.).

A) Procedimiento

- Seleccionamos la muestra, realizamos el cuarteo de acuerdo a la norma NTP 339.089, esta muestra debe ser un material limpio.
- Secamos la muestra a una temperatura constante de 110°C ± 5°C luego esperar a que el material enfríe a una temperatura cómoda para el tacto.

- Pesamos el agregado grueso, esta masa debe ser prudente, pues no puede ser muy alto. Si lo fuera no sería contenido en el volumen del matraz. El peso obtenido representara el peso del material.
- Seguidamente vertimos agua en una probeta graduada, hasta una cantidad prudente, en este caso vertimos a un volumen de 600 ml. Obteniendo así un peso que incluye el peso de la probeta con el contenido de agua vertida previamente.
- Vaciamos el agua de la probeta hasta una tercera parte aproximadamente del volumen inicial contenido en la probeta, introducimos el agregado grueso que previamente habíamos pesado a la probeta, cuidando que no escape ni un solo grano del material. Con este objetivo utilizaremos un embudo.
- Llenamos agua el nivel de agua que marca los 600 ml. Para finalmente obtener el peso global que viene a ser el peso del agua más el peso de la probeta y el agregado grueso.

Figura 36

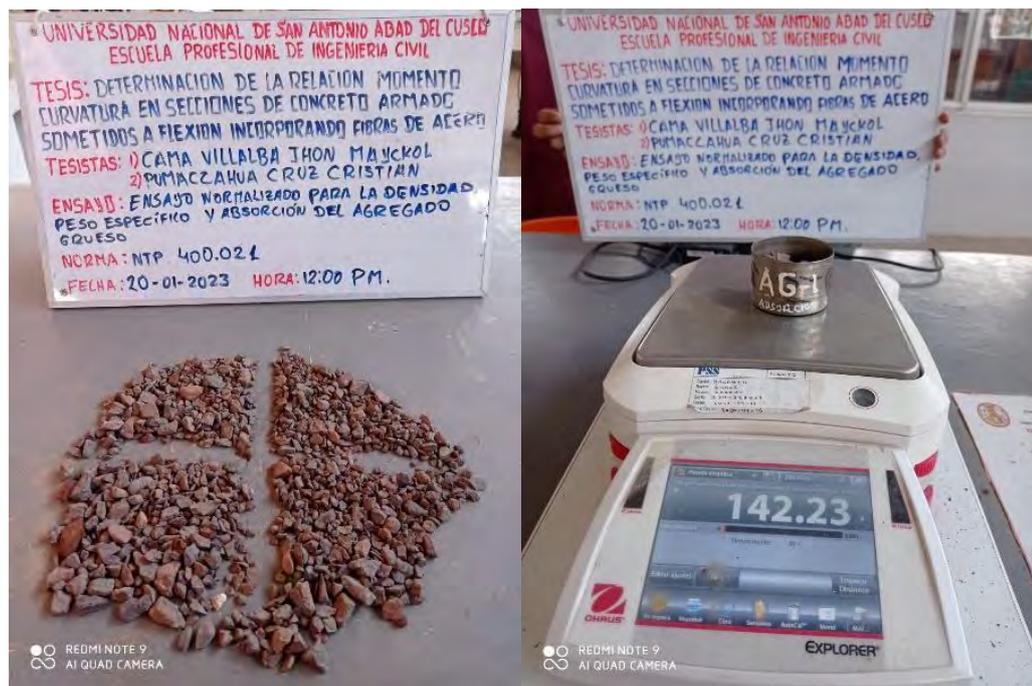
Procedimiento de Ensayo de Peso Específico de Agregado Grueso



- De otra parte, también se detalla el procedimiento realizado para la obtención del porcentaje de absorción del agregado grueso, en primer lugar, Introducimos material grueso en el agua durante 24 horas, para después ponerlo a secar hasta que esté en una condición saturada superficialmente seca y por el método del cuarteo seleccionamos el material para la prueba de absorción.
- Pesamos cada una de las capsulas a utilizar, en este caso serán en una cantidad de 3.
- Introducimos las muestras en las cápsulas para así obtener las masas de capsulas más material S.S.S. (Saturado Superficialmente Seco).
- Introducimos dichas capsulas en el horno una temperatura de 110°C durante 24 horas, después de pasado ese tiempo volvemos a pesarlas en la balanza lo cual representara el peso seco al horno (Se tomaron 3 muestras representativas).

Figura 37

Procedimiento de Ensayo de Porcentaje de Absorción de Agregado Grueso



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos para la obtención del peso específico del agregado grueso:

$$Pe_{ag} = \frac{W_{ag}}{W_{ag} + W_{p+a} - W_{total}} \quad (34)$$

Donde:

Pe_{af} = Peso Específico del agregado grueso

W_{af} = Peso del agregado grueso.

W_{m+a} = Peso del matraz con contenido de agua.

W_{total} = Peso del matraz más agua más el agregado fino.

Tabla 26

Peso Específico de Agregado Grueso

DATOS DE PESO ESPECIFICO DE AGREGADO GRUESO	
Peso del agregado grueso.	109.00 g
Peso de la probeta con contenido de agua.	1340.80 g
Peso de la probeta más agua más el agregado grueso	1410.03 g
Peso Específico del agregado grueso	2.74 g/cm³

Posteriormente, se determina el porcentaje de absorción:

$$\%ABS_{A.G.} = \frac{(W_{S.S.S.} - W_{S.H.}) * 100\%}{W_{S.H.}} \quad (35)$$

Donde:

$\%ABS_{A.F.}$ = Porcentaje de absorción del agregado grueso

$W_{S.S.S.}$ = Peso de la muestra Saturada Superficialmente Seca

$W_{S.H.}$ = Peso de la muestra seca al horno (en 24 horas).

Tabla 27

Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

DATOS DEL PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO			
	MUESTRA.01	MUESTRA.02	MUESTRA.03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	142.23 g	144.47 g	150.84 g
Peso de la muestra seca al horno.	141.37 g	143.42 g	150.01 g
% de absorción.	0.61 %	0.73 %	0.55 %
Porcentaje de absorción promedio		0.63 %	

4.1.1.5. CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO Y GRUESO

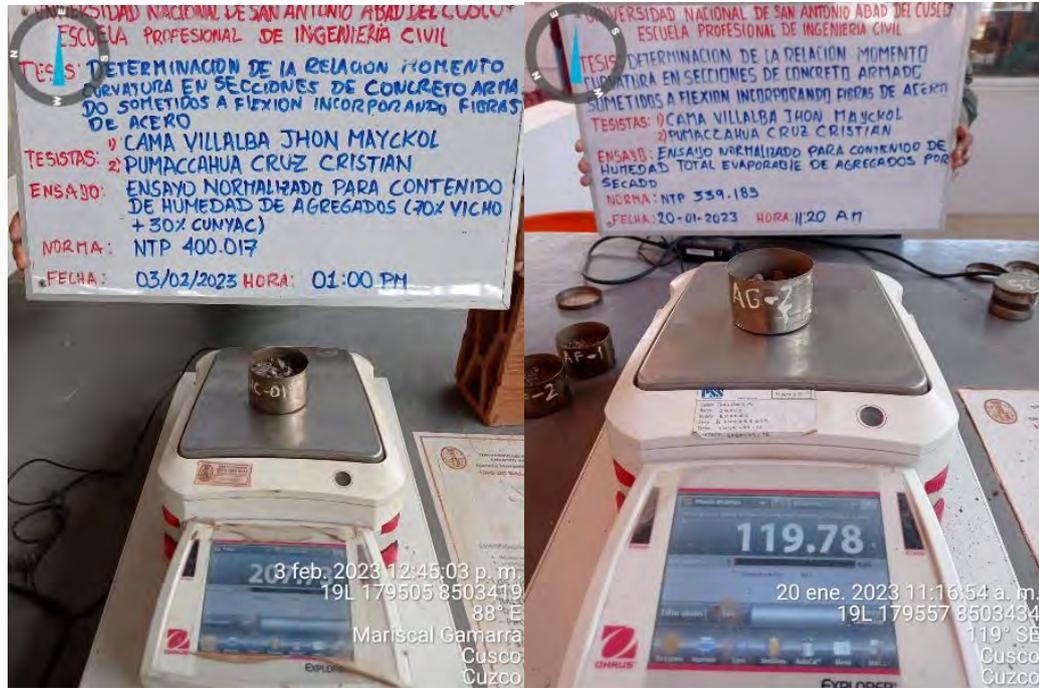
El objetivo del presente ensayo es determinar el contenido de humedad tanto de agregado fino como del agregado grueso, y de esa manera poder determinar la humedad superficial y la contenida en los poros, la norma que rige este ensayo es la norma NTP 339.185 (Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado). Debemos enfatizar que la importancia del contenido de humedad está en que se utiliza para realizar las correcciones de la relación agua - cemento en el diseño de mezcla.

A) Procedimiento

- Seleccionamos la muestra y 6 cápsulas para contener al material en cantidad son 3 cápsulas para el agregado fino y 3 cápsulas para el agregado grueso. Las muestras deben estar seco a la intemperie.
- Pesamos Las cápsulas con contenido de muestra (agregado fino y grueso) y obtenemos el peso del material seco a la intemperie en cada caso.
- Luego introducimos dichas capsulas en el horno una temperatura de 110°C durante 24 horas, después de pasado ese tiempo volvemos a pesarlas en la balanza lo cual representara el peso seco al horno.

Figura 38

Procedimiento de Ensayo de Contenido de Humedad de Agregado Fino y Grueso



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos para la obtención del contenido de humedad del agregado fino y grueso:

$$\%H_{.A.F.} = \frac{(W_{S.I.} - W_{S.H.}) * 100\%}{W_{S.H.}} \quad (36)$$

$$\%H_{.A.G.} = \frac{(W_{S.I.} - W_{S.H.}) * 100\%}{W_{S.H.}} \quad (37)$$

Donde:

$\%H_{.A.F.}$ = Porcentaje de humedad del agregado fino.

$\%H_{.A.G.}$ = Porcentaje de humedad del agregado grueso.

$W_{S.I.}$ = Peso de la muestra seca a la intemperie.

$W_{S.H.}$ = Peso de la muestra seca al horno (en 24 horas).

Tabla 28

Contenido de Humedad de Agregado Fino

DATOS DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO			
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de la muestra seca a la intemperie	83.20 g	99.27 g	85.46 g
Peso de la muestra seca al horno	82.45 g	98.36 g	84.68 g
% de absorción	0.91 %	0.93 %	0.92 %
Porcentaje de humedad promedio	0.92 %		

Tabla 29

Contenido de Humedad de Agregado Grueso

DATOS DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO			
	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de la muestra seca a la intemperie	66.30 g	81.22 g	71.35 g
Peso de la muestra seca al horno	65.95 g	80.87 g	71.02 g
% de absorción	0.53 %	0.43 %	0.46 %
Porcentaje de humedad promedio	0.48 %		

4.1.1.6.PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO FINO

El objetivo del presente ensayo es determinar el peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado fino y grueso, para ello utilizamos como equipos principales al Proctor modificado para el agregado fino y el Proctor estándar para el agregado grueso instrumentos que tienen las medidas requeridas y establecidas en la norma que rige este ensayo NTP 400.017 (Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado), indicar también que según la norma mencionada este método de ensayo se aplica para agregados de tamaño máximo nominal de 150mm.

A) Procedimiento

- Determinamos el peso neto del Proctor modificado quitando el anillo superior, en una balanza con aproximación a 0.05 kg y que nos permita leer el 0.1% de la muestra.
- Introducimos en el Proctor la muestra (la muestra debe ser el 200% de la cantidad requerida para llenar y nivelar la medida, también deberá ser una muestra seca al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) en tres capas de 25 golpes distribuidos uniformemente con la barra compactadora (acero liso de 16mm de diámetro y 60cm de longitud) para desaparecer vacíos.
- Una vez realizado la compactación, quitamos el anillo superior del Proctor modificado para proceder a enrazar y uniformizar y eliminar el agregado sobrante, finalmente realizamos una limpieza exterior al Proctor.
- Determinamos el peso del molde más el agregado fino compactado.

Figura 39

Procedimiento de Ensayo de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de Agregado Fino



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos para la obtención del peso unitario compactado del agregado fino:

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (38)$$

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m³.

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg.

T = Peso del recipiente de medida en kg.

V = Volumen de la medida en m³

La norma NTP 400.017 indica que el peso unitario determinado por este método de ensayo es para agregado en condición seco.

Tabla 30

Peso Unitario del Agregado Fino

PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO	
Peso del Proctor modificado	4.24 kg
Peso del Proctor más agregado fino	5.99 kg
Volumen del Proctor modificado	0.000940 m ³
PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO	1861.70 kg/m³

4.1.1.7. PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE AGREGADO GRUESO

Al igual que en el caso del agregado fino, también es necesario la determinación del peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado grueso.

A) Procedimiento

- Determinamos el peso neto del Proctor estándar quitando el anillo superior, en una balanza con aproximación a 0.05 kg y que nos permita leer el 0.1% de la muestra.

- Introducimos en el Proctor la muestra (la muestra debe ser el 200% de la cantidad requerida para llenar y nivelar la medida, también deberá ser una muestra seca al horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$) en tres capas de 25 golpes distribuidos uniformemente con la barra compactadora (acero liso de 16mm de diámetro y 60cm de longitud) para desaparecer vacíos.
- Una vez realizado la compactación, quitamos el anillo superior del Proctor estándar para proceder a enrazar y uniformizar y eliminar el agregado sobrante, finalmente realizamos una limpieza exterior al Proctor.
- Determinamos el peso del molde más el agregado grueso compactado.

Figura 40

Procedimiento de Ensayo de Peso Unitario y Porcentaje de Vacíos de Agregado Grueso



B) Toma de datos

Luego de realizado el ensayo se procede a obtener los siguientes datos para la obtención del peso unitario compactado del agregado grueso:

De la ecuación **38**

Donde:

M = Peso unitario del agregado en kg/m³.

G = Peso del recipiente de medida más el agregado en kg.

T = Peso del recipiente de medida en kg.

V = Volumen de la medida en m³

La norma NTP 400.017 indica que el peso unitario determinado por este método de ensayo es para agregado en condición seco.

Tabla 31

Peso Unitario de Agregado Grueso

PESO UNITARIO DEL AGREGADO GRUESO	
Peso del Proctor estándar	6.50 kg
Peso del Proctor más agregado grueso	9.90 kg
Volumen del Proctor estándar	0.002124 m ³
peso unitario del agregado grueso	1600.75 kg/m³

4.1.1.8. RESUMEN DE CARACTERIZACIÓN DE AGREGADOS

Realizado todos los procedimientos de ensayos de caracterización de los agregados fino y grueso se procede a presentar un resumen de las principales características necesarias para proceder con el diseño de mezclas:

Tabla 32

Resumen de Características del Agregado Fino

AGREGADO FINO	
ENSAYO	RESULTADO
Análisis granulométrico (módulo de fineza)	2.84
Peso específico	2.73 g/cm ³
Porcentaje de absorción	2.89 %
Contenido de humedad	0.92 %
Peso unitario	1861.70 kg/m ³

Tabla 33

Resumen de Características del Agregado Grueso

AGREGADO GRUESO	
ENSAYO	RESULTADO
Análisis granulométrico (módulo de fineza)	7.56
Peso específico	2.74 g/cm ³
Porcentaje de absorción	0.63 %
Contenido de humedad	0.48 %
Peso unitario	1600.75 kg/m ³

4.1.2. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

En el presente trabajo de investigación, se utilizó el método que desarrolló el comité 211 del ACI para el diseño de mezclas; el cual, utilizando tablas en base a ensayos de los agregados nos permite obtener las proporciones de los materiales que conforman la unidad cúbica del concreto.

A) Procedimiento

- Determinamos la resistencia a compresión promedio, ya que no se cuenta con un registro de resultado de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar, emplearemos la siguiente tabla.

Tabla 34

Resistencia a la Compresión Promedio

f'_c	f'_{cr}
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
Sobre 350	$f'_c + 98$

- Para una resistencia a compresión de $f'_c=210$ kg/cm², usaremos:

$$f'_{cr} = f'_c + 84 \quad (39)$$

$$f'_{cr} = 210 + 84 = 294 \text{ kg/cm}^2$$

- Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

$$\text{TMN} = \frac{1}{2}''$$

- Selección del asentamiento.

Asentamiento: 3'' – 4'' (Plástica)

- Selección del volumen unitario de agua es necesario utilizar los datos de la siguiente tabla

Tabla 35

Volumen Unitario de Agua

SLUMP	AGUA EN lt/m ³ PARA LOS TMN DEL AGREGADO GRUESO Y CONSISTENCIA INDICADOS							
	3/8''	1/2''	3/4''	1''	1 1/2''	2''	3''	6''
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO							
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-

Para un tamaño nominal de ½” y un SLUMP de consistencia plástica, el volumen unitario de agua para el diseño es de 216 lt/m³.

- Selección del contenido de aire para ello se utilizará la siguiente tabla.

Tabla 36

Determinación de Contenido de Aire Atrapado

CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	% AIRE ATRAPADO
3/8”	3.00%
1/2”	2.50%
3/4”	2.00%
1”	1.50%
1 1/2”	1.00%
2”	0.50%
3”	0.30%
6”	0.20%

Para un tamaño máximo nominal de ½”, el contenido de aire es 2.5%

- Selección del contenido de aire de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 37

Determinación de la relación agua cemento.

f'cr 28 DIAS kg/cm²	RELACION AGUA - CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Realizaremos la interpolación para nuestra resistencia promedio de $f'_{cr} = 294$ kg/cm², debido a que no se cuenta con un dato exacto de acuerdo a la anterior tabla es necesario la interpolación y se calcula de la siguiente manera.

$$\frac{\frac{f'_{cr}}{250}}{294} = \frac{\frac{a/c}{0.62}}{x}$$

$$\frac{300}{350 - 250} = \frac{0.55}{x - 0.62}$$

$$x = \frac{a}{c} = 0.5584$$

- Obtención del factor cemento (El factor cemento se obtiene dividiendo el volumen unitario de agua entre la relación agua/cemento).

$$Factor\ cemento = \frac{216}{0.5584} = 386.82 \frac{kg}{m^3} = 9.1 \frac{bls}{m^3}$$

- Posteriormente se procede a la determinación del contenido de agregado grueso, este valor se determina de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 38

Determinación del Peso del Agregado Grueso por Unidad de Volumen de Concreto

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO	VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO, PARA DIVERSOS MODULOS DE FINEZA			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Realizaremos la interpolación para nuestro módulo de fineza, MF = 2.84.

$$\frac{\frac{f'_{cr}}{2.80}}{2.84} = \frac{\frac{a/c}{0.55}}{x}$$

$$\frac{\frac{3.00}{2.80 - 3.00}}{2.84 - 3.00} = \frac{0.53}{x - 0.53}$$

$$x = 0.546$$

Con el dato que obtuvimos calcularemos el peso del agregado grueso seco:

$$\begin{aligned} \text{Peso del agregado grueso seco} &= x * (PUC_{A.G.}) = 0.546 * 1600.75 \text{ kg/m}^3 \\ &= 874.01 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Cálculo de los volúmenes absolutos (Se procede a calcular la suma de los volúmenes absolutos de los materiales componentes del concreto)

Cemento:	$\frac{386.82}{3.06 * 1000}$	= 0.126 m ³
Agua:	$\frac{216}{1 * 1000}$	= 0.216 m ³
Aire:	$\frac{2.5}{100}$	= 0.025 m ³
Agregado Grueso:	$\frac{874.01}{2.74 * 1000}$	= 0.319 m ³

La sumatoria de los volúmenes nos da 0.686 m³

- Contenido del agregado fino (Determinamos el volumen absoluto del agregado fino)

$$V_{Ag.fino} = 1 - 0.686 = 0.314$$

- Cálculo del peso seco del agregado fino:

$$\begin{aligned} PESO_{AG.fino seco} &= V_{AG.fino} * PE_{AG.fino} * 1000 = 0.314 * 2.73 * 1000 = 857.22 \\ &\text{kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Las cantidades de materiales a ser empleados como valores de diseño son:

Cemento	= 386.82 kg/m ³
Agua	= 216 l/m ³
Agregado Fino	= 857.22 kg/m ³
Agregado Grueso	= 874.01 kg/m ³

- La corrección por humedad del agregado, de los valores de diseño:

$$AG_{fino}(\text{corregido}) = AG_{fino} * \left(1 + \frac{\text{contenido de humedad}}{100}\right) = 857.22 * \left(1 + \frac{0.92}{100}\right) = 865.11 \text{ kg/m}^3$$

$$AG_{grueso}(\text{corregido}) = AG_{grueso} * \left(1 + \frac{\text{contenido de humedad}}{100}\right) = 874.01 * \left(1 + \frac{0.48}{100}\right) = 878.21 \text{ kg/m}^3$$

El aporte de humedad de los agregados es:

$$Agua_{(Ag.fino)} = AG_{fino} * \left(\frac{\text{contenido de humedad} - \text{Absorción}}{100}\right) = 857.22 * \left(\frac{0.92 - 2.89}{100}\right) = -16.88 \text{ l/m}^3$$

$$Agua_{(Ag.grueso)} = AG_{grueso} * \left(\frac{\text{contenido de humedad} - \text{Absorción}}{100}\right) = 874.01 * \left(\frac{0.48 - 0.63}{100}\right) = -1.31 \text{ l/m}^3$$

El agua necesaria será:

$$Agua_{(efectiva)} = Agua_{(diseño)} - (Agua_{(Ag.grueso)} + Agua_{(Ag.fino)})$$

$$Agua_{(efectiva)} = 216 - (-16.88 - 1.31) = 234.19 \text{ l/m}^3$$

- Los pesos de los materiales, ya corregidos por humedad del agregado, a ser empleados en la mezcla, serán:

$$\text{Cemento} = 386.82 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua} = 234.19 \text{ l/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino} = 865.11 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} = 878.21 \text{ kg/m}^3$$

- Cálculo de la proporción en peso del concreto.

Tabla 39

Determinación de la Proporción en Peso del Concreto

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso
386.82	865.11	878.21
<u>386.82</u>	<u>386.82</u>	<u>386.82</u>
1	2.24	2.27

La proporción en peso del concreto es: 1 de cemento, 2.24 de agregado fino y 2.27 de agregado grueso.

4.1.3. RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO

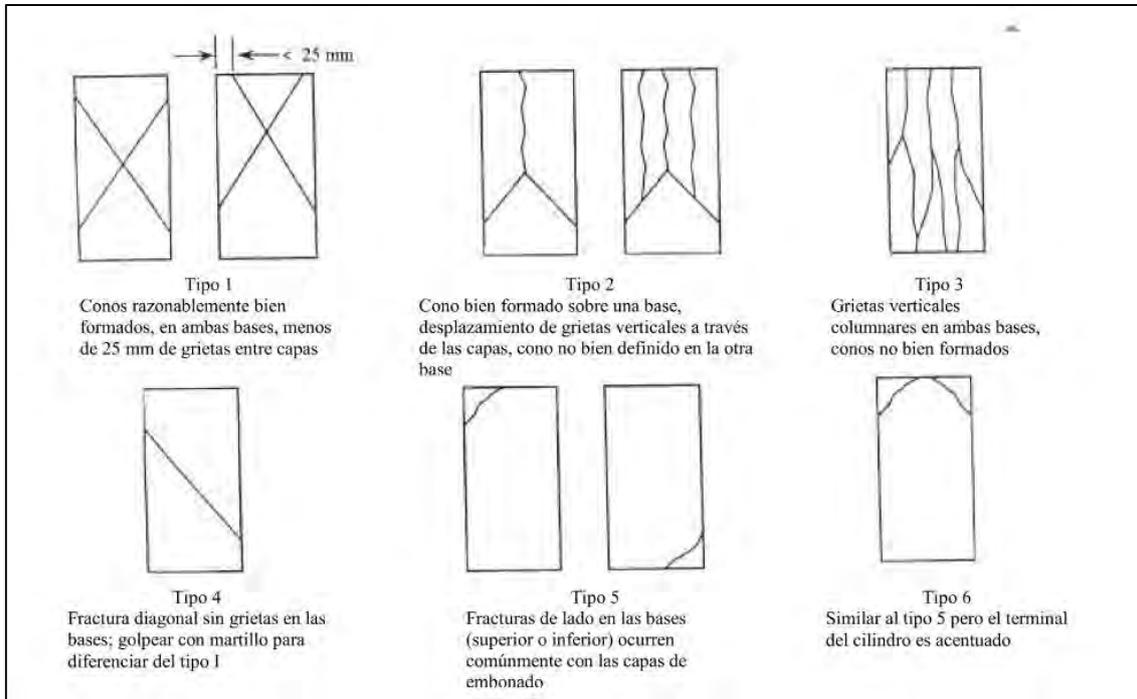
Una vez diseñado la mezcla de concreto de acuerdo a las características y propiedades físicas de los agregados, se procedió a realizar la preparación de las muestras de concreto en briquetas estandarizadas con dimensiones de acuerdo a las normativas vigentes los cuales son necesarios para la determinación de la resistencia a compresión del concreto.

Los ensayos a compresión de los testigos cilíndricos con concreto convencional y adicionando el 1%, 2% y 3% de fibra de acero se realizaron de acuerdo a la norma ASTM C-39, norma que nos indica que los especímenes de ensayo son cilíndricos de 150x300 mm y que la diferencia de diámetro de un espécimen individual con respecto a los demás no debe ser mayor que 2%. La velocidad de carga debe ser 0.25 ± 0.05 MPa/s.

En esta sección se procederá a el tipo de falla en las briquetas al momento de su ruptura, todo esto de acuerdo a la norma NTP 339.034 donde dicha norma recomienda que la falla sea cónica del tipo 1 de la siguiente figura.

Figura 41:

Tipos de falla en compresión para probetas ensayadas a compresión



Fuente: norma NTP 339.034

A) Procedimiento

- En primer lugar, se procedió a la preparación de mezcla de concreto de acuerdo a la dosificación diseñada para la resistencia requerida a compresión del concreto.
- Se procede a preparar las muestras de concreto y se codifica de acuerdo al porcentaje de fibra de acero adicionado en el concreto, se tomó como nomenclatura a las muestras con 0%, 1%, 2% y 3% en función del volumen de la muestra.
- Una vez preparado se procede a dejar el fraguado correspondiente por 24 horas para luego codificarlas y proceder a su curado durante el tiempo establecido para su ensayo.

- En total se prepararon 12 testigos por cada condición de incorporación de fibra de acero en el concreto, es decir, que en total se prepararon 48 muestras o briquetas separados por dosificación del concreto y la incorporación de un porcentaje de fibra de acero en función del volumen de la muestra del concreto.

Figura 42

Procedimiento de Rotura de Briquetas de Concreto

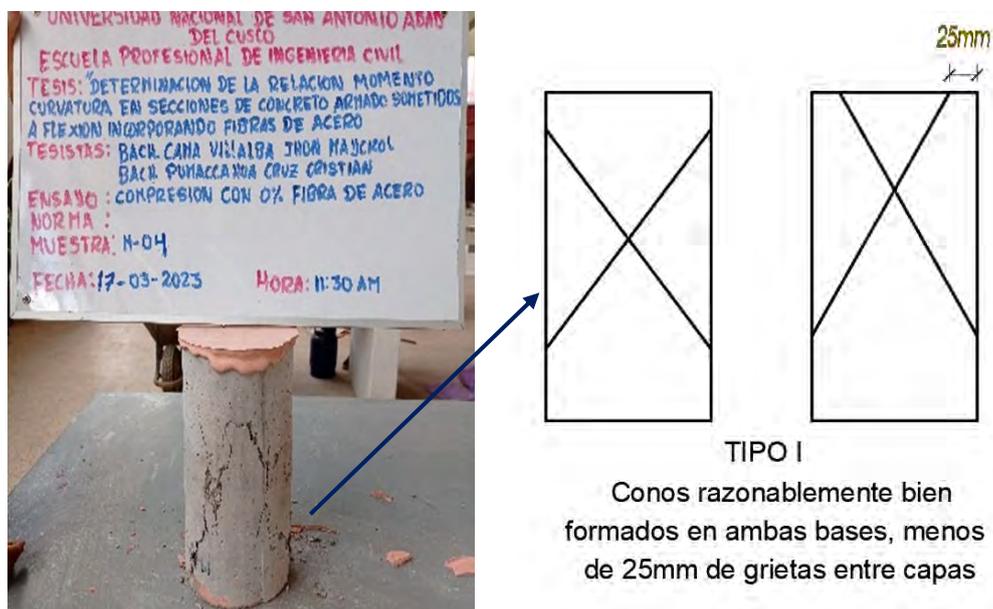


B) Toma de datos

- Una vez ensayados las muestras de concreto se procedió a identificar el tipo de falla y a registrar la resistencia máxima obtenido para luego obtener una resistencia a compresión máxima promedio.
- Para el caso de una resistencia a compresión convencional, es decir, para la muestra que tiene un 0% de incorporación de fibra de acero la resistencia máxima a compresión determinada es de 235.61 kg/cm², se muestran los datos obtenidos de los 12 testigos ensayados de los cuales en su totalidad tuvieron una falla de tipo I como a continuación se muestra.

Figura 43:

Falla (tipo I) típica en probetas con 0% de fibras de acero



TIPO I
Conos razonablemente bien formados en ambas bases, menos de 25mm de grietas entre capas

Tabla 40

Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto Convencional

ENSAYO:		RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS										
NORMA:		ASTM - C39										
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 0% FIBRA DE ACERO										
MÁQUINA:		MÁQUINA PARA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS										
VELOCIDAD DE ENSAYO:		0.25 ± 0.05 Mpa/s										
MUESTRA		FECHA		ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	MASA (g)	CARGA (Kg)	CARGA (kg/cm ²)				
		MOLDEO	ENSAYO									
M - 1		16/02/2023	17/03/2023	301	302	151	152	12600	39090	216.85		
M - 2		22/02/2023	23/03/2023	301	300	152	150	12800	41840	233.64		
M - 3		22/02/2023	23/03/2023	302	302	151	152	12500	39840	221.01		
M - 4		22/02/2023	23/03/2023	300	301	152	150	12600	42420	236.88		
M - 5		22/02/2023	23/03/2023	302	302	150	151	12800	42600	239.47		
M - 6		22/02/2023	23/03/2023	303	301	151	150	12700	43990	247.28		
M - 7		22/02/2023	23/03/2023	302	302	149	150	12600	42080	239.72		
M - 8		22/02/2023	23/03/2023	302	303	150	151	12600	44690	251.22		
M - 9		22/02/2023	23/03/2023	302	302	151	152	12800	43980	243.97		
M - 10		22/02/2023	23/03/2023	302	303	150	151	12600	40640	228.45		
M - 11		22/02/2023	23/03/2023	302	303	151	152	12900	41640	230.99		
M - 12		22/02/2023	23/03/2023	301	302	151	152	12700	42880	237.87		
RESISTENCIA PROMEDIO f _c =										235.61		

Figura 44:

Falla (tipo I) típica en probetas con 1% de fibras de acero

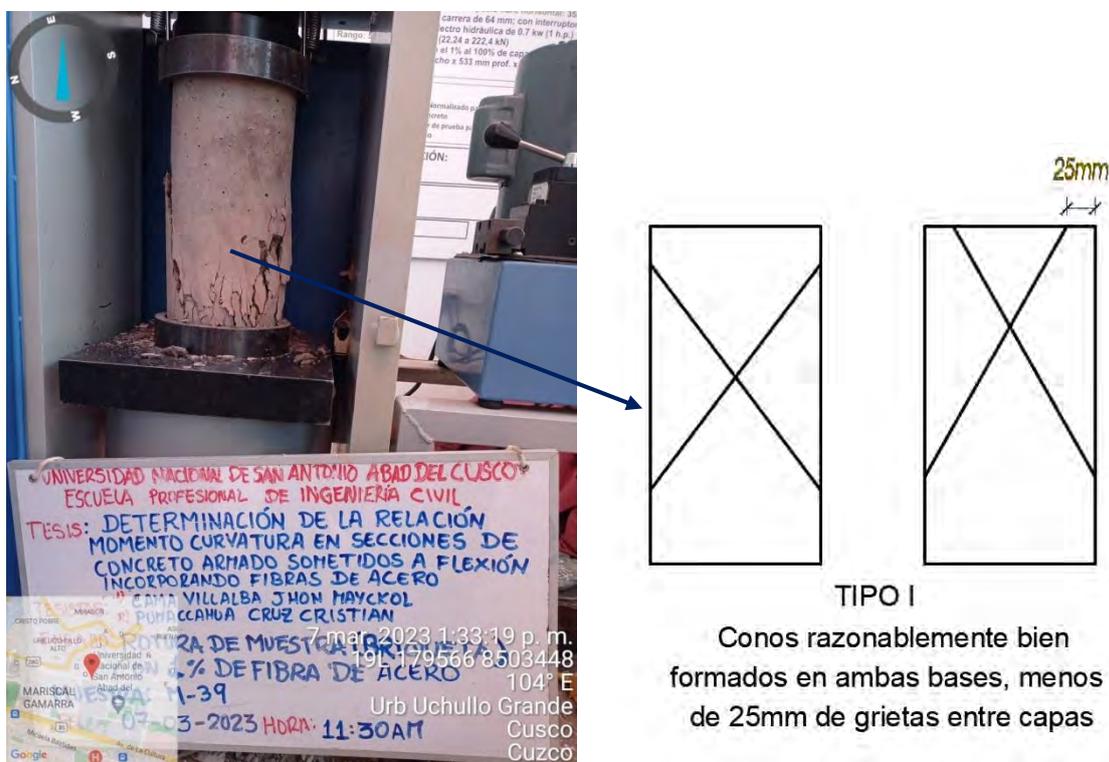


Tabla 41:

Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 1% de Fibra de Acero

ENSAYO:		RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS							
NORMA:		ASTM - C39							
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 1% FIBRA DE ACERO							
MÁQUINA:		MÁQUINA PARA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS							
VELOCIDAD DE ENSAYO:		0.25 ± 0.05 Mpa/s							
MUESTRA		FECHA		ALTURA		ANCHO		MASA	CARGA
		MOLDEO	ENSAYO	(mm)	(mm)	(mm)	(g)	(Kg/cm2)	
M - 1		27/02/2023	27/03/2023	301	301	151	151	12800	340.5
M - 2		27/02/2023	27/03/2023	301	301	151	152	12900	367.0
M - 3		27/02/2023	27/03/2023	301	301	151	151	12800	318.7
M - 4		27/02/2023	27/03/2023	302	301	151	152	12900	335.4
M - 5		27/02/2023	27/03/2023	301	301	151	151	12900	348.5
M - 6		27/02/2023	27/03/2023	301	302	150	151	12800	386.7
M - 7		28/02/2023	28/03/2023	301	301	151	151	12800	331.4
M - 8		28/02/2023	28/03/2023	301	302	151	151	12800	347.4
M - 9		28/02/2023	28/03/2023	301	302	151	152	12900	375.0
M - 10		28/02/2023	28/03/2023	301	301	151	151	12800	351.5
M - 11		28/02/2023	28/03/2023	301	302	151	152	12900	352.1
M - 12		28/02/2023	28/03/2023	301	301	151	151	12800	346.6
RESISTENCIA PROMEDIO f_c =									350.1

Figura 45:

Falla (tipo I) típica en probetas con 2% de fibras de acero

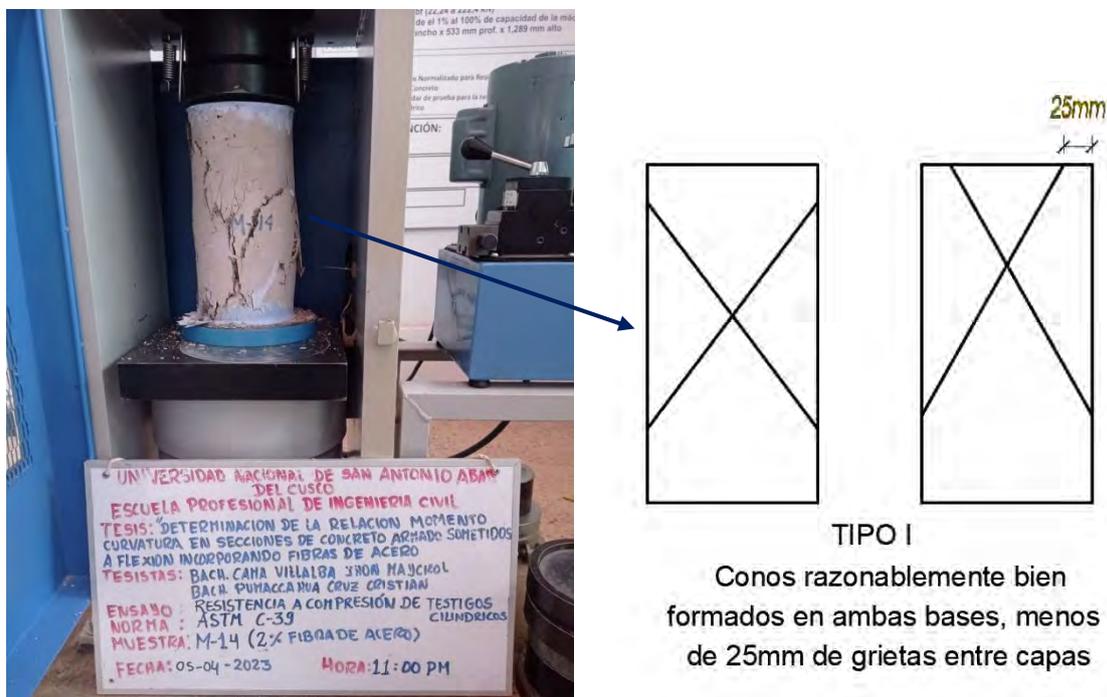


Tabla 42

Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 2% de Fibra de Acero

ENSAYO:		RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS									
NORMA:		ASTM - C39									
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 2% FIBRA DE ACERO									
MÁQUINA:		MÁQUINA PARA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS									
VELOCIDAD DE ENSAYO:		0.25 ± 0.05 Mpa/s									
MUESTRA		FECHA		ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	MASA (g)	CARGA (Kg)	CARGA (kg/cm ²)			
		MOLDEO	ENSAYO								
M - 1		07/03/2023	04/04/2023	301	300.5	150	150	12900	61760	349.49	
M - 2		07/03/2023	04/04/2023	302	300	149	150	12900	63640	362.54	
M - 3		07/03/2023	04/04/2023	305	304	150	148	13000	61650	353.57	
M - 4		07/03/2023	04/04/2023	301	300	150	149	12800	58860	335.31	
M - 5		07/03/2023	04/04/2023	302	301	150	150	12700	60830	344.23	
M - 6		07/03/2023	45020	299	300	149	151	12700	58110	328.84	
M - 7		07/03/2023	04/04/2023	300	301	150	151	12800	62400	350.77	
M - 8		07/03/2023	04/04/2023	299	300	151	152	12800	59110	327.90	
M - 9		07/03/2023	04/04/2023	300	301	149	151	12900	60770	343.89	
M - 10		07/03/2023	04/04/2023	301	302	150	150	12900	64140	362.96	
M - 11		07/03/2023	04/04/2023	300	301	150	149	12900	61560	350.69	
M - 12		07/03/2023	04/04/2023	300	299	151	151	12800	64450	359.90	
RESISTENCIA PROMEDIO f _c =										347.51	

Figura 46:

Falla (tipo I) típica en probetas con 3% de fibras de acero

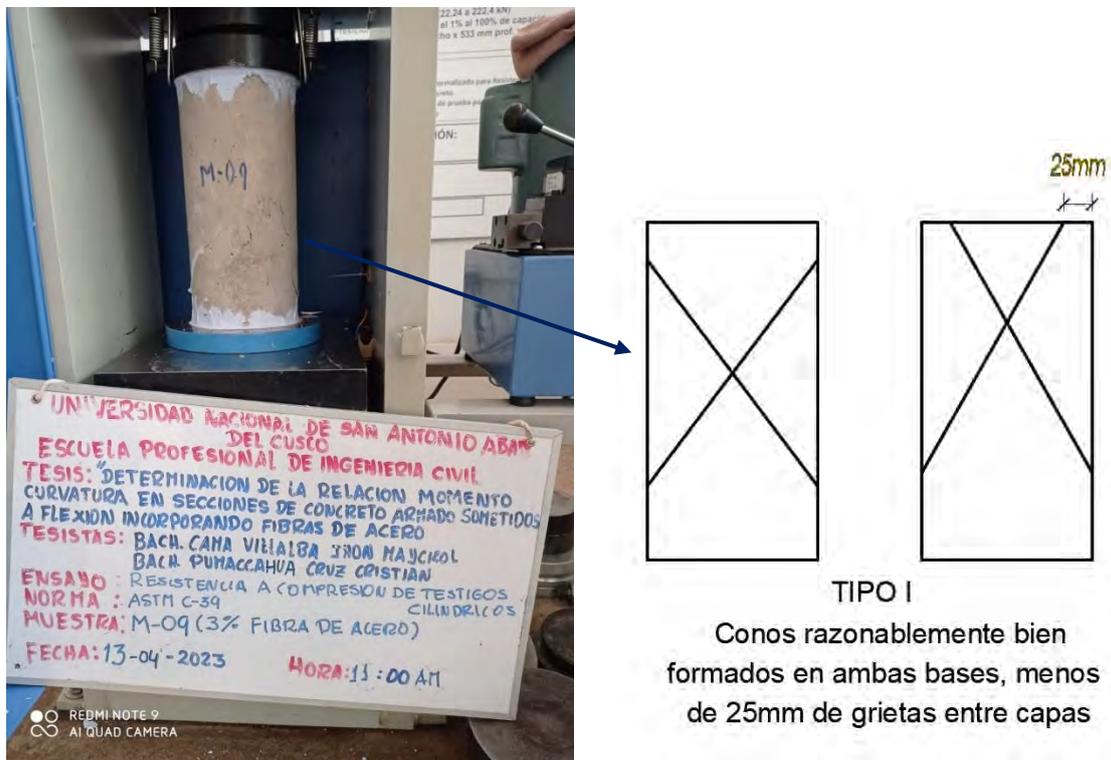


Tabla 43

Determinación de la Resistencia a Compresión de Concreto con 3% de Fibra de Acero

ENSAYO:		RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE TESTIGOS CILINDRICOS								
NORMA:		ASTM - C39								
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 3% FIBRA DE ACERO								
MÁQUINA:		MÁQUINA PARA COMPRESIÓN DE BRIQUETAS								
VELOCIDAD DE ENSAYO:		0.25 ± 0.05 Mpa/s								
MUESTRA	MOLDEO	FECHA		ALTURA (mm)	DIAMETRO (mm)	MASA (g)	CARGA (Kg)	CARGA (kg/cm2)		
		ENSAYO								
M - 1	16/03/2023	13/04/2023	301	301	149	150	12700	57750	326.80	
M - 2	16/03/2023	13/04/2023	302	300	152	148	12800	55850	316.05	
M - 3	16/03/2023	13/04/2023	302	302	151	150	13000	57470	325.21	
M - 4	16/03/2023	13/04/2023	302	303	151	152	12700	57640	326.18	
M - 5	16/03/2023	13/04/2023	301	302	150	149	12700	58590	331.55	
M - 6	16/03/2023	13/04/2023	301	302	150	151	12700	58530	331.21	
M - 7	16/03/2023	13/04/2023	301	300	151	152	12700	63130	357.24	
M - 8	16/03/2023	13/04/2023	301	301	151	152	12900	63490	359.28	
M - 9	16/03/2023	13/04/2023	301	301	151	152	12600	58330	330.08	
M - 10	16/03/2023	13/04/2023	302	301	151	149	12700	55890	316.27	
M - 11	16/03/2023	13/04/2023	302	302	150	149	12700	56020	317.01	
M - 12	16/03/2023	13/04/2023	302	302	150	150	12700	60980	345.08	
RESISTENCIA PROMEDIO f_c =									331.83	

- Una vez ensayado los 48 testigos de concreto, se procedió a verificar los valores finales de resistencia a la compresión de los testigos cilíndricos con ello evidenciamos la influencia que tiene la fibra de acero adicionando 1%, 2% y 3% de fibra de acero en la resistencia a la compresión del concreto. Hallaremos también el porcentaje óptimo de acero que se debe utilizar.

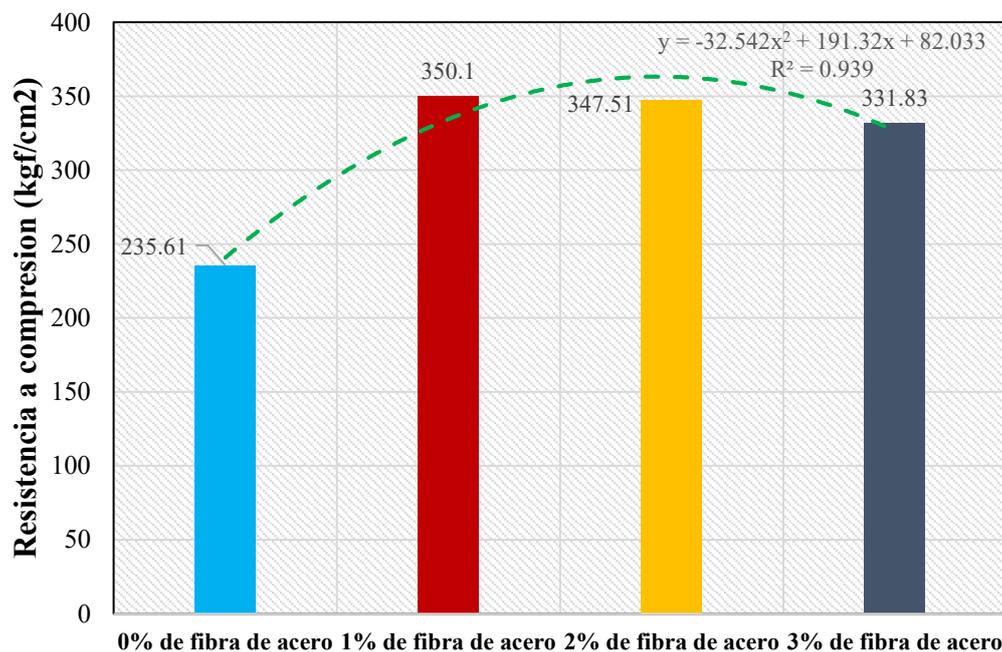
Tabla 44

Resistencias a Compresión de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero

CONCRETO	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	PORCENTAJE DE RESISTENCIA OBTENIDA
CON 0% FIBRA DE ACERO	235.61 kg/cm ²	100.00 %
CON 1% FIBRA DE ACERO	350.10 kg/cm ²	148.59 %
CON 2% FIBRA DE ACERO	347.51 kg/cm ²	147.49 %
CON 3% FIBRA DE ACERO	331.83 kg/cm ²	140.84 %

Figura 47

Comparativa de Resistencia a Compresión del Concreto.



- De esta manera se logra verificar que la máxima resistencia a compresión del concreto se obtiene incorporando un 1 % de fibra de acero en el concreto logrando incrementar hasta en un 148.59% la resistencia de un concreto convencional, también se logra determinar que al seguir incrementando la cantidad de fibra de acero en el concreto se

produce una reducción en la resistencia del concreto, sin embargo, estos valores todavía son superiores a la resistencia convencional del concreto.

4.1.4. RESISTENCIA A LA TRACCIÓN DEL CONCRETO

El procedimiento de la determinación de la resistencia a la tracción del concreto consistió que los testigos cilíndricos con concreto convencional y adicionando el 1%, 2% y 3% de fibra de acero se realizaron de acuerdo a la norma ABNT NDR 7222, norma que describe el método para la determinación de la resistencia a tracción por compresión diametral de testigos cilíndricos de concreto.

A) Procedimiento

- En primer lugar, se procedió a la preparación de la mezcla de concreto de acuerdo a la dosificación diseñada para la resistencia requerida a compresión del concreto.
- Se procede a preparar las muestras de concreto y se codifica de acuerdo al porcentaje de fibra de acero incorporado en el concreto, se tomó como nomenclatura a las muestras con 0%, 1%, 2% y 3% en función del volumen de la muestra.
- Una vez preparado se procede a dejar el fraguado correspondiente por 24 horas para luego codificarlas y proceder a su curado durante el tiempo establecido para su ensayo.
- En total se prepararon 12 testigos por cada condición de incorporación de fibra de acero en el concreto, es decir, que en total se prepararon 48 muestras o briquetas separados por dosificación del concreto y la incorporación de un porcentaje de fibra de acero en función del volumen de la muestra del concreto.

Figura 48

Procedimiento de Ensayo a Tracción del Concreto



B) Toma de datos

- Una vez ensayados las muestras de concreto se procedió a identificar el tipo de falla y a registrar la resistencia máxima obtenido para luego obtener una resistencia a compresión máxima promedio.
- Para el caso de una resistencia a tracción convencional, es decir, para la muestra que tiene un 0% de incorporación de fibra de acero la resistencia máxima a compresión determinada es de 28.54 kg/cm^2 , se muestran los datos obtenidos de los 12 testigos ensayados.
- Al igual que en el anterior caso se realizó también el ensayo a tracción del concreto con la incorporación del 1% de fibra de acero y llega a una resistencia máxima de 35.55 kg/cm^2 , se muestran los datos obtenidos de los 12 testigos ensayados.
- De otra parte, se realizó también el ensayo a tracción del concreto con la incorporación del 2% de fibra de acero y llega a una resistencia máxima de 34.97 kg/cm^2 , se muestran los datos obtenidos de los 12 testigos ensayados.

- Por último, se realizó también el ensayo a compresión del concreto con la incorporación del 3% de fibra de acero y llega a una resistencia máxima de 26.01 kg/cm^2 , se muestran los datos obtenidos de los 12 testigos ensayados.

A continuación, se muestra el modo de falla típica de probetas cilíndricas sometidas a tracción indirecta, podemos observar una falla frágil con una rotura brusca, al momento del ensayo es necesario la protección necesaria ante fallas de este tipo de espécimen.

Figura 49:

Falla típica (frágil) en probetas cilíndricas con 0% de fibras de acero sometidas a tracción indirecta.



Tabla 45

Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto Convencional

ENSAYO:		TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL										
NORMA:		BRASILERA ABNT NBR 7222										
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 0% FIBRA DE ACERO										
MÁQUINA:		MÁQUINA UNIVERSAL										
VELOCIDAD:		0.05 Mpa/seg (Velocidad de ensayo)										
FECHA		ALTURA		ANCHO		MASA		CARGA MÁXIMA		T. INDIRECTA		T. DIRECTA
MUESTRA	MOLDEO	ENSAYO	(mm)	(mm)	(g)	(Kg)	(kg/cm2)	(kg/cm2)				
M - 1	14/03/2023	11/04/2023	302	301	150	151	12700	23398.04	32.83	29.54		
M - 2	14/03/2023	11/04/2023	303	302	150	151	12600	22984.86	32.14	28.93		
M - 3	14/03/2023	11/04/2023	303	302	152	150	12700	24399.17	34.01	30.61		
M - 4	16/03/2023	13/04/2023	302	301	149	150	12500	21258.06	30.02	27.02		
M - 5	16/03/2023	13/04/2023	302	302	148	150	12700	26884.34	38.04	34.23		
M - 6	16/03/2023	13/04/2023	302	303	151	152	12900	23231.62	32.27	29.04		
M - 7	16/03/2023	13/04/2023	300	301	150	151	12400	22313.1	31.41	28.27		
M - 8	16/03/2023	13/04/2023	302	303	150	151	12700	21707.55	30.35	27.32		
M - 9	16/03/2023	13/04/2023	303	302	152	153	12800	21152.81	29.19	26.27		
M - 10	16/03/2023	13/04/2023	301	301	150	151	12500	21391.85	30.06	27.06		
M - 11	16/03/2023	13/04/2023	302	301	151	151	12600	21152.81	29.58	26.62		
M - 12	16/03/2023	13/04/2023	303	304	155	155	12700	22630.63	30.63	27.56		
RESISTENCIA PROMEDIO f_{ct} =										28.54		

Tabla 46

Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 1% de Fibra de Acero

ENSAYO:		TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL										
NORMA:		BRASILERA ABNT NBR 7222										
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 1% FIBRA DE ACERO										
MÁQUINA:		MÁQUINA UNIVERSAL										
VELOCIDAD:		0.05 Mpa/seg (Velocidad de ensayo)										
FECHA		ALTURA		ANCHO		MASA		CARGA MÁXIMA		T. INDIRECTA		T. DIRECTA
MUESTRA	MOLDEO	ENSAYO	(mm)	(mm)	(g)	(Kg)	(kg/cm2)	(kg/cm2)				
M - 1	20/03/2023	18/04/2023	302	302	151	152	13000	27301.27	37.99	34.19		
M - 2	20/03/2023	18/04/2023	301	302	150	151	12900	26126.02	36.65	32.99		
M - 3	20/03/2023	18/04/2023	300	301	151	150	12700	27421.93	38.60	34.74		
M - 4	20/03/2023	18/04/2023	301	302	151	152	13000	28290.11	39.43	35.49		
M - 5	20/03/2023	18/04/2023	301	302	151	150	12800	28290.11	39.69	35.72		
M - 6	20/03/2023	18/04/2023	301	302	151	150	12800	28315.96	39.73	35.75		
M - 7	20/03/2023	18/04/2023	302	301	150	151	12700	26458.5	37.12	33.41		
M - 8	20/03/2023	18/04/2023	302	301	152	151	12800	26328.77	36.70	33.03		
M - 9	20/03/2023	18/04/2023	302	302	152	152	12900	31449.38	43.62	39.25		
M - 10	20/03/2023	18/04/2023	301	302	152	151	12800	28571.33	39.82	35.84		
M - 11	20/03/2023	18/04/2023	301	300	151	150	12700	29203.19	41.11	37.00		
M - 12	20/03/2023	18/04/2023	300	301	150	151	12700	30894.63	43.49	39.14		
RESISTENCIA PROMEDIO $f_{ct} =$										35.55		

Tabla 47

Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 2% de Fibra de Acero

ENSAYO:		TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL										
NORMA:		BRASILERA ABNT NBR 7222										
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 2% FIBRA DE ACERO										
MÁQUINA:		MÁQUINA UNIVERSAL										
VELOCIDAD:		0.05 Mpa/seg (Velocidad de ensayo)										
FECHA		ALTURA		ANCHO		MASA		CARGA MÁXIMA		T. INDIRECTA		T. DIRECTA
MUESTRA	MOLDEO	ENSAYO	(mm)	(mm)	(g)	(Kg)	(kg/cm2)	(kg/cm2)				
M - 1	21/03/2023	18/04/2023	302	301	150	151	12700	26843.95	37.66	33.90		
M - 2	21/03/2023	18/04/2023	302	303	150	150	12400	29635.01	41.58	37.42		
M - 3	21/03/2023	18/04/2023	302	301	151	152	12800	27071.3	37.73	33.96		
M - 4	21/03/2023	18/04/2023	304	305	152	153	13400	28566.34	39.16	35.25		
M - 5	21/03/2023	18/04/2023	301	302	151	152	12800	30300.43	42.23	38.01		
M - 6	21/03/2023	18/04/2023	301	302	151	152	13000	28188.05	39.29	35.36		
M - 7	21/03/2023	18/04/2023	301	301	152	151	12700	28490.14	39.77	35.80		
M - 8	22/03/2023	19/04/2023	301	302	151	151	13100	27558.92	38.54	34.68		
M - 9	22/03/2023	19/04/2023	302	301	152	151	12700	25825.24	35.99	32.39		
M - 10	22/03/2023	19/04/2023	301	302	152	151	12800	28393.53	39.57	35.62		
M - 11	22/03/2023	19/04/2023	303	302	151	151	12800	27219.63	37.94	34.14		
M - 12	22/03/2023	19/04/2023	302	302	151	152	12900	26453.04	36.81	33.13		
RESISTENCIA PROMEDIO $f_{ct} =$										34.97		

Tabla 48

Determinación de Resistencia a Tracción de Concreto con Incorporación de 3% de Fibra de Acero

ENSAYO:		TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL										
NORMA:		BRASILERA ABNT NBR 7222										
MATERIAL:		BRIQUETA DE CONCRETO + 3% FIBRA DE ACERO										
MÁQUINA:		MÁQUINA UNIVERSAL										
VELOCIDAD:		0.05 Mpa/seg (Velocidad de ensayo)										
FECHA		ALTURA		ANCHO		MASA		CARGA MÁXIMA		T. INDIRECTA		T. DIRECTA
MUESTRA	MOLDEO	ENSAYO	(mm)	(mm)	(g)	(Kg)	(kg/cm2)	(kg/cm2)				
M - 1	24/04/2023	22/05/2023	305	304	149	150	12700	20177.15	28.22	25.40		
M - 2	24/04/2023	22/05/2023	301	300	149	151	12600	20242.47	28.59	25.73		
M - 3	24/04/2023	22/05/2023	299	301	150	149	12700	20026.11	28.43	25.58		
M - 4	24/04/2023	22/05/2023	302	301	151	150	12900	21088.42	29.59	26.63		
M - 5	24/04/2023	22/05/2023	300	302	150	149	12800	19171.08	27.12	24.41		
M - 6	24/04/2023	22/05/2023	303	302	152	150	12900	21141.94	29.47	26.52		
M - 7	24/04/2023	22/05/2023	300	301	150	149	12800	21321.57	30.21	27.19		
M - 8	24/04/2023	22/05/2023	301	300	150	151	12900	20383.99	28.69	25.82		
M - 9	24/04/2023	22/05/2023	303	301	151	150	12900	21812.81	30.55	27.50		
M - 10	24/04/2023	22/05/2023	301	300	152	151	13000	20223.42	28.28	25.45		
M - 11	24/04/2023	22/05/2023	301	300	150	151	12700	20274.67	28.54	25.69		
M - 12	24/04/2023	22/05/2023	302	301	151	150	12900	20745.05	29.11	26.19		
RESISTENCIA PROMEDIO $f_{ct} =$										26.01		

- Una vez ensayado los 48 testigos de concreto ensayados se procedió a verificar los valores finales de resistencia a la tracción de los testigos cilíndricos con ello evidenciamos la influencia que tiene la fibra de acero adicionando 1%, 2% y 3% de fibra de acero en la resistencia a la compresión del concreto. Hallaremos también el porcentaje óptimo de acero que se debe utilizar.

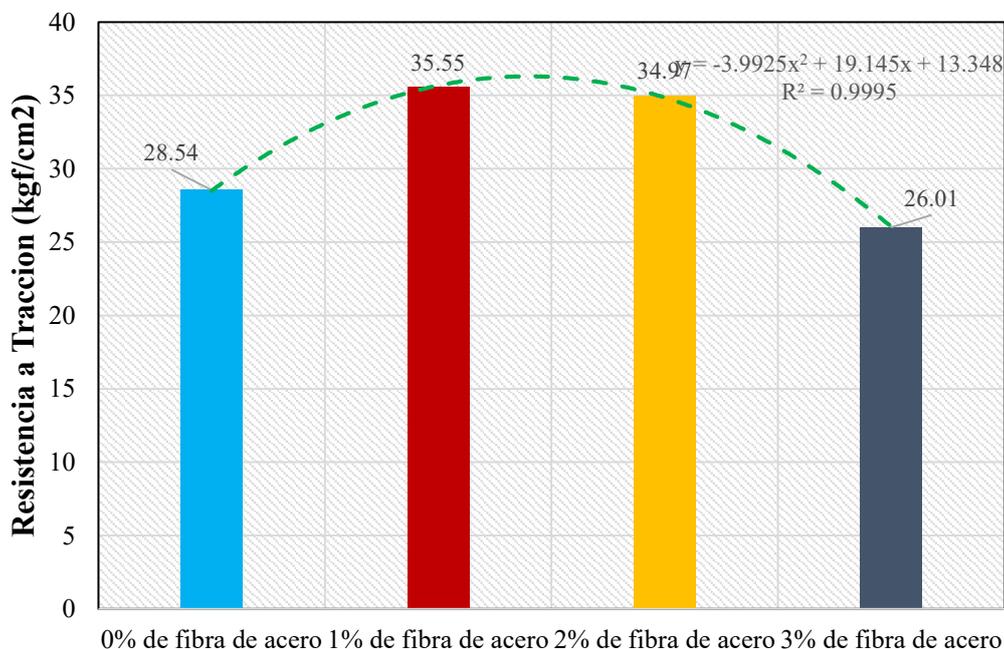
Tabla 49

Resistencias a Tracción de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero

CONCRETO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	PORCENTAJE DE RESISTENCIA OBTENIDA
CON 0% FIBRA DE ACERO	28.54 kg/cm ²	100.00 %
CON 1% FIBRA DE ACERO	35.55 kg/cm ²	124.56 %
CON 2% FIBRA DE ACERO	34.97 kg/cm ²	122.53 %
CON 3% FIBRA DE ACERO	26.01 kg/cm ²	91.14 %

Figura 50

Comparativa de Resistencia a Tracción del Concreto



- De esta manera se logra verificar que la máxima resistencia a tracción del concreto se obtiene incorporando un 1 % de fibra de acero en el concreto logrando incrementar

hasta en un 124.56% la resistencia de un concreto convencional, también se logra determinar que al seguir incrementando la cantidad de fibra de acero en el concreto se produce una reducción en la resistencia del concreto produciendo una mejora hasta la incorporación de un 2% de fibra, sin embargo, al seguir incrementando el porcentaje de fibra de acero la resistencia a tracción es menor a la convencional siendo este perjudicial para las propiedades mecánicas..

4.1.5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS DE CONCRETO ARMADO

El presente ensayo se realiza para determinar la resistencia a flexión a través de la aplicación de cargas que pueden ser concéntricas o separadas a los 2/3 de la longitud libre el elemento, para este caso se determinó de acuerdo a lo indicado en la normativa internacional ASTM C78 cuyas cargas son distribuidas en los puntos tercios aplicando la mitad de las cargas en estos puntos, el módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio.

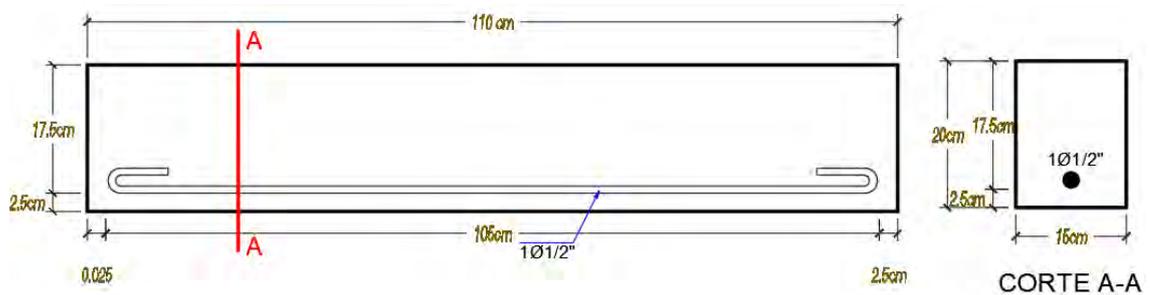
4.1.5.1.VIGAS DE CONCRETO SIMPLEMENTE ARMADAS

A) Procedimiento

- En primer lugar, se procedió a la preparación de la mezcla de concreto de acuerdo a la dosificación diseñada para la resistencia requerida a compresión del concreto.
- Se procede a preparar las muestras de concreto y se codifica de acuerdo al porcentaje de fibra de acero incorporado en el concreto, se tomó como nomenclatura a las muestras con 0% y 1% en función al porcentaje de fibra de acero utilizado.
- Las dimensiones de las vigas a preparar son de 0.2 m de peralte, 0.15 m de ancho con una longitud total de 1.10 m, en cuanto al refuerzo interior de la viga, se dispuso una varilla de 1/2" de acero corrugado en la parte inferior de la viga (acero en tracción).

Figura 51

Detalle de dimensiones y armado de viga simplemente armada



- Se procede a realizar el curado en un tiempo de 28 días, cuando se alcanza la resistencia máxima a compresión del concreto se realiza el ensayo.
- Se procede a colocar las muestras ya codificadas en la máquina Universal para la determinación de la resistencia a la flexión de la viga, se verifican los puntos de falla y el reporte de la carga indicada y la deflexión reportada en la viga.

Figura 52

Procedimiento de Ensayo de Resistencia a Flexión en Vigas simplemente armadas



B) Toma de datos

- Una vez ensayados las muestras de concreto se procedió a identificar el tipo de falla y a registrar los datos de carga y deflexión en la máquina Universal, a continuación,

se muestra el cuadro de identificación de los especímenes (vigas simplemente armadas) y el correspondiente detalle del ensayo.

Tabla 50:

Identificación de vigas simplemente armadas

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES			PUNTO DE APLICACIÓN DE CARGA
	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	PERALTE (m)	
V-01 S.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-02 S.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-03 S.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-01 S.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-02 S.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-03 S.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro

V-01 S.A. - 0%F. A: Viga 01 simplemente armada con 0% de fibras de acero

V-02 S.A. - 0%F. A: Viga 02 simplemente armada con 0% de fibras de acero

V-03 S.A. - 0%F. A: Viga 03 simplemente armada con 0% de fibras de acero

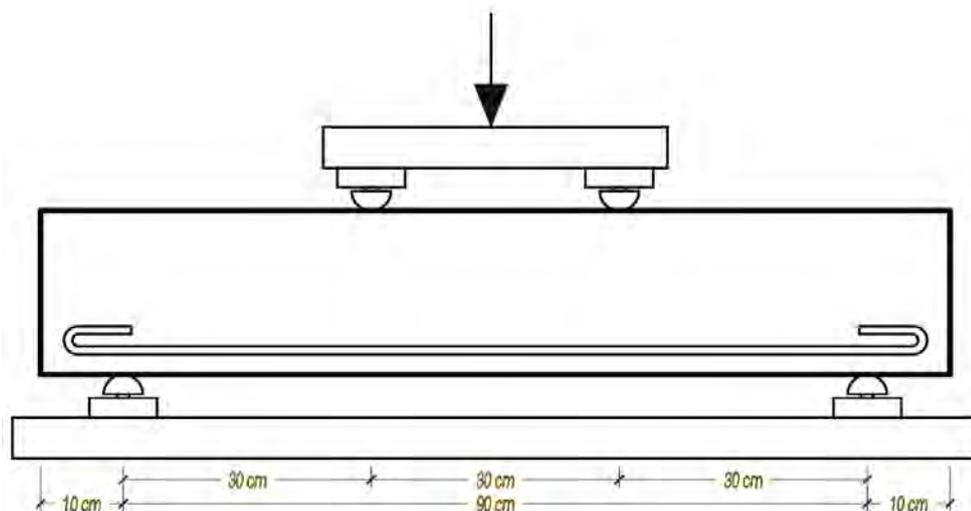
V-01 S.A. - 1%F. A: Viga 01 simplemente armada con 1% de fibras de acero

V-02 S.A. - 1%F. A: Viga 02 simplemente armada con 1% de fibras de acero

V-03 S.A. - 1%F. A: Viga 03 simplemente armada con 1% de fibras de acero

Figura 53:

puntos de aplicación de carga en vigas simplemente armadas



VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS CON 0% DE FIBRA DE ACERO

Figura 54

Modo de falla en Viga V-01 S.A. - 0%F.A.



Figura 55

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 S.A. - 0%F.A.

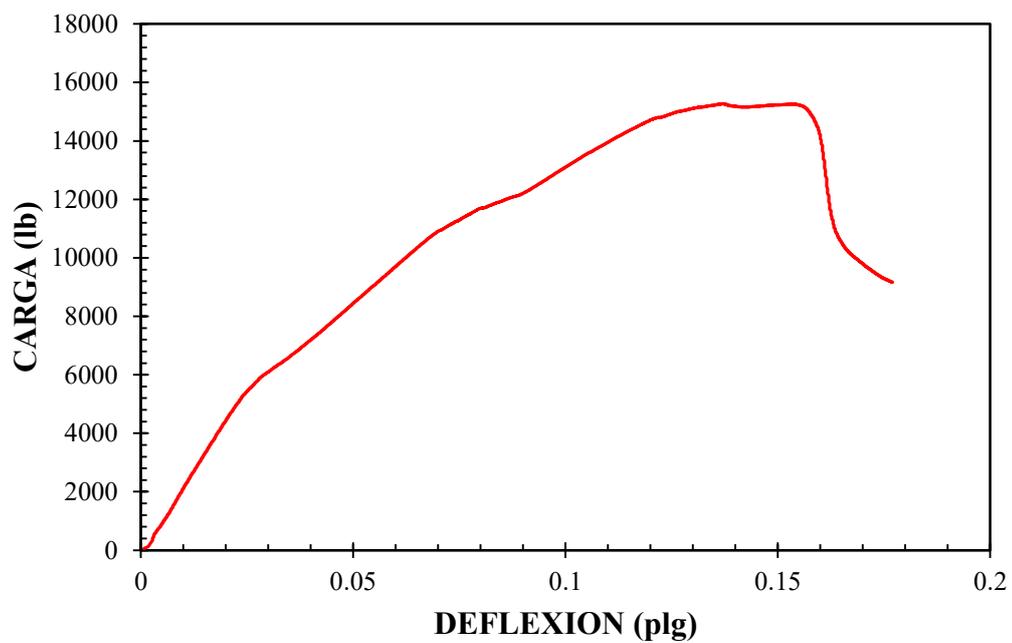


Figura 56

Modo de falla en Viga V-02 S.A. - 0%F.A.



Figura 57

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 S.A. - 0%F.A.

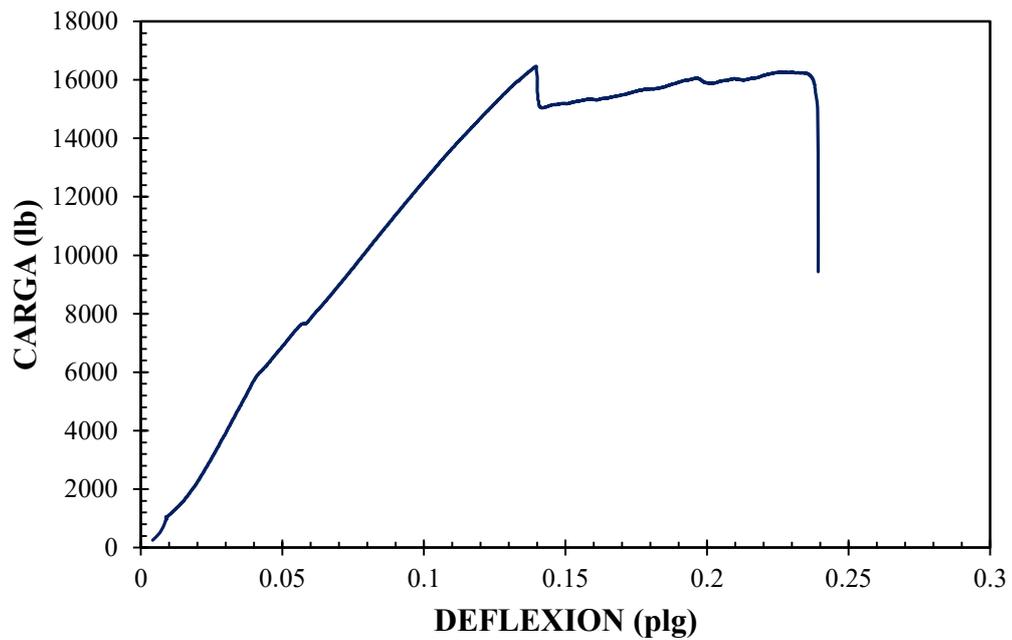


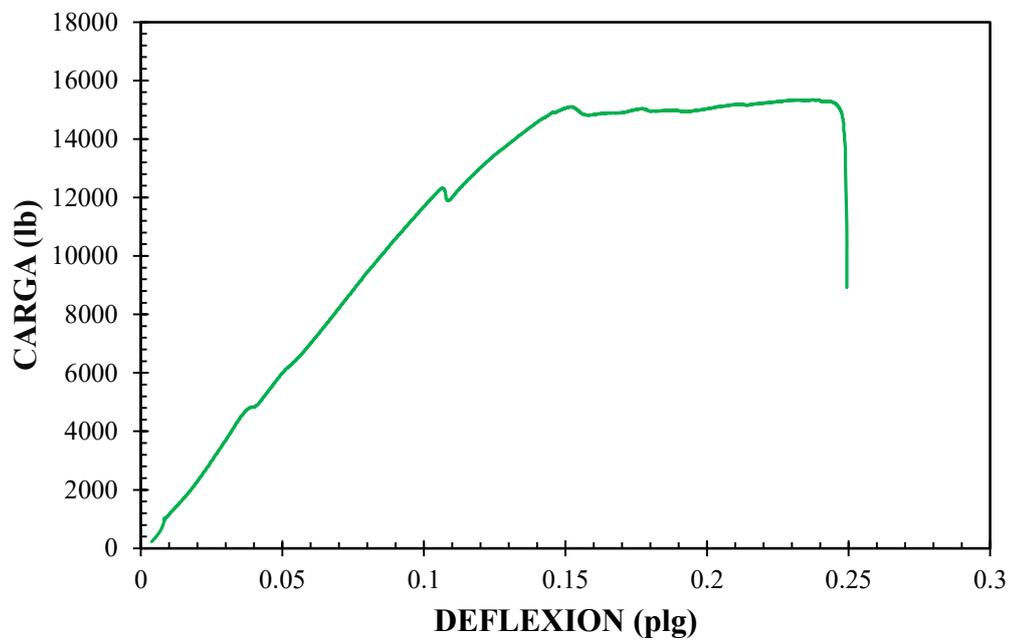
Figura 58

Modo de Falla en Viga V-03 S.A. - 0%F.A.



Figura 59

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 S.A. - 0%F.A.



A continuación, se muestra una tabla de resumen de las cargas máximas soportadas por las vigas simplemente armadas y una gráfica comparativa de las 3 vigas ensayadas.

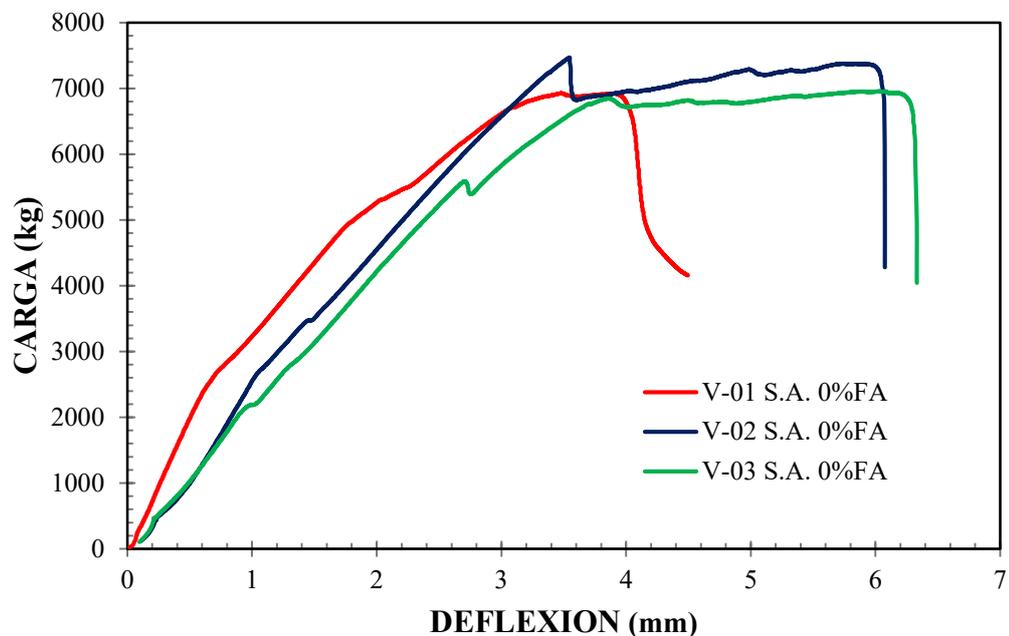
Tabla 51

Resistencia a Flexión de Vigas simplemente armadas con 0% de fibras de acero.

MUESTRA (und)	CARGA MÁXIMA (kg)
V-01 S.A. - 0%F.A.	6928.62
V-02 S.A. - 0%F.A.	7469.75
V-03 S.A. - 0%F.A.	6956.29

Figura 60

Diagrama Carga - Deflexión de Vigas simplemente armadas con 0% de FA



De la comparativa anterior de los resultados de las pruebas realizadas en las vigas de concreto se procede a elegir una gráfica representativa que no se encuentre muy alejado de los resultados similares, para el cálculo del diagrama momento curvatura se utilizarán los datos de la viga V-03 S.A. 0%F.A., el cual indica los siguientes puntos de agrietamiento, cedencia y agotamiento.

Figura 61

Punto de Agrietamiento, Cedencia y Ultimo de Viga simplemente armada con 0% de FA

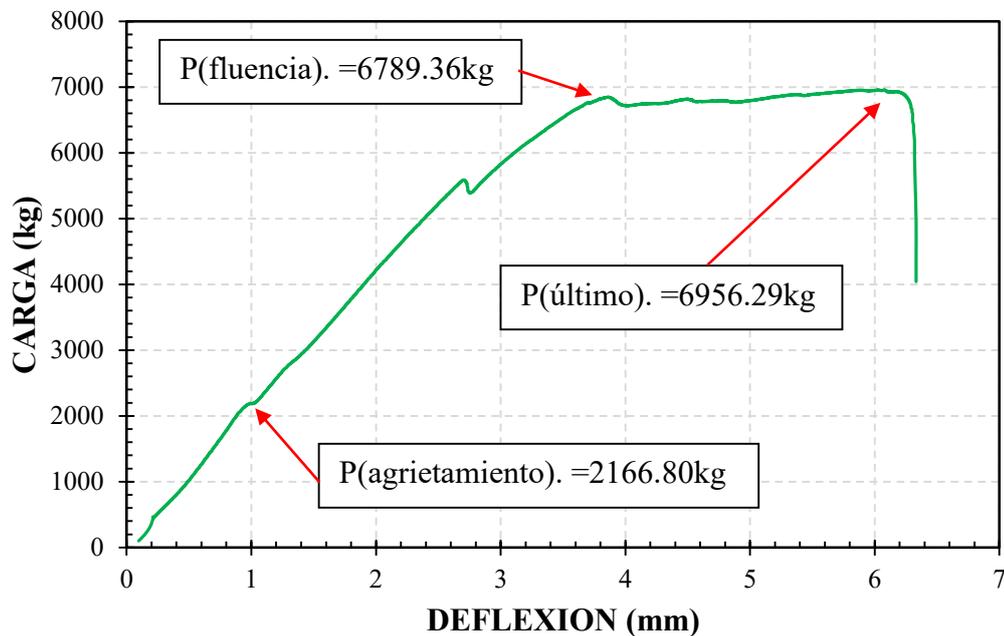


Tabla 52

Carga de Viga simplemente reforzada con 0% de Fibra de Acero

Viga	Estado	Carga (kg)
simplemente reforzada con 0% de fibra de acero	Agrietamiento	2166.80
	Fluencia	6789.36
	Ultimo	6956.29

VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS CON 1% DE FIBRA DE ACERO

- A continuación, procedemos a identificar la falla de las vigas y a registrar los datos de carga y deflexión en la máquina Universal.
- Al igual que en el anterior caso es necesario la verificación del diagrama carga deflexión de las vigas por cada elemento ensayado y con la comparativa de los diagramas obtener los datos de agrietamiento, cedencia y agotamiento de la viga más representativa.

Figura 62

Modo de falla en Viga V-01 S.A. - 1%F.A.



Figura 63

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 S.A. - 1%F.A.

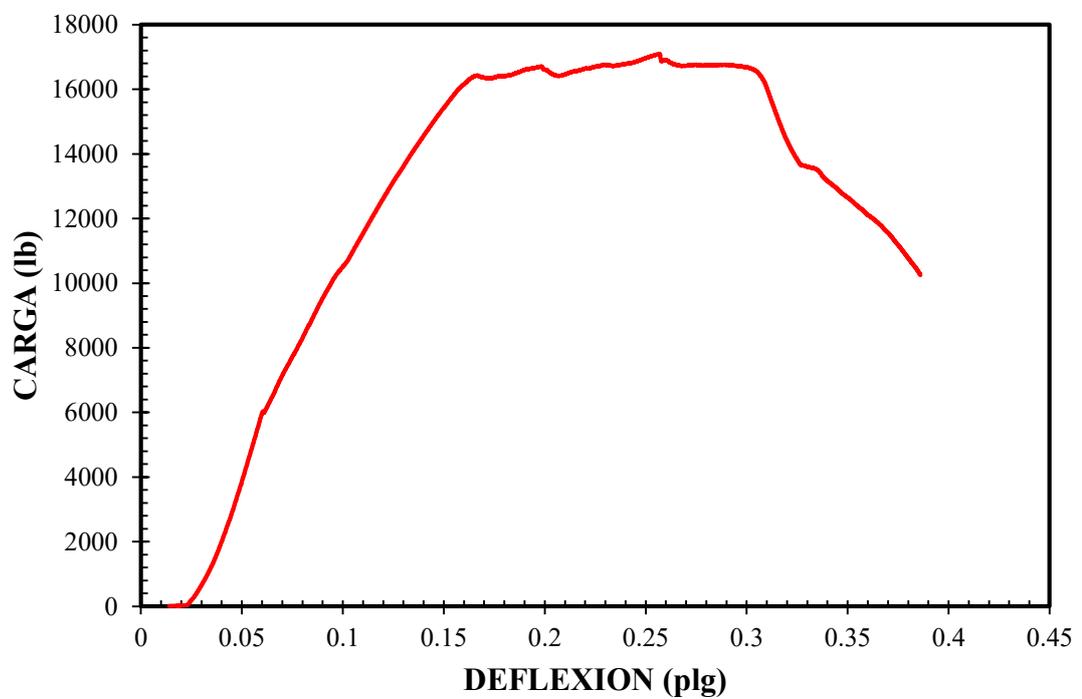


Figura 64

Modo de falla en Viga V-02 S.A. - 1%F.A.



Figura 65

Diagrama Carga-Deflexión de Viga V-02 S.A. - 1%F.A.

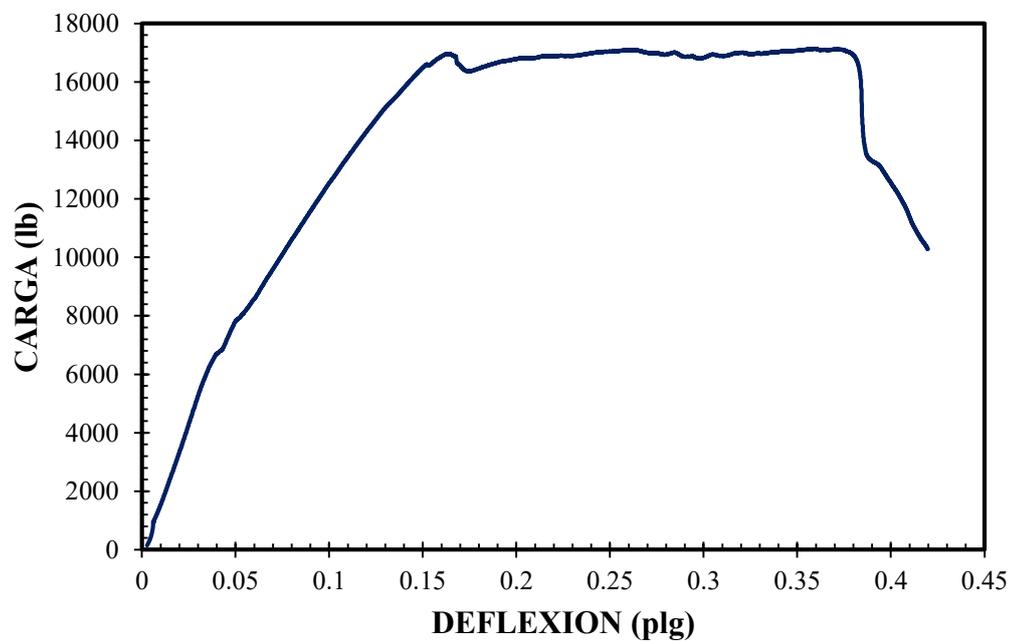


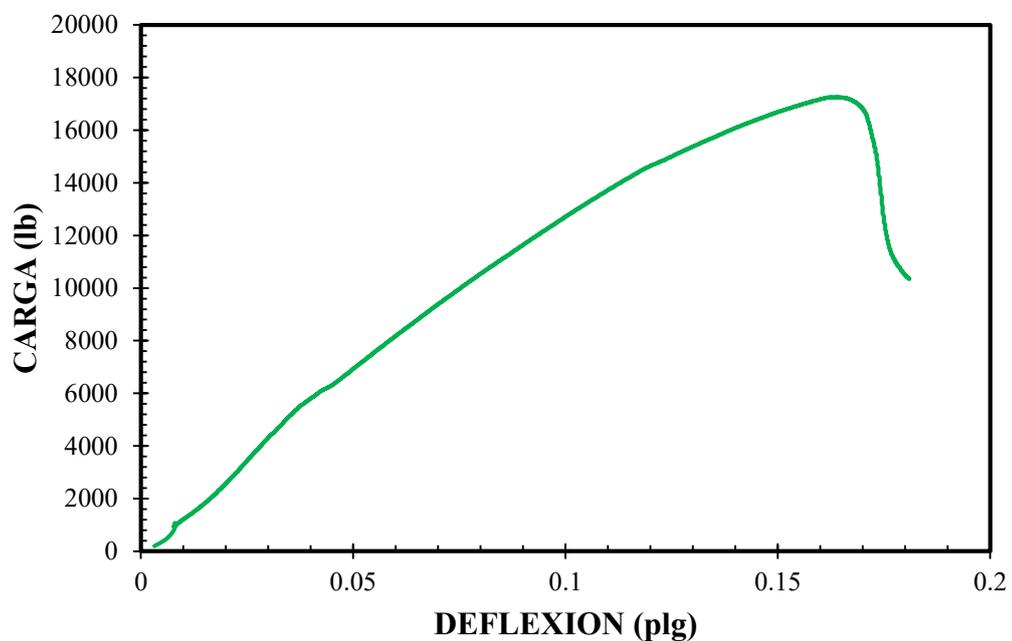
Figura 66

Modo de falla en Viga V-03 S.A. - 1%F.A.



Figura 67

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 S.A. - 1%F.A.



A continuación, se muestra una tabla de resumen de las cargas máximas soportadas por las vigas simplemente armadas y una gráfica comparativa de las 3 vigas ensayadas.

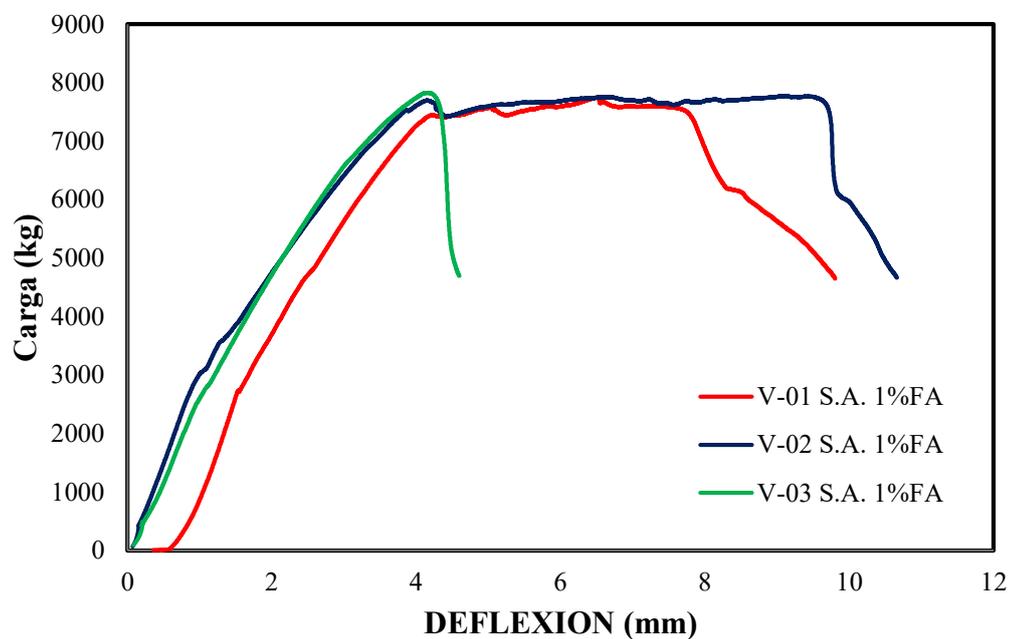
Tabla 53

Resistencia a Flexión de Vigas simplemente armadas

MUESTRA (und)	CARGA MÁXIMA (kg)
V-01 S.A. - 1%F.A.	7751.89
V-02 S.A. - 1%F.A.	7775.48
V-03 S.A. - 1%F.A.	7829.00

Figura 68

Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas simplemente armadas con 1% de FA



De la comparativa anterior de los resultados de las pruebas realizadas en las vigas de concreto se procede a elegir una gráfica representativa que no se encuentre muy alejado de los resultados similares, para el cálculo del diagrama momento curvatura se utilizaran los datos de la viga V-01 S.A. 1%F.A., el cual indica los siguientes puntos de agrietamiento, cedencia y agotamiento.

Figura 69

Punto de Agrietamiento, Cedencia y Agotamiento de Viga con 1% de Fibra de Acero

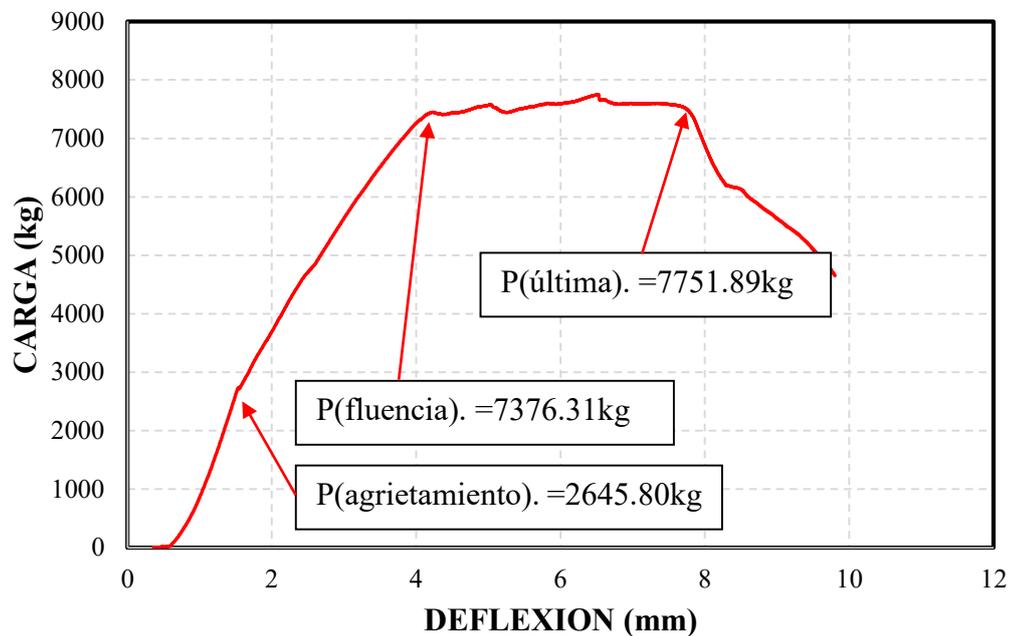


Tabla 54

Cargas en Viga simplemente armada con 1% de Fibra de Acero

Viga simplemente armada con 1% de fibra de acero	Estado	Carga (kg)
	Agrietamiento	2645.80
	Fluencia	7376.31
	Ultima	7751.89

Tabla 55:

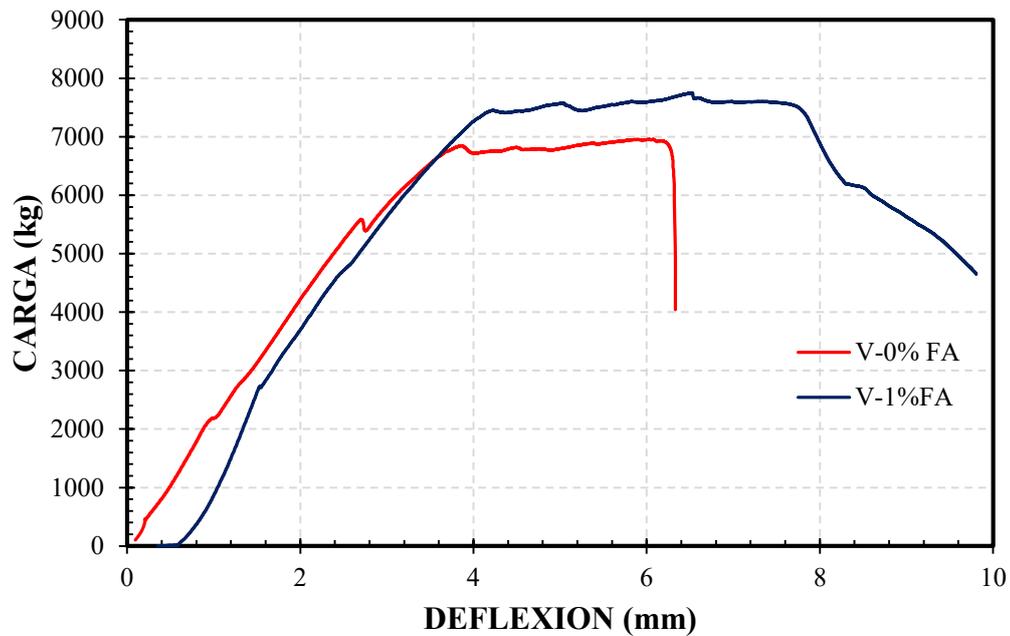
Tipo de falla en vigas simplemente armadas.

MUESTRA (Und.)	TIPO DE FALLA (mm)
V-01 S.A. - 0%F.A.	Compresión por cortante
V-02 S.A. - 0%F.A.	Flexión
V-03 S.A. - 0%F.A.	Flexión
V-01 S.A. - 1%F.A.	Flexión
V-02 S.A. - 1%F.A.	Flexión
V-03 S.A. - 1%F.A.	Compresión por cortante

A continuación, se muestra la comparativa de graficas pertenecientes a las vigas simplemente armadas representativas con 0% de fibra de acero y 1% de fibra de acero.

Figura 70

Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas simplemente armadas con 0% y 1% de fibras de acero



- Se verifica de esta manera que al incorporar fibras de acero en el concreto se logra una mejora en la carga de soporte y en la deflexión mejorando de manera directa la ductilidad de la sección sometidos a flexión, se muestra una tabla de resumen de la comparativa y mejora de estos parámetros.

Tabla 56

Comparativa de Cargas en vigas simplemente armadas

	AGRIETAMIENTO		CEDENCIA		ULTIMO	
	Fibra 0%	Fibra 1%	Fibra 0%	Fibra 1%	Fibra 0%	Fibra 1%
Carga	2166.80	2645.80	6789.36	7376.31	6956.29	7751.89

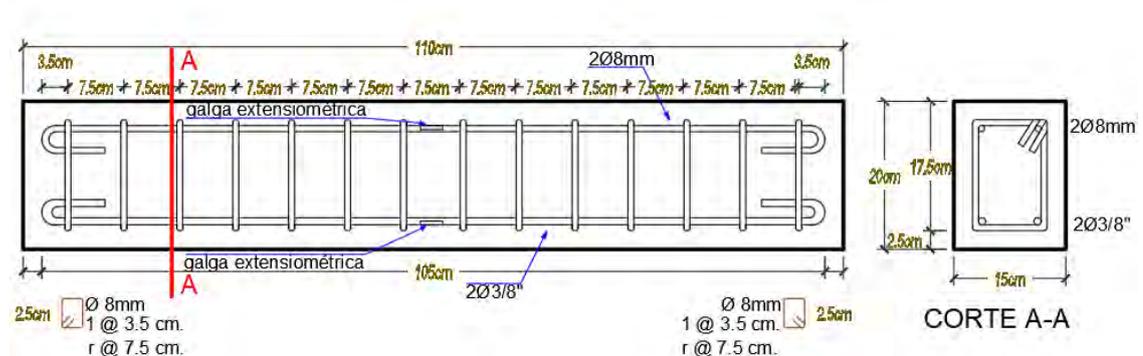
4.1.5.2. VIGAS DE CONCRETO DOBLEMENTE ARMADAS CON CONFINAMIENTO

A) Procedimiento

- En primer lugar, se procedió a la preparación de la mezcla de concreto de acuerdo a la dosificación diseñada para la resistencia requerida a compresión del concreto.
- Se procede a preparar las muestras de concreto y se codifica de acuerdo al porcentaje de fibra de acero incorporado en el concreto, se tomó como nomenclatura a las muestras con 0% y 1% en función del volumen de la muestra, se tiene vigas de 1% debido a lo indicado en el ítem 3.3.2.
- Las dimensiones de las vigas a preparar son de 0.2 m de peralte, 0.15 m de ancho y una longitud total de 1.10 m se tiene una distancia entre apoyos de la viga de 90 cm y una distancia entre apoyos de las caras de 30 cm, en cuanto al refuerzo interior de la viga, la distribución de acero es de la siguiente manera: se tiene acero positivo (En tracción) $2 \Phi 3/8''$ y como acero negativo $2 \Phi 8\text{mm}$, estribos distribuidos de la siguiente manera $1 \Phi 8\text{mm} @ 3.5\text{cm}$. R $\Phi 7.5\text{cm}$.

Figura 71:

Detalle de dimensiones y armado de viga doblemente armada con confinamiento



- Se procede a realizar el curado en un tiempo de 28 días, cuando se alcanza la resistencia máxima a compresión del concreto se realiza el ensayo.

- Se procede a colocar las muestras ya codificadas en la máquina Universal para la determinación de la resistencia a la flexión de la viga, se verifican los puntos de falla y el reporte de la carga indicada y la deflexión reportada en la viga.

Figura 72

procedimiento de ensayo de resistencia a flexión en vigas doblemente armadas



B) Toma de datos

- Una vez ensayados las muestras de concreto se procedió a identificar el tipo de falla y a registrar los datos de carga y deflexión en la máquina Universal.
- A continuación, se muestra el cuadro de identificación de los especímenes (vigas simplemente armadas) y el correspondiente detalle del ensayo.

Tabla 57:

Identificación de vigas doblemente armadas

DENOMINACIÓN	DIMENSIONES			PUNTO DE APLICACIÓN DE CARGA
	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	PERALTE (m)	
V-01 D.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-02 D.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-03 D.A. - 0%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-01 D.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-02 D.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro
V-03 D.A. - 1%F.A.	1.10	0.15	0.20	En los tercios del claro

V-01 D.A. - 0%F. A: Viga 01 doblemente armada con 0% de fibras de acero

V-02 D.A. - 0%F. A: Viga 02 doblemente armada con 0% de fibras de acero

V-03 D.A. - 0%F. A: Viga 03 doblemente armada con 0% de fibras de acero

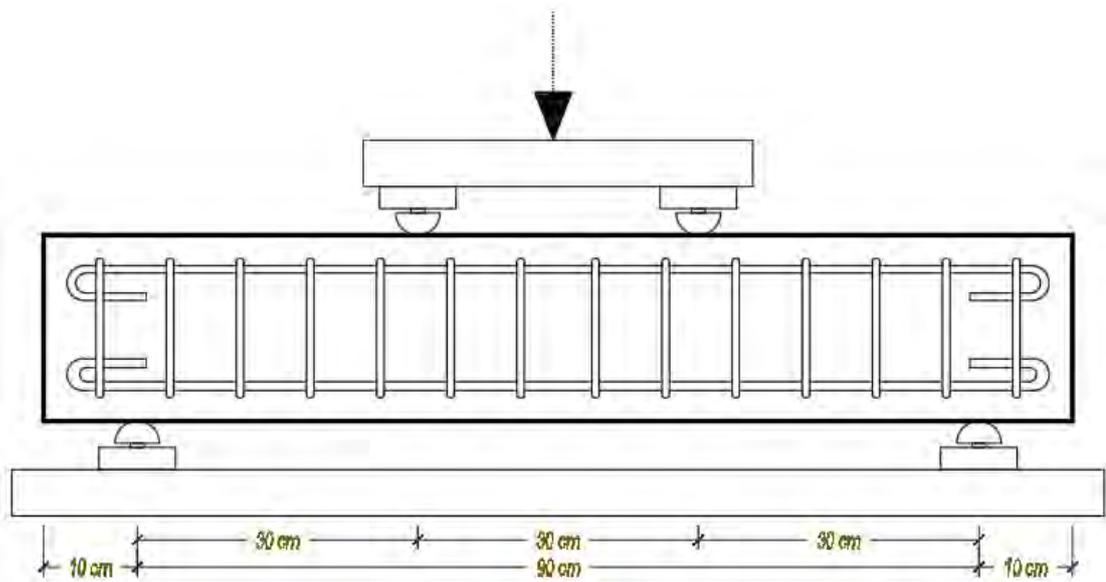
V-01 D.A. - 1%F. A: Viga 01 doblemente armada con 1% de fibras de acero

V-02 D.A. - 1%F. A: Viga 02 doblemente armada con 1% de fibras de acero

V-03 D.A. - 1%F. A: Viga 03 doblemente armada con 1% de fibras de acero

Figura 73:

Puntos de aplicación de carga en vigas doblemente armadas.



VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS CON 0% DE FIBRA DE ACERO

Figura 74

modo de falla en viga V-01 D.A. - 0%F. A.



Figura 75

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 D.A. - 0%F. A.

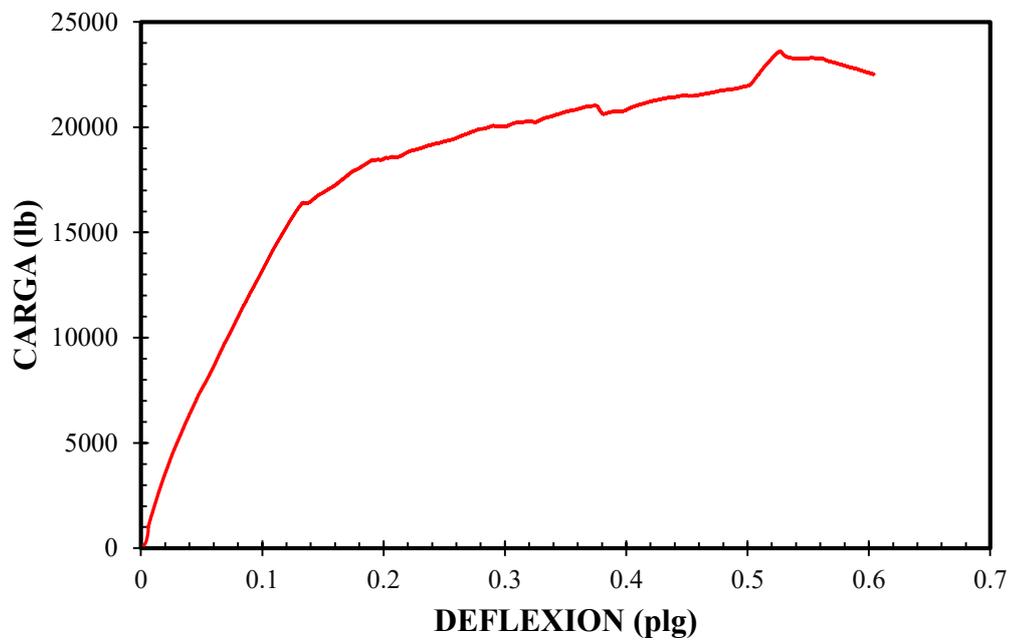


Figura 76

Modo de falla en Viga V-02 D.A. - 0%F. A.



Figura 77

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 D.A. - 0%F. A.

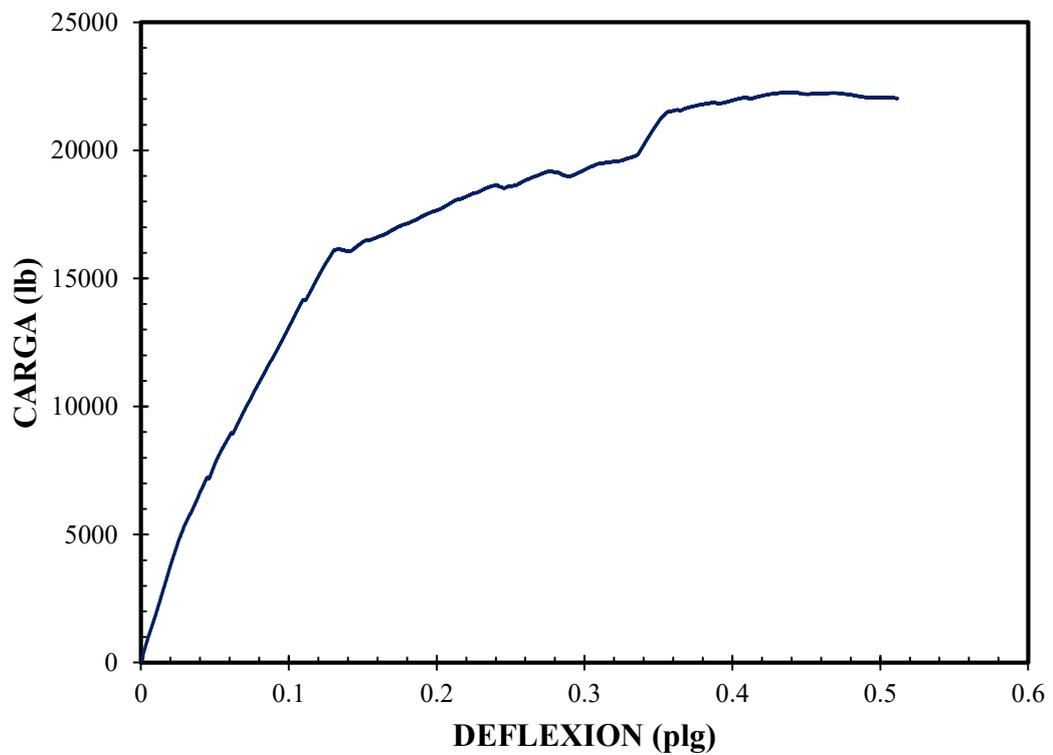


Figura 78

Modo de falla en Viga V-03 D.A. - 0%F. A.

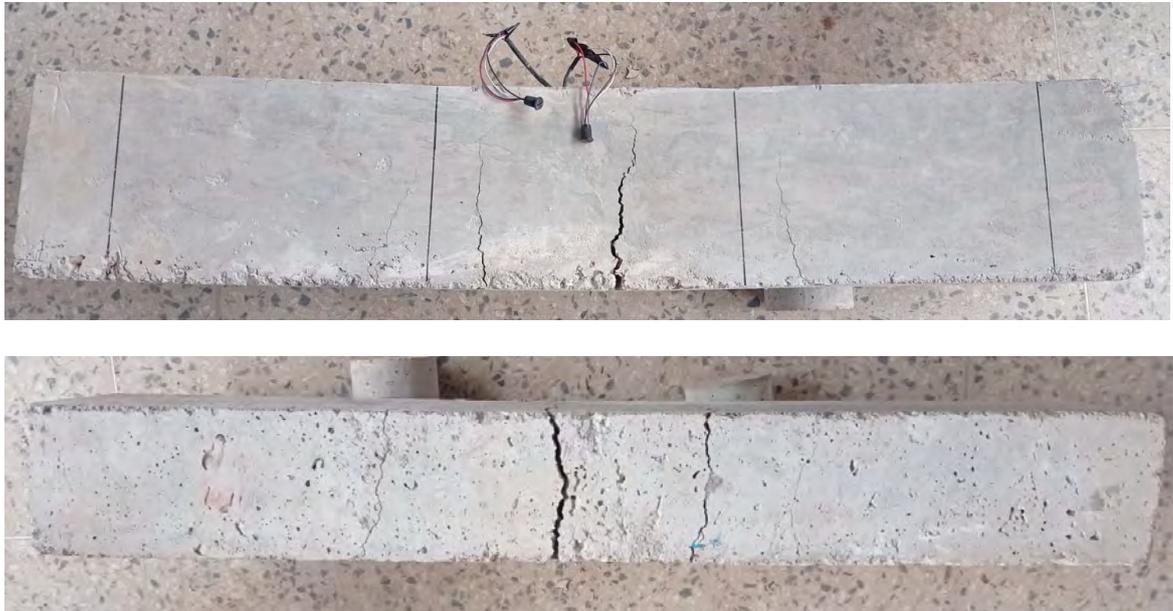
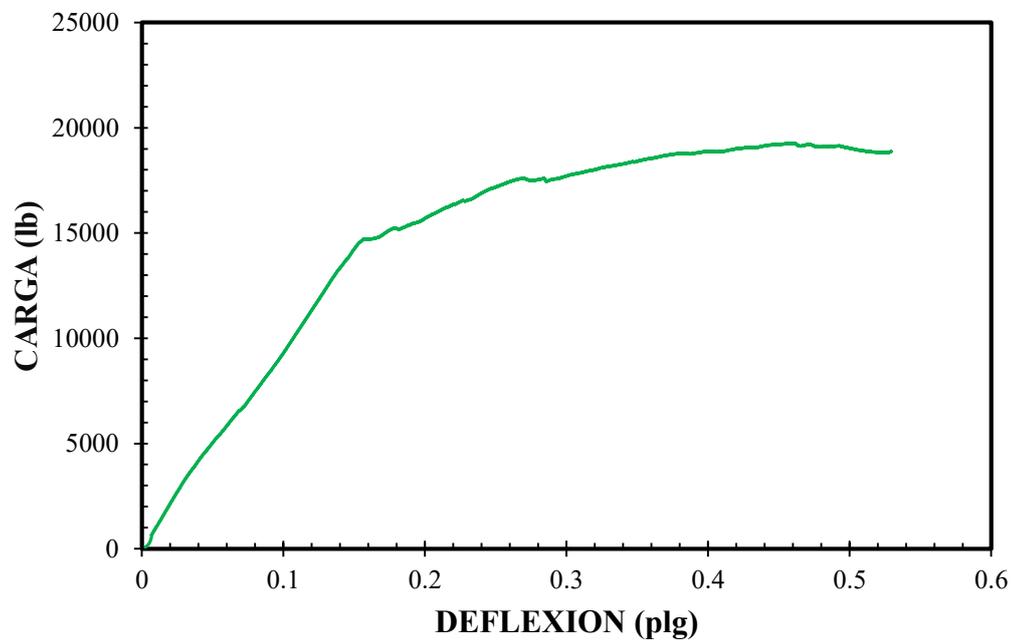


Figura 79

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 D.A. - 0%F. A.



A continuación, se muestra una tabla de resumen de las cargas máximas soportadas por las muestras de vigas doblemente armadas y una gráfica comparativa de las mismas.

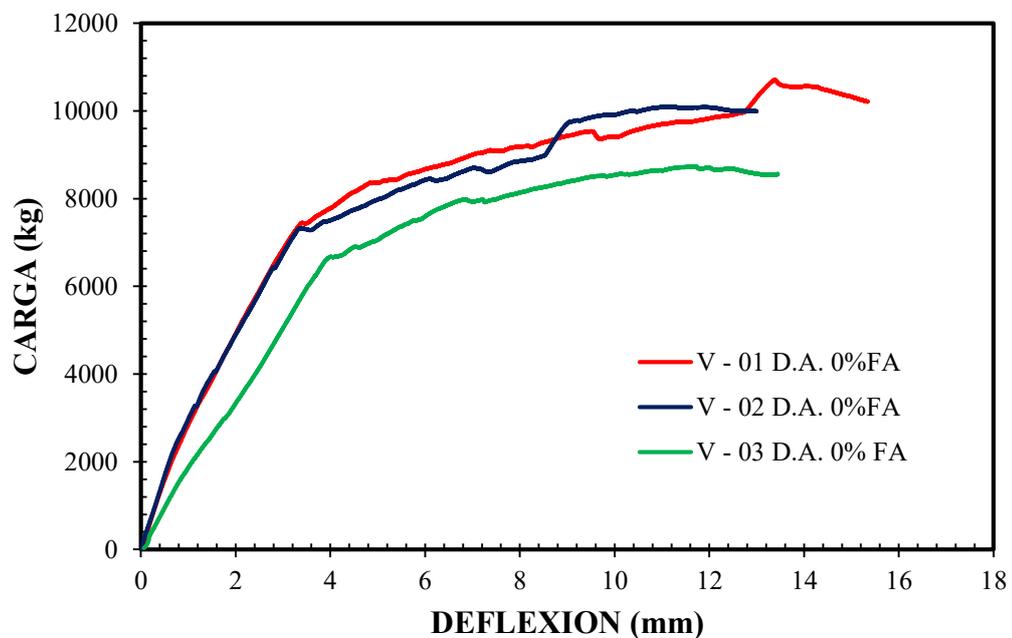
Tabla 58

Resistencia a Flexión de Vigas doblemente armadas

MUESTRA	CARGA MÁXIMA
(und)	(kg)
V-01 D.A. - 0%F.A.	10707.94
V-02 D.A. - 0%F.A.	10097.86
V-03 D.A. - 0%F.A.	8737.54

Figura 80

Diagrama Carga - Deflexión de vigas doblemente armadas con 0% de FA



De la comparativa anterior de los resultados de las pruebas realizadas en las vigas de concreto se procede a elegir una gráfica representativa que no se encuentre muy alejado de los resultados similares, para el cálculo del diagrama momento curvatura se utilizarán los datos de la viga V-02, el cual indica los siguientes puntos de agrietamiento, cedencia y agotamiento.

Figura 81

Punto de agrietamiento, Cedencia y Ultimo de viga doblemente armada con 0% de FA

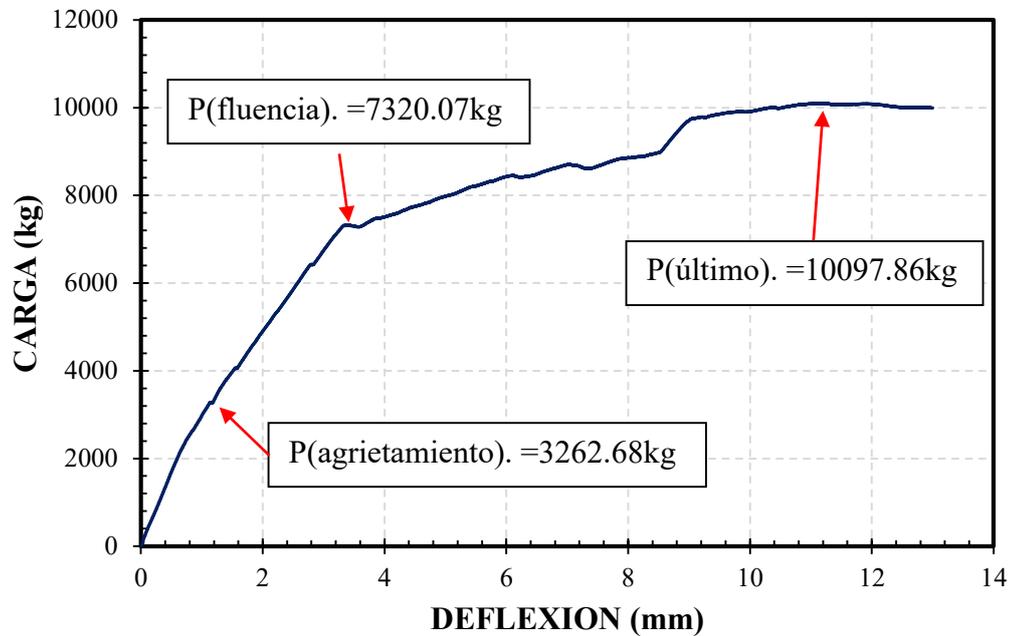


Tabla 59

Carga de Viga doblemente reforzada con 0% de Fibras de acero

Viga doblemente reforzada con 0% de fibra de acero	ESTADO	CARGA (kg)
	Agrietamiento	3262.68
	Fluencia	7320.07
	Ultimo	10097.86

VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS CON 1% DE FIBRA DE ACERO

- A continuación, procedemos a identificar la falla de las vigas y a registrar los datos de carga y deflexión en la máquina Universal.
- Al igual que en el anterior caso es necesario la verificación del diagrama carga deflexión de las vigas por cada elemento ensayado y con la comparativa de los diagramas obtener los datos de agrietamiento, cedencia y agotamiento de la viga más representativa.

Figura 82

Modo de falla en viga V-01 D.A. - 1%F. A.

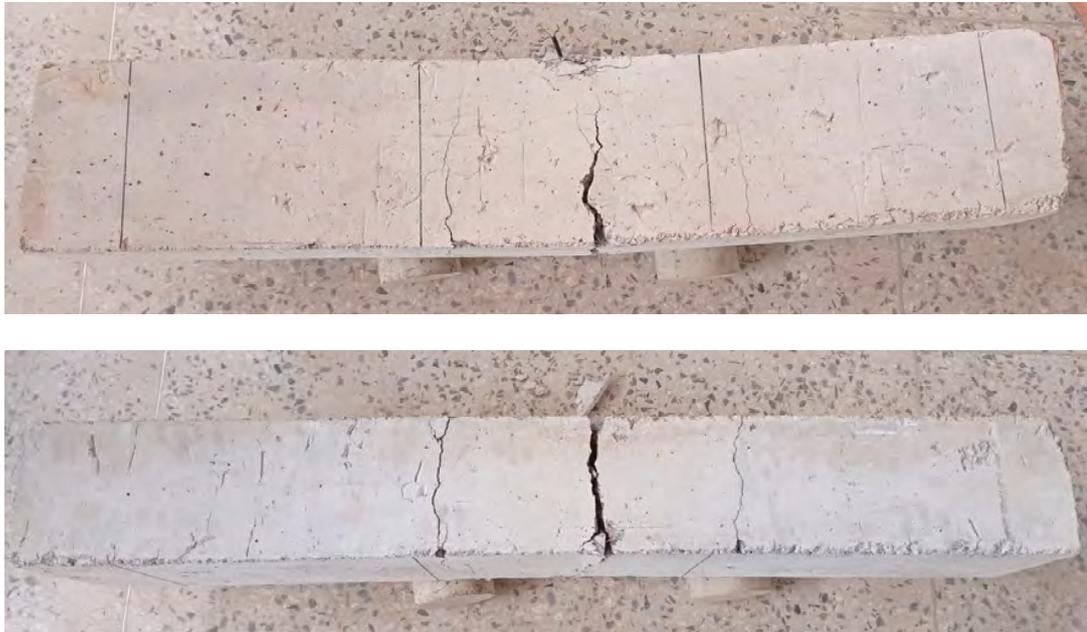


Figura 83

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-01 D.A. - 1%F. A.

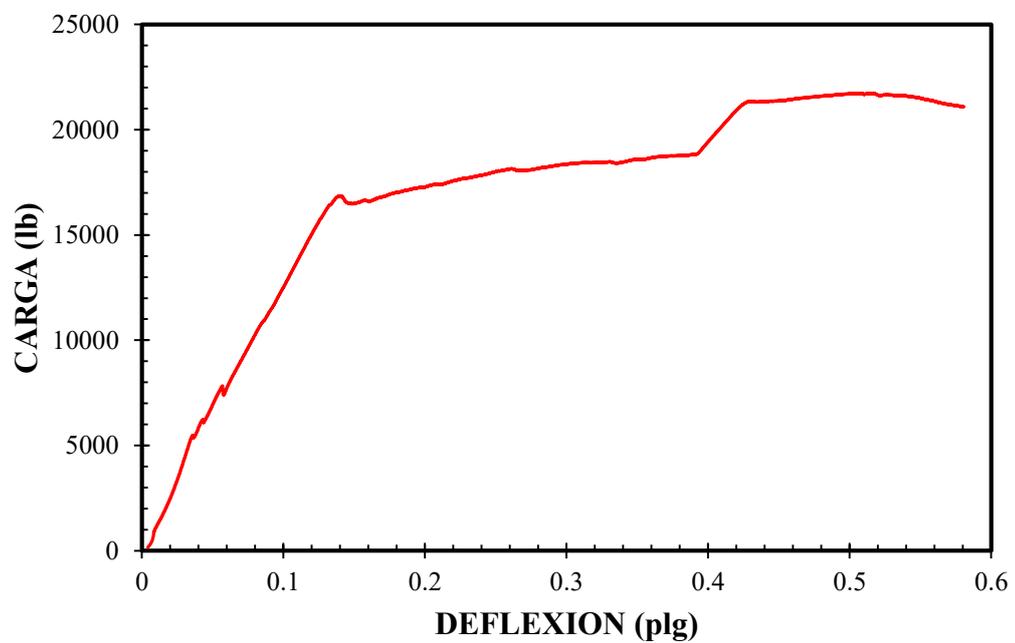


Figura 84

Modo de falla en viga V-02 D.A. - 1%F. A.

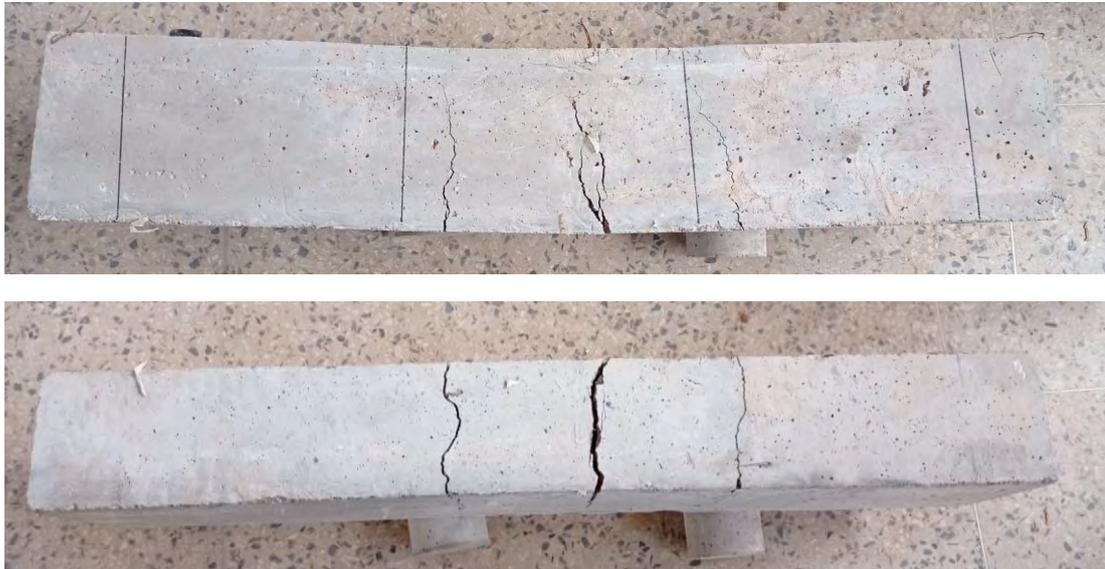


Figura 85

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-02 D.A. - 1%F. A.

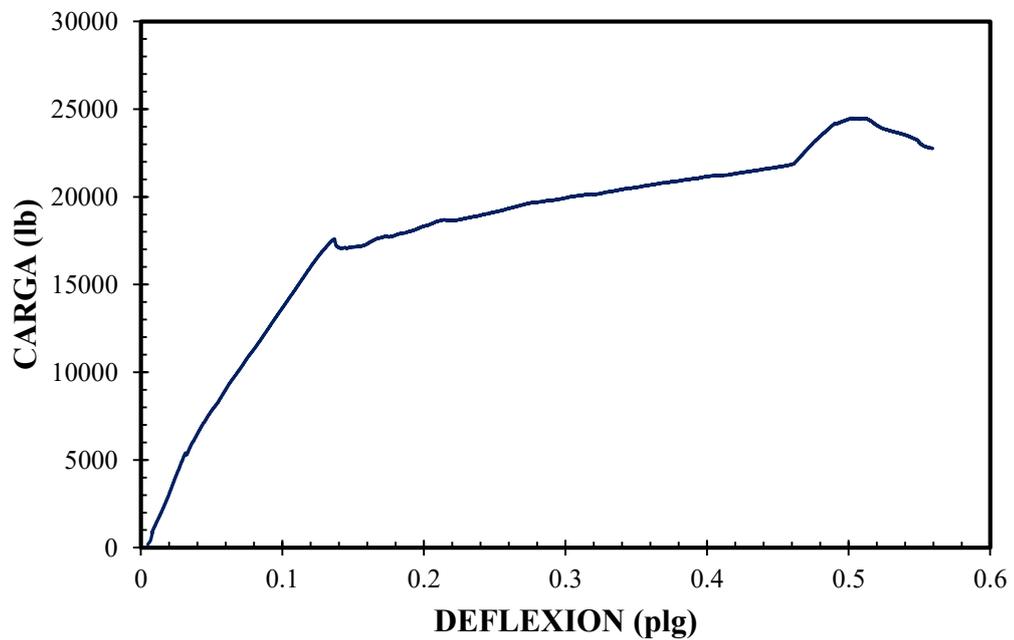


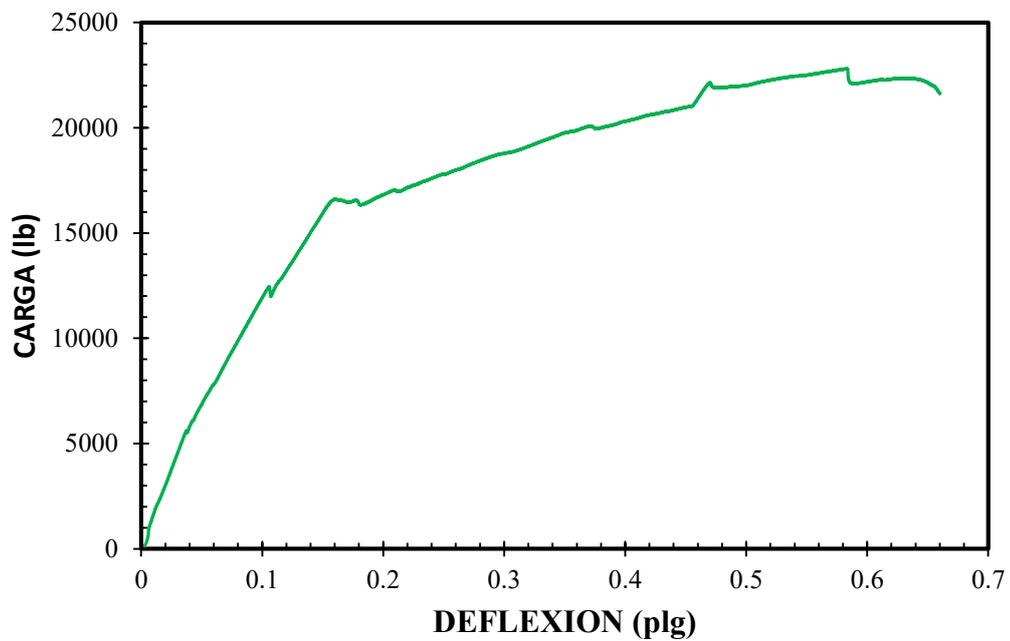
Figura 86

Modo de falla en viga V-03 D.A. - 1%F. A.



Figura 87

Diagrama Carga - Deflexión de Viga V-03 D.A. - 1%F. A.



A continuación, se muestra una tabla de resumen de las cargas máximas soportadas por las vigas doblemente armadas con 1% de fibra de acero y una gráfica comparativa de las mismas.

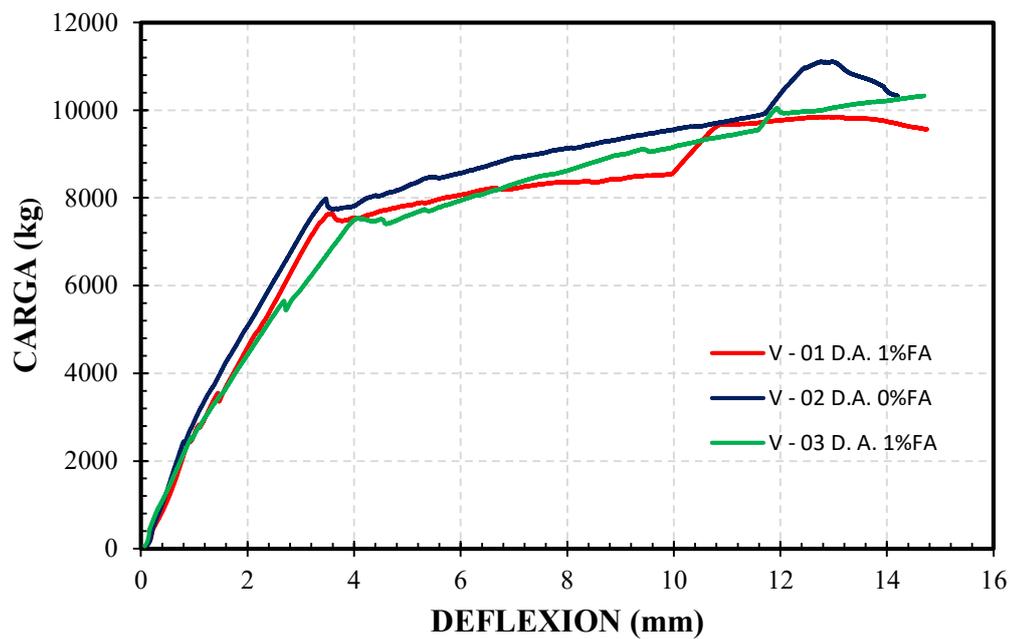
Tabla 60

Resistencia a Flexión de Vigas doblemente armadas

MUESTRA (und)	CARGA MÁXIMA (kg)
V-01	9848.84
V-02	11109.82
V-03	10329.65

Figura 88

Comparativa de Carga - Deflexión en vigas doblemente armadas con 1% de FA



De la comparativa anterior de los resultados de las pruebas realizadas en las vigas de concreto se procede a elegir una gráfica representativa que no se encuentre muy alejado de los resultados similares, para el cálculo del diagrama momento curvatura se

utilizaran los datos de la viga doblemente armada V-03 1%FA, el cual indica los siguientes puntos de agrietamiento, cedencia y agotamiento.

Figura 89

Punto de agrietamiento, Cedencia y Ultimo representativo de viga doblemente armada con 1% de FA

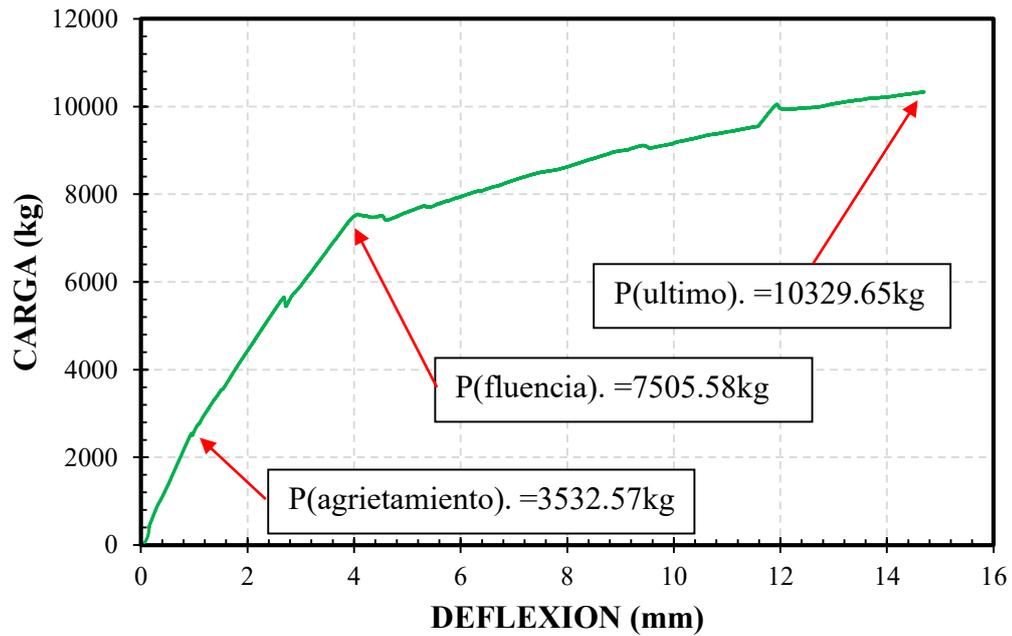


Tabla 61

Cargas en Viga doblemente armada con 1% de fibras de acero

	Estado	Carga (kg)
Viga con 1% de fibra de acero	Agrietamiento	3532.57
	Fluencia	7505.58
	Ultima	10329.65

Tabla 62:

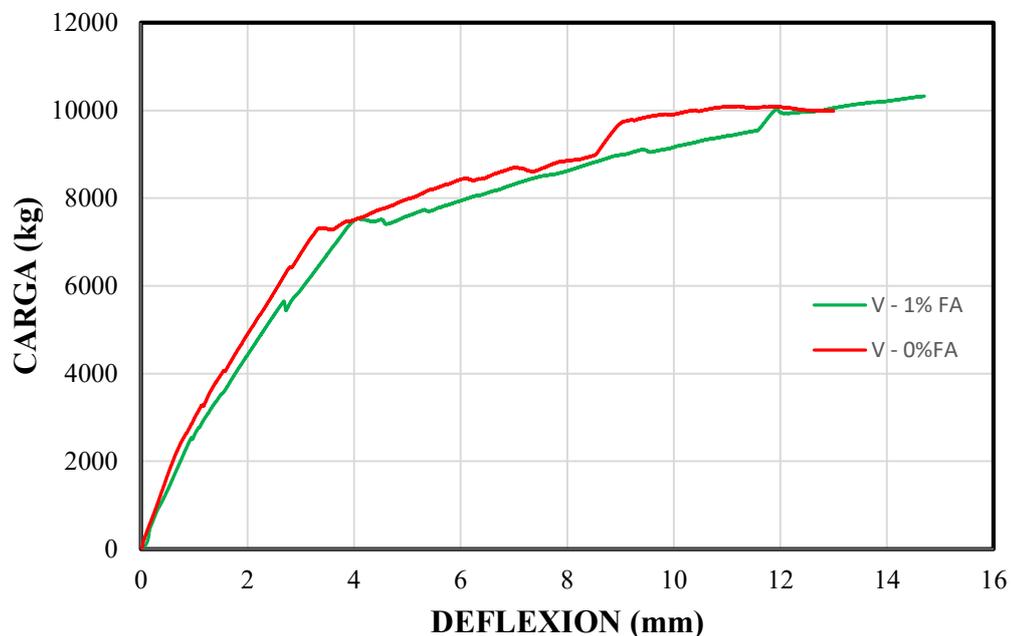
Tipo de fallas en vigas doblemente armadas con confinamiento

MUESTRA (Und.)	TIPO DE FALLA (mm)
V-01 D.A. - 0%F.A.	Flexión
V-02 D.A. - 0%F.A.	Flexión
V-03 D.A. - 0%F.A.	Flexión
V-01 D.A. - 1%F.A.	Flexión
V-02 D.A. - 1%F.A.	Flexión
V-03 D.A. - 1%F.A.	Flexión

A continuación, se muestra la comparativa de graficas pertenecientes a las vigas doblemente armadas representativas con 0% de fibra de acero y 1% de fibra de acero.

Figura 90

Comparativa de Carga - Deflexión en Vigas doblemente armadas con 0% y 1% de fibras de acero.



- Se verifica de esta manera que al incorporar fibras de acero en el concreto se logra una mejora en la carga de soporte y en la deflexión mejorando de manera directa

la ductilidad de la sección sometidos a flexión, se muestra una tabla de resumen de la comparativa y mejora de estos parámetros.

Tabla 63

Comparativa de Cargas en vigas doblemente armadas

	AGRIETAMIENTO		CEDENCIA		ULTIMO	
	Fibra 0%	Fibra 1%	Fibra 0%	Fibra 1%	Fibra 0%	Fibra 1%
Carga	3262.68	3532.57	7320.07	7505.58	10097.86	10329.65

CAPITULO V: ANÁLISIS Y RESULTADOS

4.2.PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

Obtenidos los resultados de los ensayos de laboratorio hallaremos las gráficas momento curvatura experimental y luego procederemos a calcular las relaciones momento curvatura de las secciones de manera teórica para las vigas simplemente armadas y doblemente armadas, para finalmente realizar las comparaciones respectivas.

4.2.1. RELACIÓN MOMENTO CURVATURA

Determinado la resistencia a compresión, tracción y a la flexión del concreto tanto con 0% de fibras de acero como incorporando 1% de fibras de acero y teniendo en consideración la cantidad de acero de refuerzo en la sección propuesta procedemos primero a calcular manualmente la relación momento curvatura, luego realizamos las comprobaciones con el programa RESPONSE 2000 que es un programa de ingeniería que nos permite saber con más exactitud el diagrama momento curvatura de una determinada sección de concreto armado.

4.2.1.1.CALCULOS PARA VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS

A) CÁLCULO TEÓRICO RELACION MOMENTO CURVAURA EN VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

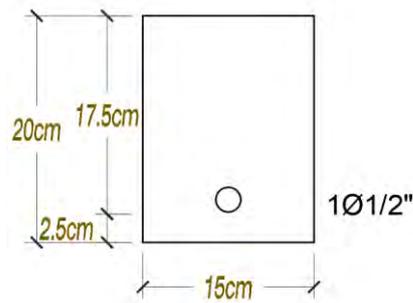
La determinación de la relación momento - curvatura se realiza a continuación, teniendo en cuenta las dimensiones de la viga simplemente armada con 0% de fibras de acero ensayada en laboratorio y su respectiva distribución de acero como se detalla a continuación.

Datos geométricos:

$b = 15cm$ Longitud de la base de la viga

$h = 20cm$ Peralte de la viga

Figura 91 vista en corte de viga simplemente armada con 0% de fibra de acero



Propiedades del concreto

$$f'_c = 235.61 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Resistencia a la compresión del concreto}$$

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'_c} \rightarrow E_c = 2.318 * 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Módulo de elasticidad del concreto}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003 \rightarrow \text{Deformación unitaria del concreto}$$

$$f_{ct} = 28.54 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Resistencia a la tracción del concreto}$$

$$f_r = 2 * \sqrt{f'_c} = 30.70 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Resistencia a la tracción según Norma E-060}$$

Propiedades del acero

$$f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad E_s = 2000000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Módulo de elasticidad del acero}$$

$$A_s = 1.267 \text{cm}^2 \rightarrow \text{Acero en tracción}$$

$$\epsilon_y = 0.002 \rightarrow \text{Deformación unitaria del acero}$$

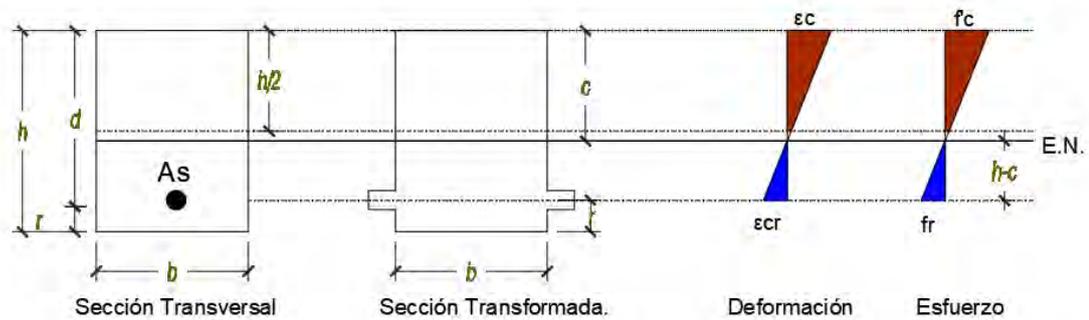
$$n = \frac{E_s}{E_c} = 8.68 \rightarrow \text{Relación de módulos de elasticidad}$$

a) Momento y curvatura de agrietamiento

En primer lugar, se determina la condición de agrietamiento en función de la relación de módulos de elasticidad, cálculo de la sección equivalente y la ubicación de la profundidad del eje neutro, además se toma en consideración los módulos de elasticidad obtenidos de laboratorio y las resistencias a compresión y tracción del concreto.

Figura 92

Diagrama Esfuerzo - Deformación de Agrietamiento en viga con 0% FA



$$A_{SE} = b * h + A_s(n - 1) \rightarrow \text{Área de sección equivalente}$$

$$A_{SE} = 0.031\text{m}^2$$

Para obtener el valor de c que viene a ser la profundidad del eje neutro, realizamos un equilibrio estático tomando en cuenta el área comprimida y el área sometida a tracción

$$A_{SE} * c = b * h * \left(\frac{h}{2}\right) + A_s(n - 1) \text{ Por lo tanto, despejamos c}$$

$$c = \frac{\frac{b * h^2}{2} + (n - 1) * A_s * d}{A_{SE}} \quad \text{Ec. N}^\circ(40)$$

$$c = 0.102 \text{ m}$$

Seguidamente hallamos la inercia de sección equivalente.

$$I_{SE} = \frac{b * h^3}{12} + b * h \left(\frac{h}{2} - c\right)^3 + (n - 1)[A_s(d - c)^2] \quad (41)$$

$$I_{SE} = 10539.903 \text{ cm}^4$$

Una vez hallada la profundidad del eje neutro y conociendo el módulo de rotura obtenemos la curvatura y el momento de agrietamiento.

$$\epsilon_{cr} = \frac{f_r}{E_c} = \frac{2 * \sqrt{f'_c}}{E_c} \text{ Deformación unitaria del concreto en el punto de agrietamiento}$$

$$\varphi_A = \frac{\epsilon_{cr}}{E_c} = \frac{2 * \sqrt{f'_c}}{E_c * (h - c)} \quad M_A = \frac{f_r * I_{SE}}{(h - c)}$$

$$\varphi_A = 0.00127 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$M_A = 331.522 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

b) Momento y curvatura cedente

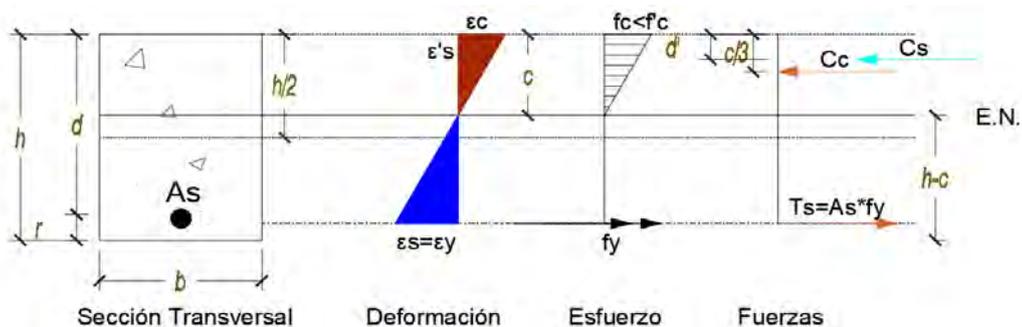
Para este caso se necesita comprobar dos hipótesis inicialmente establecidas para el cálculo de la cedencia, posteriormente son comprobadas al realizar las equivalencias del diagrama esfuerzo – deformación, las hipótesis son las siguientes:

Hipótesis 01

- El acero de refuerzo está cediendo.
- Comportamiento elasto – plástico del acero.
- El concreto no ha alcanzado su agotamiento.
- Comportamiento lineal elástico del concreto.

Figura 93

Diagrama esfuerzo deformación de la sección simplemente armada con 0%FA



Deformaciones

Esfuerzos

Fuerzas

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_y}{d - c}$$

$$f_c = \epsilon_c * E_c \leq 0.70 * f'_c$$

$$C_c = T$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_y * c}{d - c}$$

$$f_y = \epsilon_y * E_s$$

$$\frac{f_c * c * b}{2} = A_s * f_y$$

Resolviendo la ecuación de equilibrio de fuerzas T=C y la relación de deformaciones

se tiene:

$$\frac{f_c * c * b}{2} = A_s * f_y$$

$$\frac{\varepsilon_y * c * E_c * c * b}{2 * (d - c)} = f_y * A_s$$

$$(E_c * \varepsilon_y * b) * c^2 = -2 * f_y * A_s * c + 2 * f_y * A_s * d$$

$$(E_c * \varepsilon_y * b) * c^2 + 2 * f_y * A_s * c - 2 * f_y * A_s * d = 0$$

$$A * c^2 + B * c - D = 0$$

$$A = E_c * \varepsilon_y * b \qquad B = 2 * f_y * A_s \qquad D = -2 * f_y * A_s * d$$

$$A = 6907.32 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \qquad B = 10836.00 \text{ kg} \qquad D = -189630.00 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$c = \frac{-2 * f_y * A_s + \sqrt{(2 * f_y * A_s)^2 + 8 * E_c * \varepsilon_y * b * f_y * A_s * d}}{2 * E_c * \varepsilon_y * b} \qquad \text{Ec. N}^\circ(42)$$

$$c = \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4AD}}{2A}$$

$$c = 4.51 \text{ cm}$$

Una vez obtenida la profundidad del eje neutro, se verifica que el concreto tenga un comportamiento elástico

$$f_{c\text{-límite}} = 0.70 * f'_c = 164.927 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Esfuerzo límite del concreto}$$

$$\varepsilon_c = \frac{\varepsilon_y * c}{d - c} = 0.000695 < 0.003 \rightarrow \text{si cumple}$$

$$f_c = \varepsilon_c * E_c = 160.05 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} < 164.927 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Si cumple}$$

Entonces verificamos que las hipótesis planteadas en el punto de fluencia son válidas por lo tanto procedemos a hallar el momento y curvatura correspondiente.

$$M_y = \left(\frac{f_c * c * b}{2} \right) \left(d - \frac{c}{3} \right)$$

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{\varepsilon_y}{d - c}$$

$$\varphi_y = 0.0154 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$M_y = 866.634 \text{ kg} * \text{m}$$

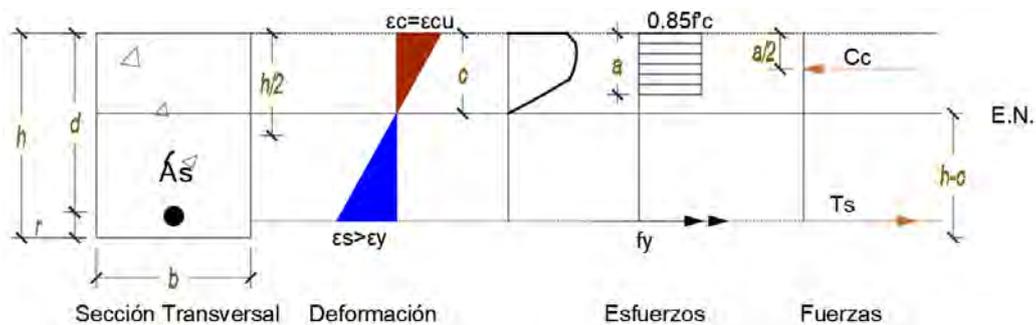
c) Momento y curvatura de agotamiento – último

Para determinar el momento y curvatura de agotamiento se plantearán hipótesis que posteriormente son comprobadas al realizar las equivalencias del diagrama esfuerzo – deformación, las hipótesis son las siguientes:

- Existe una perfecta adherencia entre concreto y acero
- Existe un comportamiento elasto – plástico del acero
- El acero de refuerzo ha cedido

Figura 94

Diagrama esfuerzo deformación en estado de agotamiento caso



Deformaciones

Esfuerzos

Fuerzas

$$\frac{\epsilon_{cu}}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$f_c = 0.85 * f'_c$$

$$C = C_c + C_s = T$$

Verificamos el equilibrio de fuerzas de tracción y compresión, equilibrio que nos dará de manera directa la profundidad del eje neutro:

$$C = T \rightarrow 0.85 * f'_c * b * a = A_s * f_y$$

$$a = \frac{(A_s)f_y}{0.85 * f'_c * b}$$

Luego con el valor de “a” obtenemos la profundidad del eje neutro, donde la norma (MVCS E-060, 2016) en su capítulo 10.2.7.1 indica que:

Un esfuerzo en el concreto de $0.85f'_c$ uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal del elemento

y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia $a = \beta_1 * c$ de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión, los valores de β_1 varían de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 64

Valores de beta 1 de acuerdo a la norma E-060

$f'_c(\text{kg/cm}^2)$	β_1
$173.35 \leq f'_c \leq 285.52$	0.85
$285.52 \leq f'_c \leq 571.04$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 285.52)}{7}$
$f'_c \geq 571.04$	0.65

$$a = \beta_1 * c$$

$$c = \frac{(A_s - A'_s)f_y}{\beta_1 * 0.85 * f'_c * b} \quad \text{Ec. N}^\circ(43)$$

$$c = 2.12\text{cm}$$

Una vez obtenida la profundidad del eje neutro, comprobamos que el acero a tracción haya cedido como lo anunciado líneas arriba.

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu} * (d - c)}{c} = 0.022 \text{ por lo tanto:}$$

$0.022 > 0.002$ Cumple la hipótesis, el acero superior en compresión ha cedido.

Procedemos a hallar el momento y la curvatura última correspondiente a la viga propuesta.

$$M_u = C_c \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = 0.85 * f'_c * b * a \left(d - \frac{a}{2} \right)$$

$$M_u = 0.85 * f'_c * b * \beta_1 * c \left(d - \frac{\beta_1 * c}{2} \right)$$

$$M_u = 899.29 \text{ kg} * \text{cm}$$

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c} = 0.11944 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\varphi_u = 0.14139 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$M_u = 899.29 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

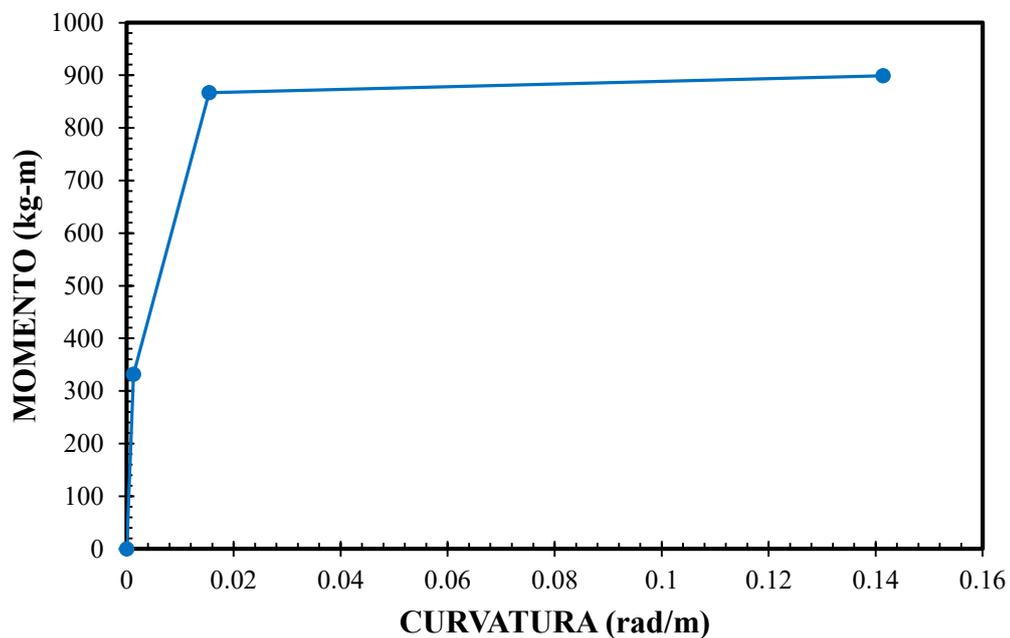
Tabla 65

Tabla de momentos y curvaturas teóricos en viga simplemente armada con 0% de FA.

CONDICIÓN	CRUVATURA (rad/cm)	MOMENTO (kg-m)
Inicial	0.00000	0.00
Agrietamiento	0.00127	331.522
Cedencia	0.0154	866.634
Última	0.14139	899.29

Figura 95

Diagrama Momento - Curvatura Teórico de Viga simplemente armada con 0% de Fibra de Acero



B) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

Para el cálculo experimental de la viga con 0% de fibra de acero tomaremos todos los datos obtenidos en el laboratorio de mecánica de suelos de la facultad de Ingeniería Civil – UNSAAC (figura N° 51); sin embargo, para el cálculo de la curvatura tanto en

el punto de agrietamiento, fluencia y curvatura última nos apoyaremos del modelo de Hognestad para determinar las deformaciones y posteriormente hallar la respectiva curvatura.

Los momentos en los puntos de agrietamiento, fluencia y último lo hallamos con las cargas obtenidas en la tabla N° 52 con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{P \times L}{6}$$

Tabla 66

Momentos experimentales en vigas simplemente armadas con 0% de fibra de acero

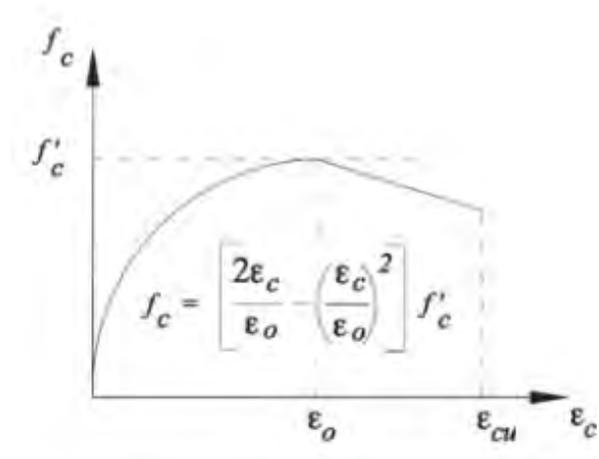
Viga	Estado	Carga (P) kg	Momento kg-m
simplemente armada con 0% de fibra de acero	Agrietamiento	2166.80	325.02
	Fluencia	6789.36	1018.40
	Ultimo	6956.29	1043.44

a) Curvatura de agrietamiento

Para la obtención de la deformación nos apoyaremos en el modelo de Hognestad para el concreto. En el punto de agrietamiento el concreto alcanza la resistencia a tracción, valor que fue obtenido mediante los ensayos de tracción indirecta, cuyo valor es: 28.54 kg/cm², este dato ingresaremos al modelo Hognestad, y por medio de iteraciones obtendremos la deformación.

Figura 96

Modelo de Esfuerzo-Deformación del Concreto de Hognestad



$$f_c = \begin{cases} \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] f'_c & \varepsilon_c \leq \varepsilon_0 \\ [1 - 100 (\varepsilon_c - \varepsilon_0)] f'_c & \varepsilon_0 < \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu} \end{cases}$$

Fuente: (Villagran & Vera, 2013)

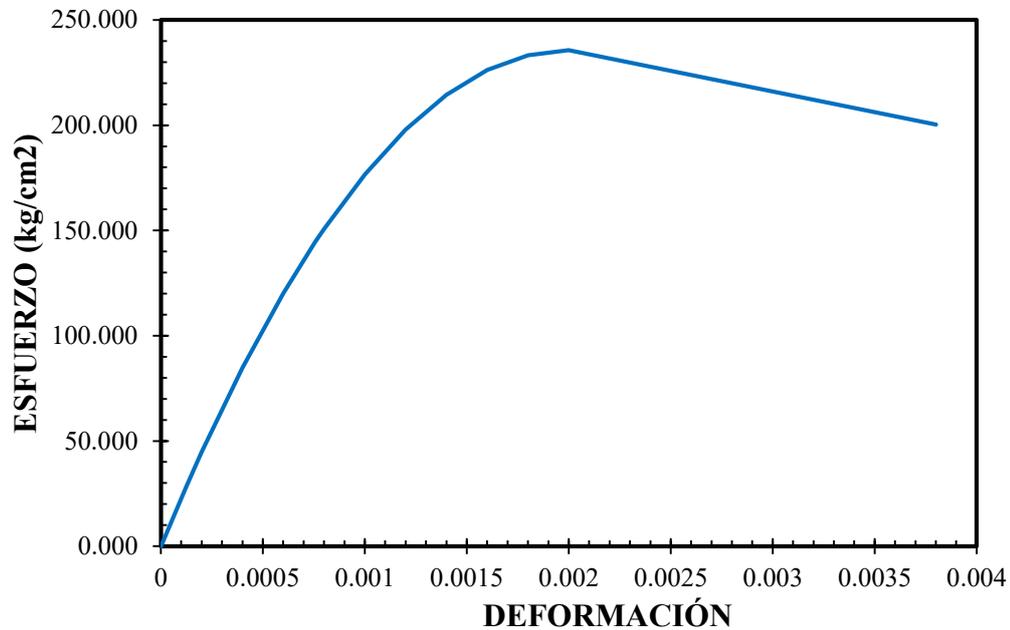
Tabla 67

Valores Esfuerzo - Deformación para el concreto con 0% de fibra de acero

Deformación (adimensional)	f'c (kg/cm ²)
0	0.000
0.000125	28.540
0.0002	44.766
0.0004	84.820
0.0006	120.161
0.000757	144.580
0.0008	150.790
0.001	176.708
0.0012	197.912
0.0014	214.405
0.0016	226.186
0.0018	233.254
0.002	235.610
0.0038	200.269

Figura 97

Diagrama esfuerzo deformación por el método de Hognestad para vigas simplemente armadas con 0% FA



El valor de la curvatura será:

$$\varphi_A = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0.000125}{0.102} = 0.001225873 \frac{1}{m}$$

b) Curvatura de cedencia

Para la obtención de la deformación nos apoyaremos en el modelo de Hognestad para el concreto. En el punto de fluencia el concreto alcanza la resistencia de: 144.58 kg/cm², este dato ingresaremos al modelo Hognestad, y por medio de iteraciones obtendremos la deformación. De la tabla 67 lo sombreado de color rojo nos indica la deformación del concreto en el punto de fluencia, entonces el valor de la curvatura será.

$$\varphi_y = \frac{\varepsilon_c}{c} = \frac{0.000757}{0.0451} = 0.016781486 \frac{1}{m}$$

c) Curvatura de agotamiento

Según el modelo de Hognestad, en la tabla N° 64 el punto de agotamiento se da para la deformación del concreto con un valor de 0.0038.

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0.0038}{0.0212} = 0.179245283 \frac{1}{m}$$

A continuación, realizamos una tabla resumen de los momentos y curvaturas experimentales para posteriormente graficarlos.

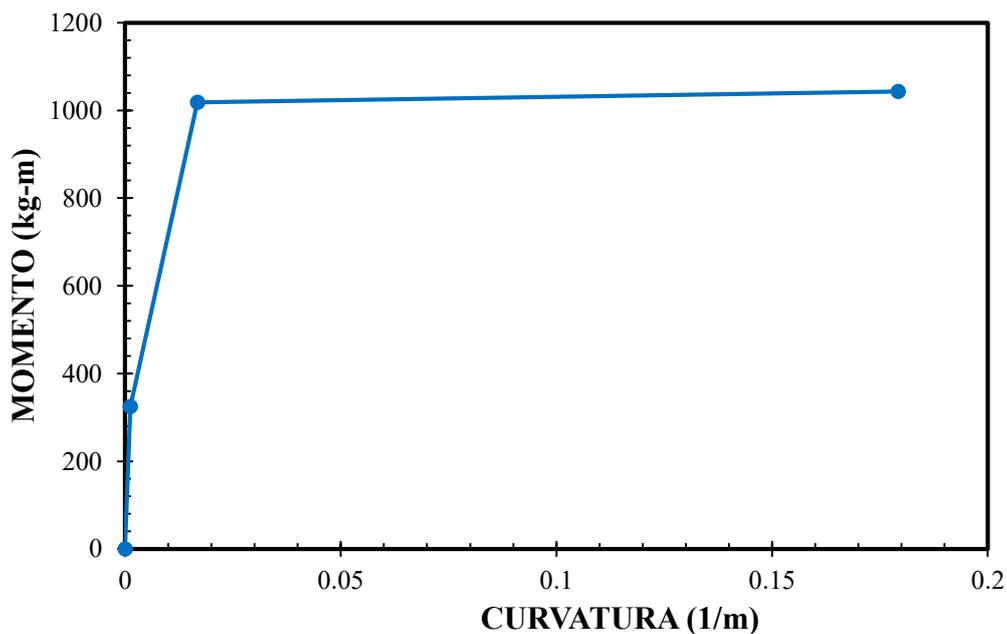
Tabla 68

Momentos y curvaturas experimentales para viga simplemente armada con 0% FA

Viga	Estado	Momento kg-m	Curvatura (1/m)
simplemente armada con 0% de fibra de acero	Agrietamiento	325.02	0.001225
	Fluencia	1018.40	0.016781
	Ultimo	1043.44	0.179245

Figura 98

Diagrama Momento - Curvatura Experimental de Viga simplemente armada con 0% de Fibra de Acero



C) CÁLCULO TEÓRICO RELACION MOMENTO CURVAURA EN VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

La determinación de la relación momento - curvatura se realiza a continuación, teniendo en cuenta las dimensiones de la viga simplemente armada con 1% de fibras de acero ensayada en laboratorio y su respectiva distribución de acero como se detalla a continuación.

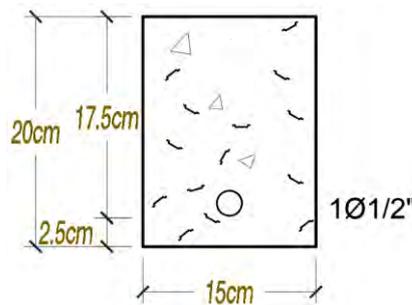
Datos geométricos:

$b = 15\text{cm}$ Longitud de la base de la viga

$h = 20\text{cm}$ Peralte de la viga

Figura 99

vista en corte de viga simplemente armada con 1% de fibra de acero



Propiedades del concreto

$$f'c = 350.10 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Resistencia a la compresión del concreto}$$

$$E_c = 15000 * \sqrt{f'c} \rightarrow E_c = 280664.39 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Módulo de elasticidad del concreto}$$

$$\epsilon_{cu} = 0.003 \rightarrow \text{Deformación unitaria del concreto}$$

$$f_r = 2 * \sqrt{f'c} = 37.422 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Resistencia a la tracción según Norma E-060}$$

Propiedades del acero

$$f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \quad E_s = 2000000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Módulo de elasticidad del concreto}$$

$$A_s = 1.267\text{cm}^2 \rightarrow \text{Acero en tracción}$$

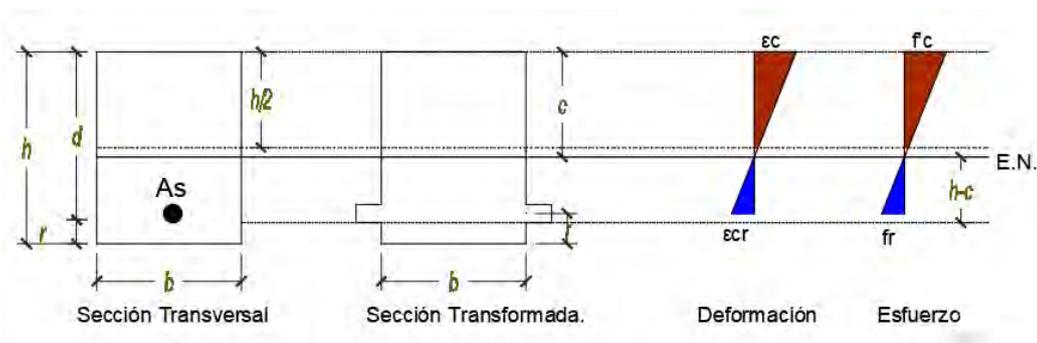
$$\epsilon_y = 0.002 \rightarrow \text{Deformación unitaria del acero}$$

$$n = \frac{E_s}{E_c} = 8.68 \rightarrow \text{Relación de módulos de elasticidad}$$

a) Momento y curvatura de agrietamiento

Figura 100

Diagrama Esfuerzo deformación de Agrietamiento en viga con 1% FA



Con la ecuación N° 40 (pág.171) determinamos el eje neutro

$$c = \frac{\frac{b * h^2}{2} + (n - 1) * A_s * d}{A_{SE}}$$

$$c = 10.20 \text{ cm}$$

Hallamos la inercia de sección equivalente con la ecuación N° 41 (pág. 171)

$$I_{SE} = 10426.56 \text{ cm}^4$$

Una vez hallada la profundidad del eje neutro y conociendo el módulo de rotura obtenemos la curvatura y el momento de agrietamiento

$$\epsilon_{cr} = \frac{f_r}{E_c} = \frac{2 * \sqrt{f'c}}{E_c} \text{ Deformación unitaria del concreto en el punto de agrietamiento}$$

$$\varphi_A = \frac{\epsilon_{cr}}{E_c} = \frac{2 * \sqrt{f'c}}{E_c * (h - c)}$$

$$M_A = \frac{f_r * I_{SE}}{(h - c)}$$

$$\varphi_A = 0.00136 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

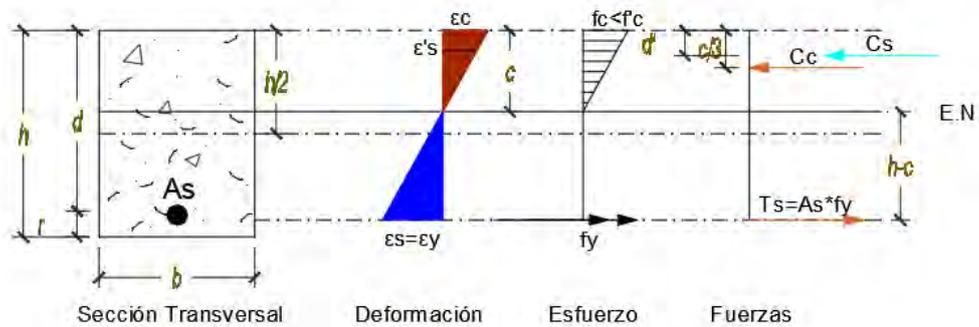
$$M_A = 397.722 \text{ kg * m}$$

d) Momento y curvatura cedente

Tomamos la misma hipótesis planteada para el cálculo en la viga con 0% de fibras de acero.

Figura 101

Diagrama Esfuerzo - deformación de la sección simplemente armada con 1%FA



Deformaciones

Esfuerzos

Fuerzas

$$\frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_y}{d - c}$$

$$f_c = \epsilon_c * E_c \leq 0.70 * f'_c$$

$$C_c = T$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_y * c}{d - c}$$

$$f_y = \epsilon_y * E_s$$

$$\frac{f_c * c * b}{2} = A_s * f_y$$

Determinamos la profundidad del eje neutro con la fórmula N° 42 (pág. 172)

$$c = \frac{-2 * f_y * A_s + \sqrt{(2 * f_y * A_s)^2 + 8 * E_c * \epsilon_y * b * f_y * A_s * d}}{2 * E_c * \epsilon_y * b}$$

$$c = 4.12cm$$

Una vez obtenida la profundidad del eje neutro, se verifica que el concreto tenga un comportamiento elástico

$$f_{c-l\acute{i}mite} = 0.70 * f'_c = 245.07 \frac{kg}{cm^2} \rightarrow \text{Esfuerzo l\acute{i}mite del concreto}$$

$$\epsilon_c = \frac{\epsilon_y * c}{d - c} = 0.00062 < 0.003 \rightarrow \text{si cumple}$$

$$f_c = \epsilon_c * E_c = 172.72 \frac{kg}{cm^2} < 245.07 \frac{kg}{cm^2} \rightarrow \text{Si cumple}$$

Entonces verificamos que las hipótesis planteadas en el punto de fluencia son válidas por lo tanto procedemos a hallar el momento y curvatura correspondiente.

$$M_y = \left(\frac{f_c * c * b}{2} \right) \left(d - \frac{c}{3} \right)$$

$$\phi_y = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{\epsilon_y}{d - c}$$

$$\phi_y = 0.01495 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

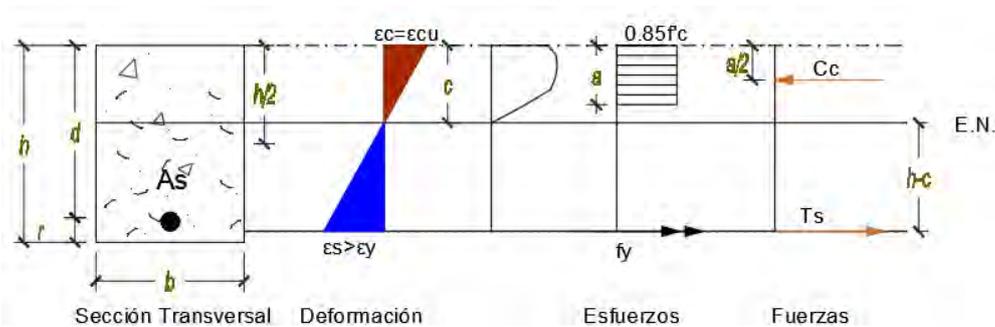
$$M_y = 860.238 \text{ kg} \cdot \text{m}$$

e) Momento y curvatura de agotamiento – último

Para el cálculo de momento y curvatura en la viga con 1% de fibras de acero también planteamos las hipótesis propuestas en la viga con 0% de fibras de acero.

Figura 102

Diagrama esfuerzo - Deformación en estado de agotamiento para vigas con 1% de FA



Deformaciones

Esfuerzos

Fuerzas

$$\frac{\epsilon_{cu}}{c} = \frac{\epsilon_s}{d - c}$$

$$f_c = 0.85 \cdot f'_c$$

$$C = C_c + C_s = T$$

Determinamos la profundidad del eje neutro con la ecuación N° 43 (pág. 175)

$$c = \frac{(A_s - A'_s) f_y}{\beta_1 \cdot 0.85 \cdot f'_c \cdot b}$$

$$c = 1.49 \text{ cm}$$

Una vez obtenida la profundidad del eje neutro, comprobamos que el acero a tracción haya cedido como lo anunciado en la hipótesis.

$$\epsilon_s > \epsilon_y$$

$$\epsilon_s = \frac{\epsilon_{cu} \cdot (d - c)}{c} = 0.032 \text{ por lo tanto}$$

0.032 > 0.002 Cumple la hipótesis, el acero superior en compresión ha cedido, por lo que procedemos a hallar el momento y la curvatura última correspondiente a la viga propuesta.

$$M_u = 0.85 * f'_c * b * \beta_1 * c \left(d - \frac{\beta_1 * c}{2} \right)$$

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_{cu}}{c}$$

$$\varphi_u = 0.2083 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$\varphi_u = 0.2083 \frac{\text{rad}}{\text{m}}$$

$$M_u = 901.58 \text{ kg} * \text{m}$$

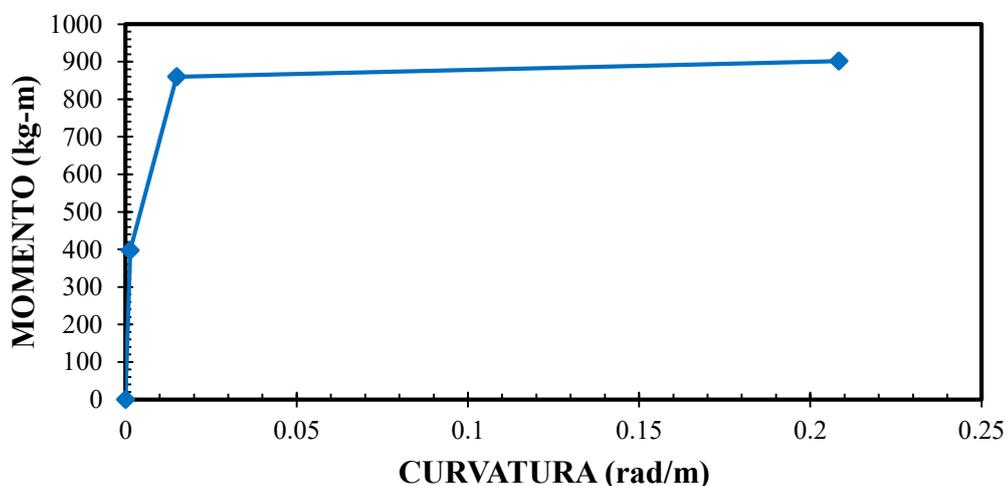
Tabla 69

Tabla de resumen -momentos y curvaturas teóricos para viga simplemente armada con 1% de FA

CONDICIÓN	CRUVATURA (rad/cm)	MOMENTO (kg-m)
Inicial	0.00000	0.00
Agrietamiento	0.00136	397.722
Cedencia	0.01495	860.238
Última	0.2083	901.58

Figura 103

Diagrama Momento - Curvatura teórico de viga simplemente armada con 1% de Fibra de Acero.



D) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

Al igual que en el cálculo teórico – experimental de viga con 0% de fibra de acero tomaremos como datos de laboratorio a las cargas resistidas por las vigas simplemente armadas con 1% de fibra de acero.

Los momentos en los puntos de agrietamiento, fluencia y último lo hallamos con las cargas obtenidas en la tabla N° 54:

Tabla 70

momentos experimentales en vigas simplemente armadas con 1% de FA

Viga	Estado	Carga (kg)	Momento kg-m
simplemente armada con 1% de fibra de acero	Agrietamiento	2645.80	396.87
	Fluencia	7376.31	1106.44
	Ultima	7751.89	1162.78

Para las curvaturas correspondientes a la viga simplemente armada realizamos el mismo procedimiento que le la viga simplemente armada con 0% de fibras de acero con el modelo de Hognestad por lo que obtenemos el siguiente cuadro con su gráfica correspondiente de esfuerzo deformación.

Tabla 71

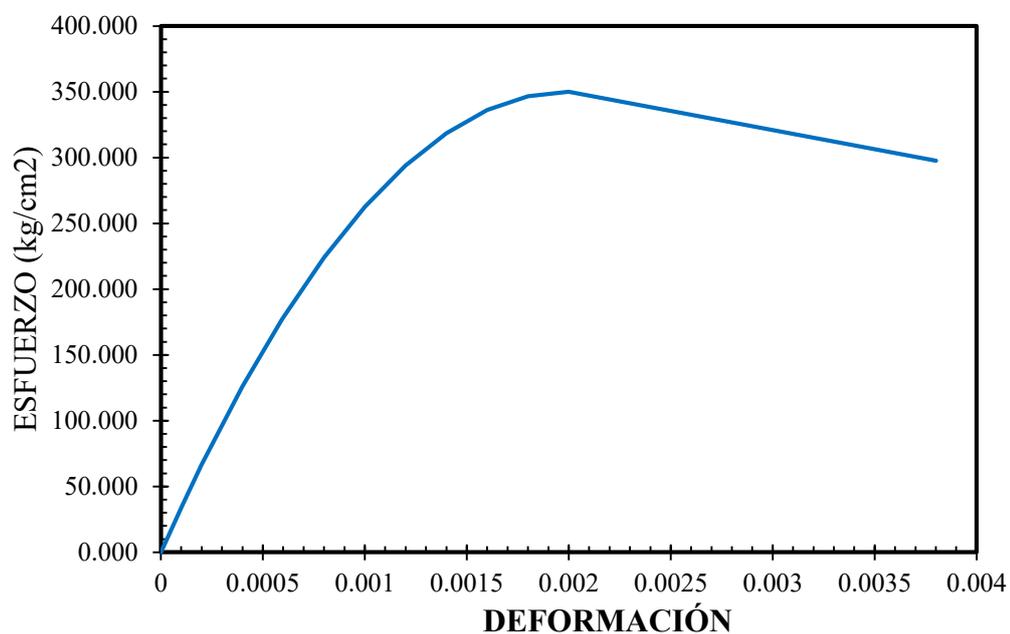
Tabla de esfuerzo deformación en viga simplemente armada con el modelo de Hognestad

Deformación (adimensional)	f'c (kg/cm2)
0	0.000
0.00010426	35.550
0.0002	66.519
0.0004	126.036
0.000593725	177.010
0.0006	178.551
0.0008	224.064

0.001	262.575
0.0012	294.084
0.0014	318.591
0.0016	336.096
0.0018	346.599
0.002	350.100
0.0038	297.585

Figura 104

Diagrama esfuerzo deformación por el modelo de Hognestad para vigas simplemente armadas con 1% FA.



a) Curvatura de agrietamiento

Para la obtención de la deformación nos apoyaremos en el modelo de Hognestad para el concreto. En el punto de agrietamiento el concreto alcanza la resistencia a tracción, valor que fue obtenido mediante los ensayos de tracción indirecta, cuyo valor es: 35.55 kg/cm², este dato ingresaremos al modelo Hognestad, y por medio de iteraciones obtendremos la deformación.

El valor de la curvatura será:

$$\varphi_A = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0.00010426}{0.102} = 0.001022157 \frac{1}{m}$$

b) Curvatura de fluencia

Para la obtención de la deformación nos apoyaremos en el modelo de Hognestad para el concreto. En el punto de fluencia el concreto alcanza la resistencia de: 177.01 kg/cm², este dato ingresaremos al modelo Hognestad, y por medio de iteraciones obtendremos la deformación.

El valor de la curvatura será:

$$\varphi_y = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0.000593725}{0.0412} = 0.0144108 \frac{1}{m}$$

c) Curvatura de agotamiento

Según el modelo de Hognestad, en el punto de agotamiento la deformación del concreto es de 0.0038.

Entonces el valor de la curvatura será:

$$\varphi_u = \frac{\epsilon_c}{c} = \frac{0.0038}{0.0149} = 0.25503356 \frac{1}{m}$$

A continuación, realizamos una tabla resumen de los momentos y curvaturas experimentales para posteriormente graficarlos.

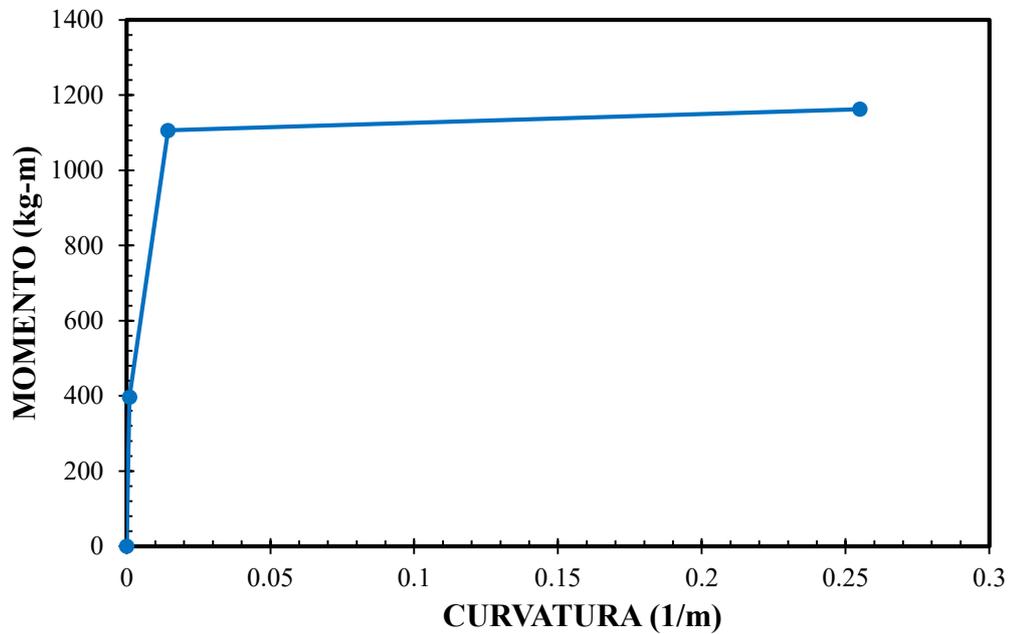
Tabla 72

Momentos y curvaturas experimentales para viga simplemente armada con 1% FA

Viga	Estado	Momento kg-m	Curvatura (1/m)
simplemente armada con 1% de fibra de acero	Agrietamiento	396.87	0.001022
	Fluencia	1106.31	0.014411
	Ultimo	1162.78	0.255033

Figura 105

Diagrama Momento - Curvatura Experimental de Viga simplemente armada con 1% de Fibras de Acero.



4.2.1.2.COMPARACION DE GRAFICAS DE RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS

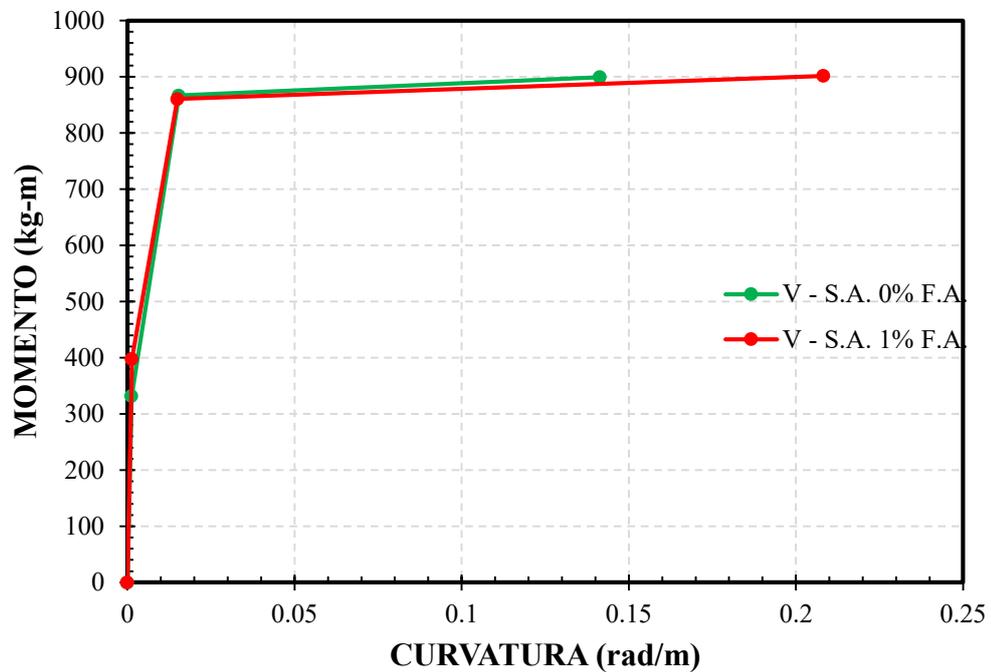
Al momento de obtener los momentos y curvaturas teóricos y experimentales de las secciones de concreto se realiza una comparación verificando la variación entre estos valores.

A) COMPARACION DE CÁLCULOS TEÓRICOS

A continuación, realizamos la comparación de gráficos de momento vs curvatura para los cálculos teóricos que realizamos líneas arriba, esto para las vigas simplemente armadas con 0 y 1% de fibras de acero:

Figura 106

Comparación de gráficas momento curvatura teóricos en vigas simplemente armadas.

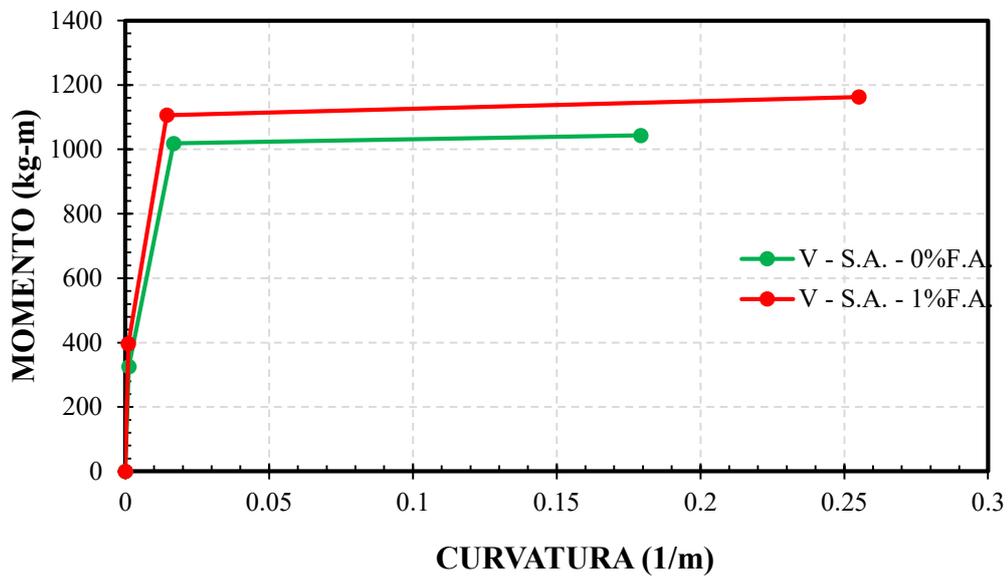


B) COMPARACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, realizamos la comparación de gráficos de momento vs curvatura para los resultados experimentales de las vigas simplemente armadas con 0 y 1% de fibras de acero ensayadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil UNSAAC.:

Figura 107

Comparación de gráficas M-φ experimentales en vigas simplemente armadas.



C) COMPARACION DE CÁLCULOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES

Finalmente se realiza la comparación de los resultados teóricos con los experimentales para las vigas simplemente armadas.

Figura 108

Comparación de gráficas M-φ teórico y experimentales en vigas simplemente armadas con 0% de fibras de acero

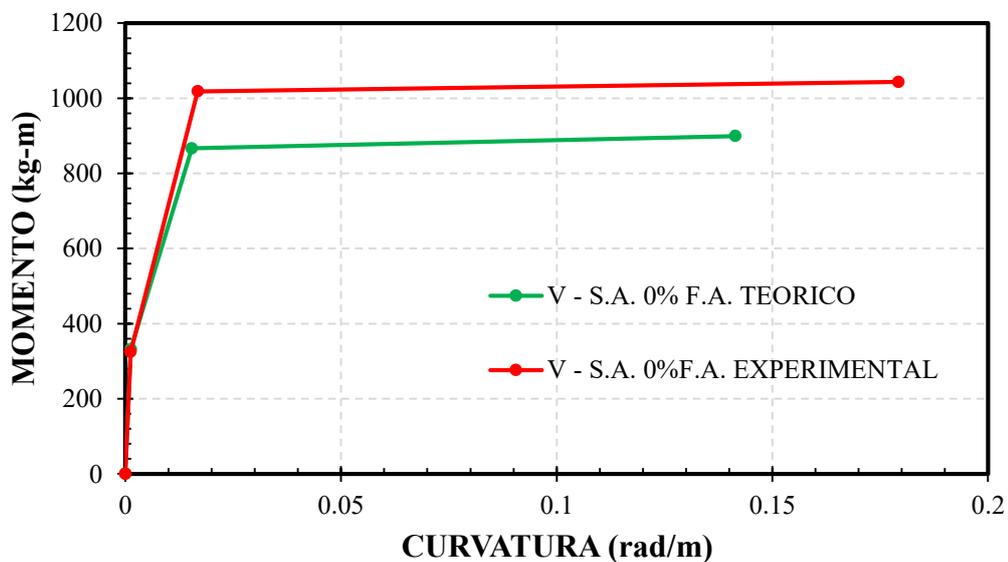
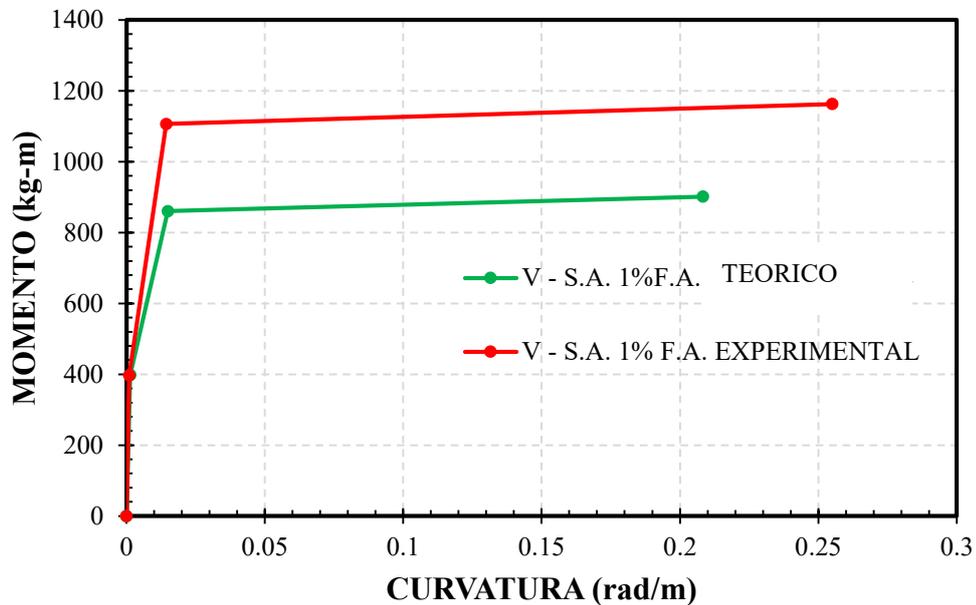


Figura 109

Comparación de gráficas momento curvatura teórico y experimentales en vigas simplemente armadas con 1% de fibras de acero.



4.2.1.3. CÁLCULO PARA VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS

En el cálculo teórico para vigas doblemente armadas consideraremos graficar el diagrama momento curvatura con el programa RESPONSE 2000 para obtener datos más precisos y realizar la comparación pertinente con los ensayos de vigas en laboratorio.

Para el cálculo experimental en vigas doblemente armadas se ha considerado el ensayo a flexión en la máquina universal, la máquina mencionada procesa un gráfico de carga vs deflexión.

Figura 110

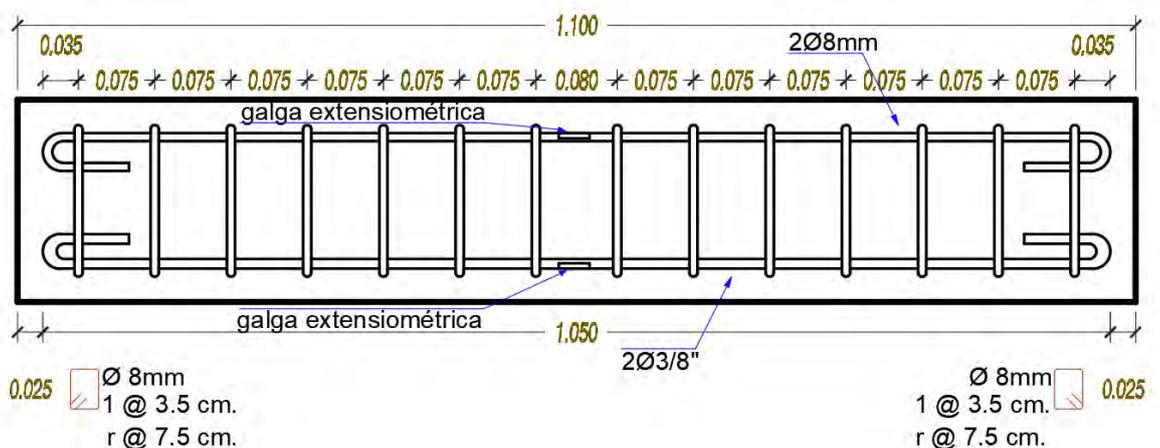
Ensayo a flexión en vigas doblemente armadas



Los datos obtenidos por la máquina no son precisamente para la obtención de la curvatura de la viga ensayada por lo que nos proponemos a utilizar galgas extensiométricas para la medición de la deformación en el acero y de esa manera poder hallar la curvatura para finalmente obtener el gráfico de relación momento curvatura, a continuación, se muestra la distribución de acero en la viga doblemente armada.

Figura 111

Distribución de acero en vigas doblemente armadas



Como podemos apreciar en la figura anterior, se tienen galgas extensiométricas adosadas en el acero en compresión y tracción de la viga, para este ensayo se ha utilizado galgas con las siguientes características.

Figura 112

Galga Extensiométrica BX120 - 5AA



Se ha utilizado dos galgas, una para medir la variación de voltaje y la otra para tener precisión en las medidas ante variaciones de temperatura, el procesamiento para la toma de datos es el siguiente:

Figura 113

proceso de toma de datos mediante las galgas extensiométricas



Los datos que son obtenidos del sistema de circuitos se procesan mediante una programación en Matlab y de este su exportación a una tabla Excel, para finalmente dar una lectura en milivoltios.

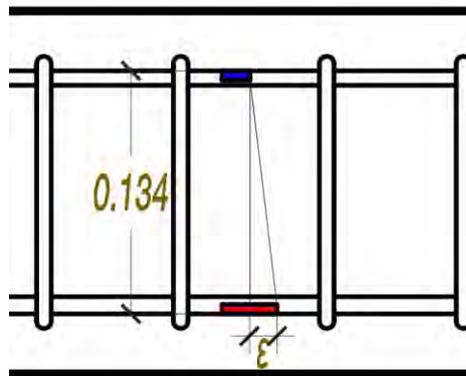
Para la conversión de milivoltio a deformación tenemos que utilizar el Factor Galga con la siguiente fórmula que sirve para la toma de datos mediante el puente de Weatstone.

$$\varepsilon = \frac{-V}{GF}$$

Una vez obtenida las deformaciones el paso siguiente es hallar la curvatura restando la deformación del acero en tracción menos la deformación del acero en compresión y el resultado obtenido dividir entre 0.134 que viene a ser la distancia entre galgas; a continuación, se muestra una figura ilustrativa para su mejor entendimiento.

Figura 114

Gráfico ilustrativo de compresión y tracción en galgas



Por lo tanto, la curvatura obtenida sería la siguiente:

$$\varphi = \frac{\varepsilon}{0.134}$$

Finalmente, con las cargas obtenidas en laboratorio hallamos los momentos resultantes con la siguiente fórmula.

$$M = \frac{P \times L}{6}$$

A) CÁLCULO TEÓRICO RELACION MOMENTO CURVATURA EN VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

Para esta sección graficamos en diagrama momento curvatura con el programa RESPONSE 2000 tanto para vigas con 0% de fibras de acero.

Figura 115

Datos de viga doblemente armada 0% ingresados al programa RESPONSE 2000

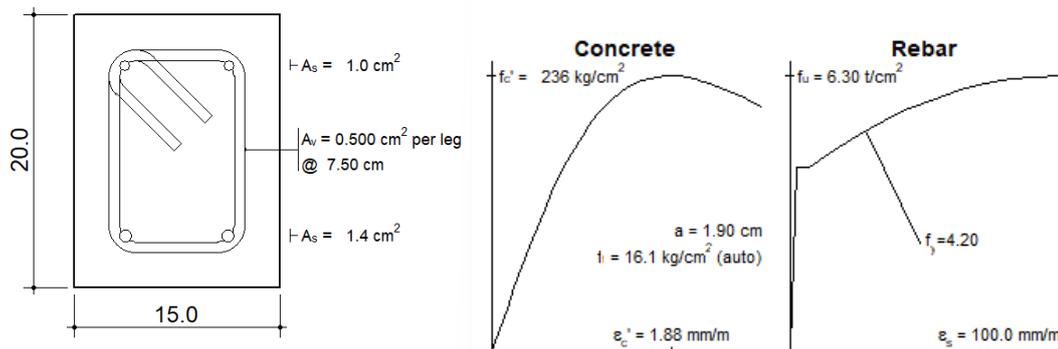


Figura 116

Gráfico Momento Curvatura - Response 2000 VIGA 0% de Fibras de acero.

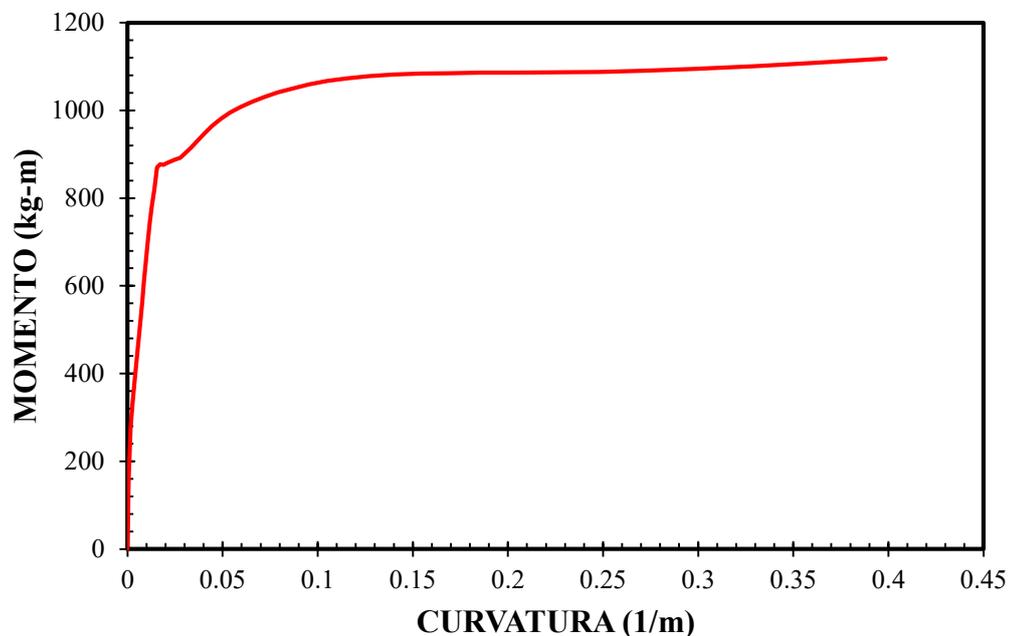
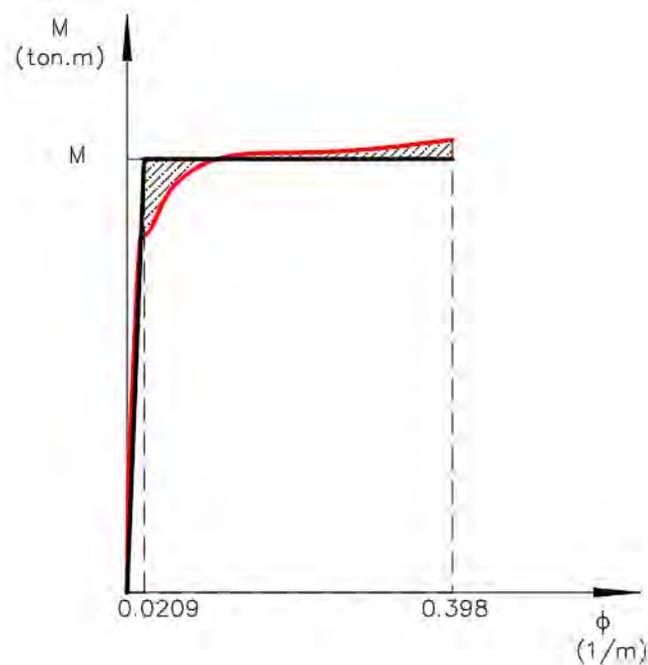


Figura 117:

Curva bilineal idealizada teórico en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero.



Realizamos un cuadro para hallar los puntos de agrietamiento, fluencia y última para la viga doblemente armada con 0% de fibras de acero.

Tabla 73

Curvaturas teóricos en vigas doblemente armadas con 0% de FA

CONDICIÓN	CRUVATURA (rad/cm)
Inicial	0.00000
Cedencia	0.0209
Última	0.3980

B) RESULTADO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

En esta sección se ha ensayado 3 vigas como lo previsto en el cuadro de tamaño de muestra, se ha tomado datos con las galgas extensiométricas y con la máquina universal, para la interpretación de los resultados se ha desarrollado un cuadro de comparación entre la cantidad de datos obtenida por la máquina universal y los datos obtenidos por

las galgas extensiométricas; todo esto en relación al tiempo de ensayo, como a continuación se muestra.

Tabla 74

Tabla de error de adquisición de datos

MUESTRA	N° DATOS MAQ. UNIVERSAL	N° DATOS EN GALGAS	TIEMPO DE ENSAYO (seg.)	N° DATOS x SEG. MAQUINA UNIVERSAL	N° DATOS x SEG. GALGAS	RELACIÓN DE COMPARACIÓN N	ERROR DE MEDICIÓN (seg.)
V-01 0%FA	9133	1278	912	10.01	1.40	7.15	9
V-02 0%FA	7783	1088	777	10.02	1.40	7.15	7
V-03 0%FA	7979	1106	797	10.01	1.39	7.21	0
V-01 1%FA	8740	1203	873	10.01	1.38	7.27	-6
V-02 1%FA	8415	1171	841	10.01	1.39	7.19	3
V-03 1%FA	9984	1372	997	10.01	1.38	7.28	-8

Con la tabla anterior se realiza la toma de datos para hallar el diagrama Momento vs Curvatura tomando datos de carga a cada 500 kg de lectura en la máquina, a continuación, se muestran los resultados de las 3 vigas ensayadas con 0% de fibras de acero.

VIGA 01

Tabla 75

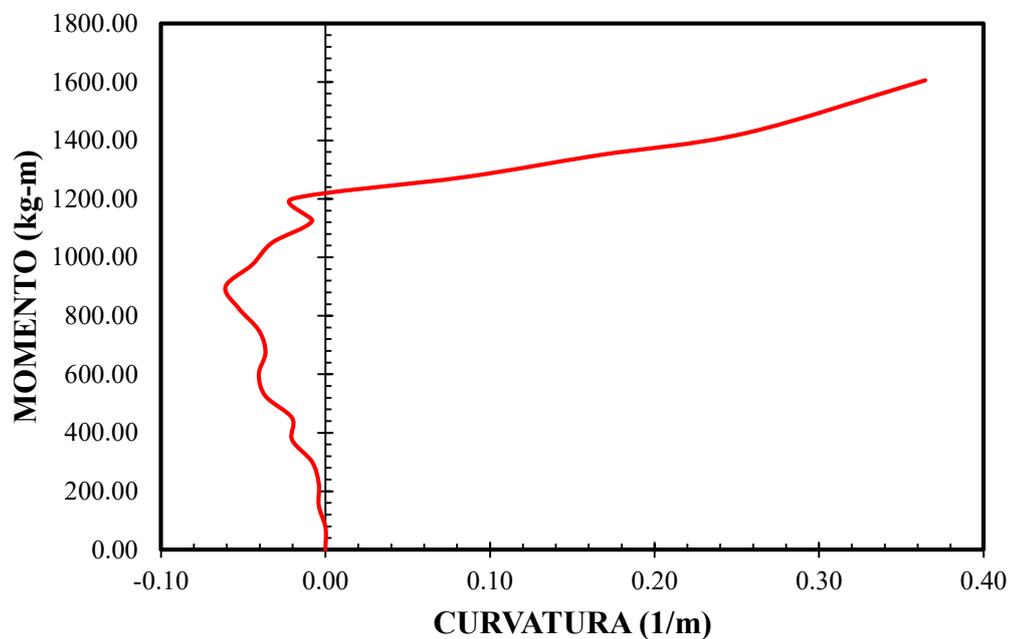
Momento y curvatura para viga 01 doblemente armada con 0% de fibras de acero

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
1	0.00	0.00	1	0.000000
22	504.39	75.66	4	0.000000
109	1001.98	150.30	16	-0.004052
205	1501.84	225.28	29	-0.004052
312	2000.79	300.12	44	-0.008104
436	2500.65	375.10	61	-0.020259
567	3001.42	450.21	80	-0.020259
712	3501.73	525.26	100	-0.036467
863	4001.59	600.24	121	-0.040519
1003	4499.18	674.88	141	-0.036467
1150	5000.40	750.06	161	-0.040519
1298	5499.80	824.97	182	-0.052674

1456	5998.75	899.81	204	-0.060778
1609	6499.07	974.86	226	-0.044571
1781	7002.55	1050.38	250	-0.032415
2082	7502.41	1125.36	292	-0.008104
2500	8001.82	1200.27	350	-0.020259
3243	8501.67	1275.25	454	0.085089
4131	8999.72	1349.96	578	0.166126
5484	9500.03	1425.00	767	0.255267
7953	10707.95	1606.19	1113	0.364668

Figura 118

Diagrama Momento Curvatura de viga N°-01 doblemente armada con 0% de FA



VIGA 02

Tabla 76

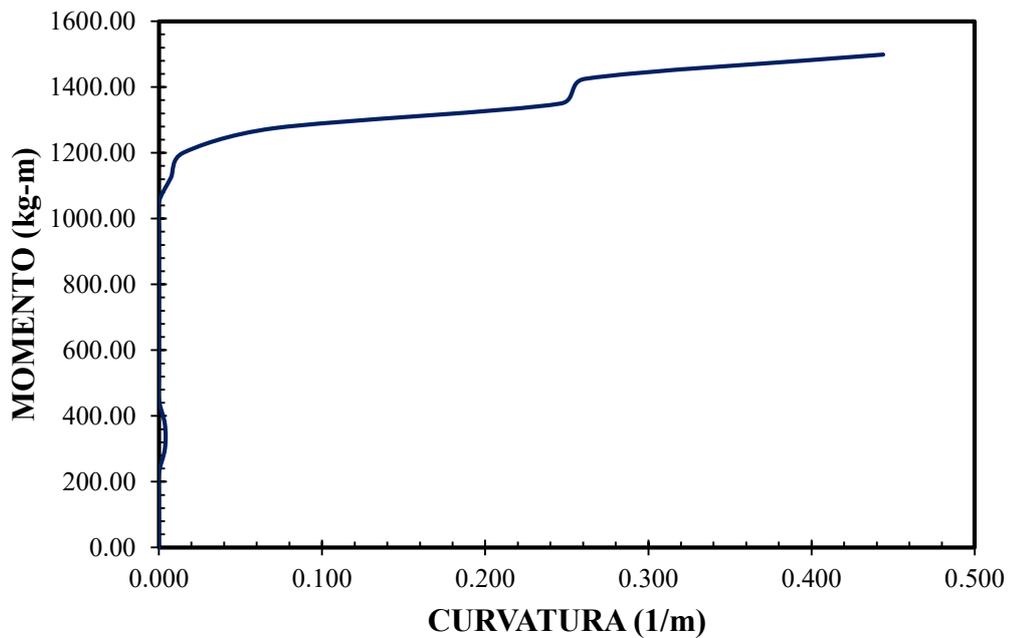
Momento y curvatura para viga 02 doblemente armada con 0% de fibras de acero

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
1	0.00	0.00	1	0.000000
70	500.31	75.05	10	0.000000
165	1004.25	150.64	24	0.000000
253	1504.11	225.62	36	0.000000
344	1998.53	299.78	49	0.003731
456	2500.65	375.10	64	0.003731
592	3000.96	450.14	83	0.000000

745	3505.36	525.80	105	0.000000
894	4002.50	600.37	126	0.000000
1062	4499.63	674.94	149	0.000000
1217	4998.58	749.79	171	0.000000
1378	5502.52	825.38	193	0.000000
1529	5998.30	899.75	214	0.000000
1712	6500.88	975.13	240	0.000000
1868	7000.74	1050.11	262	0.000000
2375	7500.14	1125.02	333	0.007463
3023	8001.36	1200.20	423	0.014925
3907	8501.22	1275.18	547	0.070896
5110	9000.17	1350.03	715	0.246269
5290	9500.94	1425.14	740	0.261194
7770	9992.63	1498.89	1087	0.444030

Figura 119

Diagrama Momento Curvatura de viga N°-02 doblemente armada con 0% de FA



VIGA 03

Tabla 77

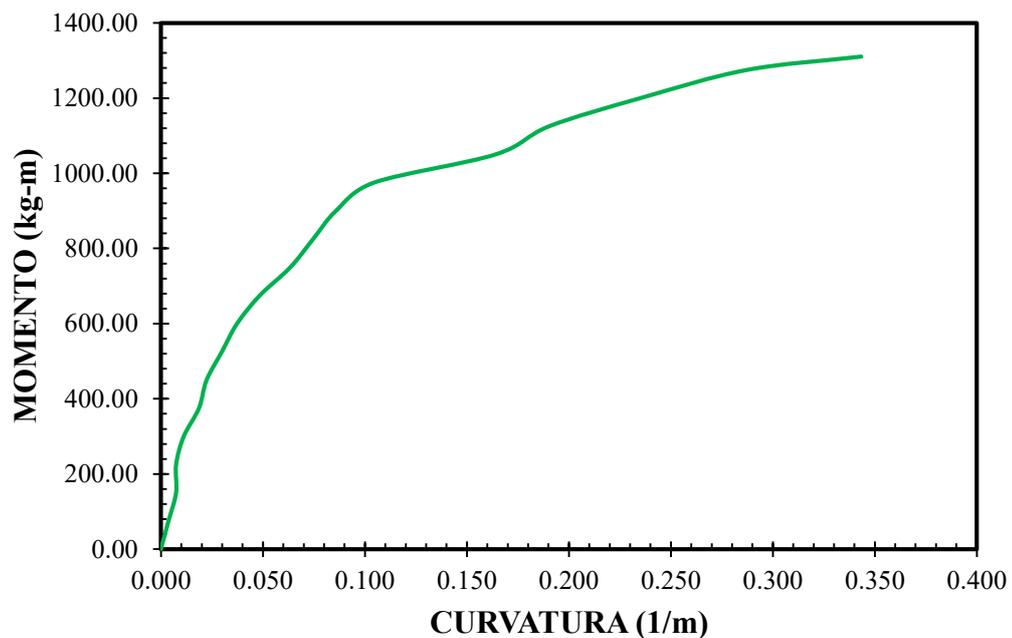
Momento y curvatura para viga 03 doblemente armada con 0% de fibras de acero.

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
1	0.00	0.00	1	0.000000
75	500.76	75.11	11	0.0037313
223	1003.35	150.50	31	0.0074627
376	1500.48	225.07	53	0.0074627

557	2000.34	300.05	78	0.0111940
765	2501.11	375.17	107	0.0186567
977	2999.60	449.94	136	0.0223881
1172	3499.92	524.99	163	0.0298507
1358	4000.68	600.10	189	0.0373134
1529	4501.45	675.22	213	0.0485075
1693	4999.49	749.92	235	0.0634328
1859	5500.71	825.11	258	0.0746269
2023	6001.02	900.15	281	0.0858209
2214	6502.24	975.34	308	0.1044776
2851	7003.01	1050.45	396	0.1641791
3408	7500.60	1125.09	473	0.1902985
4432	8000.46	1200.07	615	0.2350746
5634	8500.77	1275.12	782	0.2873134
6917	8737.09	1310.56	960	0.3432836

Figura 120

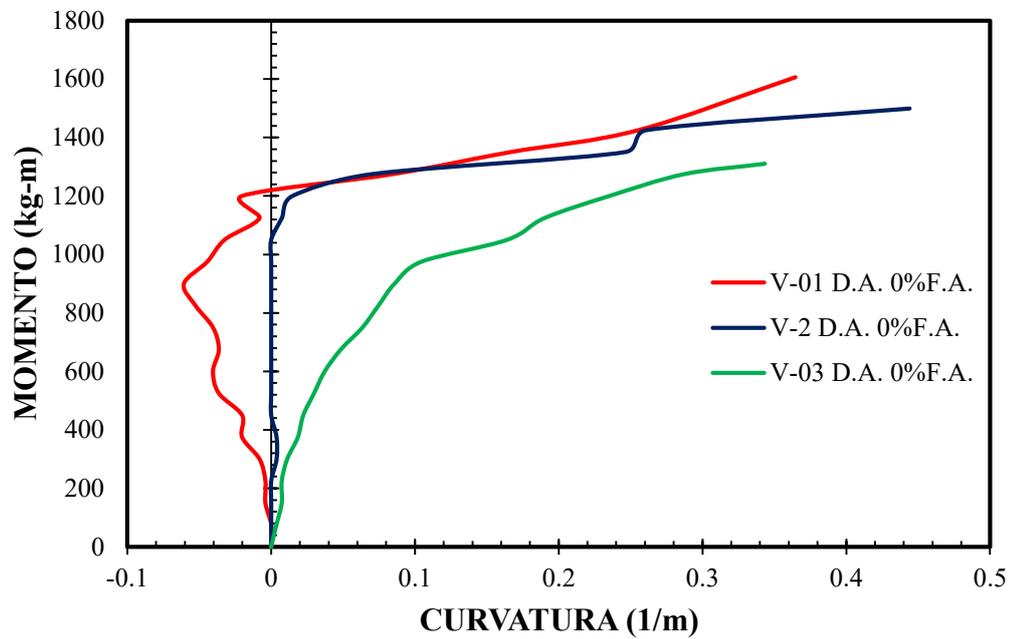
Diagrama Momento Curvatura de viga 3 doblemente armada con 0% de F.A.



A continuación, se presenta un resumen de los 3 diagramas anteriores correspondientes al ensayo de vigas doblemente armadas con 0% de incorporación de fibras de acero.

Figura 121

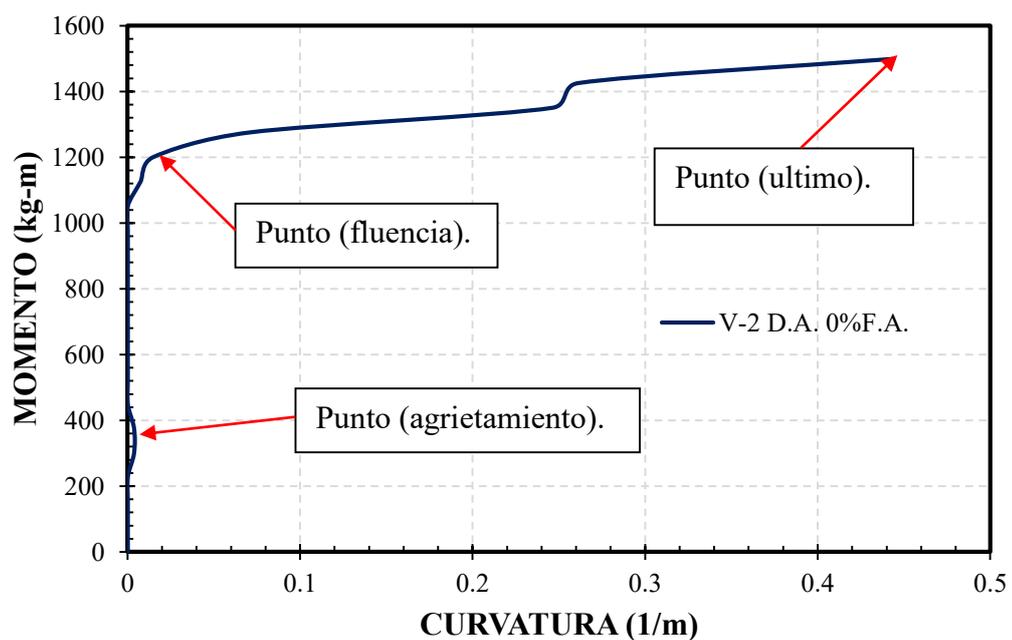
Comparación de diagramas $M-\phi$ en vigas doblemente armadas con 0% de F.A.



Del gráfico anterior escogeremos el gráfico más representativo que viene a ser el gráfico V-2 D.A. 0%F.A. para su posterior comparación.

Figura 122

Diagrama $M-\phi$ representativa de viga doblemente armada con 0% de F.A.



Para determinar la curvatura cedente y último realizamos una curva bilineal idealizada de acuerdo a lo indicado por CALTRANS, con la equivalencia de áreas correspondiente:

Figura 123:

Comparación de áreas para curva bilineal idealizada en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero.

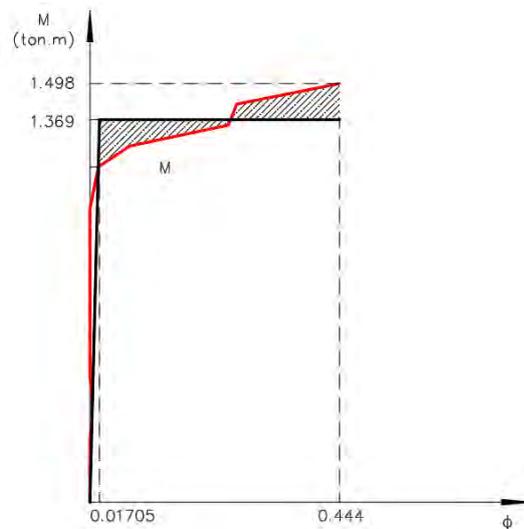


Figura 124:

Diagrama M-phi con curva bilineal idealizada en viga doblemente armada con 0% F.A.

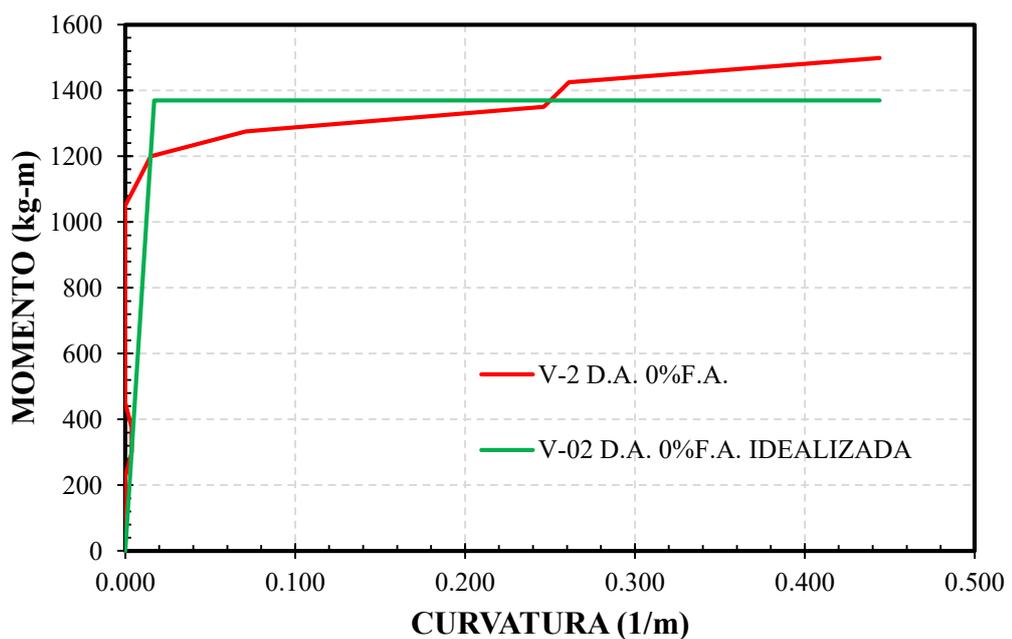


Tabla 78

Momentos y curvaturas experimentales para viga doblemente armada con 0% FA

Viga doblemente armada con 0% de fibra de acero	Estado	Momento kg-m	Curvatura (1/m)
	Fluencia	1369.50	0.01705
	Ultimo	1498.89	0.44403

C) CÁLCULO TEÓRICO RELACION MOMENTO CURVATURA EN VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

Para esta sección graficamos en diagrama momento curvatura con el programa RESPONSE 2000 tanto para vigas con 1% de fibras de acero.

Figura 125

Datos de viga doblemente armada 1% ingresados al programa RESPONSE 2000

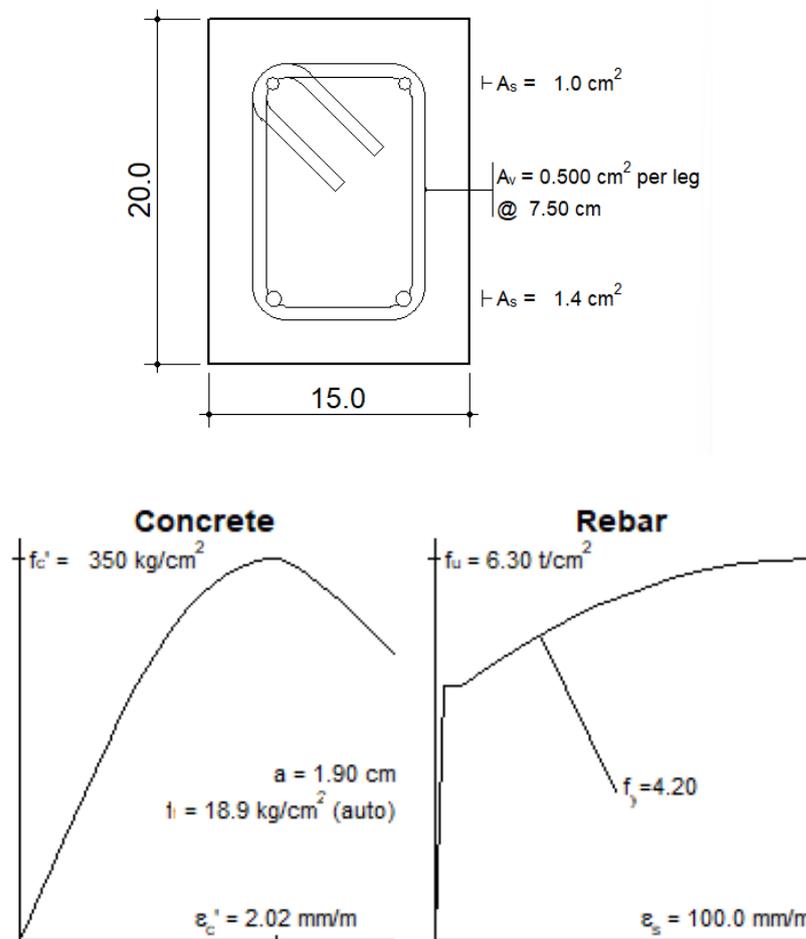


Figura 126

Gráfico Momento Curvatura - Response 2000 VIGA 1%FA

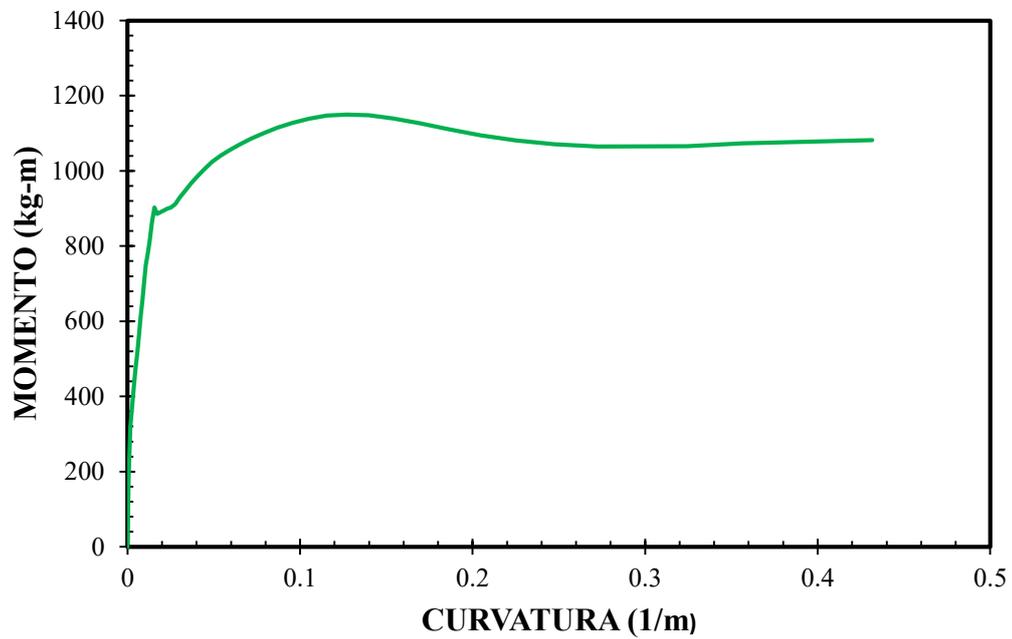
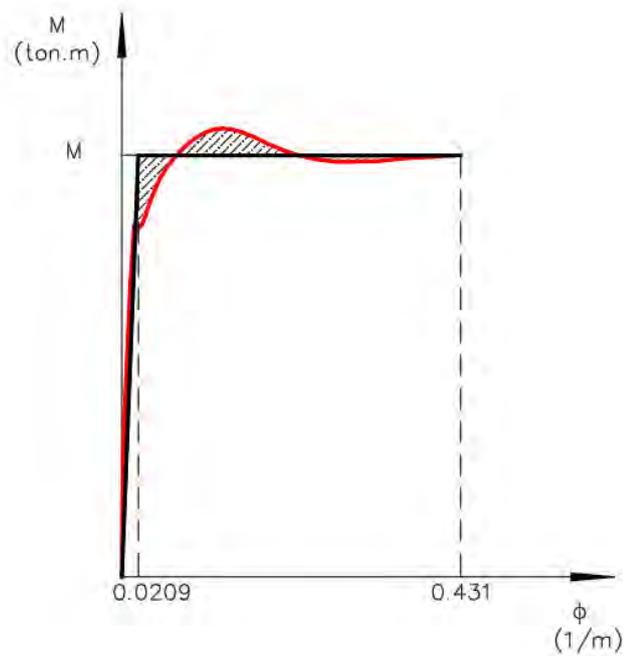


Figura 127:

Curva bilineal idealizada teórico en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.



Realizamos un cuadro para hallar los puntos de agrietamiento, fluencia y última para la viga doblemente armada con 1% de fibras de acero.

Tabla 79

Momentos y curvaturas para viga doblemente armada con el RESPONSE 2000

CONDICIÓN	CRUVATURA (rad/cm)
Inicial	0.00000
Cedencia	0.0209
Última	0.43165

D) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

En esta sección se ha ensayado 3 vigas como lo previsto en el cuadro de tamaño de muestra, se ha tomado datos con las galgas extensiométricas y con la máquina universal, para la interpretación de los resultados se ha desarrollado un cuadro de comparación entre la cantidad de datos obtenida por la máquina universal y los datos obtenidos por las galgas extensiométricas; todo esto en relación al tiempo de ensayo, a continuación, se muestran los resultados de los diagramas momento curvatura para las vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.

VIGA 01

Tabla 80

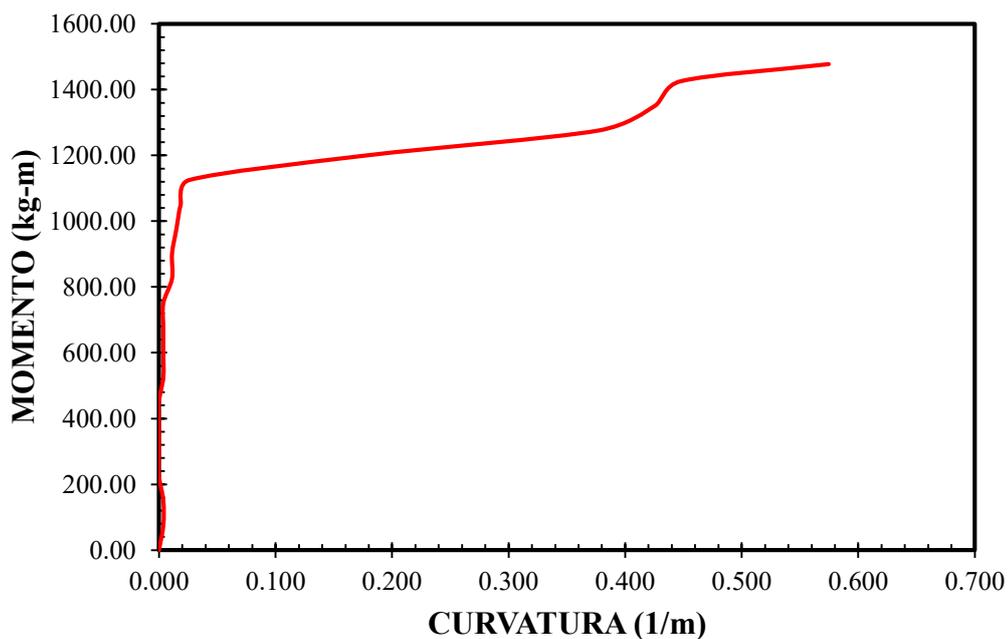
Momento y curvatura para viga 01 doblemente armada con 1% de fibras de acero

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
0	0.00	0.00	0	0.00000
38	501.67	75.25	6	0.00373
165	1005.16	150.77	23	0.00373
264	1503.20	225.48	37	0.00000
348	2003.06	300.46	48	0.00000
466	2499.75	374.96	65	0.00000

616	3002.78	450.42	85	0.00000
739	3500.82	525.12	102	0.00373
930	4001.14	600.17	128	0.00373
1065	4500.53	675.08	147	0.00373
1220	5001.76	750.26	168	0.00373
1365	5501.16	825.17	188	0.01119
1500	6004.19	900.63	207	0.01119
1633	6501.79	975.27	225	0.01493
1770	7001.79	1050.27	244	0.01866
1942	7499.69	1124.95	268	0.02612
3305	8000.00	1200.00	455	0.17910
5546	8501.22	1275.18	763	0.37687
6072	8999.71	1349.96	836	0.42537
6299	9501.39	1425.21	867	0.44776
7723	9847.48	1477.12	1063	0.57463

Figura 128

Diagrama Momento Curvatura de viga N°- 01 doblemente armada con 1% de FA



VIGA 02

Tabla 81

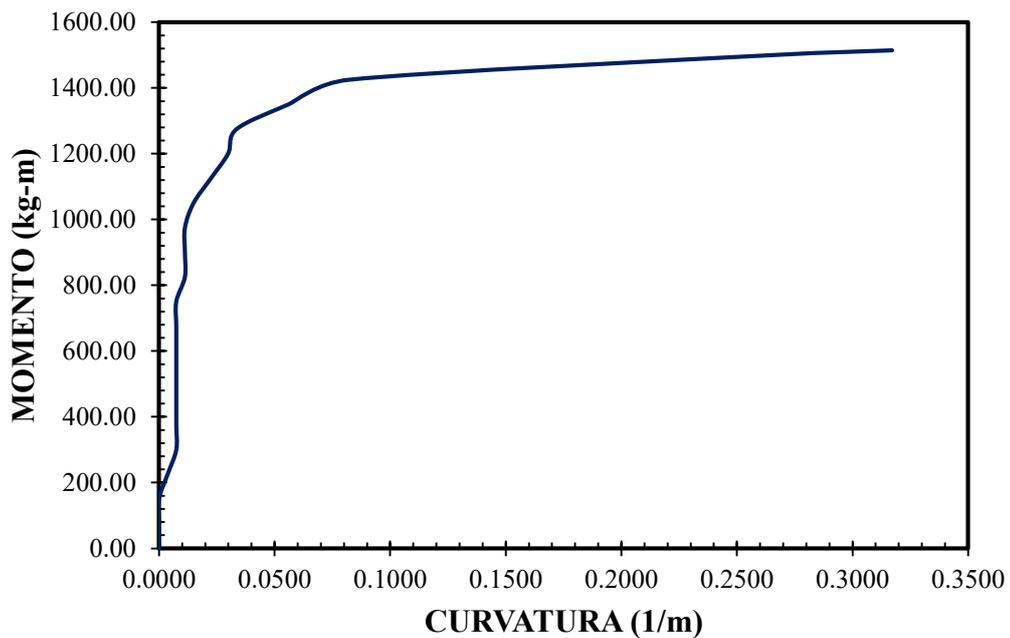
Momento y curvatura para viga 02 doblemente armada con 1% de fibras de acero:

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
1	0.00	0.00	1	0.000000

70	500.31	75.05	10	0.000000
165	1004.25	150.64	23	0.000000
253	1504.11	225.62	36	0.003731
344	1998.53	299.78	48	0.007463
456	2500.65	375.10	64	0.007463
592	3000.96	450.14	83	0.007463
744	3498.10	524.72	104	0.007463
894	4002.50	600.37	125	0.007463
1063	4500.99	675.15	148	0.007463
1218	5004.48	750.67	170	0.007463
1378	5502.52	825.38	192	0.011194
1530	6004.20	900.63	213	0.011194
1712	6500.88	975.13	239	0.011194
1868	7000.74	1050.11	260	0.014925
2375	7500.14	1125.02	331	0.022388
3019	8000.00	1200.00	420	0.029851
3907	8501.22	1275.18	544	0.033582
5110	9000.17	1350.03	711	0.055970
5290	9500.94	1425.14	736	0.082090
6188	9999.44	1499.92	861	0.264925
6708	10097.87	1514.68	933	0.317164

Figura 129

Diagrama Momento Curvatura de viga N°- 02 doblemente armada con 1% de FA



VIGA 03

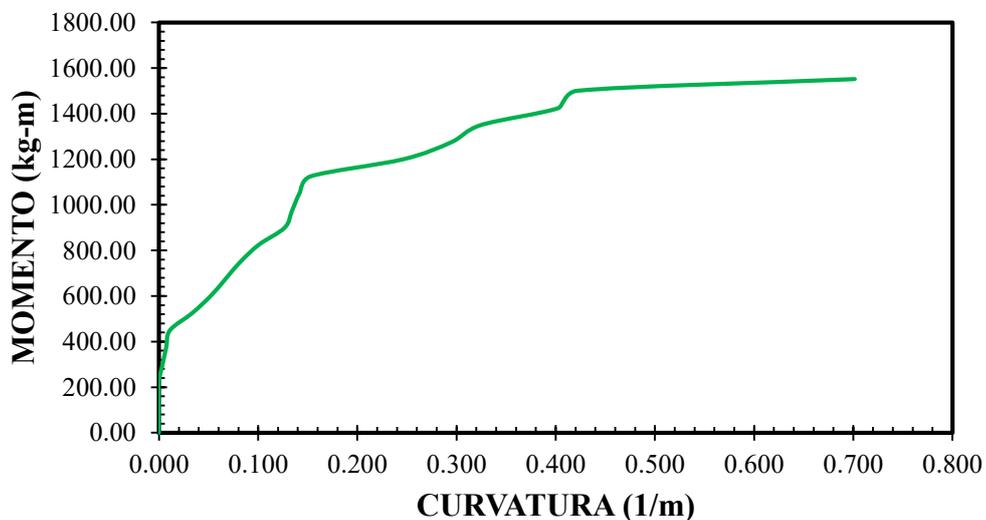
Tabla 82

Momento y curvatura para viga 03 doblemente armada con 1% de fibras de acero.

CELDA (Maq. Univ.)	FUERZA (kg/cm ²)	MOMENTO (kg-m)	CELDA (GALGA)	CURVATURA (1/m)
1	0.00	0.00	1	0.000000
25	503.94	75.59	4	0.000000
132	999.26	149.89	19	0.000000
252	1499.12	224.87	35	0.000000
363	2005.33	300.80	50	0.003731
475	2500.65	375.10	66	0.007463
642	3000.06	450.01	89	0.011194
811	3500.82	525.12	112	0.033582
980	4002.95	600.44	135	0.052239
1143	4498.73	674.81	158	0.067164
1306	4999.49	749.92	180	0.082090
1473	5500.71	825.11	203	0.100746
1752	6000.11	900.02	241	0.126866
1938	6501.79	975.27	267	0.134328
2124	7004.37	1050.66	292	0.141791
2322	7500.60	1125.09	319	0.152985
3608	8000.00	1200.00	496	0.246269
4429	8499.41	1274.91	609	0.294776
5364	9001.08	1350.16	737	0.324627
6737	9500.48	1425.07	926	0.402985
7055	10003.97	1500.60	970	0.421642
8809	10346.43	1551.97	1211	0.701493

Figura 130

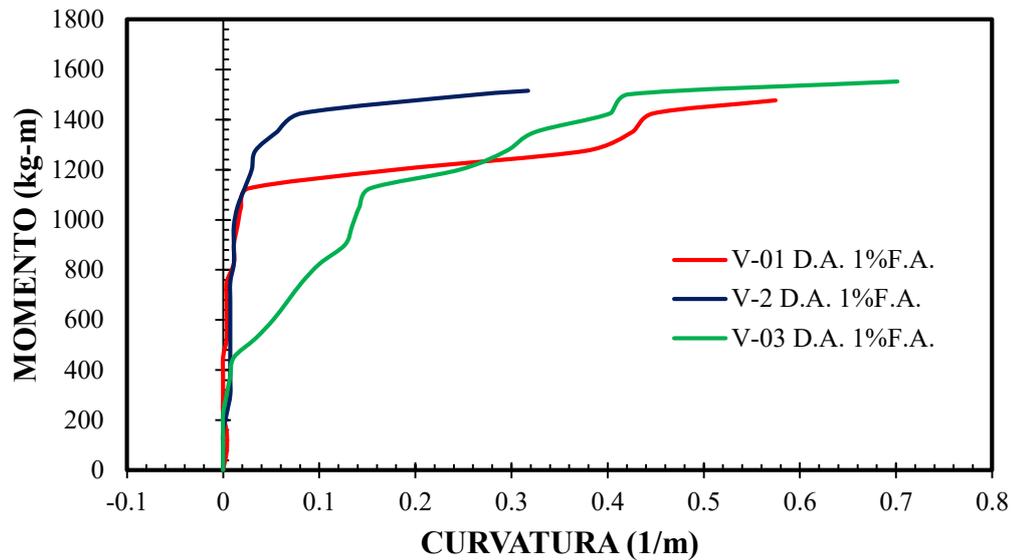
Diagrama Momento Curvatura de viga N°-03 doblemente armada con 1% de FA



A continuación, se presenta un resumen de los 3 diagramas anteriores correspondientes al ensayo de vigas doblemente armadas con 0% de incorporación de fibras de acero.

Figura 131

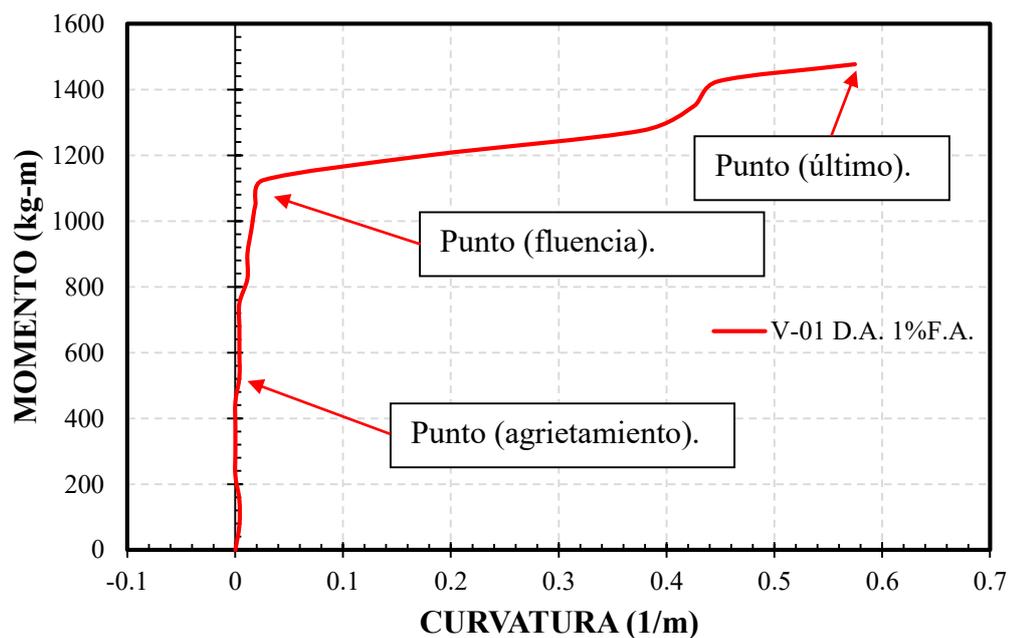
Comparación de diagramas M-φ en vigas doblemente armadas con 1% de F.A.



Del gráfico anterior escogeremos el gráfico más representativo

Figura 132

Diagrama M-φ representativa de viga doblemente armada con 1% de F.A.



Al igual que las vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero hallamos la representación bilineal de la curva con 1% de fibras de acero.

Figura 133:

Comparación de áreas para curva bilineal idealizada en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.

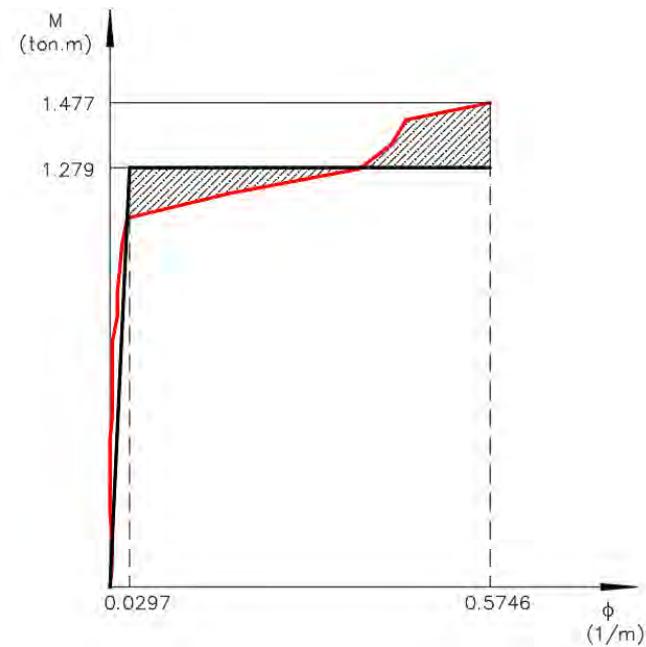


Figura 134:

Diagrama M-φ con curva idealizada en viga doblemente armada con 0% F.A.

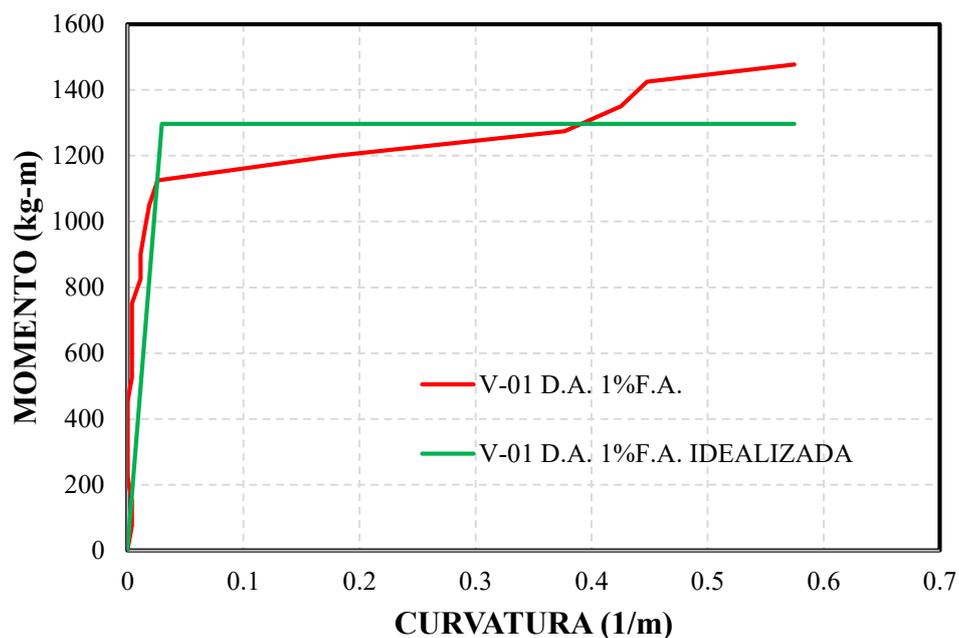


Tabla 83

Momentos y curvaturas experimentales para viga doblemente armada con 1% FA

Viga	Estado	Momento kg-m	Curvatura (1/m)
doblemente armada con 1% de fibra de acero	Fluencia	1279.00	0.0297
	Ultimo	1477.12	0.57462

4.2.1.4.COMPARACION DE RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS

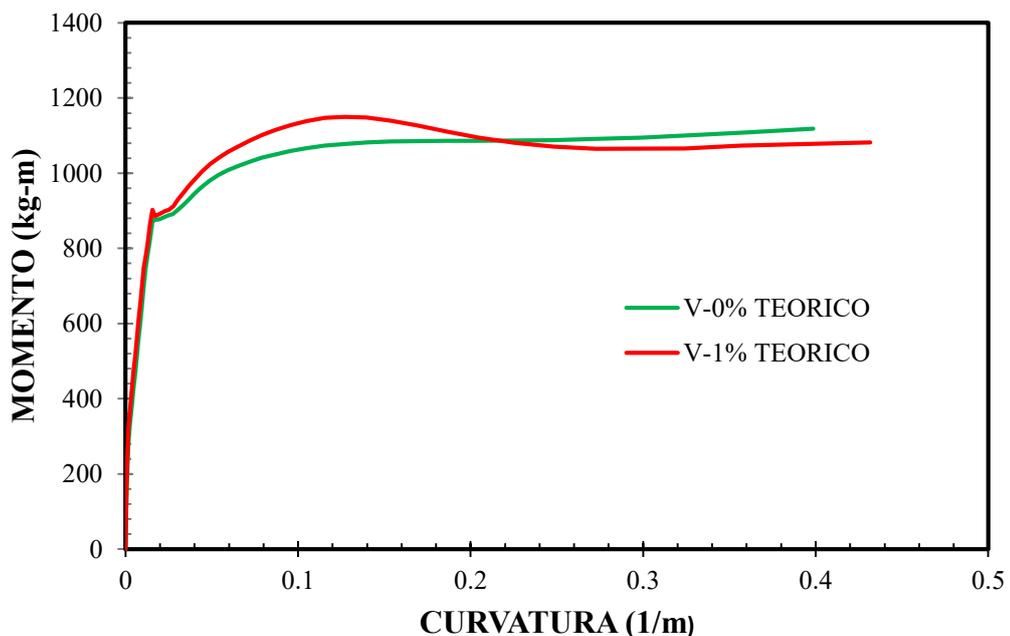
Al momento de obtener los momentos y curvaturas teóricos y experimentales de las secciones de concreto doblemente armadas, se realiza una comparación verificando la variación entre estos valores.

A) COMPARACION DE CÁLCULOS TEÓRICOS

A continuación, realizamos la comparación de gráficos de momento vs curvatura.

Figura 135

Comparación de gráficas momento curvatura teóricos en vigas doblemente armadas



B) COMPARACION DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación, realizamos la comparación de gráficos de momento vs curvatura para los resultados experimentales de las vigas doblemente armadas con 0 y 1% de fibras de acero ensayadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ingeniería Civil UNSAAC:

Figura 136

Comparación de gráficas momento curvatura exp. en vigas doblemente armadas.

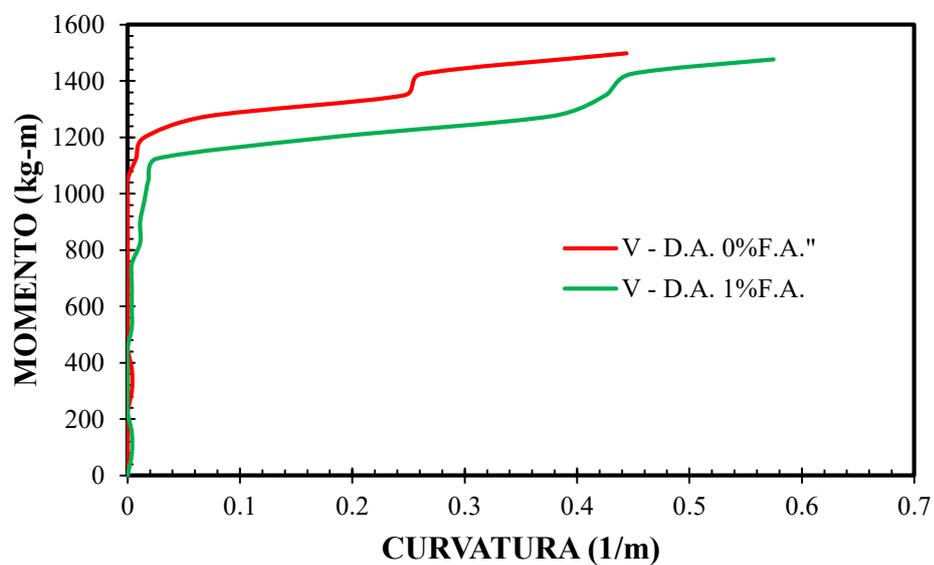
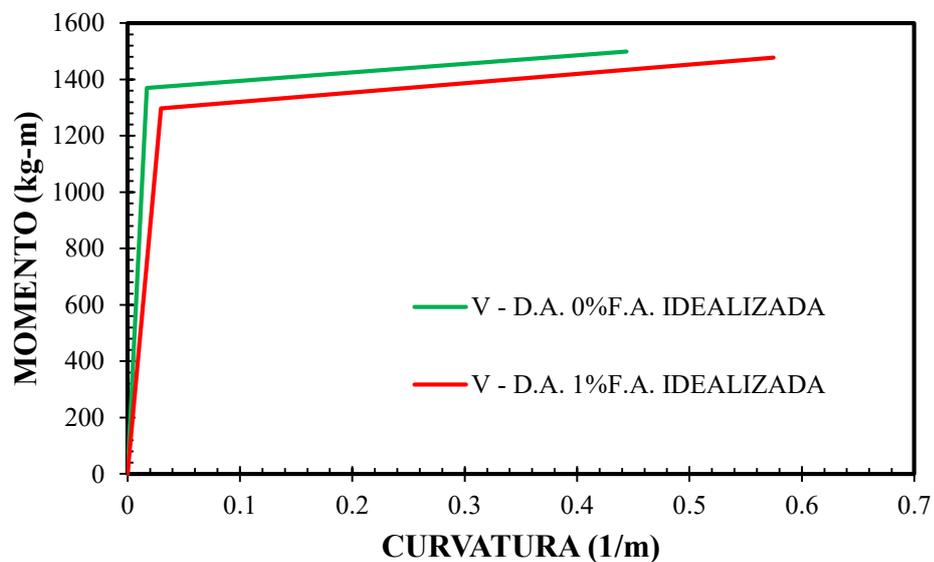


Figura 137: *Comparación de gráficas bilineales idealizadas en vigas D.A.*



C) COMPARACION DE RESULTADOS TEÓRICOS Y EXPERIMENTALES

Finalmente se realiza la comparación de los resultados teóricos con los experimentales para las vigas doblemente armadas.

Figura 138: Comparación de gráficas $M-\phi$ teórico y experimentales en vigas doblemente armadas con 0% de fibras de acero

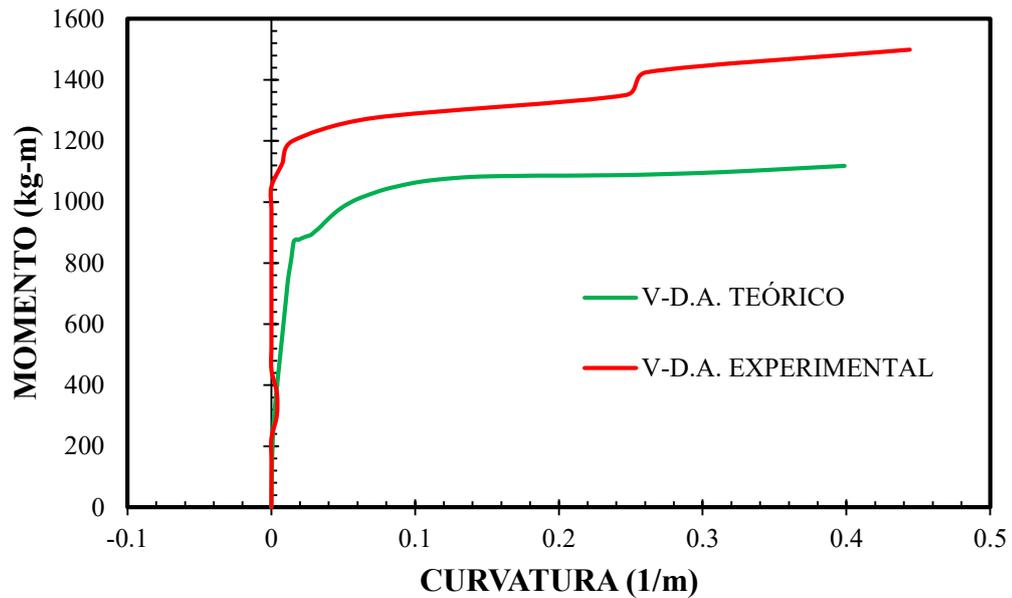
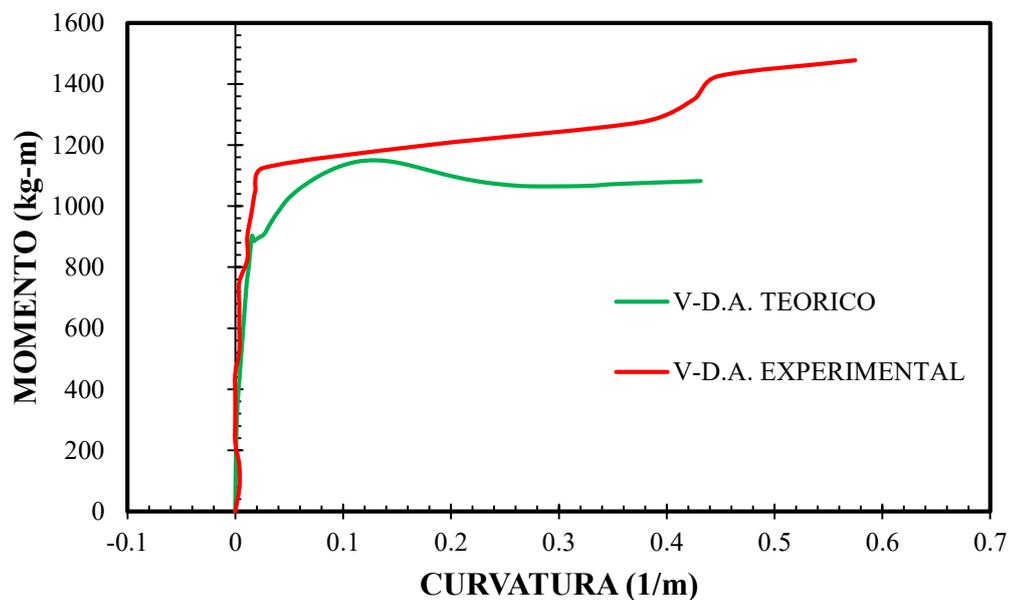


Figura 139: Comparación de gráficas $M-\phi$ teórico y experimentales en vigas doblemente armadas con 1% de fibras de acero.



4.2.2. DUCTILIDAD DE SECCIONES

Con los parámetros determinados del diagrama momento curvatura se calcula y determina la ductilidad de las secciones sometidos a esfuerzos de flexión.

4.2.2.1.CALCULO DE DUCTILIDAD PARA VIGAS SIMPLEMENTE ARMADAS

A) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

De acuerdo a la tabla N° 65 (resumen de momentos y curvaturas) se tiene las siguientes curvaturas en fluencia y estado último:

$$\phi_u = 0.179245 \quad \phi_y = 0.016781$$

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 10.68$$

Por lo tanto, se determina que la ductilidad experimental de la sección con 0% de fibra de acero es de 10.68.

B) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

De acuerdo a la tabla N° 65 (resumen de momentos y curvaturas) se tiene las siguientes curvaturas en fluencia y estado último:

$$\phi_u = 0.2550 \quad \phi_y = 0.01441$$

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 17.69$$

Por lo tanto, se determina que la ductilidad experimental de la sección con 0% de fibra de acero es de 17.69

4.2.2.2.CALCULO DE DUCTILIDAD PARA VIGAS DOBLEMENTE ARMADAS

A) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 0% DE FIBRA DE ACERO

De acuerdo a la tabla N° 73 (resumen de momentos y curvaturas) se tiene las siguientes curvaturas en fluencia y estado último:

$$\phi_u = 0.444029$$

$$\phi_y = 0.01705$$

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 25.82$$

Por lo tanto, se determina que la ductilidad experimental de la sección con 0% de fibra de acero es de 25.82.

B) CALCULO EXPERIMENTAL DE VIGA CON 1% DE FIBRA DE ACERO

De acuerdo a la tabla N° 65 (resumen de momentos y curvaturas) se tiene las siguientes curvaturas en fluencia y estado último:

$$\phi_u = 0.57462$$

$$\phi_y = 0.0297$$

$$\mu = \frac{\phi_u}{\phi_y} = 19.34$$

Por lo tanto, se determina que la ductilidad experimental de la sección con 1% de fibra de acero es de 19.34

CAPITULO VI: DISCUSIONES

1. ¿Por qué se utiliza un porcentaje de incorporación de fibra de acero en las secciones de concreto armado?

Los diversos antecedentes a nivel local, nacional e internacional incrementaron fibras no solo de acero si no de otros tipos de materiales para la verificación de las propiedades mecánicas del concreto y como este influye de manera directa en las resistencias ultimas, todas las investigaciones previas tienen un punto en común, el porcentaje de incorporación se encuentra en un rango de 0.5 a 3.5 % en función del volumen de las muestras o testigos a ensayar, sin embargo, la mayoría de estas investigaciones son aplicados a concretos destinados al uso de pavimentos rígidos, mas no de elementos tipo viga con acero de refuerzo interior, en el presente trabajo se obtuvo un parámetro intermedio de incorporación estableciendo que se debe de incorporar en un 1%, 2% y 3% del volumen de los testigos de concreto.

2. ¿Por qué al incrementar más la cantidad de fibra de acero en el concreto se produce una reducción de la resistencia a compresión y tracción?

Se ha establecido y verificado que al superar la cantidad de 1% de fibra de acero en el concreto se produce un resultado no deseable en la resistencia de las propiedades mecánicas del concreto, esto es debido a que al superar este límite se va reduciendo la cantidad o volumen de las conexiones internas entre el agregado y la pasta, produciendo que las líneas de falla o de fractura se produzcan con mayor facilidad, por ende, es necesario establecer un límite para la utilización de este agente externo.

3. ¿Es necesario la determinación de los parámetros mecánicos del concreto previa a la elaboración de las vigas de concreto?

Es necesario realizar un diseño de mezclas del concreto logrando así en función a las propiedades mecánicas de los agregados determinar una resistencia adecuada que es requerida para soportar las cargas de diseño, al momento de realizar la preparación de los testigos tipo

viga estos ya tenían como precedente que la dosificación de la mezcla cumpliría con la resistencia requerida, parámetro que es utilizado para la determinación de los momentos de falla de las vigas de manera teórica y experimental.

4. ¿Por qué existe una variación de la resistencia entre el cálculo teórico y el cálculo experimental?

Para la determinación del método de cálculo teórico del estudio de los elementos de concreto armado sometidos a flexión es necesario aceptar premisas validas que, a pesar de no ser del todo cierto, son necesarios poder hacerlos debido a que simplifica significativamente los resultados, para lo cual es necesario aceptar las siguientes hipótesis (Inesa TECH, 2022)

- Existe un perfecto equilibrio de fuerzas y compatibilidad de deformaciones internas de los componentes de las secciones de concreto.
- Las deformaciones unitarias son directamente proporcionales al eje neutro.
- Las secciones permaneces planas antes y después de la aplicación de las cargas.
- Existe una deformación unitaria ultima a compresión que es de 0.003, sin embargo, otras investigaciones y datos experimentales demuestran que el concreto puede alcanzar una deformación ultimo de hasta 0.008 en condiciones y tratamientos especiales
- Existe un comportamiento perfectamente elástico o elastoplástico del acero de refuerzo, esto implica que el acero tiene una relación directa entre las deformaciones y el esfuerzo a través del módulo de elasticidad y que al superar la deformación límite del acero se asume que el acero falla y tiene un límite de fluencia constante de 4200 kg/cm²
- La resistencia a la tracción del concreto se desprecia en el cálculo de la resistencia ultima a flexión, debido a que se asume que la fibra más traccionada del concreto ya alcanzo su resistencia a tracción, por lo que, la sección esta fisurada.
- Se asume que se conoce el diagrama esfuerzo deformación del concreto a compresión, existe la suposición que el esfuerzo de compresión y la deformación unitaria del

concreto tiene una forma rectangular, trapezoidal, parabólica u otras suposiciones que permitan ayudar a la determinación de los esfuerzos internos de las secciones de concreto.

5. ¿Cuál es el costo de producción entre el concreto convencional y el concreto con la incorporación de fibra de acero?

Se determino un presupuesto analítico para la determinación del costo de producción de un concreto convencional y un concreto con la incorporación de 1% de fibra de acero por cada unidad de medida, es decir, cada metro cubico a producir, se determinó el siguiente costo:

Para el concreto, es decir, el concreto sin adición de fibra de acero con una resistencia $f'c=350.00$ kg/cm² el costo de producción por metro cubico asciende a un total de S/ 529.74 (Quinientos veinte y nueve con 74/100 soles).

Figura 140

Costo de Producción de Concreto por Metro Cubico.

Análisis de costo unitario						
Presupuesto: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXIÓN INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO						
1.1.4.5.3 CONCRETO EN VIGAS $f'c=350$ kg/cm ²						
Especificaciones: <input type="text"/>						
Rendimiento:	12	m ³	Por día	Horas por Día: 8		
Descripcion	Unid.	Recur...	Cantidad	%D...	Precio	Total
m³c	m³c	=	=	=	=	=
MANO DE OBRA						129.74
47 OPERARIO	hh	2.00	1.3333		19.70	26.27
47 OFICIAL	hh	2.00	1.3333		16.40	21.87
47 PEON	hh	8.00	5.3333		15.30	81.60
MATERIALES						380.58
05 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³		0.3800	0%	59.32	22.54
05 ARENA GRUESA	m ³		0.5800	0%	59.32	32.63
21 CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 kg)	bls		13.3000	0%	23.72	315.48
39 AGUA	m ³		0.2300	0%	25.42	5.85
34 GASOHOL 90 OCTANOS	gln		0.2500	0%	16.30	4.08
EQUIPO						19.42
37 HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000		129.74	3.89
48 WINCHE ELECTRICO 3.6 HP DE DOS BALDES	hm	1.00	0.6667	0%	12.71	8.47
49 VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.00	0.6667	0%	4.24	2.83
49 MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	1.00	0.6667	0%	6.35	4.23
SUB-CONTRATOS						0.00
SUB-PARTIDAS						0.00
Total						529.74

De otra parte, para el concreto con la incorporación de fibra de acero, el costo de producción por metro cubico asciende a un total de S/ 627.46 (Seiscientos veinte y siete con 46/100 soles)

Figura 141

Costo de Producción de Concreto con Incorporación de Fibra de Acero por Metro Cubico

Análisis de costo unitario						
Presupuesto: DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXIÓN INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO						
1.1.4.5.2 CONCRETO EN VIGAS $f_c=210 \text{ kg/cm}^2 + 1\% \text{ FIBRA DE ACERO}$						
Rendimiento: 12 m ³ Por día						Horas por Día: 8
Descripción	Unid.	Recur...	Cantidad	%D...	Precio	Total
MANO DE OBRA						129.74
47 OPERARIO	hh	2.00	1.3333		19.70	26.27
47 OFICIAL	hh	2.00	1.3333		16.40	21.87
47 PEON	hh	8.00	5.3333		15.30	81.60
MATERIALES						478.30
05 PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³		0.4600	0%	59.32	27.29
05 ARENA GRUESA	m ³		0.5400	0%	59.32	32.03
21 CEMENTO PORTLAND TIPO IP (42.5 kg)	bls		9.1000	0%	23.72	215.85
39 AGUA	m ³		0.2300	0%	25.42	5.85
34 GASOHOL 90 OCTANOS	gln		0.2500	0%	16.30	4.08
02 FIBRA DE ACERO FF1	kg		24.0000	0%	8.05	193.20
EQUIPO						19.42
37 HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000		129.74	3.89
48 WINCHE ELECTRICO 3.6 HP DE DOS BALDES	hm	1.00	0.6667	0%	12.71	8.47
49 VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.00	0.6667	0%	4.24	2.83
49 MEZCLADORA DE CONCRETO TAMBOR 18 HP 11 p3	hm	1.00	0.6667	0%	6.35	4.23
SUB-CONTRATOS						0.00
SUB-PARTIDAS						0.00
Total						627.46

CAPITULO VII: CONCLUSIONES

Conclusión N ° 01

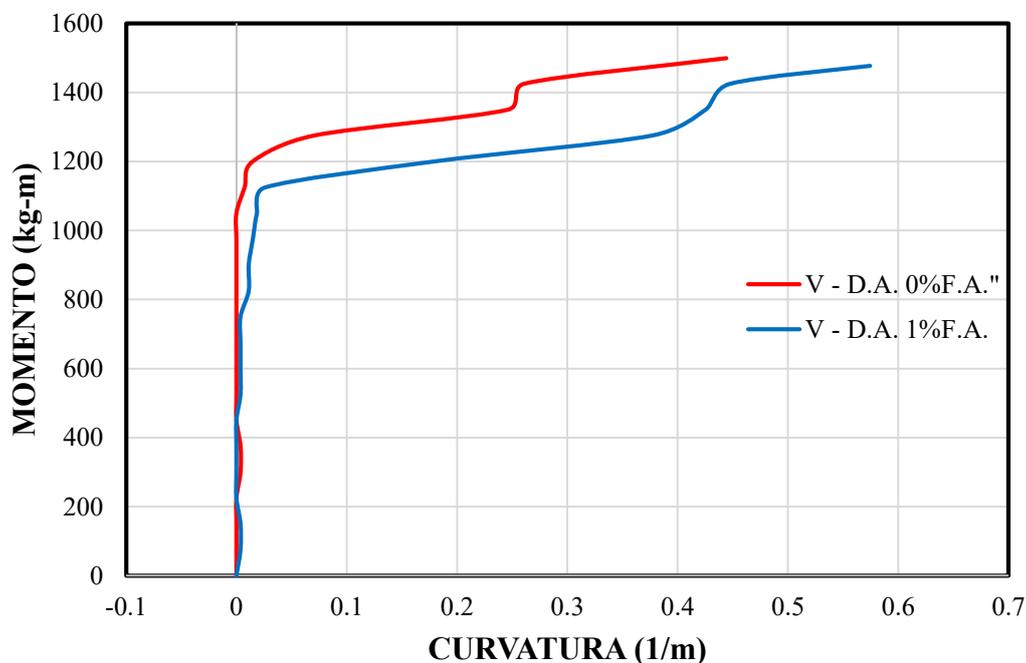
Se demostrado en su totalidad la hipótesis general que indica:

“Al adicionar fibras de acero a las secciones de concreto se incrementa la relación de momento curvatura sometidos a flexión.”

De acuerdo a los siguientes resultados, tanto en el caso teórico como experimental al adicionar las fibras de acero en las secciones de concreto se incrementa la relación momento curvatura, esto es debido a que al incrementar la cantidad de fibra de acero a 1% se produce un incremento de resistencia a la compresión y tracción del concreto, parámetros de suma importancia en la determinación de la ubicación del eje neutro y el momento último, por lo tanto, se logra una mayor resistencia.

Figura 142

Comparativa de Diagrama Momento Curvatura Experimental en vigas doblemente armadas



Conclusión N ° 02

No se ha demostrado en su totalidad la sub - hipótesis N°01 que indica:

“Existe un incremento en la ductilidad de las secciones de concreto armado sometidos a flexión incorporando fibras de acero.”

De acuerdo con los siguientes resultados no existe un incremento en la ductilidad experimental. Al incorporar fibras de acero y mejorar la resistencia a compresión y tracción del concreto, hay un incremento en la capacidad de carga de momento de la sección, pero una reducción en la ductilidad.

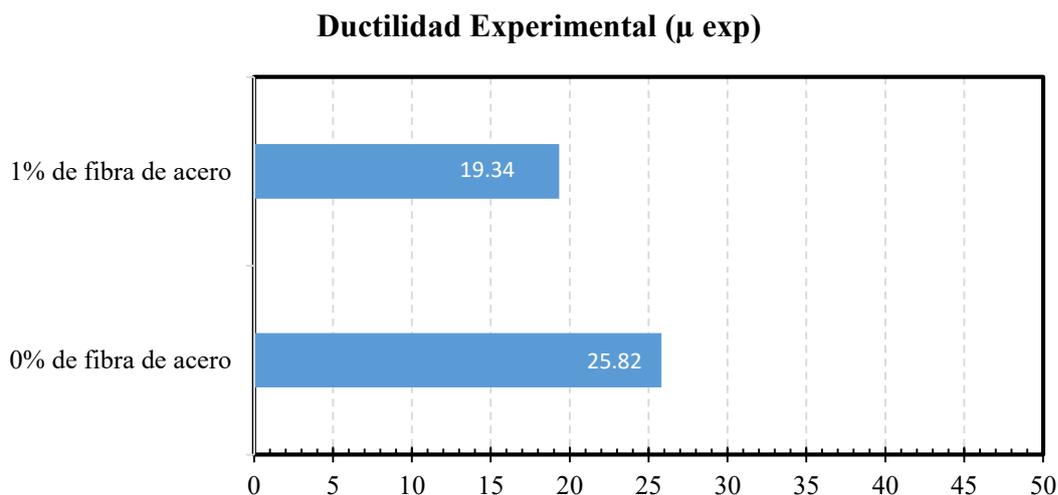
Tabla 84

Variación de Ductilidad Experimental

Resultado Experimental			
	ϕ_y	ϕ_u	μ
0% de Fibras de Acero	0.0171	0.444	25.82
1% de Fibras de Acero	0.0297	0.574	19.34

Figura 143

Comparativa de Ductilidad Experimental

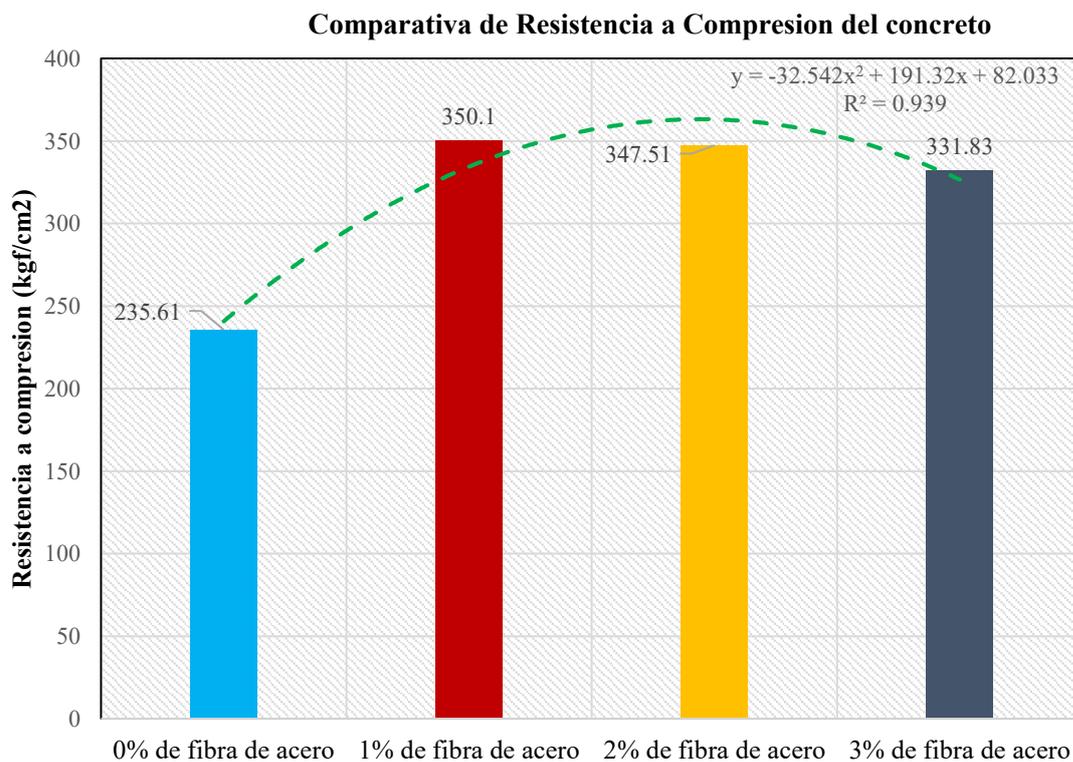


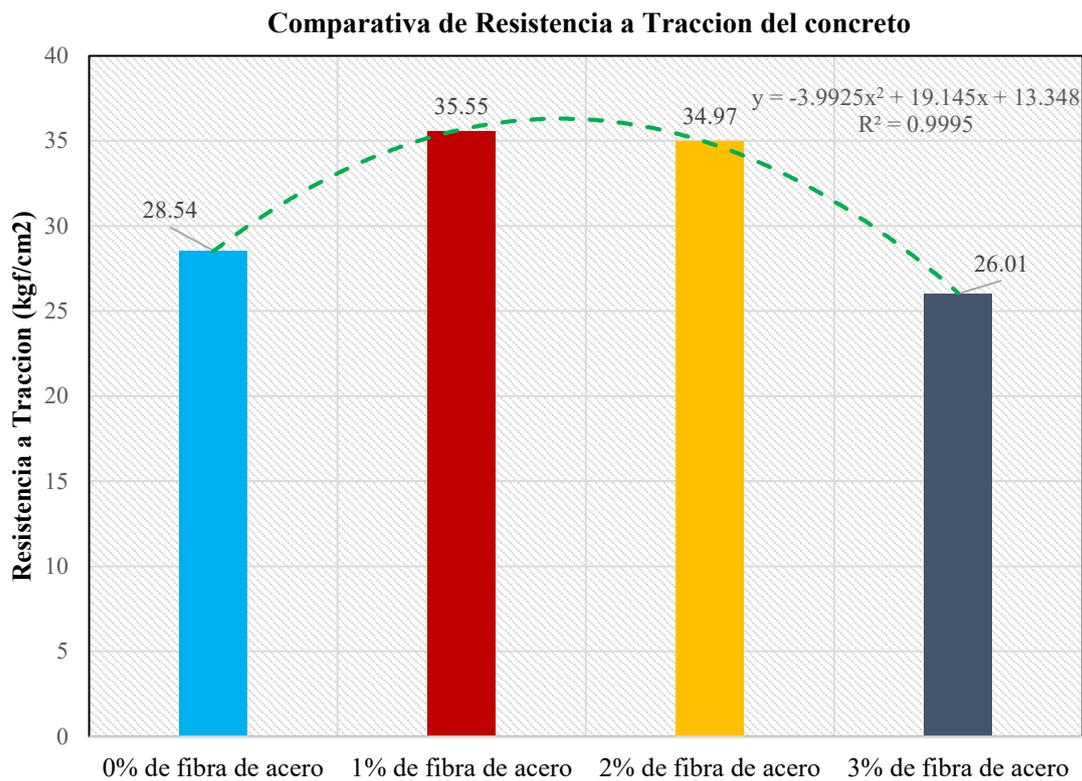
Conclusión N ° 03

Se demostrado parcialmente la sub - hipótesis N°02 que indica:

“La incorporación de las fibras de concreto influye directamente en los parámetros mecánicos de las secciones de concreto armado sometidos a flexión.”

Al incorporar fibra de acero los parámetros mecánicos del concreto tal como la resistencia a compresión y resistencia a tracción, incrementan proporcionalmente hasta 1% de fibra en el concreto, al seguir incrementando la cantidad de fibra de acero las propiedades tienen una tendencia a la reducción en las resistencias resultado perjudicial para el concreto, estos resultados fueron demostrados en las figuras N°41 y N°43 de la presente investigación.





Conclusión N ° 04

Se demostrado totalmente la sub - hipótesis N°03 que indica:

“La resistencia última de las secciones de concreto armado sometidos a flexión es mayor al incorporar fibras de acero en el concreto.”

Al incorporar fibra de acero en secciones de concreto armado los cuales son sometidos a esfuerzos de flexión la resistencia ultima o momento ultimo incrementa, se produce la variación positiva de este parámetro mecánico como lo indicado en las figuras 70.

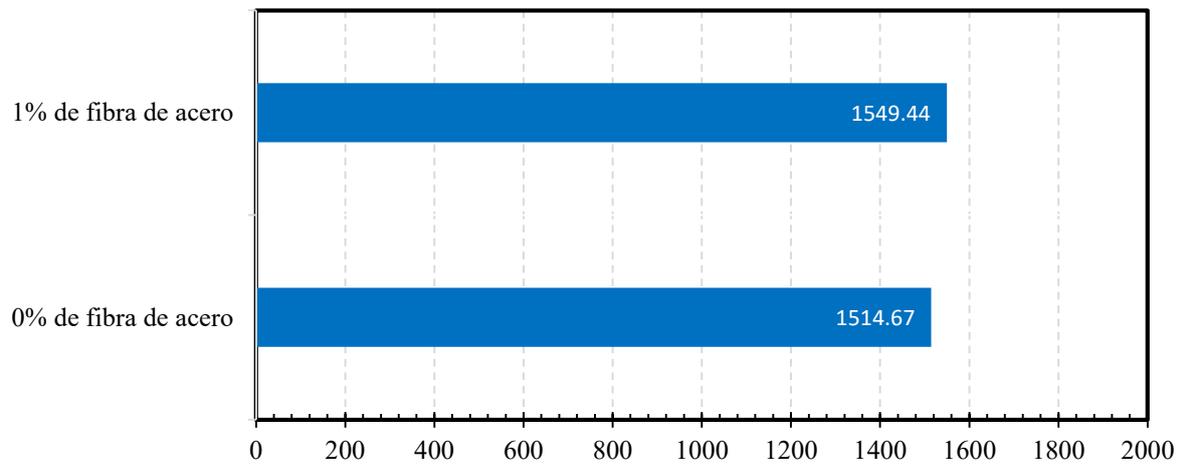
Tabla 85

Variación de Resistencia Experimental

Calculo teorico			
	Ma (kg-m)	My(kg-m)	Mu(kg-m)
0% de fibra de acero	489.402	1098.010	1514.67
1% de fibra de acero	529.88	1125.83	1549.44

Figura 144

Comparativa de Resistencia Ultima experimental en vigas doblemente armadas



RECOMENDACIONES

- Reducir el porcentaje de análisis para futuras investigaciones en un rango menor a 1% con un intervalo de incorporación de 0.25, es decir, incrementar en el concreto un 0.25%, 0.50%, 0.75% y 1.00% la cantidad de fibras de acero para lograr obtener un porcentaje óptimo debido a que en esta investigación se ha demostrado que al incrementar la cantidad de fibras de acero superior al 1.00% las propiedades mecánicas del concreto comienzan a reducirse.
- Verificar la variación de los resultados al desarrollar el ensayo de flexión en vigas de concreto armado de manera puntual y no repartida en los dos tercios de la longitud libre, de esta manera se verificará si las deformaciones y resistencias experimentales varían en comparación al método de ensayo aplicado en esta investigación.
- Se recomienda ampliar el horizonte de evaluación de incrementar el análisis a la determinación del momento – rotación y a la determinación de los límites de desempeño de las secciones parámetro a obtener aplicando normativas internacionales tales como el ASCE 41-17.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, C., & Mendoza, J. (2021). Comportamiento teorico-experimental de fibras de acero como reemplazo parcial del refuerzo a cortante en vigas de concreto reforzado. *Revista ALCONPAT, 11(3)*, 31-49.
- Argibar, J. (2009). Muestra en investigacion cuantitativa. *Subjetividad y procesos cognitivos*, 13-29.
- Arias, J., & Villais, M. (2016). El protocolo de investigacion III: La poblacion de estudio. *Revista Alergia Mexico, 63(2)*, 201-206.
- ASCE 41-17. (2017). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- ASTM C 172. (2008). *Standard Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM C 31. (2008). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field*. West Conshohocken: American Society for Testing and Materials.
- ASTM, C.-3. (2003). *ESPECIFICACIÓN ESTANDAR DE AGREGADOS PARA CONCRETO*.
- Bono, R. (2012). *DISEÑOS CUASI-EXPERIMENTALES Y LONGITUDINALES*. Barcelona: Departamento de Metodologia de las Ciencias del Comportamiento - Facultad de Psicologia - Universidad de Barcelona.
- CALTRANS. (2013). *SEISMIC DESIGN CRITERIA*.
- Carrasco, S. (2019). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CIENTIFICA*. Lima: Editorial San Marcos de Anibal Jesus Paredes Galvan.
- Carrillo, J., & Aperador, W. (2013). Correlaciones entre las propiedades mecanicas del concreto reforzado con fibras de acero. *Ingeniería Investigación y Tecnología, XIV(3)*, 435-450.

- Ceroni, M. (2010). ¿Investigacion basica, aplicada o solo investigacion? *Revistica Social Quim. Peru*, 76(1), 5-6.
- Comision de Reglamentos Tecnicos y comerciales - INDECOPI. (2002). *Norma tecnica peruana NTP 400.037*. Lima: INDECOPI.
- Gioncu, V., & Mazazolani, F. (2002). *Ductility of Seismic Resistant Steel Structures*. California: CRC Press.
- González, O. (2014). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Mexico: Editorial LIMUSA.
- Gonzales, V., & Botero, J. (2005). Propiedades mecanicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. *Ingenieria y Ciencia*, 1(1), 67-76.
- Harmsen, T. (2017). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima: Fondo Editorial, Pontificia Universidad Catolica del Peru.
- Hernandez, A. (2008). EL METODO HIPOTETICO-DEDUCTIVO COMO LEGADO DEL POSITIVISMO LOGICO Y EL RACIONALISMO CRITICO: SU INFLUENCIA EN LA ECONOMIA. *Revista de Ciencias Economicas*, 26(2), 183-195.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta Edic ed.). México: Mc Graw Hill.
- Huerta, R. (2004). *Proporcionamiento de mezclas Concreto normal, pesado y masivo ACI 211.1*. Mexico: Instituto Mexicano del Cemento y del concreto, A.C.
- INACAL. (2015). *CONCRETO. Metodo de ensayo normalizado para la determinacion de la resistencia a la compresion del concreto en muestras cilindricas*. Lima: Direccion de Normalizacion - INACAL.
- INDECOPI. (2011). *AGREGADOS. Metodo de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad "peso unitario" y los vacios de los agregados*. Lima: INDECOPI.

- INDECOPI. (2013). *NTP 339.185 AGREGADOS. Metodo de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Lima: INDECOPI.
- INDECOPI NTP 339.078. (2012). *CONCRETO. Metodo de ensayo para determinar la resistencia a la flexion del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo*. Lima: Comision de Normalizacion de y Fiscalizacion de Barreras Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.
- Inesa TECH. (2022). *Comportamiento y Ductilidad de Secciones de Concreto Armado*. Madrid: Inesa TECH Civil engineering school & consulting.
- López, P. (2007). POBLACION MUESTRA Y MUESTREO. *Punto Cero*, 69-74.
- MACCAFERRI. (12 de Noviembre de 2009). *MACCAFERRI America Latina*. Obtenido de MACCAFERRI America Latina: <http://www.maccaferri.com.pe>
- McCormac, J., & Brown, R. (2017). *DISEÑO DE CONCRETO REFORZADO*. New Jersey, USA: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- Meza, A., & Ortiz, J. (2014). Estudio experimental de caracterizacion mecanica del concreto reforzado con fibras de acero y de polipropileno. *Revista Tecnica de Ingenieria de la Universidad del Zulia*, 37(2), 106-115.
- Mora, D., & Aguilar, R. (2015). MODELACION DE DIAGRAMA MOMENTO-CURVATURA Y MOMENTO. ROTACION EN SECCIONES DE ACERO ESTRUCTURAL. *Revista CIENCIA*, 17(1), 99-124.
- Moreno, E., & Solis, R. (2016). RESISTENCIA A TENSION DEL CONCRETO ELABORADO CON AGREGADO CALIZO DE ALTA ABSORCION. *CONCRETO Y CEMENTO, INVESTIGACION Y DESARROLLO*, 8(1), 35-45.
- MVCS E-060. (2016). *E.060. CONCRETO ARMADO*. Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Nilson, A. (2012). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogota: McGraW - HILL.

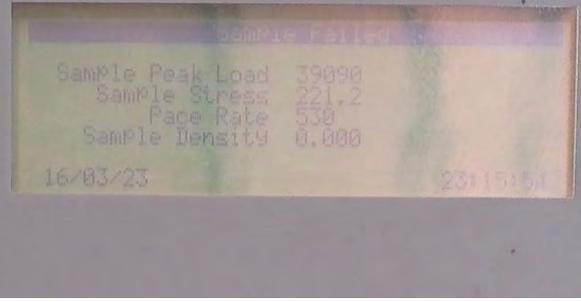
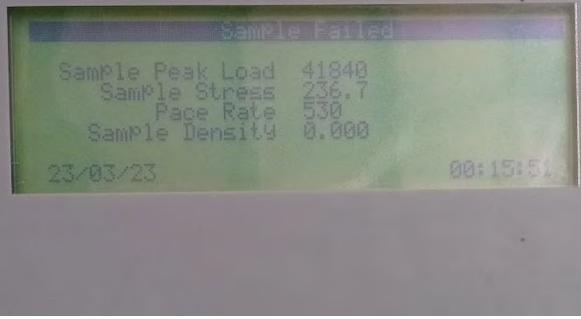
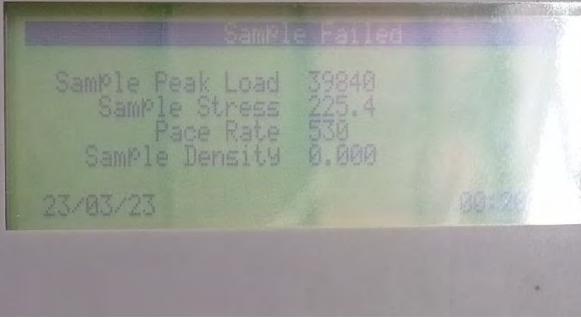
- Niño, J. (2010). *Tecnología del concreto – Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas. Tomo I*. Mexico: Asocreto.
- Noel, M. (2015). *MODULO DE DEFORMACION DEL HORMIGON, Estudios experimentales y situacion normativa en Uruguay*. Montevideo.
- NRMCA. (15 de noviembre de 2019). *National Ready Mixed Concrete Association*. Obtenido de National Ready Mixed Concrete Association: <http://www.nrmca.org>
- Ortega, J. (2015). *Diseño de estructuras de Concreto Armado - Tomo I*. Lima: Editorial Macro.
- Ottazzi, G. (2011). *Diseño en Concreto Armado*. Lima: INSTITUTO DE CONCRETO AMERICANO ACI PERU.
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Tecnicas de muestreo sobre una poblacion a estudio. *Int. J. Morphol*, 227-232.
- Pablo Xavier, i. U., & Molina, L. M. (2010). *Aplicación de galgas extensiométricas en el laboratorio de Mecánica de materiales de la carrera de ingeniería mecánica para la obtención de deformaciones en elementos sometidos a cargas combinadas*. Cuenca, México.
- Park, R., Priestley, M., & Gill, W. (1982). Ductility of square confined concrete columns. *ASCE Journal of Structural Engineering*, 108(4), 929-950.
- Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., & Gilberto, V. (2014). *Manual del concreto estructural Conforme a la Norma COVENIN 1753:2003*. Caracas: PAG Marketing Soluciones.
- Rivva, E. (2014). *CONCRETO: Materiales para el concreto*. Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.
- Sika Peru. (15 de Octubre de 2021). <https://per.sika.com>. Obtenido de <https://per.sika.com>: <https://per.sika.com/es/construccion/aditivos-concreto/aditivos-concreto-premezclado/fibras-concreto/sikafiber-cho-8060nb.html>

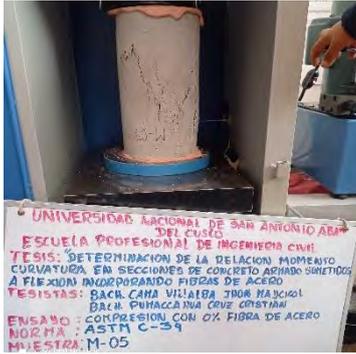
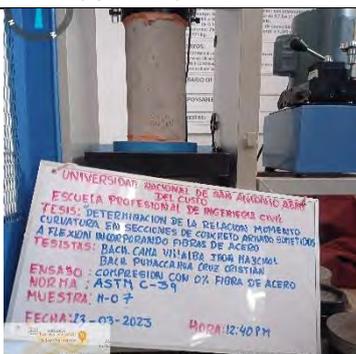
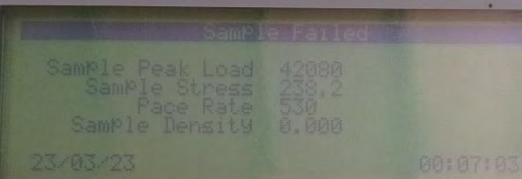
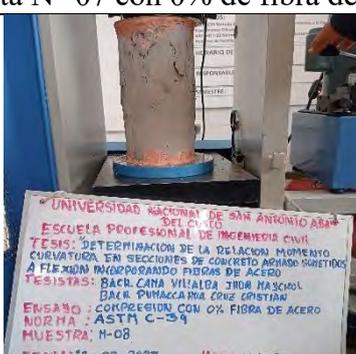
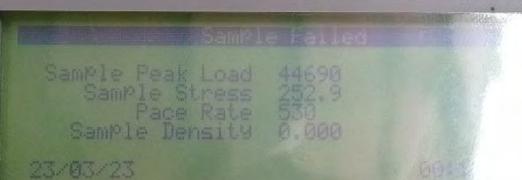
Vásquez, I. (18 de diciembre de 2005). *gestiopolis*. Obtenido de gestiopolis:
<https://www.gestiopolis.com/tipos-estudio-metodos-investigacion/>

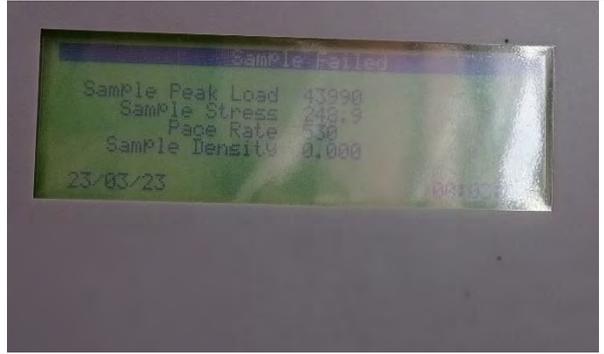
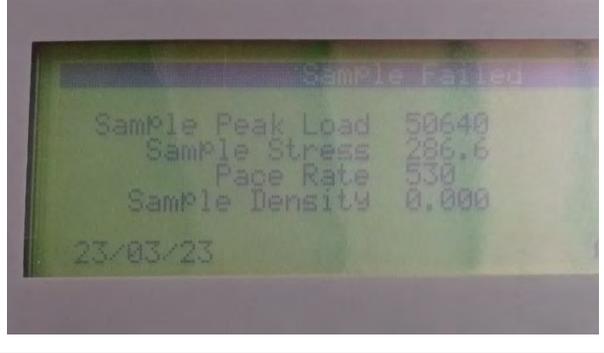
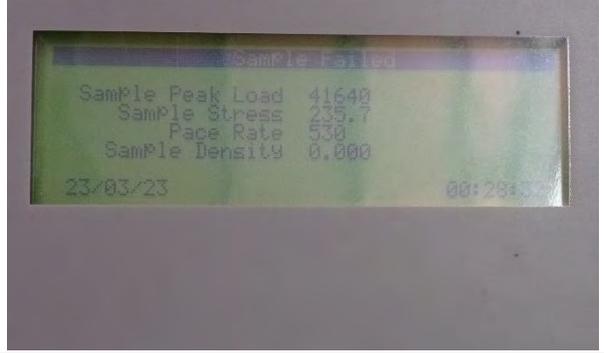
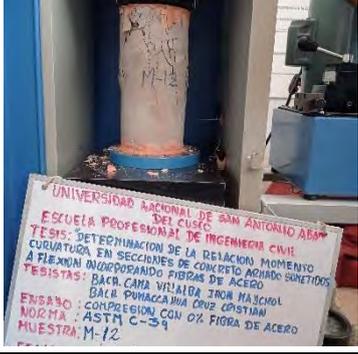
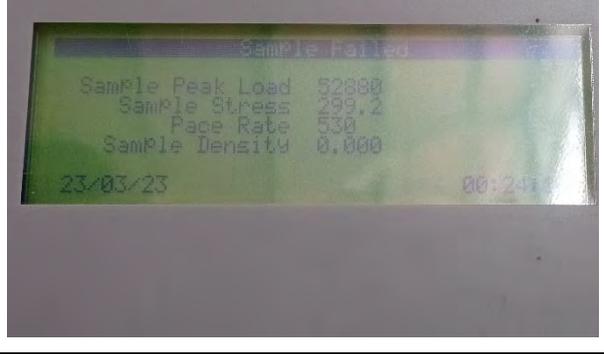
Villagran, E., & Vera, C. (2013). Modelo esfuerzo-deformacion para elementos de concretos reforzados que cumple con las hipótesis de las NTC RCDF 2004. *Concreto y cemento. Investigacion y desarrollo*, 5(1), 32-39.

ANEXOS

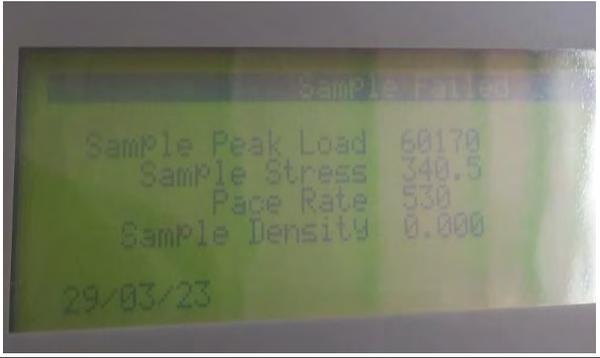
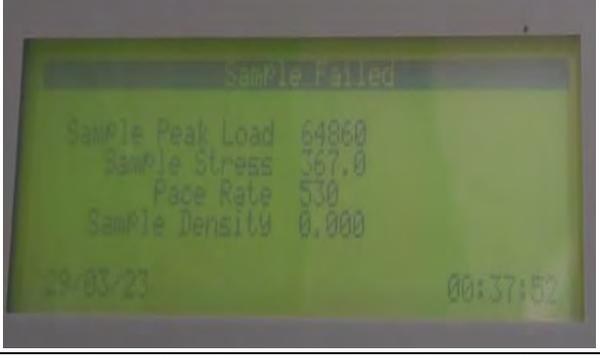
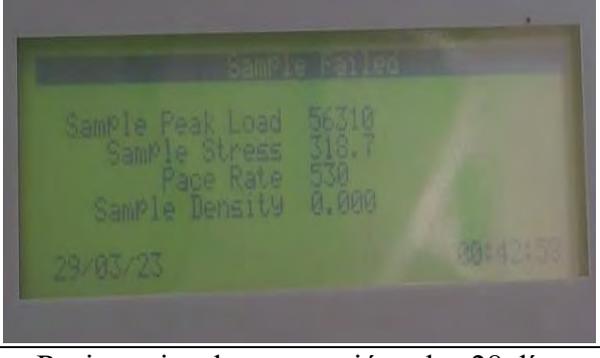
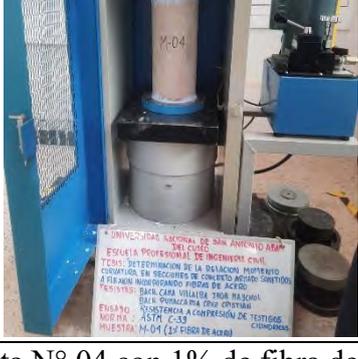
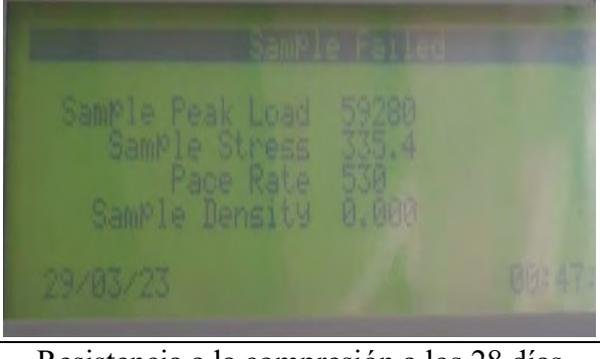
ANEXO A: Fotografías de las roturas de concreto $f'c=235\text{kg/cm}^2$, con 0% de FA

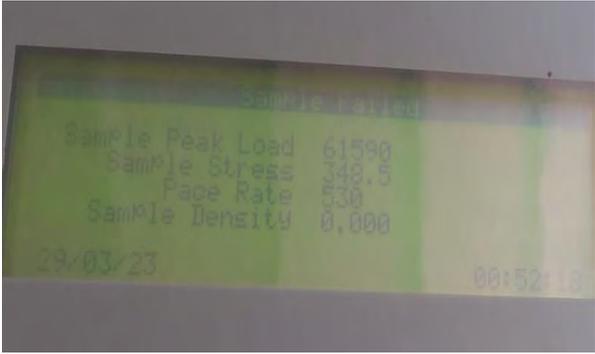
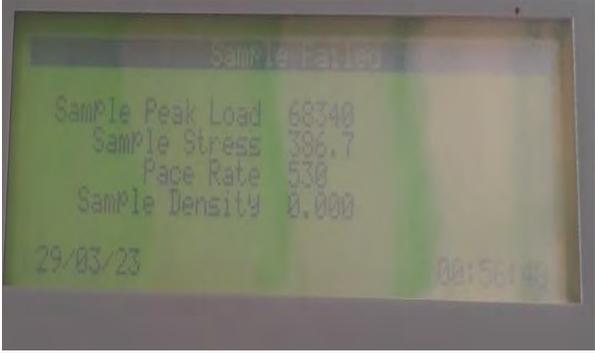
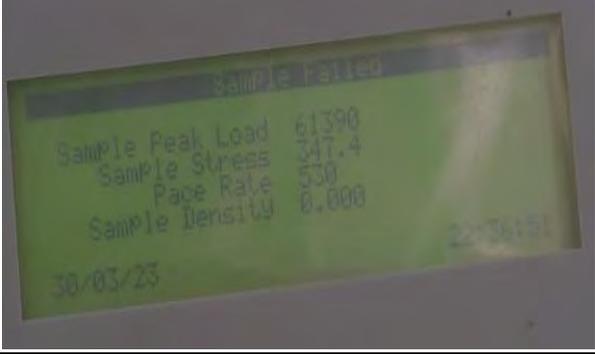
	
<p>Probeta N° 01 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 02 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 03 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 04 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

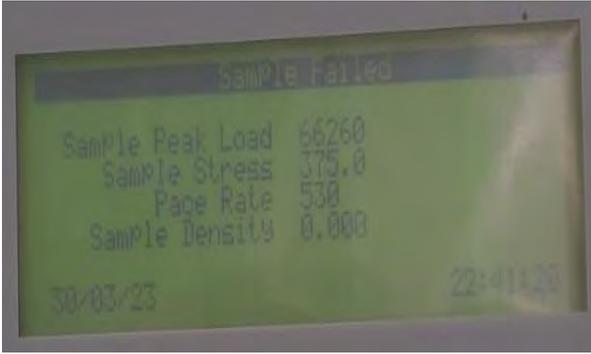
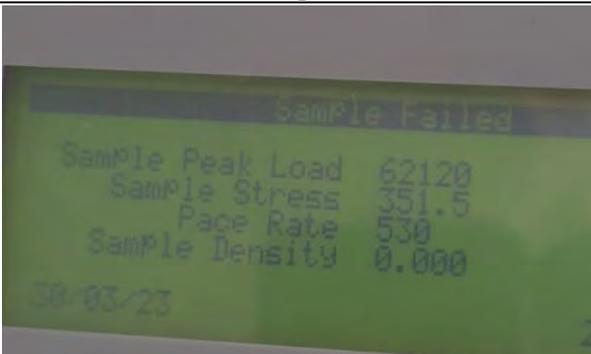
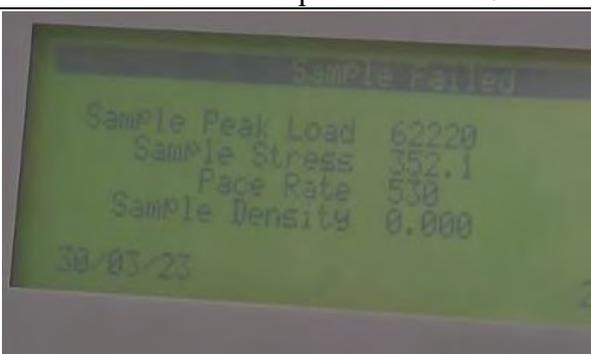
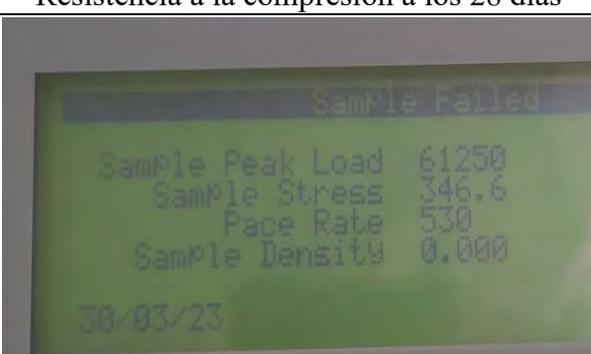
	
<p>Probeta N° 05 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 06 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 07 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 08 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAP DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO TESISISTAS: BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN ENSAYO : COMPRESION CON 0% FIBRA DE ACERO NORMA : ASTM C-39 MUESTRA : N-09 FECHA: 23/03-2023 HORA: 12:40 PM</p>	 <p>Sample Peak Load 43990 Sample Stress 248.9 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 23/03/23</p>
<p>Probeta N° 09 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAP DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO TESISISTAS: BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN ENSAYO : COMPRESION CON 0% FIBRA DE ACERO NORMA : ASTM C-39 MUESTRA : M-10</p>	 <p>Sample Peak Load 50640 Sample Stress 286.6 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 23/03/23</p>
<p>Probeta N° 10 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAP DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO TESISISTAS: BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN ENSAYO : COMPRESION CON 0% FIBRA DE ACERO NORMA : ASTM C-39 MUESTRA : M-11</p>	 <p>Sample Peak Load 41640 Sample Stress 235.7 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 23/03/23</p>
<p>Probeta N° 11 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAP DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO TESISISTAS: BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN ENSAYO : COMPRESION CON 0% FIBRA DE ACERO NORMA : ASTM C-39 MUESTRA : M-12</p>	 <p>Sample Peak Load 52880 Sample Stress 299.2 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 23/03/23</p>
<p>Probeta N° 12 con 0% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

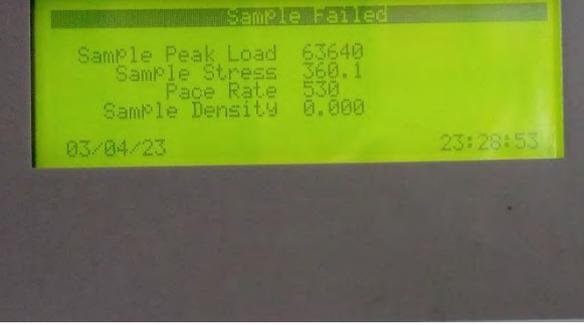
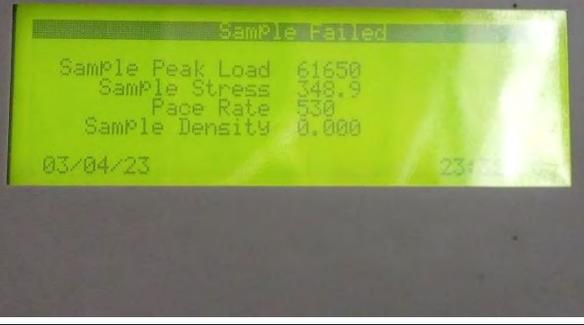
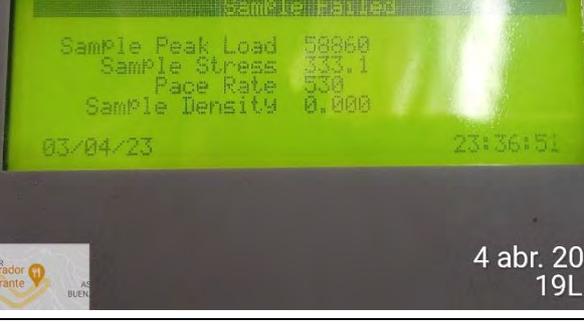
ANEXO B: Fotografías de las roturas de concreto $f'_c=350.10 \text{ kg/cm}^2$, con 1% de FA

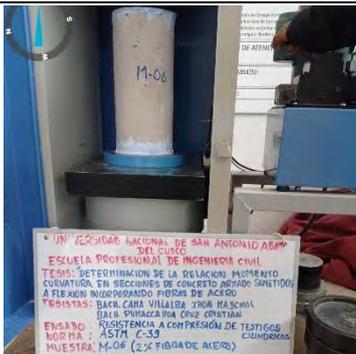
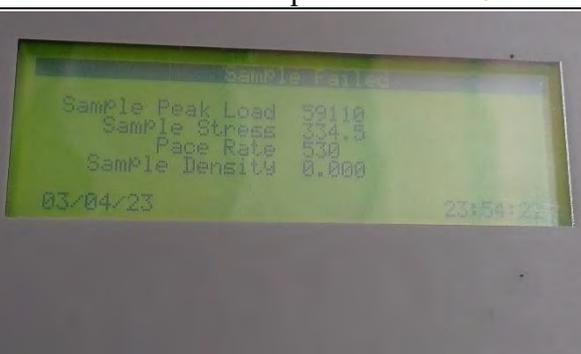
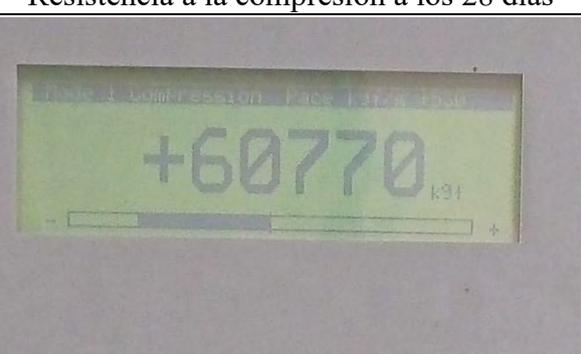
	
<p>Probeta N° 01 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 02 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 03 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 04 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

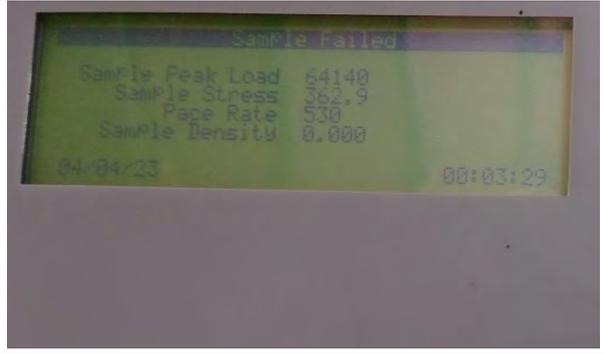
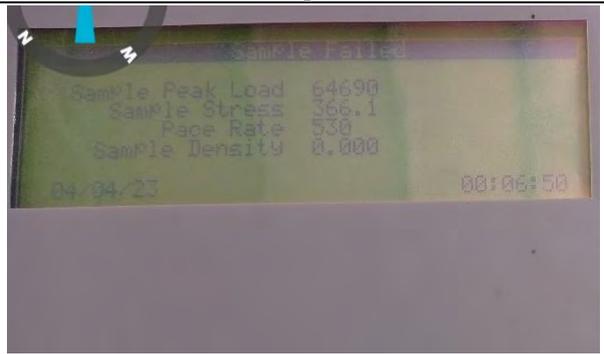
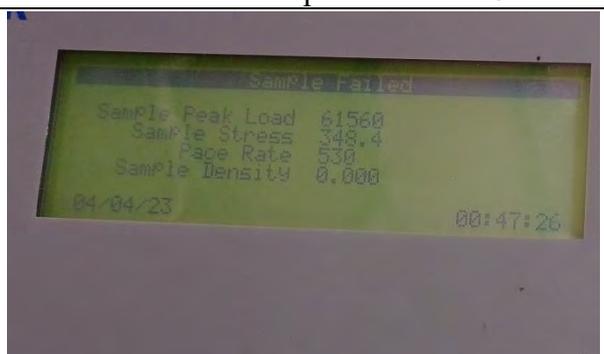
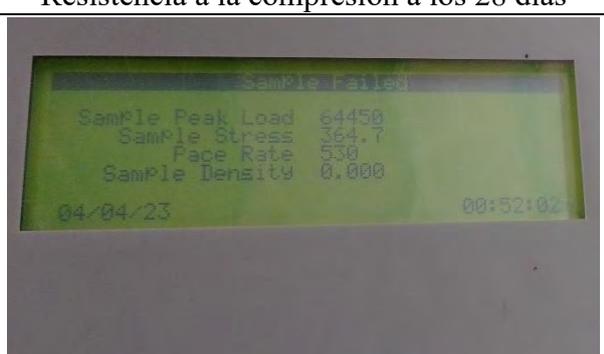
	
<p>Probeta N° 05 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 06 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 07 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 08 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

	
<p>Probeta N° 09 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 10 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 11 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 12 con 1% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

ANEXO C: Fotografías de las roturas de concreto $f'_c=350.41 \text{ kg/cm}^2$, con 2% de FA

 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN RESISTENCIA A COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS ASTM C-39 19L 179560 8503435 M-02 (2% FIBRA DE ACERO) 124 SE</p>	 <p>Sample Peak Load 61760 Sample Stress 349.5 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 03/04/23 23:24:58</p>
<p>Probeta N° 01 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN RESISTENCIA A COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS ASTM C-39 M-02 (2% FIBRA DE ACERO) UN-2023 Hora: 12:00 AM 4 abr 2023 12:26:07 p.m.</p>	 <p>Sample Peak Load 63640 Sample Stress 360.1 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 03/04/23 23:28:53</p>
<p>Probeta N° 02 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN RESISTENCIA A COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS ASTM C-39 M-03 (2% FIBRA DE ACERO) UN-2023 Hora: 12:00 AM 4 abr 2023 12:30:11 p.m.</p>	 <p>Sample Peak Load 61650 Sample Stress 348.9 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 03/04/23 23:30:51</p>
<p>Probeta N° 03 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
 <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL TESIS: DETERMINACION DE LA RELACION MOMENTO CURVATURA EN SECCIONES DE CONCRETO ARMADO SOMETIDOS A FLEXION INCORPORANDO FIBRAS DE ACERO BACH. CAMA VILLALBA JHON MAYCKOL BACH. PUMACCAHUA CRUZ CRISTIAN RESISTENCIA A COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS ASTM C-39 M-04 (2% FIBRA DE ACERO) UN-2023 Hora: 12:00 AM 4 abr 2023 12:31:03 p.m. 8503442 111 E</p>	 <p>Sample Peak Load 58860 Sample Stress 333.1 Pace Rate 530 Sample Density 0.000 03/04/23 23:36:51 4 abr. 2019</p>
<p>Probeta N° 04 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

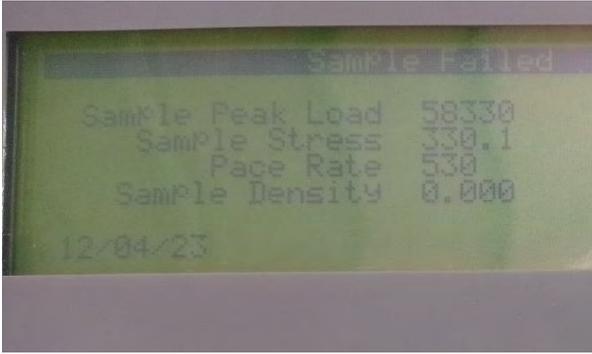
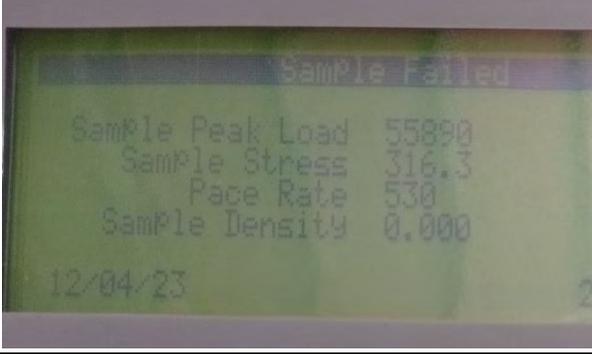
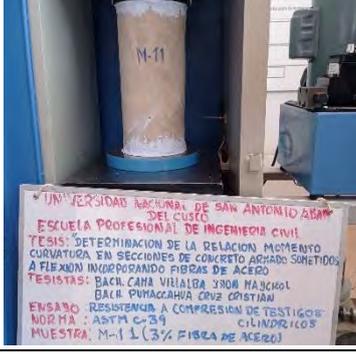
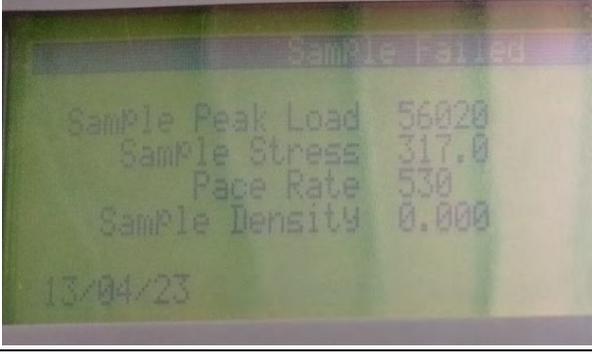
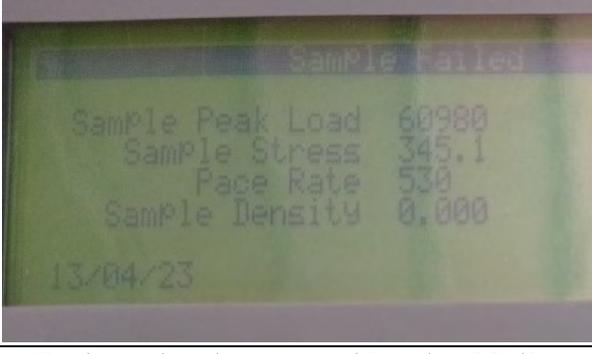
	
<p>Probeta N° 05 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 06 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 07 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 08 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

	
<p>Probeta N° 09 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 10 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 11 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 12 con 2% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

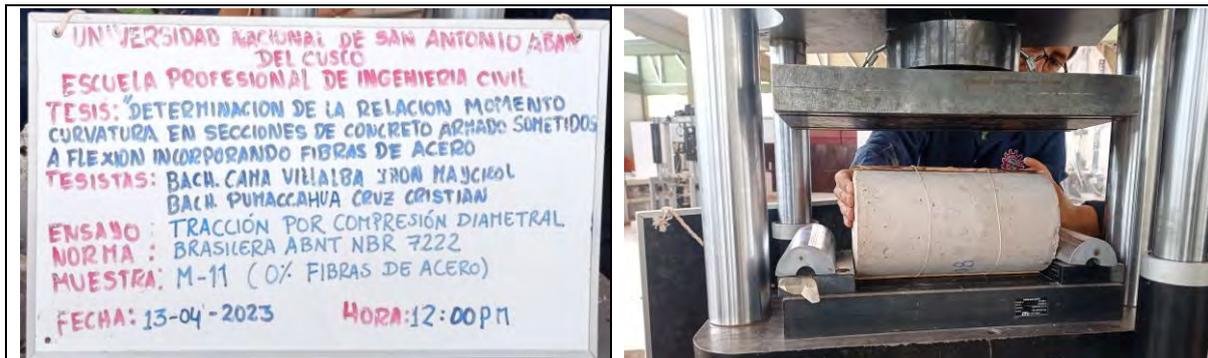
ANEXO D: Fotografías de las roturas de concreto $f'_c=331.83 \text{ kg/cm}^2$, con 3% de FA

<p>Probeta N° 01 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 02 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 03 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 04 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

<p>Probeta N° 05 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 06 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 07 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
<p>Probeta N° 08 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

	
<p>Probeta N° 09 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 10 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 11 con 3% de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>
	
<p>Probeta N° 12 con 3 % de fibra de acero</p>	<p>Resistencia a la compresión a los 28 días</p>

ANEXO E: Fotografías de roturas de concreto a tracción $f_{rc}=28.54 \text{ kg/cm}^2$, con 0% de FA



Probeta sometida a tracción indirecta

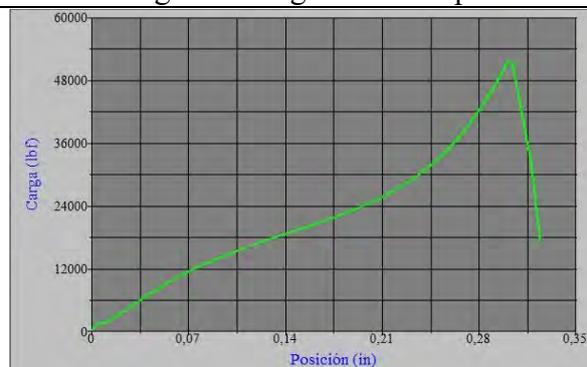
Colocación de probeta a la máquina universal



Falla frágil con carga máxima aplicada

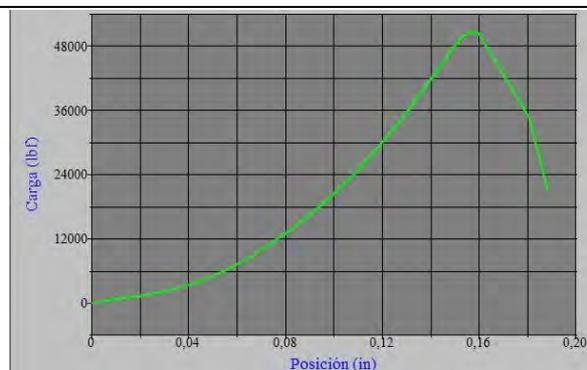


Falla final de probeta con 0% FA



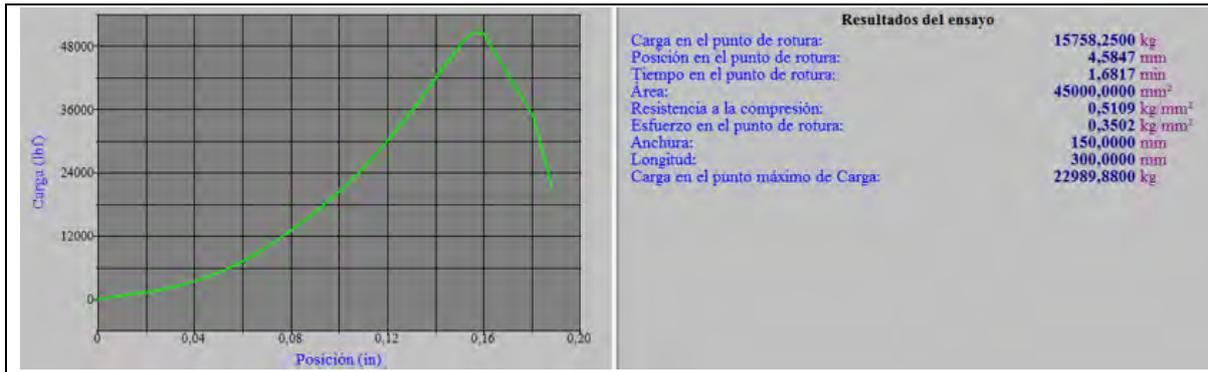
Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	14817,9600 kg
Posición en el punto de rotura:	8,0645 mm
Tiempo en el punto de rotura:	1,7017 min
Área:	45000,0000 mm ²
Resistencia a la compresión:	0,5200 kg/mm ²
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3293 kg/mm ²
Anchura:	150,0000 mm
Longitud:	300,0000 mm

Probeta N° 01 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

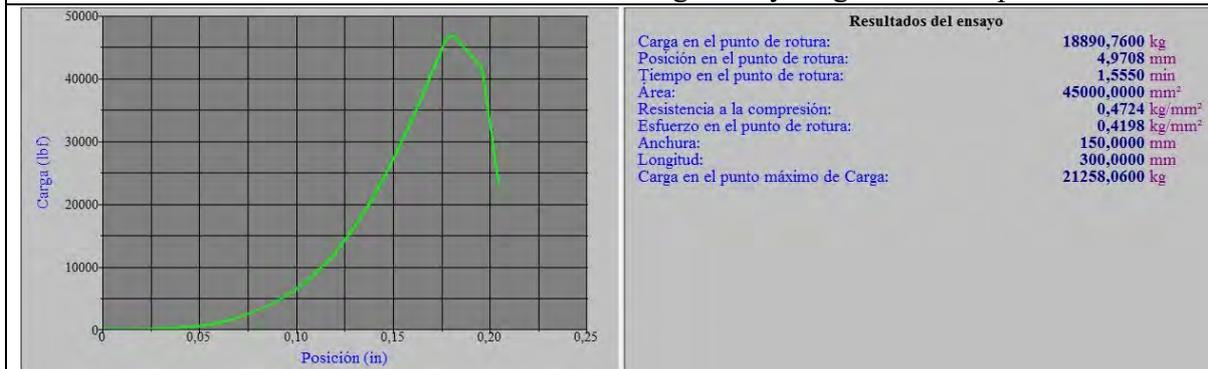


Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	15758,2500 kg
Posición en el punto de rotura:	4,5847 mm
Tiempo en el punto de rotura:	1,6817 min
Área:	45000,0000 mm ²
Resistencia a la compresión:	0,5109 kg/mm ²
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3502 kg/mm ²
Anchura:	150,0000 mm
Longitud:	300,0000 mm
Carga en el punto máximo de Carga:	22989,8800 kg

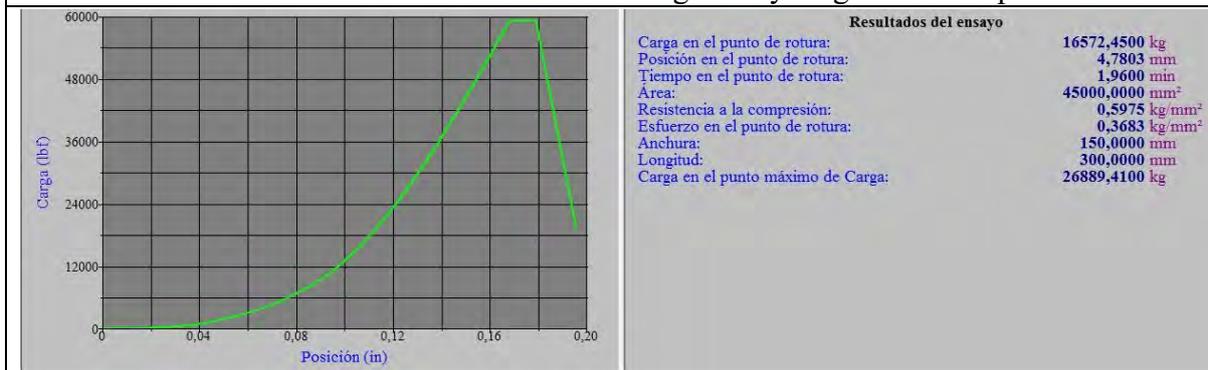
Probeta N° 02 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



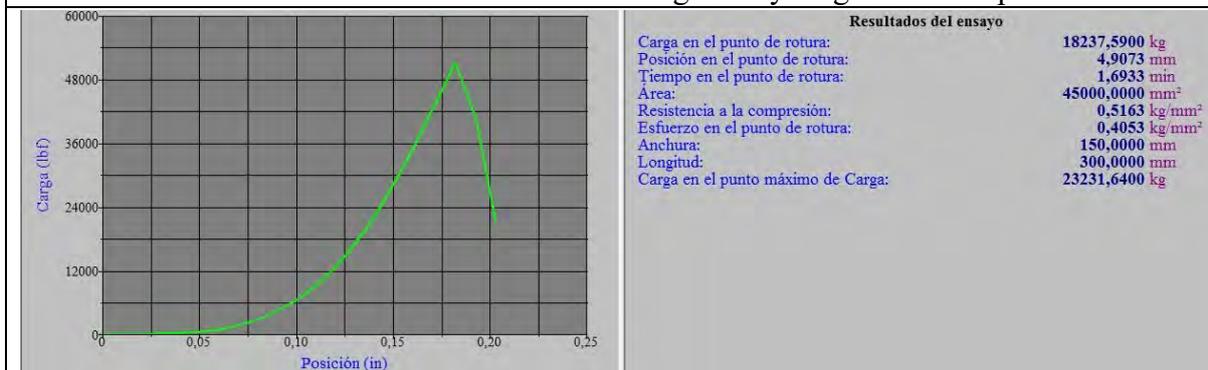
Probeta N° 03 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



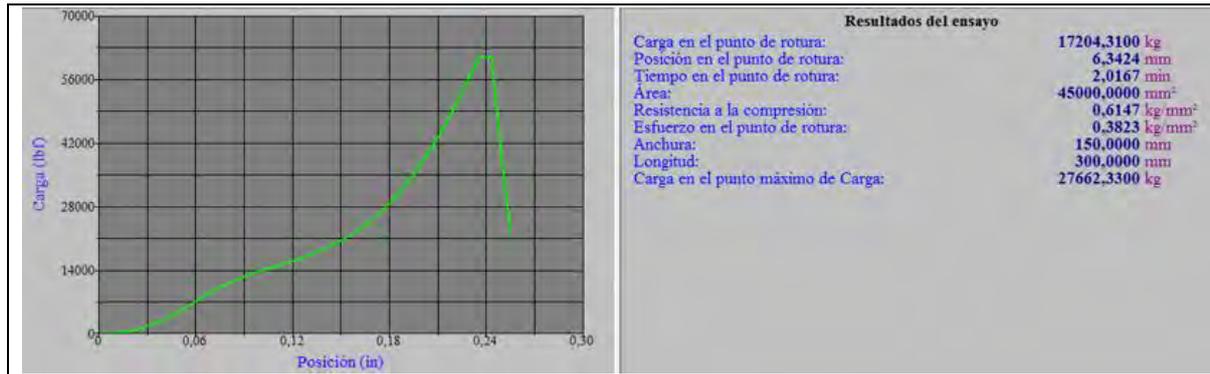
Probeta N° 04 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



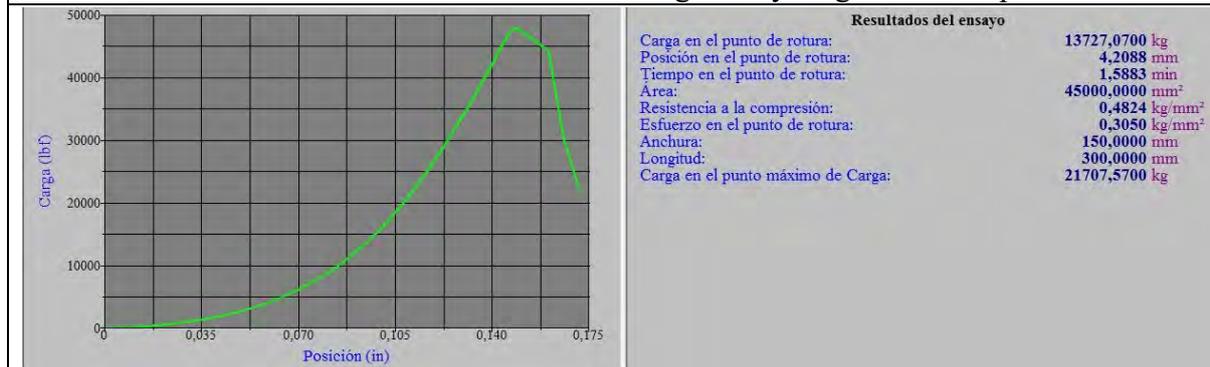
Probeta N° 05 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



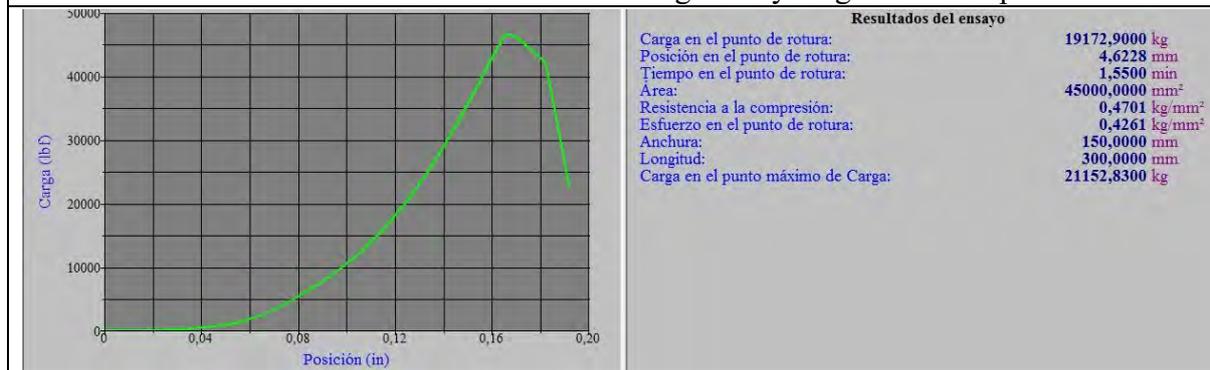
Probeta N° 06 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



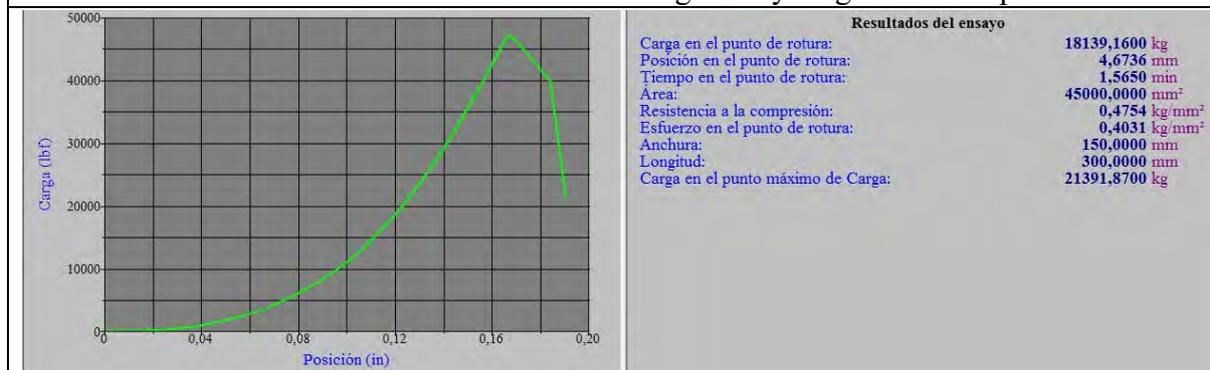
Probeta N° 07 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



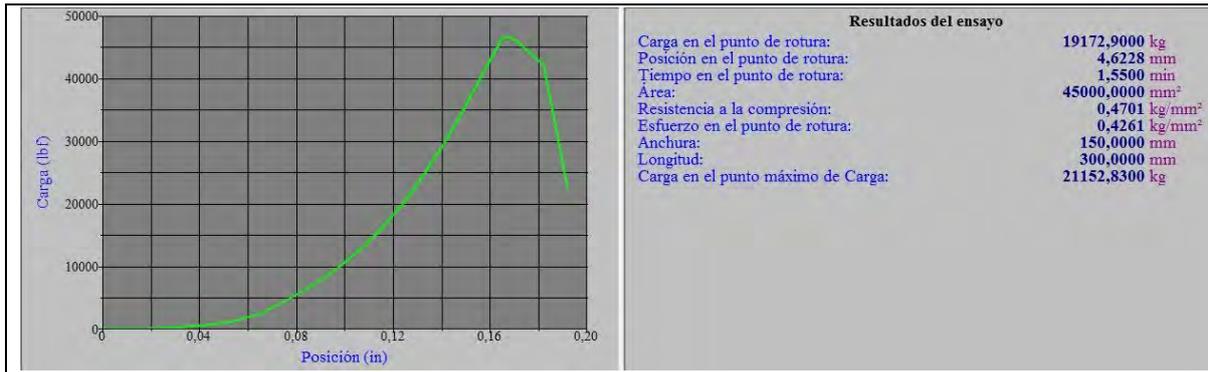
Probeta N° 08 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



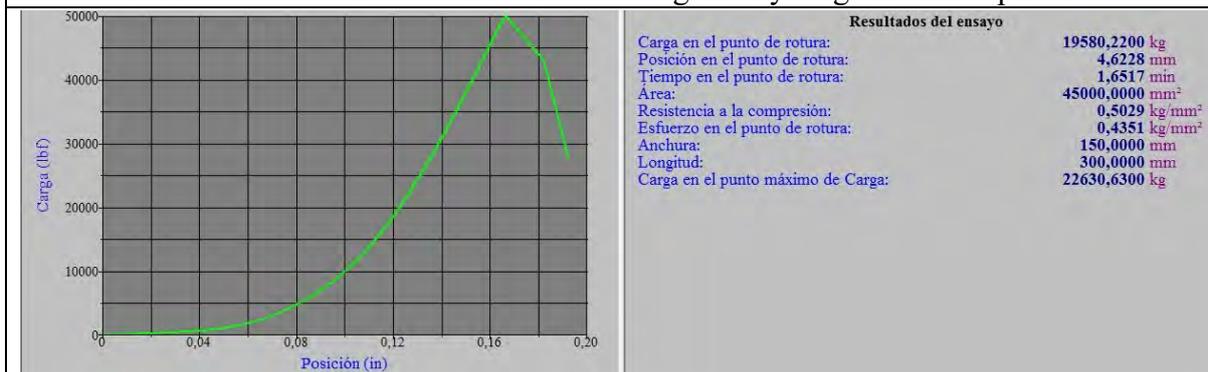
Probeta N° 09 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 10 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

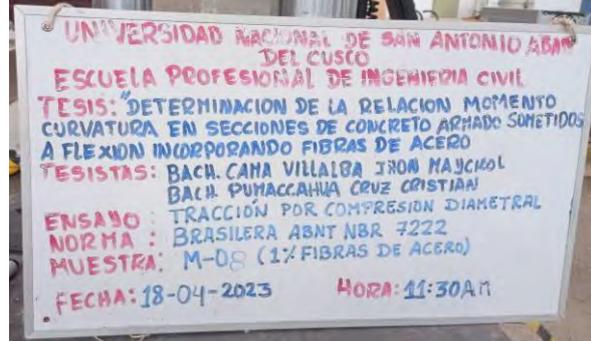
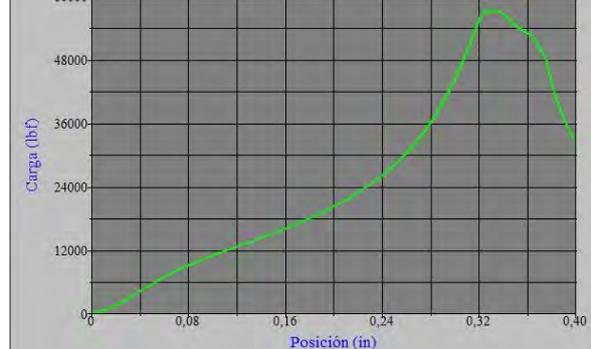
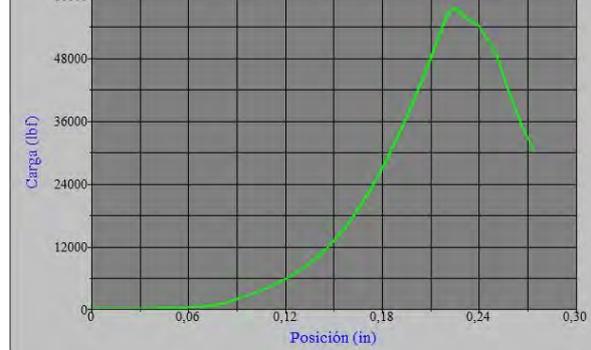


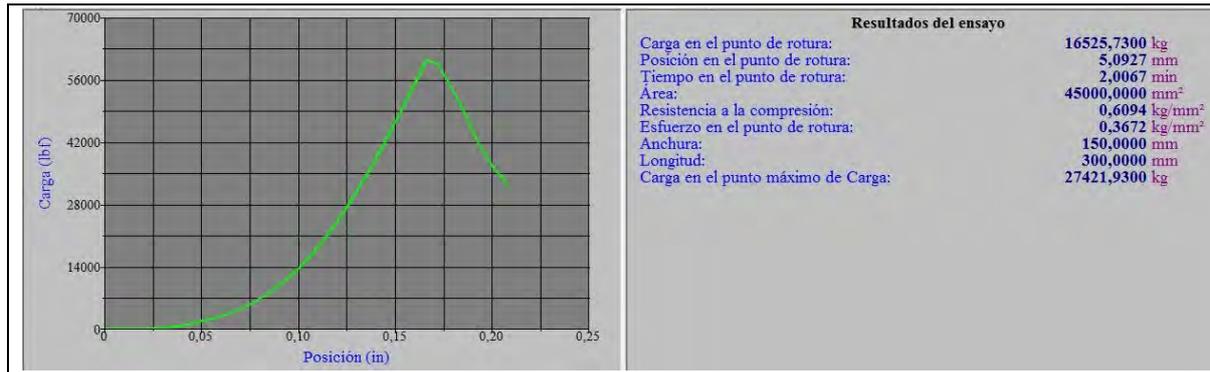
Probeta N° 11 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



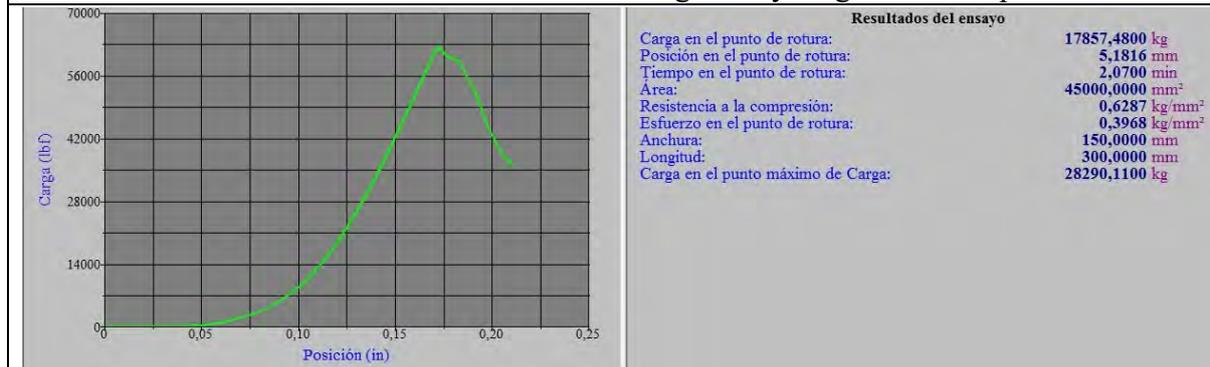
Probeta N° 12 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

ANEXO F: Fotografías de roturas de concreto a tracción $f_{cr}=35.55\text{kg/cm}^2$, con 1% de FA

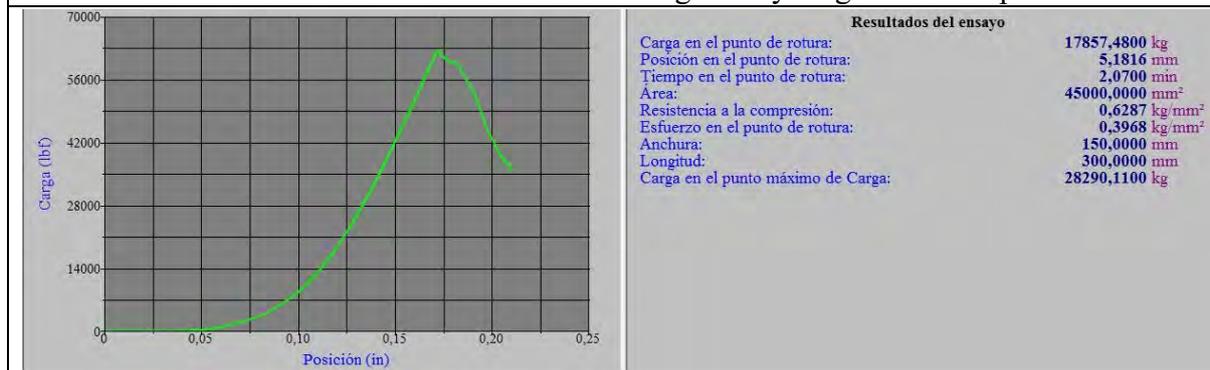
																			
<p>Probeta sometida a tracción indirecta</p>	<p>Colocación de probeta a la máquina universal</p>																		
																			
<p>Falla con carga máxima aplicada</p>	<p>Falla final de probeta con 1% FA</p>																		
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>16508,0400 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>9,9187 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>1,9267 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,5784 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,3668 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>26028,0400 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	16508,0400 kg	Posición en el punto de rotura:	9,9187 mm	Tiempo en el punto de rotura:	1,9267 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,5784 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3668 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	26028,0400 kg
Carga en el punto de rotura:	16508,0400 kg																		
Posición en el punto de rotura:	9,9187 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	1,9267 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,5784 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3668 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	26028,0400 kg																		
<p>Probeta N° 01 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>15922,4500 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>6,7691 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>1,9133 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,5806 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,3538 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>26126,0200 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	15922,4500 kg	Posición en el punto de rotura:	6,7691 mm	Tiempo en el punto de rotura:	1,9133 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,5806 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3538 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	26126,0200 kg
Carga en el punto de rotura:	15922,4500 kg																		
Posición en el punto de rotura:	6,7691 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	1,9133 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,5806 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3538 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	26126,0200 kg																		
<p>Probeta N° 02 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			



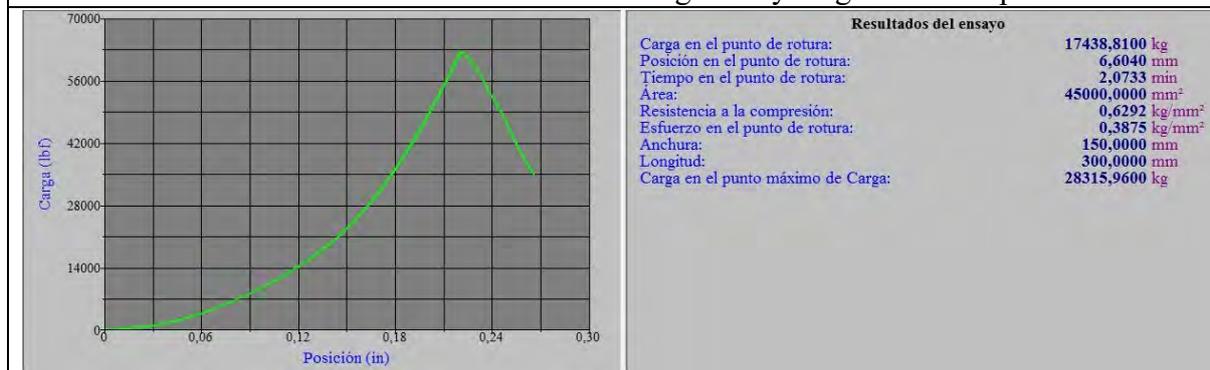
Probeta N° 03 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



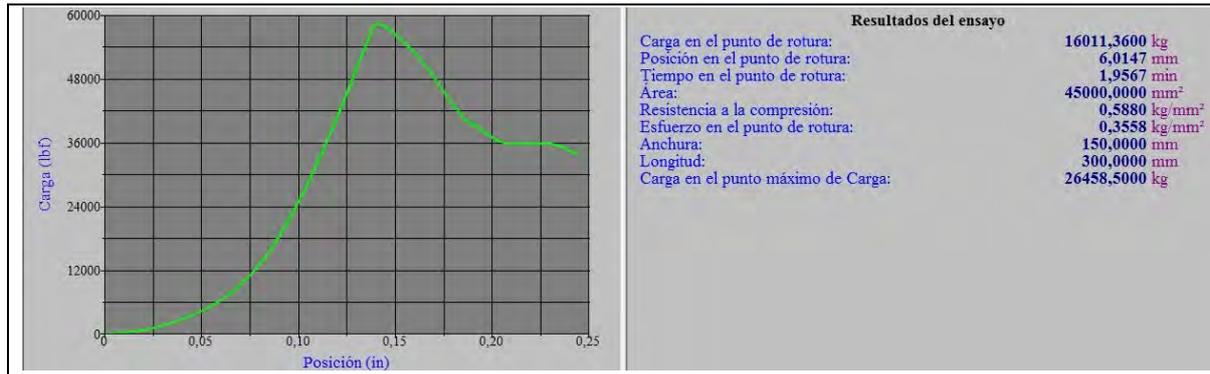
Probeta N° 04 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



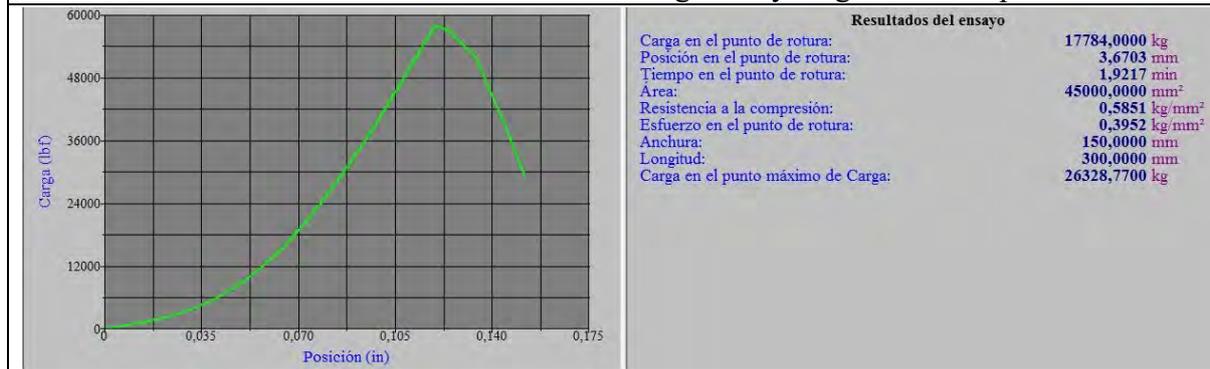
Probeta N° 05 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



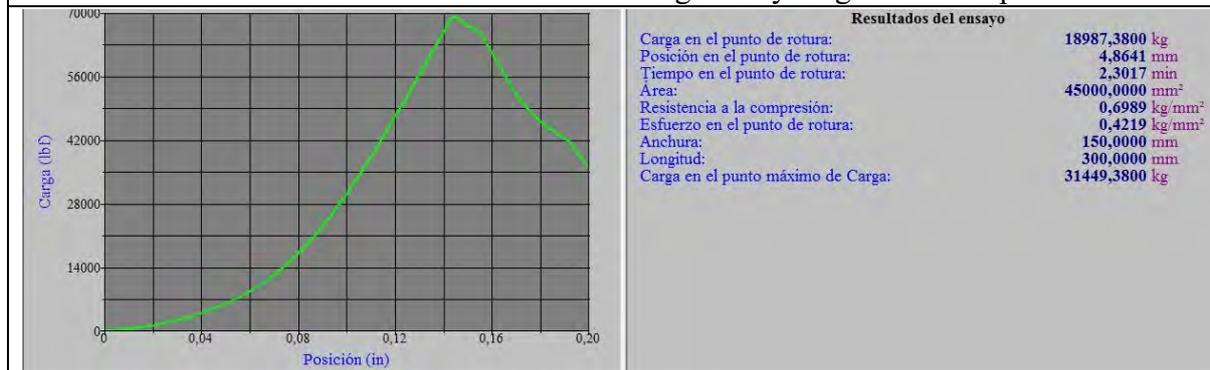
Probeta N° 06 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



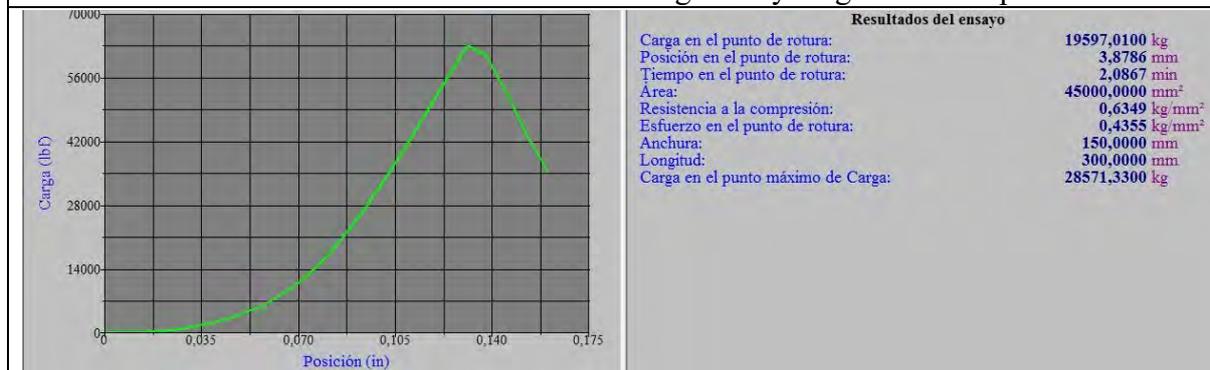
Probeta N° 07 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



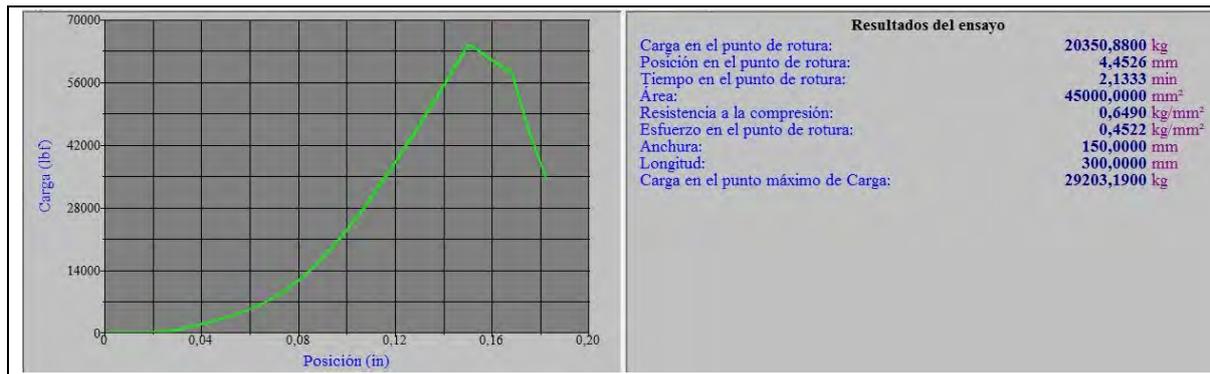
Probeta N° 08 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



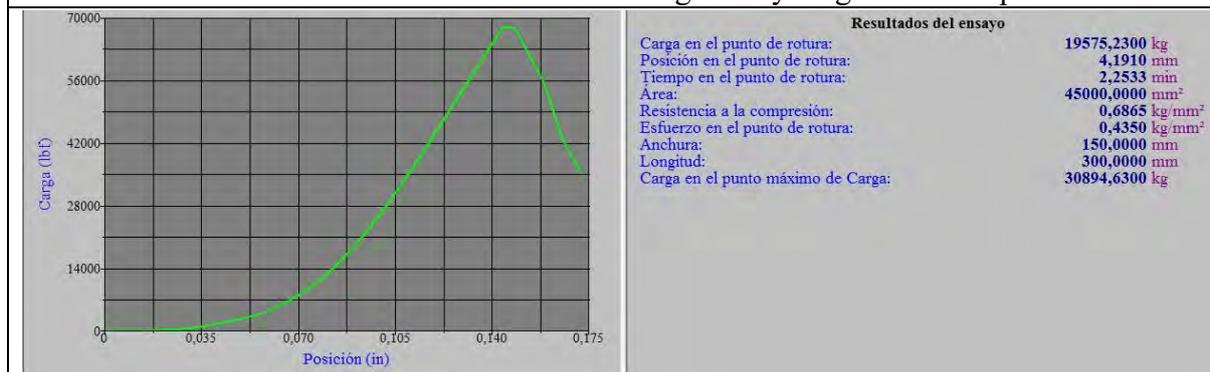
Probeta N° 09 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 10 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 11 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

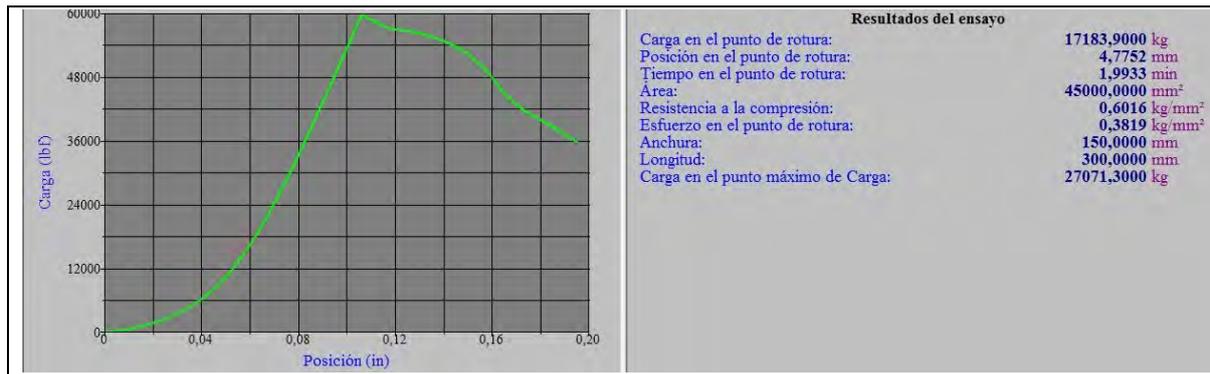


Probeta N° 12 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

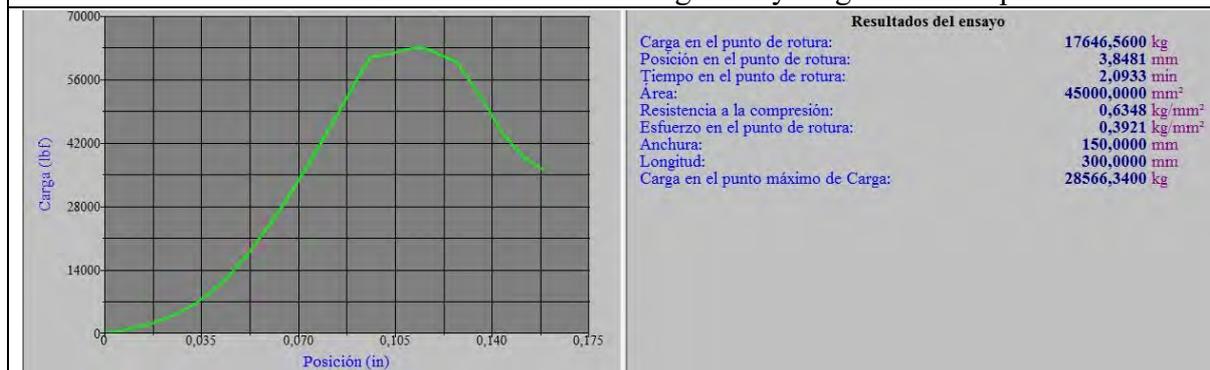
ANEXO G: Fotografías de roturas de concreto a tracción $f_{cr}=34.97 \text{ kg/cm}^2$, con 2% de

FA

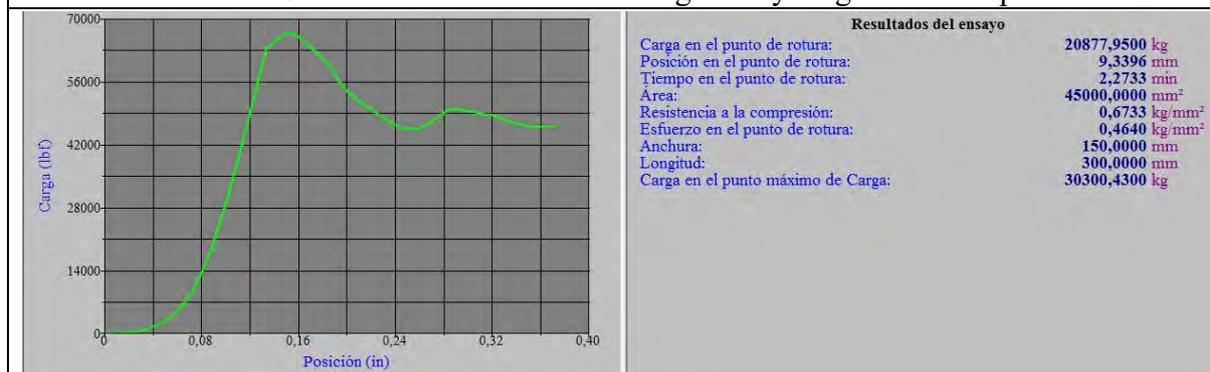
<p>Probeta sometida a tracción indirecta</p>	<p>Colocación de probeta a la máquina universal</p>																		
<p>Falla con carga máxima aplicada</p>	<p>Falla final de probeta con 0% FA</p>																		
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>16482,6400 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>4,9784 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>1,9767 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,5976 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,3663 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>26893,9500 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	16482,6400 kg	Posición en el punto de rotura:	4,9784 mm	Tiempo en el punto de rotura:	1,9767 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,5976 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3663 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	26893,9500 kg
Carga en el punto de rotura:	16482,6400 kg																		
Posición en el punto de rotura:	4,9784 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	1,9767 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,5976 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,3663 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	26893,9500 kg																		
<p>Probeta N° 01 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>18450,3300 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>4,4577 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>2,1667 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,6586 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,4100 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>29635,0100 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	18450,3300 kg	Posición en el punto de rotura:	4,4577 mm	Tiempo en el punto de rotura:	2,1667 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,6586 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,4100 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	29635,0100 kg
Carga en el punto de rotura:	18450,3300 kg																		
Posición en el punto de rotura:	4,4577 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	2,1667 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,6586 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,4100 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	29635,0100 kg																		
<p>Probeta N° 02 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			



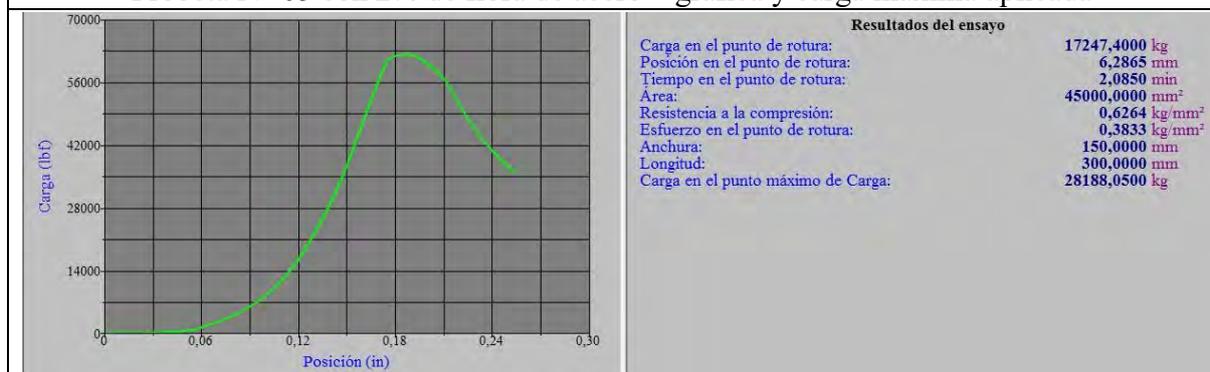
Probeta N° 03 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



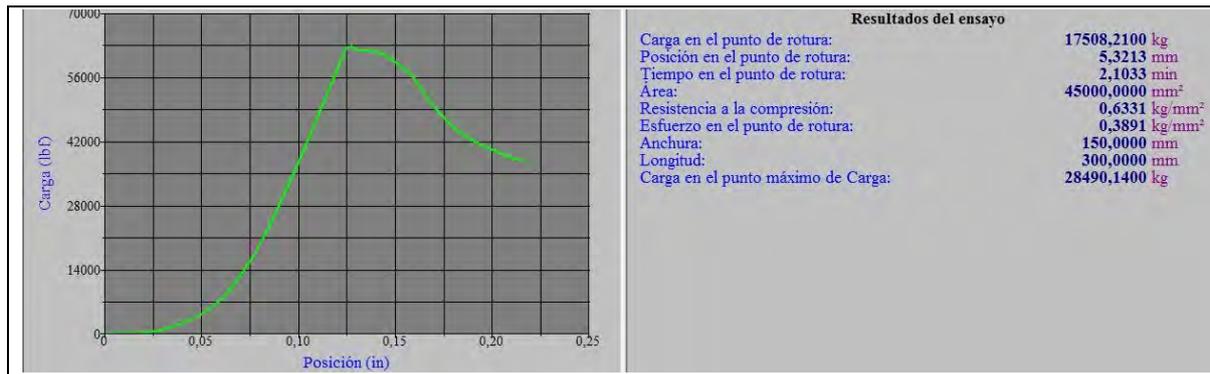
Probeta N° 04 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



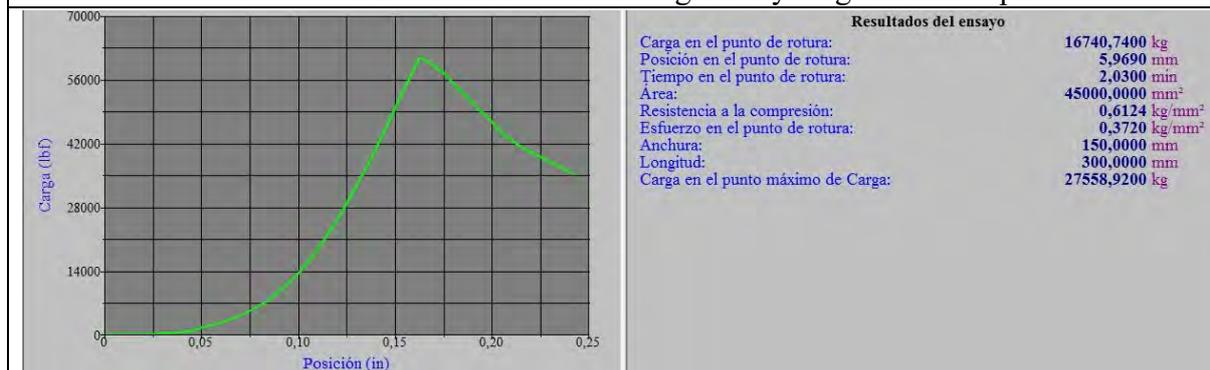
Probeta N° 05 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



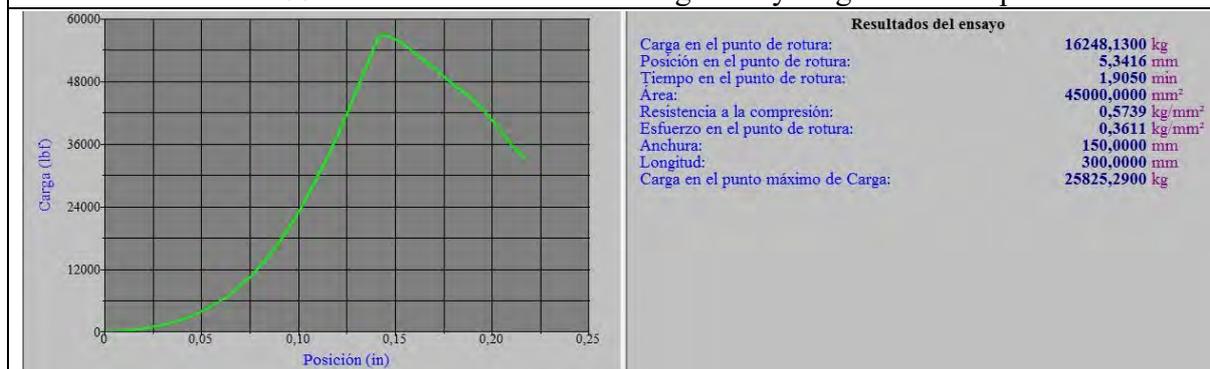
Probeta N° 06 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



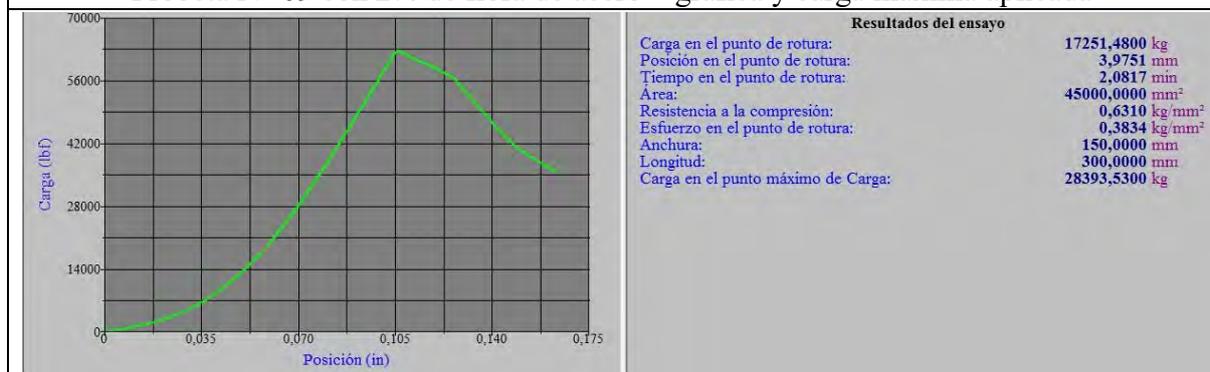
Probeta N° 07 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



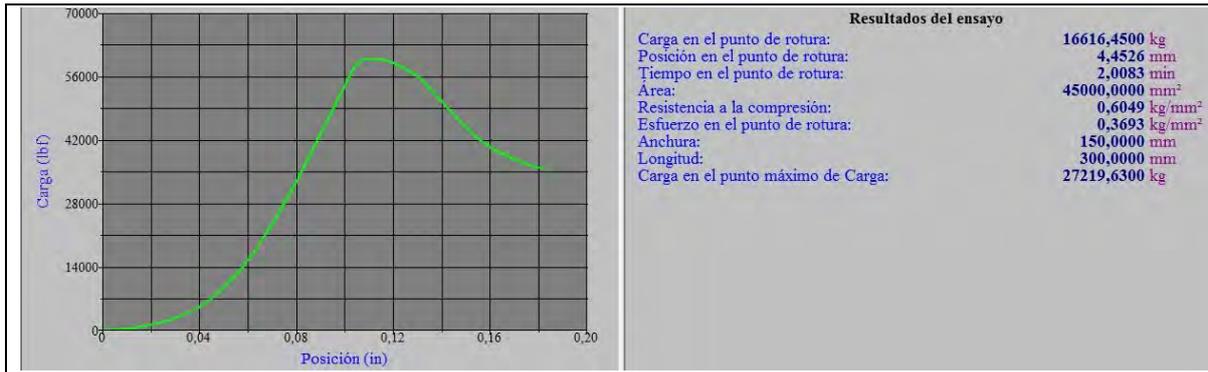
Probeta N° 08 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



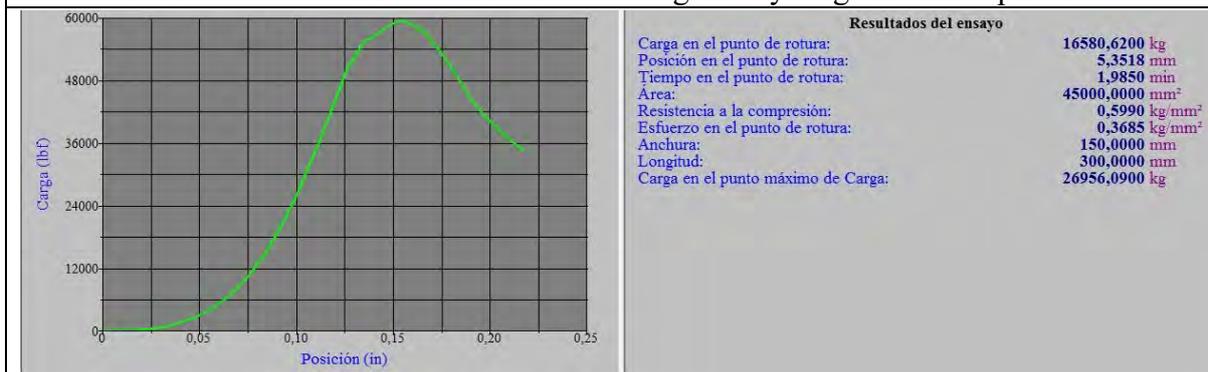
Probeta N° 09 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 10 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 11 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

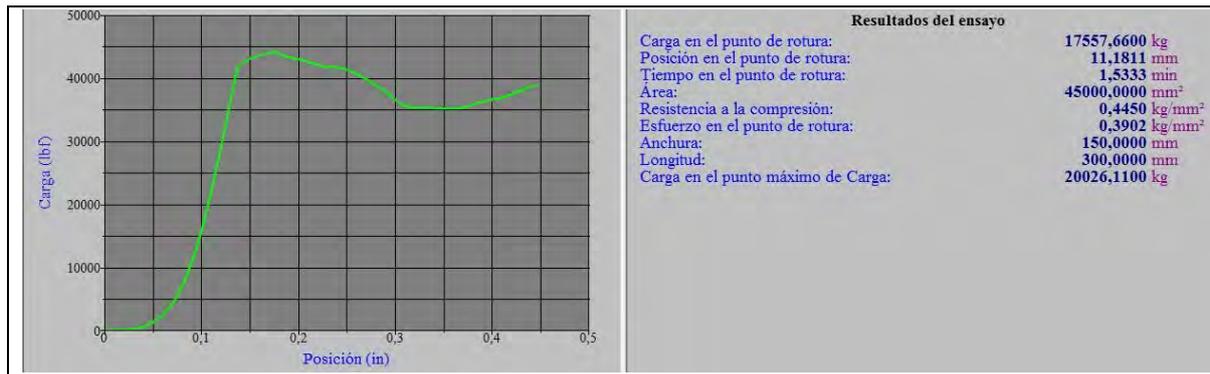


Probeta N° 12 con 2% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

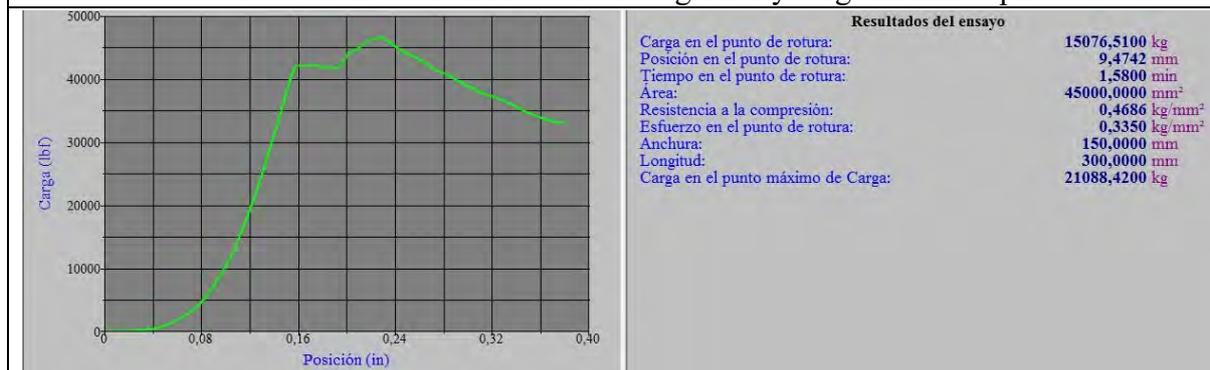
ANEXO H: Fotografías de roturas de concreto a tracción $f_{cr}=26.01 \text{ kg/cm}^2$, con 3% de

FA

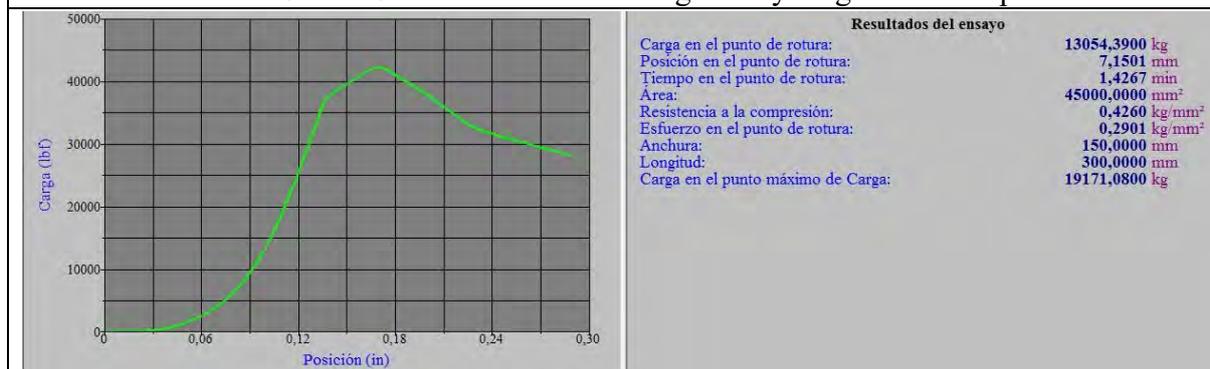
<p>Probeta sometida a tracción indirecta</p>	<p>Colocación de probeta a la máquina universal</p>																		
<p>Falla frágil con carga máxima aplicada</p>	<p>Falla final de probeta con 0% FA</p>																		
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>12517,7900 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>6,9850 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>1,4983 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,4484 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,2782 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>20177,1500 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	12517,7900 kg	Posición en el punto de rotura:	6,9850 mm	Tiempo en el punto de rotura:	1,4983 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,4484 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,2782 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	20177,1500 kg
Carga en el punto de rotura:	12517,7900 kg																		
Posición en el punto de rotura:	6,9850 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	1,4983 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,4484 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,2782 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	20177,1500 kg																		
<p>Probeta N° 01 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			
	<p>Resultados del ensayo</p> <table border="0"> <tr> <td>Carga en el punto de rotura:</td> <td>12211,1600 kg</td> </tr> <tr> <td>Posición en el punto de rotura:</td> <td>8,9789 mm</td> </tr> <tr> <td>Tiempo en el punto de rotura:</td> <td>1,5300 min</td> </tr> <tr> <td>Área:</td> <td>45000,0000 mm²</td> </tr> <tr> <td>Resistencia a la compresión:</td> <td>0,4498 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Esfuerzo en el punto de rotura:</td> <td>0,2714 kg/mm²</td> </tr> <tr> <td>Anchura:</td> <td>150,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Longitud:</td> <td>300,0000 mm</td> </tr> <tr> <td>Carga en el punto máximo de Carga:</td> <td>20242,4700 kg</td> </tr> </table>	Carga en el punto de rotura:	12211,1600 kg	Posición en el punto de rotura:	8,9789 mm	Tiempo en el punto de rotura:	1,5300 min	Área:	45000,0000 mm ²	Resistencia a la compresión:	0,4498 kg/mm ²	Esfuerzo en el punto de rotura:	0,2714 kg/mm ²	Anchura:	150,0000 mm	Longitud:	300,0000 mm	Carga en el punto máximo de Carga:	20242,4700 kg
Carga en el punto de rotura:	12211,1600 kg																		
Posición en el punto de rotura:	8,9789 mm																		
Tiempo en el punto de rotura:	1,5300 min																		
Área:	45000,0000 mm ²																		
Resistencia a la compresión:	0,4498 kg/mm ²																		
Esfuerzo en el punto de rotura:	0,2714 kg/mm ²																		
Anchura:	150,0000 mm																		
Longitud:	300,0000 mm																		
Carga en el punto máximo de Carga:	20242,4700 kg																		
<p>Probeta N° 02 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada</p>																			



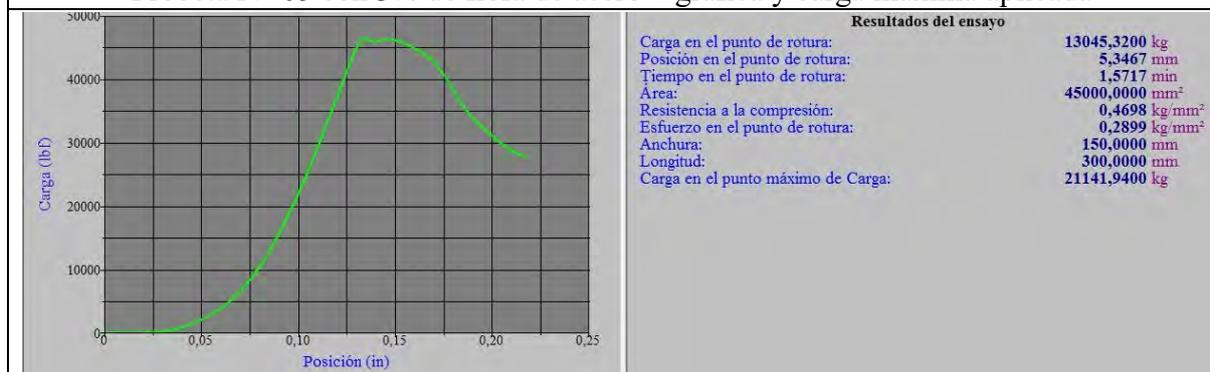
Probeta N° 03 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



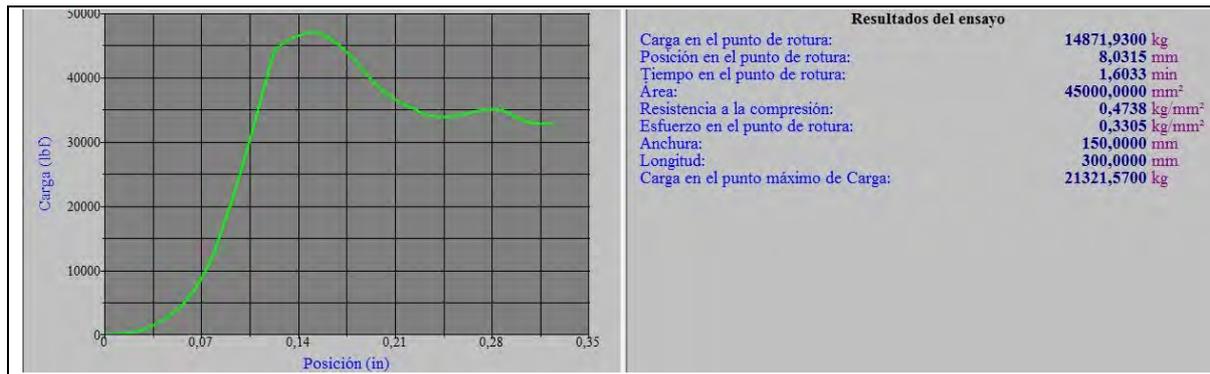
Probeta N° 04 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



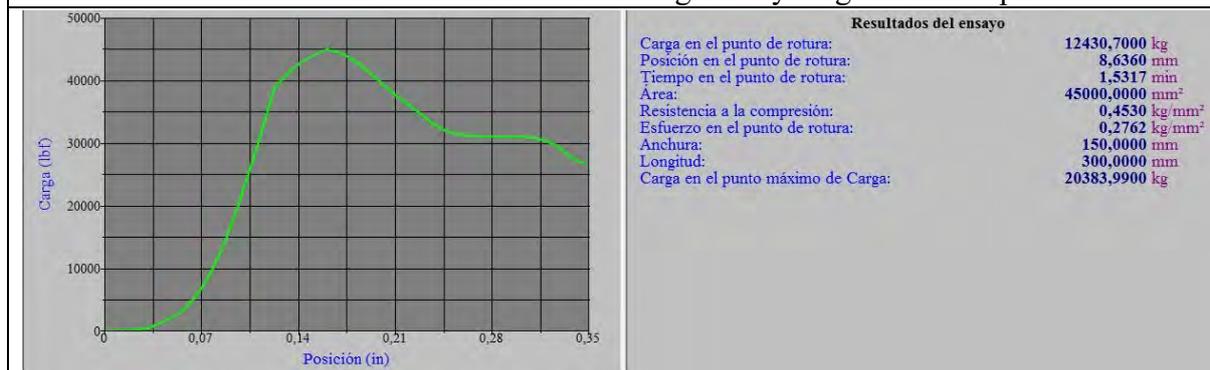
Probeta N° 05 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 06 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



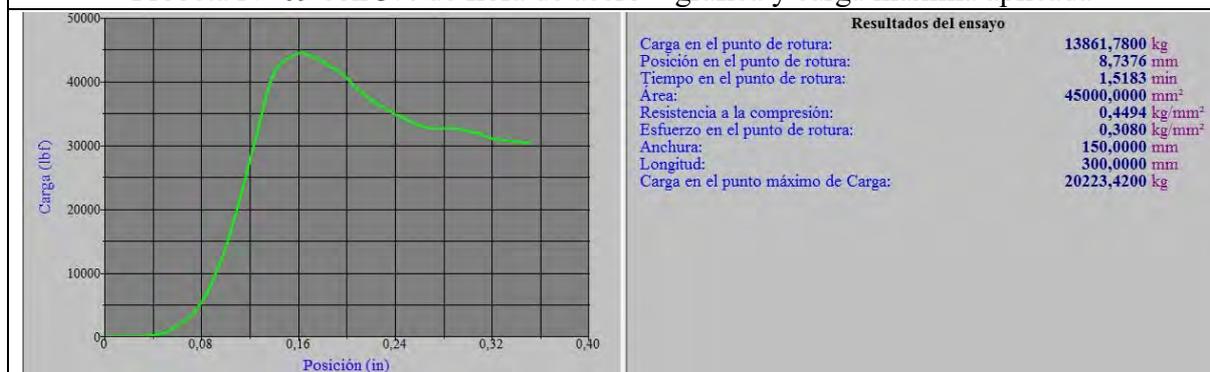
Probeta N° 07 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



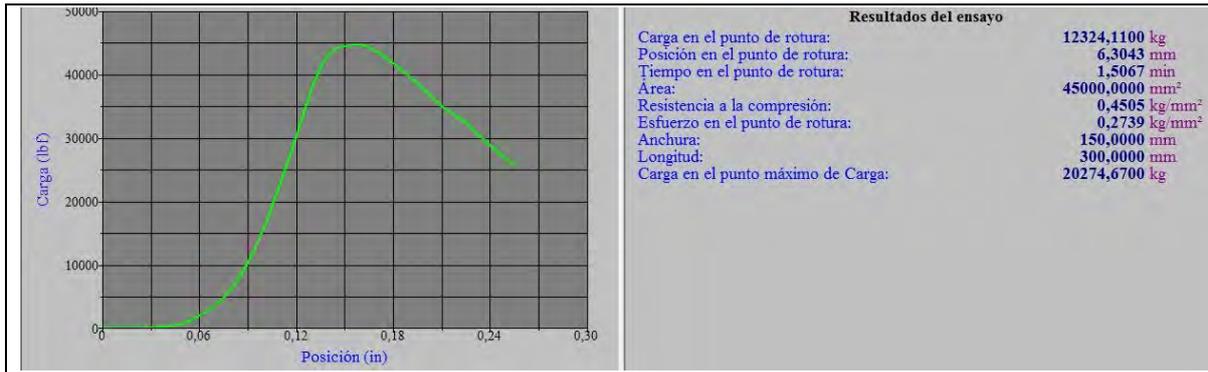
Probeta N° 08 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 09 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 10 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 11 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Probeta N° 12 con 3% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

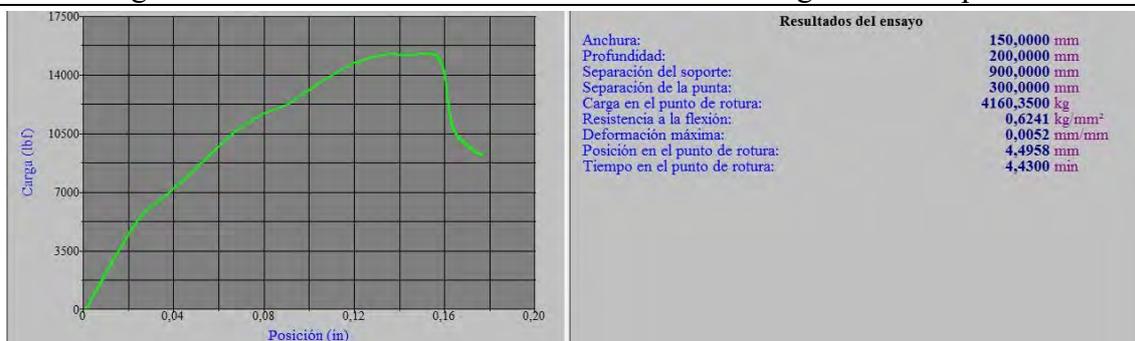
ANEXO I: Fotografías de vigas simplemente armadas con 0% de FA sometidas a flexión



Ensayo a flexión en vigas simplemente armadas con 0% de fibra de acero en la Máquina Universal



Viga N° 01 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 01 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



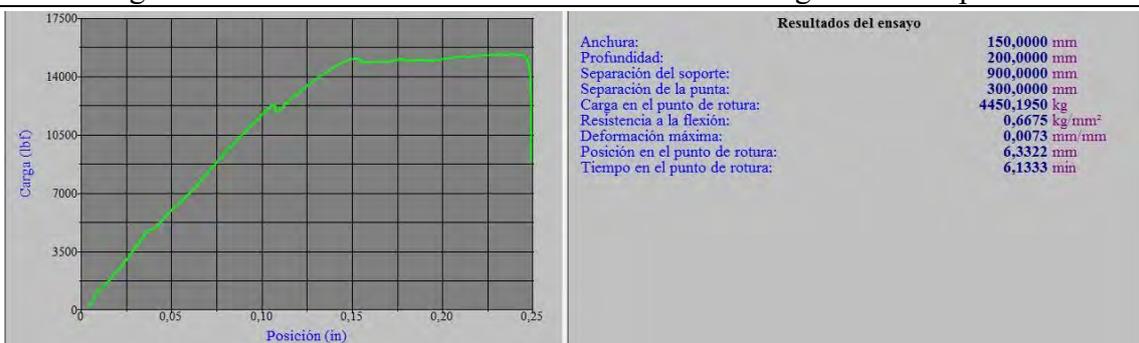
Viga N° 02 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 02 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

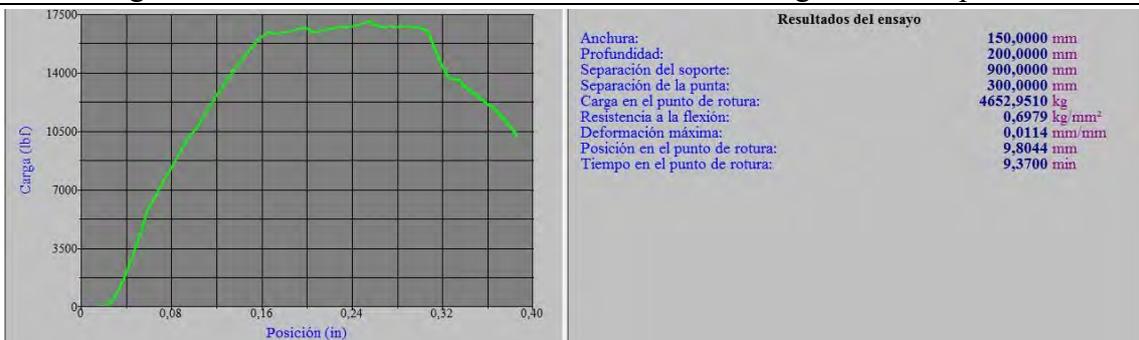
ANEXO J: Fotografías de vigas simplemente armadas con 1% de FA sometidas a flexión



Ensayo a flexión en vigas simplemente armadas con 1% en la Máquina Universal



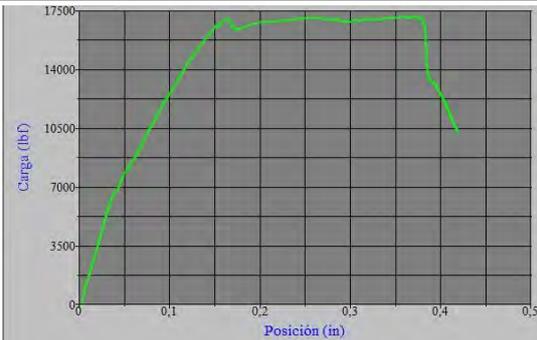
Viga N° 01 con 1% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 01 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 02 con 1% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada

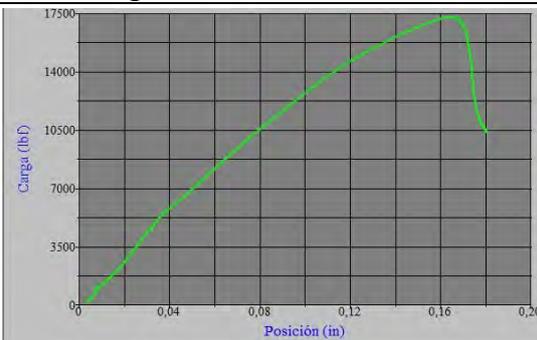


Resultados del ensayo	
Anchura:	150.0000 mm
Profundidad:	200.0000 mm
Separación del soporte:	900.0000 mm
Separación de la punta:	300.0000 mm
Carga en el punto de rotura:	4667.9200 kg
Resistencia a la flexión:	0.7002 kg/mm ²
Deformación máxima:	0.0124 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	10.6604 mm
Tiempo en el punto de rotura:	10.5267 min

Viga N° 02 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 03 con 1% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Resultados del ensayo	
Anchura:	150.0000 mm
Profundidad:	200.0000 mm
Separación del soporte:	900.0000 mm
Separación de la punta:	300.0000 mm
Carga en el punto de rotura:	4699.6710 kg
Resistencia a la flexión:	0.7050 kg/mm ²
Deformación máxima:	0.0053 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	4.5974 mm
Tiempo en el punto de rotura:	4.4167 min

Viga N° 03 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

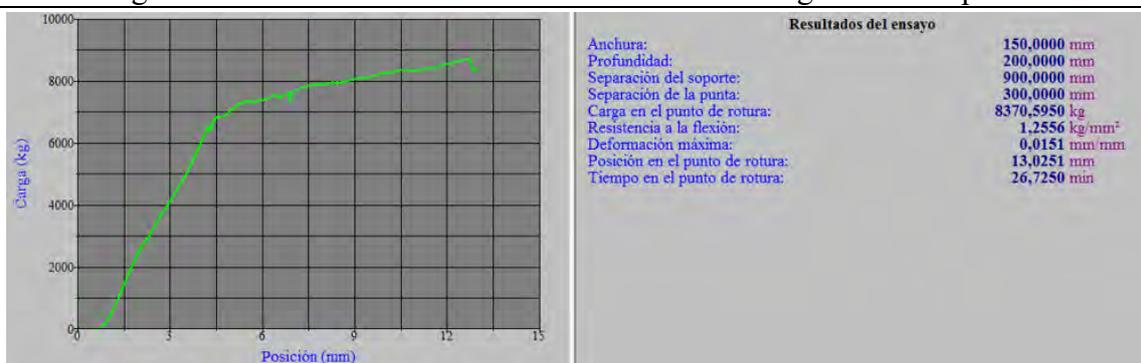
ANEXO K: Fotografías de vigas doblemente armadas con 0% de FA sometidas a flexión



Ensayo a flexión en vigas doblemente armadas con 0% F.A.en la Máquina Universal



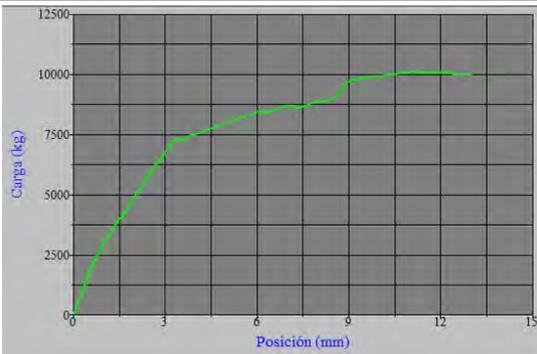
Viga N° 01 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 01 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

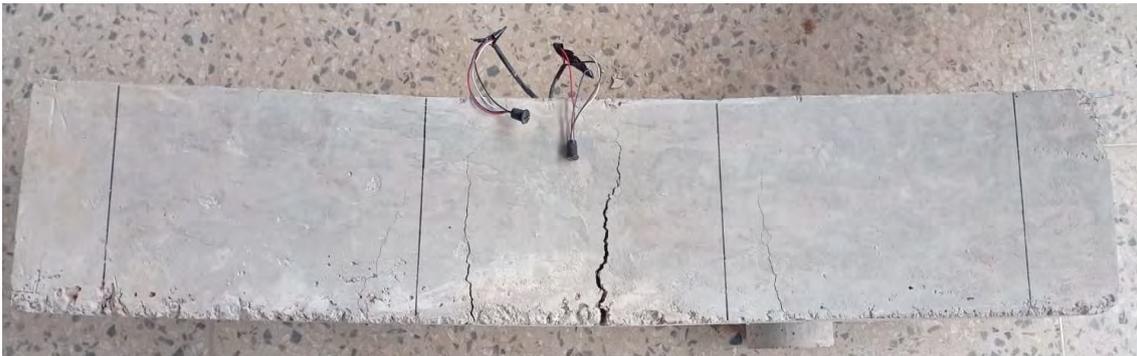


Viga N° 02 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada

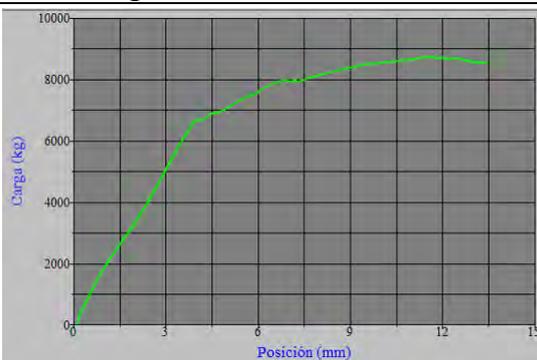


Resultados del ensayo	
Anchura:	150,0000 mm
Profundidad:	200,0000 mm
Separación del soporte:	900,0000 mm
Separación de la punta:	300,0000 mm
Carga en el punto de rotura:	9990,8270 kg
Resistencia a la flexión:	1,4986 kg/mm ²
Deformación máxima:	0,0151 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	12,9972 mm
Tiempo en el punto de rotura:	12,9667 min

Viga N° 02 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Resultados del ensayo	
Anchura:	150,0000 mm
Profundidad:	200,0000 mm
Separación del soporte:	900,0000 mm
Separación de la punta:	300,0000 mm
Carga en el punto de rotura:	8560,6500 kg
Resistencia a la flexión:	1,2841 kg/mm ²
Deformación máxima:	0,0156 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	13,4417 mm
Tiempo en el punto de rotura:	13,2933 min

Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

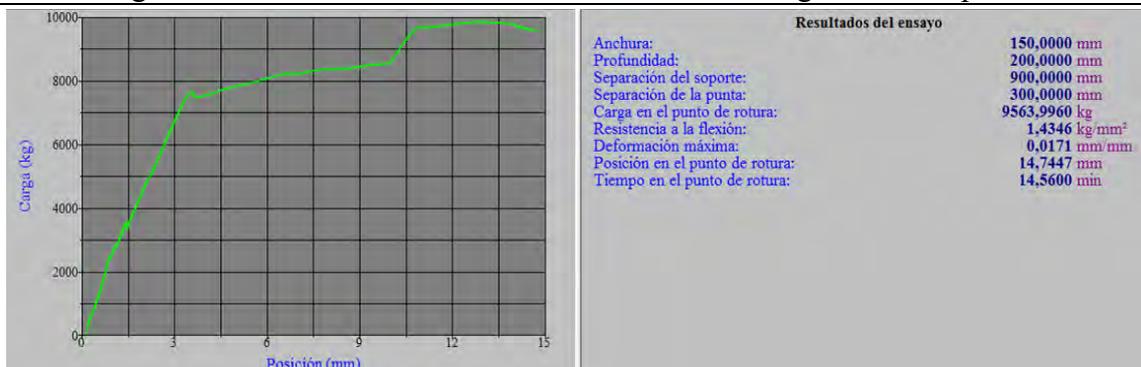
ANEXO L: Fotografías de vigas doblemente armadas con 1% de FA sometidas a flexión



Ensayo a flexión en vigas doblemente armadas con 1% F.A. en la Máquina Universal



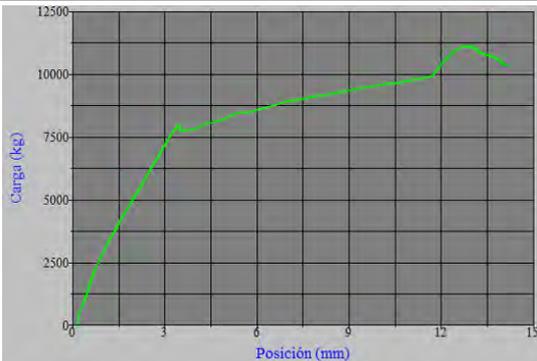
Viga N° 01 con 1% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Viga N° 01 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 02 con 1% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



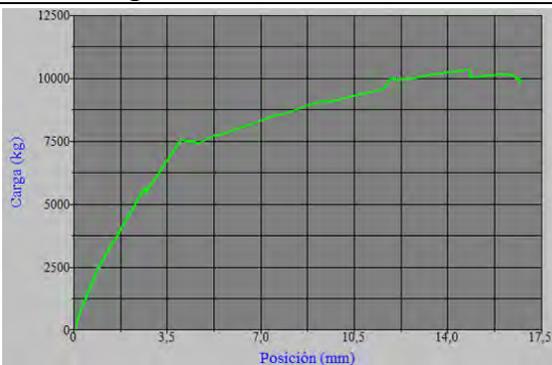
Resultados del ensayo

Anchura:	150,0000 mm
Profundidad:	200,0000 mm
Separación del soporte:	900,0000 mm
Separación de la punta:	300,0000 mm
Carga en el punto de rotura:	10326,4900 kg
Resistencia a la flexión:	1,5490 kg/mm ²
Deformación máxima:	0,0165 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	14,1986 mm
Tiempo en el punto de rotura:	14,0200 min

Viga N° 02 con 1% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada



Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – falla con la carga máxima aplicada



Resultados del ensayo

Anchura:	150,0000 mm
Profundidad:	200,0000 mm
Separación del soporte:	900,0000 mm
Separación de la punta:	300,0000 mm
Carga en el punto de rotura:	9810,7510 kg
Resistencia a la flexión:	1,4716 kg/mm ²
Deformación máxima:	0,0195 mm/mm
Posición en el punto de rotura:	16,7716 mm
Tiempo en el punto de rotura:	16,6350 min

Viga N° 03 con 0% de fibra de acero – gráfica y carga máxima aplicada

ANEXO M: Fotografías del proceso de vaciado y realización de ensayos



Lavado de agregado fino y grueso



Secado a la intemperie del agregado fino y grueso



Coordinaciones con el asesor de tesis antes de iniciar con el vaciado de concreto



Vaciado de concreto para probetas cilíndricas



Prueba de revenimiento para verificar el SLUMP del concreto



Capping con yeso dental para el ensayo a compresión del concreto



Moldes con fenólico para el vaciado de vigas



Vaciado de concreto en vigas



Probetas sometidas a tracción indirecta



Ensayo en vigas bajo la supervisión del ing. Calificador del plan de tesis



Ensayo de compresión en probetas bajo la supervisión del asesor de tesis



Instalación de sistema para la toma de datos (deformación)

ANEXO N: Ficha técnica del cemento Portland Tipo IP



DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

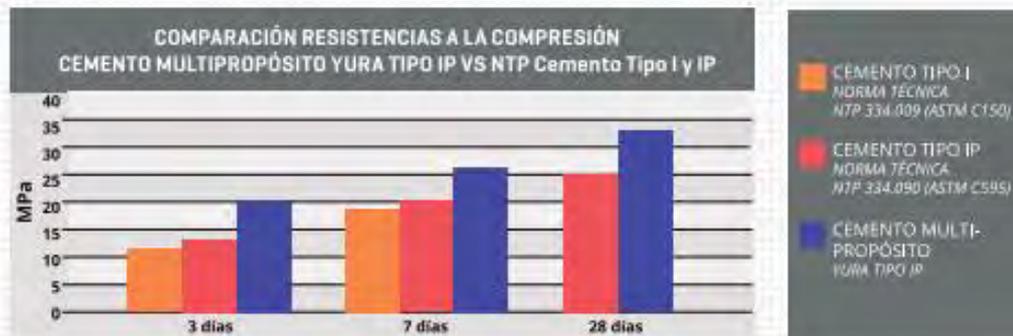
“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)			6.00 Máx.			
SO ₃ (%)	1.5 a 3.0		4.00 Máx.			
Pérdida por Ignición (%)	1.5 a 4.0		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm ³)	2.75 a 2.85		-			
Expansión en autodec (‰)	0.07 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx			
Resistencia a la compresión	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Min	13	122 Min	12Min
7 días	225 a 255	22 a 25	204 Min	20	194 Min	19 Min
28 días	306 a 340	30 a 33.3	255 Min	25	-	-
Retracción a la tracción	‰		‰			
% Expansión a los 6 meses	< 0.04		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0.05		0.10 Máx			



COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



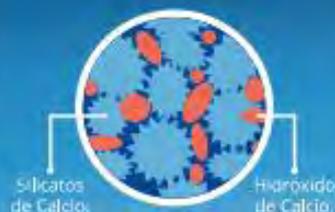
OTRAS PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

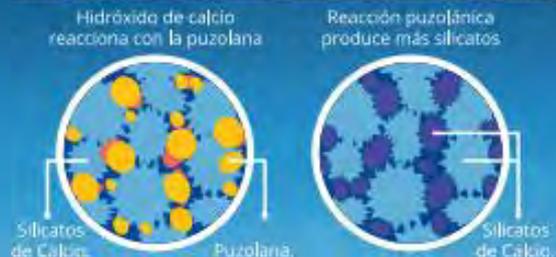
Los silicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia); el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



Fuente: Yura 2022

ANEXO O: Ficha técnica fibra de acero Wirand FF1



FICHA TECNICA
Rev: 02, Issue—Julio 2004

FIBRA WIRAND® FF1

DESCRIPCIÓN:
Fibra WIRAND® FF1 en alambre de acero trefilado para el refuerzo del hormigón

TIPO:
Wirand® FF1

- DIMENSIONES:**
- Diámetro D: 1.00 mm;
 - Largo L: 55 mm;
 - Relación de esbeltez L/D:
 - Relación entre el Largo y el Diámetro 50/1.00 = 55

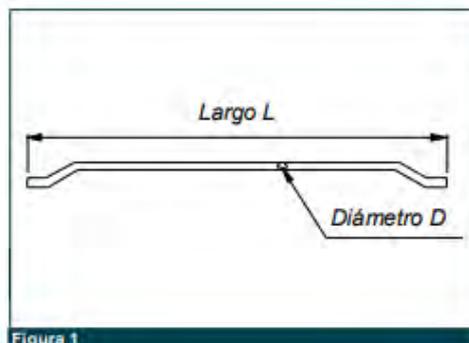


Figura 1

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL ALAMBRE

R_m (Tensión de ruptura por tracción del alambre):	> 1200 MPa (Según ACI 544.3R-08)
Al (Elongación a la ruptura)	< 4%
Módulo de Elasticidad	210,000 N/mm ²

FORMA

Los ganchos de las extremidades de la fibra WIRAND® FF1 garantizan la máxima adherencia al hormigón

STANDARD DE REFERENCIA

- ASTM A820-01 "Standard specification for steel fibers for fiber-reinforced concrete"
- UNI-11037 – Fibre di acciaio da impiegare nel confezionamento di conglomerato cementizio rinforzato
- pr-EN 14889-1 – Fibres for concrete – Part 1 – Steel fibres – Definition, specifications and conformity

EMBALAJES

La fibra WIRAND® FF1 es acondicionada en grandes big bags de 600, 750, 950 Kg de peso, o en cajas de cartón de 20 Kg

El fabricante, con el fin de mejorar y optimizar las características técnicas de los productos, se reserva el derecho de modificar los estándares de los productos sin ningún preaviso. Todas las informaciones comunicadas están dadas de buena fe y en base a nuestra experiencia; de todas formas tanto el fabricante como sus distribuidores declinan cualquier responsabilidad por una utilización errónea de dicha información por parte del proyecto.



Maccaferri se reserva el derecho de revisar estas especificaciones en cualquier momento, de acuerdo con las características de los productos fabricados.

www.maccaferri.com.pe

Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001
Certificado de Conformidad con la Norma ISO 9001:2000

Noviembre, 2009

Fuente: MACCAFERRI 2004