

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



**“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN
(ESTADO I) DEL HORMIGÓN (21MPA) CON ADICIÓN DE
VIRUTA DE ACERO”**

POR:

VARGAS GUERRERO RUBÉN ALEJANDRO

SEMESTRE I - 2022

TARIJA – BOLIVIA

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

**“DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN
(ESTADO I) DEL HORMIGÓN (21MPA) CON ADICIÓN DE
VIRUTA DE ACERO”**

POR:

VARGAS GUERRERO RUBÉN ALEJANDRO

ASIGNATURA:

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II CIV-502 (M. ESTRUCTURAS)

SEMESTRE I – 2022

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mi Madre que aún cuento con ella, y a mi Padre que está en el cielo por el deseo de superación y amor que me brindaron cada día en que han sabido guiar mi vida por el sendero de la verdad a fin de poder honrar a mi familia con los conocimientos adquiridos, brindándome un mañana mejor con esfuerzo y sacrificio.

ÍNDICE

ADVERTENCIA

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

Página

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1.1. El Problema	1
1.1.1. Planteamiento	1
1.1.2. Formulación	1
1.1.3. Sistematización	2
1.2. Objetivos	2
1.2.1. General	2
1.2.2. Específicos	2
1.3. Justificación	3
1.3.1. Académica	3
1.3.2. Técnica	3
1.3.3. Social / Ambiental	3
1.4. Alcance	3
1.5. Hipótesis	4
1.6. Marco de Referencia	4
1.6.1. Conceptual	4
1.6.2. Espacial	4
1.6.3. Temporal	4

CAPITULO II
FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. Antecedentes.....	5
2.2. Componentes del Hormigón.....	6
2.2.1. Cemento.....	7
2.2.1.2. Breve Historia del Cemento	7
2.2.1.3. Definición	7
2.2.1.4. Características Fundamentales del Cemento	8
2.2.1.5. Composición Química del Cemento.....	8
2.2.1.6. Clasificación del Cemento.....	9
2.2.1.7. Cementos Portland Locales	11
2.2.2. Agua para el Hormigón	13
2.2.3. Agregados o Áridos	15
2.2.3.1. Clasificación de los Agregados para el Hormigón	15
2.2.3.2. Características de los Agregados.....	16
2.2.3.3. Textura Superficial	16
2.2.3.4. Forma del Agregado	17
2.2.3.5. Gravedad Específica y Absorción	18
2.2.3.6. Vacíos y Gradación	19
2.2.3.7. Módulo de Finura	20
2.3. Aditivos	21
2.3.1. Reductor de Agua (Plastificante).....	21
2.3.2. Reductor de Agua de Alto Rango (Súper – Plastificante).....	22
2.3.3. Aceleradores	22
2.3.4. Retardadores	22

2.3.5. Agentes Inclusores de Aire.....	22
2.3.6. Impermeabilizantes.....	23
2.3.7. Expansores.....	23
2.4. Virutas de Acero.....	23
2.5. El Hormigón	26
2.5.1. Propiedades del Hormigón	27
2.5.1.2. Estado Fresco.....	27
2.5.1.3. Estado Endurecido.....	27
2.5.2. Curado de Especímenes de Hormigón.....	29
2.6. Influencia de las Fibras de Acero en el Hormigón	29
2.7. Campo de Aplicación de las Virutas de Acero.....	31
2.8. Dosificación para Elaborar la Mezcla de Hormigón	32
2.8.1. Método A.C.I. (American Concrete Institute).....	35
2.8.1.1. Procedimiento de Diseño.....	36
2.8.1.2. Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación.....	36
2.8.1.3. Tamaños Máximos de Agregados según el Tipo de Construcción	37
2.8.1.4. Cantidad Aproximada de Aire Esperado en Concreto sin Aire Incluido y Niveles de Aire Incluido Para Diferentes Tamaños Máximos de Agregado.....	37
2.8.1.5. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido.....	38
2.8.1.6. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido	38

2.8.1.7. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con Aire Incluido.....	39
2.8.1.8. Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido	39
2.8.1.9. Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar	40
2.8.1.10. Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento, para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido.....	40
2.8.1.11. Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Pórtland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido.....	40
2.8.1.12. Volumen de Agregado Grueso, Seco y Compactado con Varilla, por Volumen de Hormigón para Diferentes Módulos de Finura de la Arena.....	41
2.8.2. Determinación de la Resistencia a Flexotracción (NB-640)	42

CAPITULO III

DISEÑO Y DESARROLLO DEL ESTUDIO

3.1. Diseño del Hormigón por el Método A.C.I. 318 – A.C.I. 211	44
3.1.1. Cemento Utilizado.....	45
3.1.2. Procedencia del Agregado	45
3.1.3. Granulometría.....	46
3.1.3.1. Granulometría Agregado Grueso.....	46
3.1.3.2. Granulometría Agregado Fino.....	47
3.1.4. Determinación de los Materiales para 1m ³ de Hormigón.....	49
3.1.4.1. Determinación de la Resistencia Media (Fcm).....	49

3.1.4.2. Determinación de la Relación Agua/Cemento (A/C)	49
3.1.4.3. Determinación de la Cantidad de Agua.....	50
3.1.4.4. Cálculo de la cantidad de Cemento (Cc).	50
3.1.4.5. Cálculo del Peso Agregado Grueso (Gr)	50
3.1.4.6. Determinación de la Cantidad de Arena (Ar) por el Método de los Volúmenes Absolutos	51
3.1.5. Selección de las Virutas de Acero	52
3.2. Vaciado y Moldeo de Probetas de Hormigón.....	53
3.2.1. Moldeo de Vigas con la Incorporación de Virutas de Acero, ASTM C-192	55
3.3. Curado de las Muestras, ASTM C-192	56
3.4. Control del Hormigón Endurecido	57
3.4.1. Peso Unitario del Hormigón Endurecido.....	57
3.4.2. Compresión de Probetas Cilíndricas.....	58
3.4.3. Flexotracción en Probetas Prismáticas	58

CAPITULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de las Probetas Hormigonadas	60
4.2. Análisis de las Probetas Cilíndricas Ensayadas a Compresión con una Mezcla Patrón	61
4.3. Análisis de las Probetas Prismáticas Ensayadas a Flexotracción	62
4.4. Resistencias Alcanzadas con las Virutas de Acero en el Hormigón	75
4.5. Contrastación de la Hipótesis	77
4.6. Peso Unitario del Hormigón con Virutas de Acero.....	78
4.7. Análisis de Precios Unitarios.....	79
4.7.1. Comparación de Costo del Hormigón con Viruta de Acero y Fibras de Acero .	81

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	84
5.2. Recomendaciones	86

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de los Cementos Portland	8
Tabla 2: Clasificación y Composición de los Cementos en Bolivia según la NB-011	11
Tabla 3: Características y Criterios de Empleo de los Cementos Portland	12
Tabla 4: Tipos de Cemento Elaborado por las Productoras de Bolivia según la NB-011	13
Tabla 5: Requisitos que debe cumplir el Agua para poder realizar el Mezclado para el Hormigón.....	13
Tabla 6: Composición Química (Valores Típicos).....	25
Tabla 7: Composición Química (% , ≤), para Placas y Barras de Acero, ancho ≤ 380 mm (15 pulg.).....	25
Tabla 8: Procedimiento de Diseño	36
Tabla 9: Asentamientos Recomendados para Diversos Tipos de Construcción y Sistemas de Colocación y Compactación.....	36
Tabla 10: Tamaños Máximos de Agregados según el Tipo de Construcción	37
Tabla 11: Cantidad Aproximada de Aire Esperado en Concreto sin Aire Incluido y Niveles de Aire Incluido para Diferentes Tamaños Máximos de Agregado	37
Tabla 12: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón sin Aire Incluido.....	38
Tabla 13: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón sin Aire Incluido.....	38
Tabla 14: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Redondeada y Textura Lisa, en Hormigón con Aire Incluido	39
Tabla 15: Requerimiento Aproximado de Agua de Mezclado para Diferentes Asentamientos y Tamaños Máximos de Agregado, con Partículas de Forma Angular y Textura Rugosa, en Hormigón con Aire Incluido	39
Tabla 16: Resistencia de Diseño Cuando no hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar	40

Tabla 17: Correspondencia entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento, para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones sin Aire Incluido.....	40
Tabla 18: Correspondencia Entre la Resistencia a la Compresión a los 28 Días de Edad y la Relación Agua-Cemento para los Cementos Portland Tipo I, en Hormigones con Aire Incluido.....	41
Tabla 19: Volumen de Agregado Grueso, Seco y Compactado con Varilla, por Volumen de Hormigón para Diferentes Módulos de Finura de la Arena	41
Tabla 20: Granulometría de la Grava	46
Tabla 21: Comportamiento Gráfico Respecto a los Límites	47
Tabla 22: Granulometría de la Arena	48
Tabla 23: Comportamiento Gráfico Respecto a los Límites	48
Tabla 24: Datos Recopilados de los Ensayos de Laboratorio Realizados.....	49
Tabla 25: Cantidades Corregidas para 1 m ³ de Hormigón Patrón, para el Diseño de Mezclas	52
Tabla 26: Proporciones de la Mezcla	52
Tabla 27: Detalle de Ensayo de Rotura a Compresión, Hormigón Patrón.....	60
Tabla 28: Detalle de Ensayo de Rotura a Flexotracción	60
Tabla 29: Detalle de Ensayo de Rotura a Flexotracción, Vigas Adicionales.....	60
Tabla 30: Detalle de Rotura de las Probetas Cilíndricas a Compresión.....	61
Tabla 31: Coeficiente de Conversión de la Resistencia a Compresión Respecto a Probetas del Mismo tipo a Diferentes Edades.....	62
Tabla 32: Detalle de la Rotura de las Probetas Prismáticas Patrón a Flexotracción	63
Tabla 33: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)	63
Tabla 34: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)	64
Tabla 35: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (1% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)	64
Tabla 36: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)	65

Tabla 37: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)	65
Tabla 38: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (2% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)	66
Tabla 39: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 4cm de Longitud)	66
Tabla 40: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 5cm de Longitud)	67
Tabla 41: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (3% de Incorporación de Viruta, 6cm de Longitud)	67
Tabla 42: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (5% de Incorporación de Viruta)..	68
Tabla 43: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (9% de Incorporación de Viruta)..	69
Tabla 44: Detalle de la Rotura de Probetas Prismáticas (12% de Incorporación de Viruta)	69
Tabla 45: Detalle de la rotura de Probetas Prismáticas (16% de Incorporación de Viruta).	70
Tabla 46: Costo del Hormigón (Analizado para Vigas) con Adición de Viruta de Acero y Fibra de Acero	82

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de acero (4cm)	70
Gráfica 2: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de Acero (5cm)	71
Gráfica 3: Comparación de la Resistencia Alcanzada del Hormigón Patrón con la del Hormigón Incorporado de Viruta de Acero (6cm)	71
Gráfica 4: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 4cm, ensayado a 28 días.....	74
Gráfica 5: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 5cm, ensayado a 28 días.....	75
Gráfica 6: Incremento de Resistencia a Flexotracción Respecto al Hormigón Patrón sin Viruta de Acero, para una Longitud de la Misma de 6cm, ensayado a 28 días.....	75
Gráfica 7: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 4cm	76
Gráfica 8: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 5cm	76
Gráfica 9: Resistencia Alcanzada con la Incorporación de Viruta de Acero a una Longitud de 6cm	77
Gráfica 10: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 4cm	78
Gráfica 11: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 5cm	79
Gráfica 12: Peso Unitario del Hormigón Respecto al Incremento de Virutas de Acero con una Longitud de 6 cm	79
Gráfica 13: Costo del Hormigón con Adición de Viruta de Acero	80
Gráfica 14: Valores Estimados de Costo del Hormigón en Vigas con Virutas de Acero	81
Gráfica 15: Costo del Hormigón Analizado en Vigas con Adición de Viruta y Fibra de Acero	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estados de Saturación de los Agregados.....	18
Figura 2: Áridos de Granulometría Continua - Mínimos	20
Figura 3: Viruta Discontinua	25
Figura 4: Efecto del Tamaño del Árido en la Distribución de las Fibras	30
Figura 5: Forma Geométrica de las Fibras	31
Figura 6: Método de Ensayo a Flexotracción.....	42
Figura 7: Cemento El Puente.....	45
Figura 8: Planta Chancadora de Áridos San José de Charaja.....	45
Figura 9: Virutas de Acero	53
Figura 10: Tamaño de la Viruta de Acero	53
Figura 11: Elaboración del Hormigón	54
Figura 12: Llenado de las Probetas con Hormigón Fresco.....	55
Figura 13: Incorporación de la Viruta de Acero a la Mezcla de Hormigón	55
Figura 14: Llenado y Varillado de la Capa Final Antes del Enrasado	56
Figura 15: Muestras Elaboradas, Previo Desencofrado de las Mismas para luego ser Sumergidas en Agua.....	57
Figura 16: Curado de las Probetas Cilíndricas y Prismáticas Previo Ensayo de Rotura	57
Figura 17: Cilindro ya Ensayado a Compresión.....	58
Figura 18: Viga Colocada en el Dispositivo de Rotura Previo Ensayo a Flexotracción	59
Figura 19: Viga Ensayada a Flexotracción.....	59
Figura 20: Evolución de la Resistencia a Tracción del Hormigón	62
Figura 21: Ensayo a Flexotracción de Vigas al 3% de Virutas de Acero.....	72

ANEXOS

Anexo N° 1 Ensayos Preliminares

Anexo N° 2 Caracterización de los Materiales

Anexo N° 3 Dosificación

Anexo N° 4 Control del Hormigón Fresco

Anexo N° 5 Ensayos del Hormigón Endurecido

Anexo N° 6 Calibración de la Prensa de Rotura

Anexo N° 7 Planillas de Rotura

Anexo N° 8 Fotografías

Anexo N° 9 Análisis de Precios Unitarios