

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE
CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE
VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN
JERÓNIMO - CUSCO, 2024**

PRESENTADO POR:

Br. LINCOLN ANTHONY ARCOS ROJAS

Br. DIEGO ARMANDO QUISPE CONDORI

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

ASESOR:

Ing. JOSÉ FELIPE AZPILCUETA CARBONELL

CUSCO - PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** ING. JOSE FELIPE AZPILCUETA CARBONELL quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada:

“EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO, 2024”

Presentado por: LINCOLN ANTHONY ARCOS ROJAS, DNI N°: 71464199

presentado por: DIEGO ARMANDO QUISPE CONDORI, DNI N° 74924271;

Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en 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 sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación 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** las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 15 de junio de 2026



Firmado digitalmente por:
AZPILCUETA CARBONELL JOSE
FELIPE FIR 23881345 hard
Motivo: Soy el autor del
documento
Fecha: 15/06/2026 12:41:50-0500

Firma

Post firma: Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell

Nro. de DNI: 23881345

ORCID del Asesor: 0000-0003-3954-4737

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: **oid: 27259: 600246239**
3. <https://unsaac.turnitin.com/viewer/submissions/oid:27259:600246239?locale=es-MX>

LINCOLN - DIEGO ARCOS - QUISPE

EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'_c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:600246239

Fecha de entrega

15 jun 2026, 10:54 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

15 jun 2026, 11:03 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'_c 280 kgf/cm², EN L....pdf

Tamaño del archivo

23.7 MB

273 páginas

50.634 palabras

277.994 caracteres

7% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios, por darme todas las bendiciones y guiarme a lo largo de mi vida. Papá, Edgar Arcos Peña, y mamá, Haydeé Rojas Díaz, mis pilares y mi razón de ser, gracias por el amor incondicional que siempre me han brindado, por los sacrificios, las enseñanzas y los abrazos que siempre me han dado cuando más los he necesitado. Ustedes son el ejemplo de fortaleza, de amor verdadero, y cada día me esfuerzo por hacerlos sentir orgullosos. Estoy profundamente agradecido por todo lo que me han dado.

A mis hermanos, enamorada y a mis amigos más cercanos, cada uno de ustedes posee una luz única que ha hecho mi vida más plena, más enriquecedora y llena de aprendizaje. Gracias por estar siempre presentes, en los momentos buenos y difíciles, por compartir risas, lágrimas, aventuras y sueños.

Lincoln Anthony Arcos Rojas

A Dios, por guiar mi camino, darme la fortaleza necesaria para culminar esta importante etapa de mi vida y concederme la dicha de la vida. A mi madre, Marleny Condori Chañi, a mi padre, Jaime Quispe Tacca y a mi hermana, Ingrid Milagros Quispe Condori, por su amor incondicional, sus sacrificios y su apoyo constante. Gracias por ser mi mayor motivación, y acompañarme en cada etapa de este camino, por su apoyo, comprensión y palabras de aliento en los momentos más importantes.

A mis amigos, por las experiencias compartidas durante la vida universitaria y por una amistad que se ha mantenido firme a lo largo del tiempo.

Diego Armando Quispe Condori

AGRADECIMIENTO

Expresamos nuestro sincero aprecio al Ing. José Felipe Azpilicueta Carbonell, cuya guía académica y compromiso constante fueron pilares esenciales para la culminación de esta investigación. Su experiencia y vocación docente contribuyeron decisivamente a enfrentar con éxito los retos surgidos durante el desarrollo de este trabajo.

Reconocemos con profundo afecto el respaldo de nuestras familias, cuyo apoyo emocional, paciencia y aliento incondicional nos sostuvieron a lo largo de este proceso. Su fe en nosotros fue el motor que impulsó nuestra determinación.

Asimismo, extendemos nuestra gratitud a nuestros compañeros y amistades, quienes, con su cercanía, sugerencias valiosas y apoyo constante, aportaron significativamente tanto al desarrollo académico como al bienestar personal durante esta etapa.

Finalmente, agradecemos a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco por fomentar un ambiente académico adecuado para el desarrollo de nuestras competencias profesionales, así como por el acceso a infraestructura, materiales y asesoramiento necesarios que hicieron posible la finalización de este trabajo de investigación.

Lincoln Anthony y Diego Armando

RESUMEN

Esta investigación evaluó las deflexiones en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ para viviendas en San Jerónimo, Cusco, comparando el análisis normativo (NTP E.060), la simulación en SAP 2000 y ensayos de laboratorio. El estudio fue cuantitativo, aplicado, descriptivo-comparativo y no experimental. En la UNSAAC, se ensayaron cuatro losas a escala real: tres bajo carga concentrada para deflexiones inmediatas y una bajo carga sostenida para el comportamiento diferido.

Los resultados revelan que la deflexión total promedio obtenida en los ensayos (7,101 mm) superó en un 26,29 % a la Norma E.060 (5,623 mm) y en un 11,31 % superior a SAP 2000 (6,380 mm). En deflexión inmediata, el valor promedio de los ensayos en laboratorio (3,260 mm) supera en un 17,17 % al cálculo normativo (2,782 mm) y en un 12,41 % al SAP 2000 (2,900 mm). En cuanto a la deflexión diferida, el promedio de los ensayos (3,842 mm) es un 35,22 % mayor a la Norma E.060 (2,841 mm) y un 10,39 % superior al obtenido en SAP 2000 (3,480 mm). Para las condiciones evaluadas en esta investigación, los métodos teóricos tienden a subestimar las deflexiones respecto a los valores ensayados, siendo la Norma E.060 la que presenta la mayor diferencia en comparación con los resultados de laboratorio.

Palabras clave: Losa maciza unidireccional, Deflexión inmediata, Deflexión diferida, Ensayo de carga.

ABSTRACT

This research evaluated the deflections in one-way solid reinforced concrete slabs ($f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$) for multi-family housings in San Jerónimo, Cusco, by comparing normative analysis (NTP E.060), SAP 2000 simulation, and laboratory tests. The study adopted a quantitative, applied, descriptive-comparative, and non-experimental approach. At UNSAAC, four full-scale slabs were tested: three under concentrated load to evaluate immediate deflections, and a fourth one under sustained distributed load to analyze immediate and long-term behavior over time.

The results reveal that the average total deflection obtained in the tests (7.101 mm) exceeded the theoretical models, being 26.29 % higher than estimated by the E.060 Standard (5.623 mm) and 11.31 % higher than the SAP 2000 simulation (6.380 mm). Regarding immediate deflection, the average laboratory test value (3.260 mm) surpassed the normative calculation (2.782 mm) by 17.17 % and the SAP 2000 result (2.900 mm) by 12.41 %. On the other hand, in terms of long-term deflection, the test average (3.842 mm) was 35.22 % greater than the value estimated by the E.060 Standard (2.841 mm) and 10.39 % higher than that obtained via SAP 2000 simulation (3.480 mm). Under the conditions evaluated in this research, theoretical methods tend to underestimate deflections compared to tested values, with the E.060 Standard presenting the greatest discrepancy against laboratory results.

Keywords: One-way solid slab, Immediate deflection, Long-term deflection, Load test.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ECUACIONES	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.1.1 Descripción del problema.....	3
1.2 Formulación del problema.....	6
1.2.1 Problema general	6
1.2.2 Problemas específicos.....	6
1.3 Justificación de la investigación	7
1.3.1 Justificación teórica	12
1.3.2 Justificación social	13
1.3.3 Justificación práctica	14
1.3.4 Justificación metodológica	15
1.4 Objetivos de la investigación.....	16
1.4.1 Objetivo general.....	16
1.4.2 Objetivos específicos	16
1.5 Hipótesis.....	17
1.5.1 Hipótesis general.....	17

1.5.2 Hipótesis específicas	17
CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 Definición de términos.....	19
2.2 Antecedentes históricos	21
2.2.1 Antecedentes internacionales.....	21
2.2.2 Antecedentes nacionales	22
2.3 Fundamento teórico	24
2.3.1 Concreto estructural	24
2.3.2 Caracterización de los materiales	34
2.3.3 Losas de concreto armado	37
2.3.4 Estados límite de servicio en losas de concreto armado.....	49
2.3.5 Consideración en losas unidireccionales y bidireccionales	51
2.3.6 Deflexiones en losas macizas de concreto armado	51
CAPITULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO.....	62
3.1 Metodología de investigación	62
3.1.1 Tipo y enfoque de investigación	62
3.1.2 Nivel o alcance de investigación	62
3.1.3 Diseño de investigación.....	63
3.2 Limitaciones del estudio de investigación	63
3.3 Normatividad y viabilidad	64
3.3.1 Normatividad.....	64
3.3.2 Viabilidad	65
3.4 Ámbito de estudio: localización política y geográfica	65
3.5 Población y muestra.....	67

3.5.1 Población	67
3.5.2 Muestra.....	67
3.6 Variables y operacionalización de investigación	69
3.7 Técnicas e instrumentos.....	70
3.7.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	70
3.7.2 Instrumentos utilizados	73
3.8 Estrategia de recolección de datos	76
CAPITULO 4 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	78
4.1 Deflexiones en losas macizas - NTP E.060	78
4.1.1 Alcance de diseño y predimensionamiento.	78
4.1.2 Diseño por la NTP E.060 – Concreto Armado (2009)	80
4.1.3 Deflexión losas macizas según la Norma E.060	90
4.2 Deflexiones en losas macizas - Simulación SAP2000	101
4.2.1 Definición del material.....	102
4.2.2 Tipo de elementos y sección (Shell - Thin)	103
4.2.3 Definición de cargas.....	103
4.2.4 Condiciones de apoyo, discretización y asignación de cargas a la losa	104
4.2.5 Verificación de cuantía de acero.....	105
4.2.6 Inercia bruta y momento de fisuración	107
4.2.7 Relación I_e/I_g	108
4.3 Deflexiones en losas macizas – Ensayos de laboratorio	111
4.3.1 Caracterización y selección de materiales.....	111
4.3.2 Construcción losas macizas.....	137
4.3.3 Ensayos de deflexión en losas: L-01, L-02, L-03 Y L-04	146

CAPITULO 5 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	159
5.1 Resultados por método: Analítico normativo (NTP E.060)	159
5.2 Resultados por método: Simulación estructural (SAP 2000).....	159
5.3 Resultados por método: Ensayos de laboratorio.....	161
5.4 Resumen de Resultados: Deflexiones inmediatas y diferidas	171
5.5 Comprobación diferencia estadística significativa (T Student)	173
5.5.1 Evaluación T-student deflexión inmediata.....	173
5.5.2 Evaluación t-student deflexión diferida.....	177
CAPITULO 6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	182
6.1 Discusión referente a la hipótesis general	182
6.2 Discusión referente a la primera hipótesis específica	184
6.3 Discusión referente a la segunda hipótesis específica.....	186
6.4 Discusión referente a la tercera hipótesis específica.....	188
CAPITULO 7 CONCLUSIONES	193
CAPITULO 8 RECOMENDACIONES	195
CAPITULO 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	198
CAPITULO 10 ANEXOS.....	201
10.1 Matriz de consistencia	201
10.2 Flujograma	202
10.3 Plano de ubicación	203
10.4 Plano detalle de encofrado	204
10.5 Plano detalle de soportes y maquina universal.....	205
10.6 Plano detallado de armado ded acero	206
10.7 Encuesta de vendedores de agregado	207

10.8 Certificado de uso de laboratorio de Mecánica de Suelos	208
10.9 Resultados de ensayos de laboratorio.....	209
10.9.1 Ensayo en agregados.....	209
10.9.2 Ensayo en losas	228
10.10 Aportes de la investigación (Recomendaciones).....	229
10.11 Panel fotográfico.....	238
10.11.1 Panel fotográfico - deflexión diferida L-04.....	250

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comportamiento esfuerzo–deformación del C° (carga de compresión)	31
Figura 2 Relación esfuerzo–deformación del acero de refuerzo estructural.	34
Figura 3 Tipos de losas estructurales	38
Figura 4 Deflexión de una losa en una dirección y cargada uniformemente.	40
Figura 5 Principio básico de la franja unitaria para el diseño a flexión.....	41
Figura 6 Losa en dos direcciones sobre apoyos de borde simples: (a) flexión de la franja central de la losa; (b) modelo reticular de la losa	43
Figura 7 Contribución de losas a las características mecánicas de las vigas a flexión	45
Figura 8 Deformación en vigas	46
Figura 9 Idealización del fenómeno de fragmentos de losa.	46
Figura 10 Efecto de membrana en losa.....	47
Figura 11 Tipos de grietas en elementos de concreto armado: flexión, flexión–cortante, torsión, adherencia acero–concreto, corrosión del refuerzo y retracción plástica.....	58
Figura 12 Ámbito de estudio, Ubicación de estudio (Cusco, Cusco, Perú)	66
Figura 13 Mapa de Ubicación Laboratorio de Estructuras – FIC, UNSAAC.....	66
Figura 14 Deformaciones y fuerzas internas en una sección rectangular de C° A° (flexión)	81
Figura 15 Vista en planta, esquema de diseño de acero de refuerzo (unidades: m) ...	89
Figura 16 Elevación y sección transversal de losas, esquema referencial de diseño (unidades: m)	90
Figura 17 Comportamiento carga–deflexión en el centro del vano de un elemento ...	91

Figura 18 Sección transformada agrietada.....	93
Figura 19 Propiedades del material definidas en el software SAP 2000	102
Figura 20 Propiedades de la sección shell definidas en el software SAP 2000	103
Figura 21 Patrones de carga definidos en el software SAP 2000	104
Figura 22 Asignación de CV y CM, extraído del software SAP 2000.....	104
Figura 23 Distribución del momento flector último en franja de la losa, extraído del software SAP 2000	105
Figura 24 Agregado grueso para ensayo de briquetas	128
Figura 25 Pesaje de agregado fino, cemento y agua para ensayo de briquetas	128
Figura 26 Elaboración de especímenes de concreto para ensayo de compresión.	129
Figura 27 Izquierda: preparación de la mezcla de concreto. Derecha: ensayo de asentamiento.....	130
Figura 28 Briquetas (6"x12") cilíndricas de control.....	131
Figura 29 Extracción de muestras cilíndricas	131
Figura 30 Especímenes cilíndricos de concreto para inmersión en pozo de agua	132
Figura 31 Espécimen MA-01_Ensayo de compresión en briqueta.....	133
Figura 32 Espécimen MA-02_Ensayo de compresión en briqueta.....	134
Figura 33 Espécimen MB-01_Ensayo de compresión en briqueta.....	134
Figura 34 Espécimen MB-02_Ensayo de compresión en briqueta.....	135
Figura 35 Espécimen MC-01_Ensayo de compresión en briqueta.....	135
Figura 36 Espécimen MC-02_Ensayo de compresión en briqueta.....	136
Figura 37 Rotura de briquetas de concreto - Ensayo de compresión Axial	137

Figura 38 Armado de parrilla de acero según diseño para L-01, L-02, L-03 y L-04.	140
Figura 39 Armado de acero y encofrado L-01, L-02, L-03 y L-04.....	141
Figura 40 Vaciado L-01, L-02, L-03 y L-04 en el patio del laboratorio de Mecánica de Suelos.....	141
Figura 41 Briquetas de control extraídas del vaciado de losa	142
Figura 42 Izquierda: Curado de concreto día 1 posterior al vaciado. Derecha: Control de fisuración día 2 posterior al vaciado.....	143
Figura 43 Espécimen ML-01 _Ensayo de compresión en briquetas_ 306,30 kgf/cm ²	143
Figura 44 Espécimen ML-02 _Ensayo de compresión en briquetas_ 331,60 kgf/cm ²	144
Figura 45 Espécimen ML-03 _Ensayo de compresión en briquetas_ 292,80 kgf/cm ²	144
Figura 46 Derecha: Briquetas ML-01, ML-02 y ML-03 antes de ensayo de compresión.	145
Figura 47 Izquierda: Traslado losa L-01 al laboratorio para ensayo de deflexión inmediata. Centro: L-01 junto a máquina universal para ensayo. Izquierda: L-01, L-02 y L-03	147
Figura 48 Montaje y posicionamiento de losa L-01 en el marco de carga.....	149
Figura 49 Deflexión por desencofrado tras retiro de parihuela y posicionamiento en marco de carga _L-01(izquierda) y L-02 (derecha).....	150
Figura 50 Deflexión pro desencofrado tras retiro de parihuela y posicionamiento en marco de carga _L-03	151
Figura 51 Detalle de instrumentación para medir la deflexión inmediata en losas L-01, L-02 y L-03	153

Figura 52 Posicionamiento de L-04 para ensayo de deflexión diferida, medición de la deflexión por desencofrado.....	156
Figura 53 Deflexión inmediata L-04 (Peso propio) 31/07/2025.....	157
Figura 54 Adición de carga de diseño - 11/08/2025.....	158
Figura 55 Deformada obtenida del análisis estructural tras la actualización de la inercia efectiva, extraído del software SAP 2000.....	160
Figura 56 Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-01, L-02 y L-03 ensayo de laboratorio.....	161
Figura 57 Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-01, obtenida de ensayo de laboratorio.....	165
Figura 58 Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-02, obtenida de ensayo de laboratorio.....	166
Figura 59 Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-03, obtenida de ensayo de laboratorio.....	168
Figura 60 Gráfico deflexión diferida experimental (L-04)	171
Figura 61 Deflexión total ensayos de laboratorio, Norma E.060 y Software SAP 2000	182
Figura 62 Def. inm. experimental (L-01, L-02, L-03 y L-04) vs def. inm. E 0.60.....	185
Figura 63 Def. inm. experimental (L-01, L-02, L-03 y L-04), def. inm. SAP 2000...	187
Figura 64 Def. diferida Norma E.060 vs SAP 2000 vs experimental de la losa L-04 (6 meses)	189
Figura 65 Deflexión diferida experimental (L-01, L-02, L-06 y L-04)	190

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Cocientes entre la resistencia requerida (w_u) y la carga de servicio (w_s)	11
Tabla 2 Composición del concreto	25
Tabla 3 Clasificación del concreto	27
Tabla 4 Propiedades mecánicas del concreto	27
Tabla 5 Tipos de contracción del concreto	30
Tabla 6 Normas Técnicas ensayos en agregados, PARTE A	35
Tabla 7 Normas Técnicas ensayos en agregados, PARTE B.....	36
Tabla 8 Tipos de losas macizas de concreto armado.....	39
Tabla 9 Espesores mínimos losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones.	48
Tabla 10 Tabla de Operacionalización de Variables	69
Tabla 11 Espesores mínimos para losas reforzadas unidireccionales, salvo se verifiquen deflexiones mediante cálculos.	79
Tabla 12 Dimensiones 4 losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm ²	80
Tabla 13 Datos iniciales para diseño de losa maciza unidireccional	82
Tabla 14 Metrado de cargas de servicio y cargas de diseño	83
Tabla 15 Cálculo $A_s(+)$ μ	85
Tabla 16 Diseño de refuerzo para losa maciza unidireccional $f'c$ 280 kgf/cm ²	86
Tabla 17 ξ Factor dependiente del tiempo.....	98

Tabla 18 Deflexión total losa maciza usando la Norma E.060 – Concreto Armado (2009).....	99
Tabla 19 Momentos flectores últimos por unidad de ancho en losa (1.4CM+1.7CV), en los nudos (joints) 137 Y 138, extraído del software SAP 2000	106
Tabla 20 Verificación de cuantía de acero	107
Tabla 21 Cálculo de inercia bruta, momento de fisuración	108
Tabla 22 Momento actuante de servicio, extraído del software SAP 2000	109
Tabla 23 Cálculos de Relación modular, eje neutro, inercia fisurada y efectiva	110
Tabla 24: Piedra de 1/2" - Frecuencia por procedencia y recomendación	111
Tabla 25: Arena gruesa - Frecuencia por procedencia y recomendación.....	112
Tabla 26 Ensayos en agregados grueso y agregado fino para diseño de mezcla.....	113
Tabla 27 Revenimiento recomendado de acuerdo con tipo de construcción	115
Tabla 28 Tipo de consistencia de acuerdo con SLUMP y Método de Compactación	115
Tabla 29 Datos diseño de mezcla	116
Tabla 30 Resultado ensayo de agregados.....	116
Tabla 31 Valores de $f'c$ para diseño de mezcla.....	117
Tabla 32 Cantidad de aire atrapado.....	117
Tabla 33 Volumen unitario de agua	118
Tabla 34 Relación a/c por resistencia.....	119
Tabla 35 Peso agregado grueso por unidad de volumen de C°	120
Tabla 36 Resumen diseño de mezcla	125

Tabla 37 Cálculo de volumen de concreto para ensayos	126
Tabla 38 Requerimiento de material para testigos cilíndricos.....	127
Tabla 39 Características de especímenes (briquetas) para ensayo a compresión	132
Tabla 40 Resumen de resistencia alcanzada en ensayo normalizado de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas.....	136
Tabla 41 Características del acero en las losas L-01, L-02, L-03 y L-04.....	138
Tabla 42 Dimensiones 4 losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c=280$ kgf/cm ²	139
Tabla 43 Metrado de concreto para construcción y ensayos de losa de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm ²	139
Tabla 44 Resumen de resistencia alcanzada en ensayo normalizado de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas (vaciado a losas)	145
Tabla 45 Resultados de deflexión total losa maciza usando la Norma E.060 – Concreto Armado (2009).....	159
Tabla 46 Deflexión total losa maciza utilizando software SAP 2000.....	161
Tabla 47 Resumen deflexión inmediata en losas L-01, L-02 y L-03.....	169
Tabla 48 Resultados históricos deflexión diferida losa L-04	170
Tabla 49 Registro de deflexiones inmediatas y diferidas	172
Tabla 50 Tabla de valores críticos de la distribución t de Student	176
Tabla 51 Registro de deflexiones inmediatas (Ensayos-NTP E.060)	184
Tabla 52 Registro de deflexiones inmediatas (ensayos - SAP2000)	186
Tabla 53 Registro de deflexiones diferidas.....	189

Tabla 54 Deflexión total losa maciza (Propuesta de optimización mediante el incremento de cuantía de refuerzo) usando la Norma E.060	230
Tabla 55 Propuesta de optimización mediante el incremento de cuantía de refuerzo, comparativa de deflexiones totales	231
Tabla 56 Deflexión total losa maciza (Propuesta de optimización mediante el incremento de espesor de losa) usando la Norma E.060	233
Tabla 57 Propuesta de optimización mediante el incremento de espesor de losa, comparativa de deflexiones totales	234

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1 Momento último.....	83
Ecuación 2 Altura del rectángulo de esfuerzos a compresión	84
Ecuación 3 Profundidad de bloque de compresión equivalente	85
Ecuación 4 Área de acero requerida por flexión.....	85
Ecuación 5 Separación máxima de estribos.....	85
Ecuación 6 Cuantía mínima	87
Ecuación 7 Deformación unitaria del acero a tensión.....	87
Ecuación 8 Cuantía mínima ACI 318	88
Ecuación 9 Cuantía máxima ACI 318	88
Ecuación 10 Cuantía balanceada de refuerzo.....	88
Ecuación 11 Cuantía balanceada teórica	88
Ecuación 12 Módulo de rotura (resistencia a tensiones de tracción)	92
Ecuación 13 Relación modular del concreto y el acero.....	92
Ecuación 14 Momento de agrietamiento.....	93
Ecuación 15 Condición de equilibrio sección agrietada	94
Ecuación 16 Inercia agrietada.....	94
Ecuación 17 Inercia efectiva de Branson I_e	95
Ecuación 18 Carga total inmediata	96
Ecuación 19 Deflexión inmediata.....	96
Ecuación 20 Deflexión diferida	97
Ecuación 21 Deflexión total.....	99

Ecuación 22 Limite de deflexión NTP E.060	100
Ecuación 23 Resistencia nominal a flexión.....	106
Ecuación 24 Área de acero de refuerzo	106
Ecuación 25 Inercia bruta sección rectangular	108
Ecuación 26 Módulo de rotura del concreto.....	108
Ecuación 27 Momento de fisuración	108
Ecuación 28 Posición del eje neutro “c”	109
Ecuación 29 Momento de inercia efectivo Branson	109
Ecuación 30 Relación agua/cemento	119
Ecuación 31 Peso agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI).....	121
Ecuación 32 Peso agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)	122
Ecuación 33 Ajuste contenido de humedad agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)	123
Ecuación 34 Ajuste contenido de humedad agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI)	123
Ecuación 35 Aporte de agua al agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)	123
Ecuación 36 Aporte de agua al agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI)	124
Ecuación 37 Agua efectiva (Diseño de mezcla - ACI)	124
Ecuación 38 Deflexión diferida	160
Ecuación 39 Deflexión por carga puntual en el centro	163
Ecuación 40 Deflexión por carga distribuida uniforme “w”.....	164
Ecuación 41 Media aritmética (Prueba T Student)	175

Ecuación 42 Desviación estándar (Prueba T Student).....	175
Ecuación 43 T estadístico (Prueba T Student).....	175

INTRODUCCIÓN

En el diseño estructural de edificaciones de concreto armado, el control de las deflexiones constituye un aspecto fundamental dentro del estado límite de servicio, debido a la influencia directa que ejercen sobre la funcionalidad, la durabilidad y el desempeño de las estructuras. Las losas macizas unidireccionales de concreto armado cumplen un rol estructural esencial, dado que reciben las cargas gravitacionales y las transmiten hacia los elementos resistentes principales. Un comportamiento inadecuado en términos de deflexión puede generar fisuración excesiva, daños en elementos no estructurales, afectaciones a las instalaciones y una reducción de la vida útil.

En la ciudad del Cusco, y particularmente en el distrito de San Jerónimo, la construcción de edificaciones de vivienda multifamiliar ha crecido de manera sostenida, empleando sistemas estructurales de concreto armado con losas macizas. Las condiciones geográficas, constructivas y de materiales propias de la zona, así como las modificaciones frecuentes durante la ejecución y la presencia de sobrecargas no consideradas inicialmente, pueden influir en el comportamiento en servicio de estos elementos. En la práctica profesional el diseño de losas suele centrarse en la verificación por resistencia, mientras que el control de las deflexiones se realiza mediante criterios simplificados, sin una validación directa del comportamiento real, generando problemas tanto arquitectónicos como estructurales, lo que hace necesario evaluar su comportamiento de servicio frente a las deflexiones admisibles establecidas por la normativa.

La Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2009), establece criterios y procedimientos para la estimación de deflexiones inmediatas y deflexiones diferidas, considerando la rigidez efectiva de la sección, la fisuración del concreto y los efectos de fluencia y retracción. En la práctica se emplean programas de análisis estructural que permiten estimar las deflexiones de los elementos sometidos a cargas de servicio. No obstante, diversos estudios indican que pueden existir diferencias entre las deflexiones calculadas mediante métodos normativos o computacionales y aquellas que se presentan en los elementos estructurales, especialmente cuando se consideran condiciones iniciales de desencofrado, carga sostenida y efectos a largo plazo.

La presente investigación tiene como finalidad evaluar las deflexiones de losas macizas unidireccionales de concreto armado, con resistencia de $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, a través de un análisis comparativo que integra el marco normativo, simulación estructural y la evaluación mediante ensayos en laboratorio. Para tal efecto, la losa fue diseñada conforme a la normativa vigente, calculándose las deflexiones teóricas; contrastando los valores con los resultados obtenidos del software SAP 2000 y ensayos controlados en laboratorio (empleando losas a escala real sometidas a diferentes esquemas de carga representativos). De esta manera, el estudio aporta información que permite comparar los resultados obtenidos y contribuye a una mejor comprensión del comportamiento de las deflexiones en servicio de losas macizas unidireccionales de concreto armado. Asimismo, estos resultados pueden servir como referencia para futuras investigaciones orientadas a la mejora de los criterios de diseño y evaluación en edificaciones de vivienda multifamiliar, considerando el contexto local de estudio.

CAPITULO 1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

1.1.1 Descripción del problema

En el diseño estructural de edificaciones de concreto armado, el control de las deflexiones constituye un aspecto fundamental dentro del estado límite de servicio, debido a la influencia directa que estas ejercen sobre la funcionalidad, la durabilidad y la percepción del desempeño de las estructuras. Las deflexiones excesivas pueden generar fisuración, daños en elementos no estructurales, afectaciones a las instalaciones y una disminución de la vida útil de las edificaciones.

Las losas macizas de concreto armado cumplen un rol estructural esencial, dado que reciben directamente las cargas gravitacionales y las transmiten hacia los elementos resistentes principales. En consecuencia, el comportamiento de estos elementos frente a las deformaciones debe ser adecuadamente evaluado durante la etapa de diseño. Al encontrarse sometidas a cargas durante la vida útil de la estructura, las losas pueden experimentar deflexiones inmediatas, asociadas a la aplicación de las cargas, así como deflexiones diferidas, vinculadas a la acción prolongada de cargas sostenidas y a fenómenos propios del concreto, como la fluencia y la retracción. Una evaluación insuficiente de este comportamiento puede derivar en problemas de servicio, aun cuando los requisitos de resistencia se encuentren aceptables.

La normativa peruana establece procedimientos para el cálculo de deflexiones en elementos de concreto armado, diferenciando entre deflexiones inmediatas, que ocurren al momento de la aplicación de las cargas, y deflexiones diferidas, que se

manifiestan con el transcurso del tiempo bajo la acción de cargas sostenidas. La Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2009) emplea métodos basados en el comportamiento elástico del elemento para la estimación de deflexiones inmediatas, considerando la reducción de rigidez producida por la fisuración del concreto en tracción y la contribución del acero de refuerzo en la respuesta estructural. Asimismo, la norma permite no hacer caso a la verificación detallada de deflexiones cuando se cumple con un espesor mínimo de losa establecido normativamente. No obstante, el cumplimiento de esta condición no garantiza necesariamente que el elemento estructural se encuentre libre de deformaciones excesivas en el estado de servicio. En la práctica del diseño estructural, la presencia de cargas permanentes adicionales y la acción prolongada de las cargas pueden generar incrementos de deflexión que no siempre son adecuadamente representados por los criterios simplificados considerados en el análisis, los cuales suelen basarse en el espesor del elemento.

Diversos autores han señalado las limitaciones asociadas a la predicción de deflexiones a largo plazo en estructuras de concreto armado. Bažant y Yu (2013) indican que la estimación de las deflexiones diferidas continúa siendo un desafío, debido a la dificultad de representar con precisión los fenómenos que influyen en el comportamiento del material, tales como la fluencia, la fisuración progresiva y la interacción entre el concreto y el acero de refuerzo.

De manera similar, Harmsen (2017) señala que los métodos de cálculo basados en el ACI pueden tender a subestimar las deflexiones, tanto inmediatas como diferidas, cuando se aplican cargas significativas en edades tempranas del concreto. Esta

situación toma relevancia en elementos con luces grandes, apoyos simples y cargas permanentes elevadas, donde el control de las deformaciones adquiere mayor importancia.

Por otro lado, la normativa peruana emplea el concepto de inercia efectiva para la estimación de deflexiones, reconociendo que la rigidez real del elemento se encuentra entre una sección no fisurada y la de una sección completamente fisurada. Sin embargo, tal como señala Blanco Blasco (1994), esta inercia representa una aproximación del comportamiento real, debido a que la rigidez del elemento varía a lo largo del tramo en función de la fisuración y de la cuantía de refuerzo.

En el contexto de la práctica constructiva local, se ha observado que las losas de concreto armado pueden verse afectadas por modificaciones durante la ejecución, tales como perforaciones o cortes para la instalación de ductos, luminarias o elementos sanitarios, así como por sobrecargas no consideradas inicialmente, y el diseño de losas suele verificarse principalmente en términos de resistencia, mientras que el control de deflexiones se realiza mediante criterios simplificados o relaciones empíricas. Esta situación motivó el planteamiento de la presente investigación, al identificarse la necesidad de analizar y contrastar las deflexiones obtenidas mediante el cálculo normativo, simulación estructural y con mediciones ensayados en laboratorio.

En ese sentido, el presente estudio se orienta a la evaluación comparativa de deflexiones en losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, mediante la comparación entre los resultados obtenidos a del cálculo

normativo, simulación en SAP 2000 y la medición mediante ensayos de laboratorio. Este enfoque permite analizar las diferencias entre los métodos de evaluación utilizados en la práctica del diseño estructural y contribuir a una mejor interpretación del comportamiento de las losas en estado límite de servicio.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Existen diferencias significativas entre las deflexiones obtenidas mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, ensayadas en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC; y las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y el software de simulación SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?

1.2.2 Problemas específicos

PE.01: ¿Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, difieren de las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?

PE.02: ¿Las deflexiones inmediatas obtenidas mediante el software de simulación SAP 2000 en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, difieren de las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el

Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?

PE.03: ¿Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, difieren de las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y el software de simulación SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?

1.3 Justificación de la investigación

La presente investigación se justifica en la necesidad de evaluar el comportamiento a deflexión de losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, elemento estructural ampliamente utilizado en edificaciones de vivienda multifamiliar. El control de deflexiones constituye un aspecto fundamental del estado límite de servicio, debido a que deformaciones excesivas pueden afectar la funcionalidad, durabilidad y percepción del desempeño estructural de las edificaciones.

Las deflexiones excesivas pueden causar problemas como fisuración, vibraciones, aspecto inaceptable y reducir la vida útil de la estructura. Aunque existen normativas y criterios de diseño establecidos, la realidad práctica a menudo muestra discrepancias entre las deflexiones reales y las calculadas teóricamente. Este fenómeno puede atribuirse a varios factores, como la variabilidad en las propiedades del material, las

condiciones de carga no convencionales, la complejidad de las interacciones estructurales o las construcciones no diseñadas por profesionales.

El cálculo de deflexiones en estructuras de hormigón armado es un proceso complejo que involucra numerosas variables y cierto grado de incertidumbre. A pesar de los esfuerzos por desarrollar métodos rigurosos y sofisticados para su predicción, existe una inherente variabilidad en los parámetros involucrados que dificulta obtener estimaciones precisas. En este sentido, diversos estudios e investigaciones han demostrado que, incluso utilizando los enfoques más avanzados, es común encontrar discrepancias de hasta un 30% entre las deflexiones calculadas y las efectivamente medidas en estructuras reales (Concrete Society, 2005)

Esta diferencia significativa se atribuye principalmente a la complejidad del comportamiento del concreto armado y a la dificultad de modelar con precisión todos los fenómenos que influyen en las deflexiones. Al respecto, Bažant y Yu (2013) señalan que la predicción precisa de las deflexiones a largo plazo en estructuras de concreto armado continúa siendo un desafío, debido a la naturaleza heterogénea del material y a la interacción de diversos procesos acoplados, tales como la fluencia, la fisuración y la degradación de la adherencia. En consecuencia, resulta necesario reconocer estas limitaciones inherentes a los modelos de análisis y considerar un rango razonable de variación al interpretar.

Harmsen (2017) señala que los métodos de cálculo del ACI tienden a subestimar las deflexiones, tanto inmediatas como diferidas, cuando se aplican cargas de

construcción significativas en edades tempranas del concreto. Esta discrepancia entre los valores calculados y las deflexiones que se presentan en la estructura resulta relevante desde el punto de vista del diseño estructural, debido a que puede implicar la necesidad de incrementar los espesores de los elementos estructurales. Asimismo, dicha situación adquiere especial importancia en elementos con luces largas, condiciones de apoyo simple y presencia de cargas permanentes elevadas, casos en los cuales una adecuada estimación de las deflexiones resulta determinante para garantizar el desempeño en estado límite de servicio.

Blanco Blasco (1994) indica que la normativa peruana establece expresiones para la determinación del espesor mínimo requerido en losas macizas de concreto armado, con el objetivo de cumplir los requisitos de deflexión en el estado límite de servicio. Sin embargo, señala que el cálculo de la deflexión en elementos de concreto armado constituye una estimación aproximada, debido a que estos presentan una sección constante en cuanto al concreto, pero una distribución variable del refuerzo de acero a lo largo del tramo, además de encontrarse sometidos a variaciones del momento actuante y a efectos propios del material, como la contracción de fragua. En este contexto, el ACI como la normativa peruana emplean el concepto de inercia efectiva para la estimación de deflexiones, reconociendo que la rigidez real del elemento se sitúa entre la sección no fisurada y la sección completamente fisurada. Sin embargo, al basarse en la inercia de la sección fisurada, la normativa peruana tiende a estimar deflexiones ligeramente mayores en comparación con las obtenidas mediante el código americano.

Otazzi Pasino (2015) destaca la importancia de la estimación de las deflexiones asociadas a la flexión en elementos de concreto armado, y que en general, la metodología para el cálculo de las deflexiones asociadas a la acción de la fuerza cortante y a las pérdidas de adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo no suele desarrollarse de manera detallada. Asimismo, indica que la introducción de aceros de alta resistencia ha incrementado los esfuerzos en el acero y, en consecuencia, las deflexiones y la fisuración bajo cargas de servicio. Esta situación se ve notoria por la reducción de los factores de amplificación de carga adoptados por normativas como el ACI y la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009), lo que implica un mayor riesgo de exceder los límites tolerables de deflexión y fisuración en estado de servicio. En esta situación, los cálculos de resistencia requerida evidencian que, bajo los criterios normativos actuales, se demanda una mayor cuantía de acero de flexión para contrarrestar los incrementos de esfuerzo bajo cargas de servicio, lo que pone de manifiesto la necesidad de una evaluación conjunta y rigurosa de los estados límite de resistencia y de servicio.

El análisis comparativo entre las normativas evidencia discrepancias significativas en los requisitos de resistencia asociados a distintas relaciones entre carga muerta y carga viva. En particular, la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (1989) exige una resistencia aproximadamente un 7 % mayor que la establecida en su revisión del 2009, mientras que esta última requiere un nivel de resistencia cercano a un 12% superior al especificado por el ACI 318-08.

Tabla 1

Cocientes entre la resistencia requerida (w_u) y la carga de servicio (w_s)

$\frac{D}{L}$	$\frac{L}{D}$	Cociente ω_u/ω_s	Cociente ω_u/ω_s	Cociente ω_u/ω_s
		Norma E060-1989	Norma E060-2009	ACI-2008
		(1.5D+1.8L)	(1.4D+1.7L)	(1.2D+1.6L)
0,5	2	1,7	1,6	1,47
1	1	1,65	1,55	1,4
1,5	0,67	1,62	1,52	1,36
2	0,5	1,6	1,5	1,33
3	0,33	1,58	1,48	1,3
4	0,25	1,56	1,46	1,28
∞	0	1,5	1,40	1,4

NOTA: Tomado de *Apuntes del curso de Concreto Armado I*, por Otazzi Pasino (2015).

En consecuencia, el diseño conforme a la Norma E.060 implica una mayor cuantía de acero de flexión, lo que se traduce en menores esfuerzos en el acero bajo cargas de servicio. Por el contrario, un diseño basado en los factores de carga del ACI 318-08 conlleva un mayor riesgo de exceder los límites admisibles de fisuración y deflexión por flexión (Otazzi Pasino, 2015).

Los resultados obtenidos permitirán evaluar el nivel de relación entre las deflexiones estimadas mediante los procedimientos de cálculo establecidos en la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009), las deflexiones obtenidas a partir de la simulación estructural en SAP 2000, y aquellas medidas en ensayos de laboratorio, aportando

información técnica relevante sobre el comportamiento real de las losas en estado límite de servicio.

1.3.1 Justificación teórica

La evaluación de las deflexiones en losas macizas de concreto armado es un aspecto relevante en el diseño estructural, particularmente en edificaciones de vivienda multifamiliar, donde las condiciones de diseño y ejecución pueden presentar variabilidad con factores económicos y técnicos. En este contexto, la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009) establece lineamientos para la estimación de deflexiones inmediatas y deflexiones diferidas, considerando la rigidez efectiva del elemento y los efectos de fisuración, fluencia y retracción del concreto.

Diversos estudios, como el desarrollado por Harmsen (2017), indican que las deflexiones reales de elementos de concreto armado pueden superar las estimaciones teóricas, especialmente bajo cargas sostenidas, en edades tempranas del concreto o en condiciones de construcción desfavorables, como curados deficientes y la presencia de sobrecargas no previstas. Los métodos de cálculo basados en el ACI 318-19 tienden a subestimar las deflexiones, lo que puede derivar en problemas de servicio, como fisuración excesiva, vibraciones perceptibles, acumulación de agua o afectaciones a las instalaciones, con impacto negativo en la funcionalidad y durabilidad de las edificaciones.

Estudios realizados por Blanco Blasco (1994) también revelan diferencias entre los valores normativos y los reales, señalando que el uso de inercia efectiva (basada en

la sección fisurada) mejora la aproximación, pero sigue presentando limitaciones cuando se enfrentan luces largas y cargas permanentes elevadas. Además, la comparación entre normativas internacionales -como la EHE española y el ACI 318-19- muestra que la adopción de parámetros más conservadores, como mayores espesores o mayor cuantía de acero, puede ser una solución práctica.

La investigación se alinea con los principios de la ingeniería estructural aplicada, según Tamayo y Tamayo (2003), al abordar un problema con un enfoque cuantitativo. Además, contribuye al conocimiento local al validar la aplicabilidad de la Norma E.060 en un contexto específico, proporcionando información técnica que puede servir como referencia para investigaciones posteriores con un mayor número de especímenes.

1.3.2 Justificación social

La presente investigación posee relevancia social al orientarse a la protección del patrimonio y el bienestar de las familias que habitan viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo. El estudio aborda de manera descriptiva el fenómeno de las deflexiones reales, cuya subestimación suele derivar en daños prematuros en acabados y tabiquerías. Estos daños no solo representan una carga económica imprevista para los propietarios, sino que también generan una percepción de inseguridad y disminuyen la calidad de vida en el entorno habitacional.

Los beneficiarios directos son los ciudadanos y constructores locales, quienes dispondrán de información técnica sobre el comportamiento real de los materiales de la zona. Al describir las discrepancias entre la teoría y la práctica, esta investigación

fomenta la ejecución de edificaciones más duraderas y funcionales, garantizando que la inversión familiar se traduzca en viviendas seguras que cumplan con los estándares de servicio y confort a largo plazo.

1.3.3 Justificación práctica

El presente estudio permitirá establecer la viabilidad del análisis comparativo de deflexiones en losas macizas de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, recurso técnico para la evaluación del comportamiento en el estado límite de servicio en edificaciones multifamiliares. Para ello, se evalúan las deflexiones inmediatas y diferidas obtenidas mediante tres métodos: el cálculo teórico basado en la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009), simulación en SAP 2000, y los ensayos ensayados en laboratorio realizados en laboratorio bajo diferentes condiciones de carga, correspondientes al peso propio, la sobrecarga aplicada de manera inmediata y la sobrecarga sostenida.

El análisis incluirá la determinación de las variaciones porcentuales entre las deflexiones teóricas y reales, los hallazgos podrían contribuir a mejorar los criterios de diseño estructural, así como a minimizar daños estructurales y no estructurales derivados del exceso de deflexión. Dicho análisis se limita a la interpretación de los resultados obtenidos en el marco del estudio desarrollado, sin pretender establecer generalizaciones ni modificaciones a los criterios normativos vigentes.

En un futuro, esta investigación podría ser utilizada como referencia para estudios posteriores que incorporen un mayor número de especímenes, condiciones reales de servicio o diferentes configuraciones estructurales, contribuyendo al análisis

del comportamiento de las losas macizas de concreto armado en el estado límite de servicio desde un enfoque cualitativo.

1.3.4 Justificación metodológica

El diseño metodológico de esta investigación combina una revisión bibliográfica con un enfoque cuantitativo, para evaluar las deflexiones en losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$. La revisión bibliográfica incluye artículos científicos, manuales técnicos, normas como la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009) y el ACI 318-19, y estudios previos nacionales e internacionales sobre el comportamiento a flexión de losas macizas. Esta base teórica sustenta los procedimientos de cálculo empleados y definir los parámetros utilizados en el desarrollo de los ensayos ensayados en laboratorio, asegurando la coherencia entre el análisis normativo, el modelado estructural y la evaluación experimental.

La metodología adoptada se fundamenta en los principios de la investigación cuantitativa descritos por Kerlinger y Lee (2002), al priorizar la medición directa de variables físicas mediante el uso de instrumentos adecuados para el registro de deflexiones, tales como transductores de desplazamiento, calibradores tipo Vernier y sistemas de nivelación. Los ensayos se desarrollaron sobre losas macizas construidas a escala real, de modo que las condiciones geométricas, los detalles de refuerzo y los esquemas de carga sean representativos de las prácticas constructivas locales y de los estados de carga asociados al estado límite de servicio.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 *Objetivo general*

Evaluar y comparar las deflexiones obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, con las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

1.4.2 *Objetivos específicos*

OE.01: Determinar y comparar las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado con las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

OE.02: Determinar y comparar las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000 con las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

OE.03: Evaluar y comparar las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, con las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP

2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

Las deflexiones obtenidas mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, son mayores que las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

1.5.2 Hipótesis específicas

HE.01: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.02: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.03: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

CAPITULO 2 MARCO TEÓRICO

2.1 Definición de términos

- Deflexión: Deformación vertical que experimenta un elemento estructural sometido a cargas perpendiculares a su eje longitudinal. (Nilson, 2011)
- Deflexión inmediata: Deformación que ocurre instantáneamente después de aplicar la carga, influida por la elasticidad del material. (Nilson, 2011)
- Deflexión diferida: Deformación progresiva en el tiempo bajo cargas sostenidas, producto principalmente de la fluencia y retracción del concreto. (Nilson, 2011)
- Losa: Elemento estructural de concreto armado que presenta un espesor reducido en relación con sus dimensiones en planta y que se emplea principalmente como componente horizontal en pisos o techos. El refuerzo puede disponerse en una o dos direcciones según las condiciones de apoyo, y el elemento puede actuar como diafragma rígido, contribuyendo al comportamiento integral de la estructura frente a acciones horizontales, como las solicitaciones sísmicas. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)
- Carga sostenida: Carga que actúa sobre una estructura por un periodo prolongado, como el peso propio, muros divisorios, o cargas de uso permanente. (Nilson, 2011)
- Peso propio: Carga muerta generada por el mismo peso del elemento estructural. En el caso del concreto, depende de la densidad del material y del volumen de la losa. Es una de las principales fuentes de deflexión inmediata y sostenida. (Nilson, 2011)

- Carga viva: Carga móvil o variable que actúa sobre una estructura, como personas, muebles o equipos. Se diferencia de la carga muerta en que puede cambiar de magnitud o posición con el tiempo (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)
- Sobrecarga inmediata: Carga adicional aplicada sobre la losa después del retiro de los encofrados, pero antes de que el concreto haya alcanzado su resistencia final. (Nilson, 2011)
- Sobrecarga constante: Carga adicional que permanece sobre la losa durante un tiempo prolongado, como divisiones interiores no removibles, mobiliario fijo u otras instalaciones permanentes. (Nilson, 2011)
- Módulo de elasticidad del concreto (E_c): Propiedad que mide la rigidez del concreto. Influye directamente en la cantidad de deflexión que puede experimentar una losa bajo carga. A mayor módulo de elasticidad, menor deformación (ACI Committee 318, 2014)
- Flecha permitida: Límite máximo de deflexión que se permite en un elemento estructural, según normas de diseño, para asegurar el comportamiento funcional y estético de la estructura. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)
- Fluencia: Fenómeno por el cual el concreto continúa deformándose lentamente con el tiempo bajo una carga constante. Es una de las principales causas de deflexión a largo plazo. (Nilson, 2011)

2.2 Antecedentes históricos

2.2.1 Antecedentes internacionales

Ardila y Hube (2024) presentan el “Programa experimental sobre deflexiones de losetas de hormigón convencional y autocompactante”, desarrollado por el Centro de Innovación del Hormigón de la Pontificia Universidad Católica de Chile, cuyo objetivo fue evaluar mediante ensayos el comportamiento de losetas de hormigón armado frente a cargas de servicio, mediante la medición de deflexiones. El estudio propone un esquema experimental basado en ensayos de flexión con cargas controladas, considerando losas simplemente apoyadas y la medición de deflexiones en el centro de la luz mediante sensores de desplazamiento, permitiendo obtener curvas carga-deflexión representativas del comportamiento en servicio.

La metodología empleada diferencia entre deflexión inmediata y deflexión a largo plazo (evaluada hasta los 357 días), manteniendo cargas sostenidas durante determinados períodos, lo que permite evaluar el efecto del tiempo en las deformaciones. En este sentido, los resultados de la investigación muestran que las deflexiones ensayadas instantáneas promedio en las losetas de hormigón convencional (3,40 mm) fueron un 41,38 % menores que las deflexiones analíticas estimadas mediante el ACI 318 (5,80 mm), evidenciando un carácter conservador del modelo normativo en la evaluación de deformaciones inmediatas. Sin embargo, para condiciones totales se observó que la deflexión total promedio (17,50 mm) superó en un 28,21 % a la estimación analítica (13,65 mm). Asimismo, se reporta que la deflexión diferida promedio ensayada (357 días) alcanza un valor de 14,10 mm, mientras que la deflexión

diferida analítica es de 7,85 mm, lo que representa una diferencia aproximada del 79,6 %, evidenciando una subestimación significativa de los efectos diferidos por parte del modelo analítico. Esta discrepancia fue atribuida principalmente a la influencia de factores como la fluencia del concreto, el menor módulo de elasticidad real respecto al teórico y las condiciones ambientales.

2.2.2 Antecedentes nacionales

Lozano Guevara y Marcas Arrieta (2022), en su tesis titulada “Estudio de criterios de diseño para estados límite en condición de servicio para elementos de concreto armado”, desarrollan un análisis comparativo de los métodos de cálculo de deflexiones establecidos por la Norma Técnica Peruana E.060 y el modelo basado en el ACI 318-19, implementado mediante el uso de software estructural, incorporando además el Model Code como referencia adicional, con énfasis en la evaluación del comportamiento en servicio de elementos de concreto armado.

El estudio se enfoca en la determinación de la deflexión inmediata y la deflexión diferida, considerando la influencia del agrietamiento del concreto a través de la inercia efectiva, así como los efectos de la fluencia (creep) y la retracción, los cuales inciden directamente en la estimación de la deformación a lo largo del tiempo. De esta manera, la investigación establece que la deflexión total es el resultado de la combinación de ambas componentes.

La metodología de la investigación consistió en un análisis comparativo de carácter analítico, evaluando las discrepancias en el cálculo de deflexiones bajo la

normativa nacional peruana y modelos basados en el ACI 318-19 implementados mediante software, tomando como referencia adicional el Model Code. En este sentido, los resultados muestran que las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 y el modelo basado en el ACI 318-19 presentan una convergencia casi total en todas las etapas de carga. Para la deflexión inmediata bajo el 100 % de carga viva, ambos modelos arrojan el mismo valor (0,25 cm), evidenciando una diferencia del 0 %, mientras que el Model Code presenta un valor de 0,30 cm, aproximadamente un 20 % mayor, mostrando un enfoque más conservador.

En condiciones diferidas, se mantiene esta alta concordancia entre la E.060 (0,98 cm) y el modelo basado en ACI 318-19 (0,97 cm), con una diferencia de aproximadamente 1,03 %; sin embargo, el Model Code presenta un valor de 1,26 cm, aproximadamente un 28,57 % mayor. Asimismo, para la deflexión diferida total, los valores obtenidos mediante la E.060 (1,23 cm) y el modelo basado en ACI 318-19 (1,22 cm) muestran una diferencia mínima de 0,82 %, mientras que el Model Code (1,56 cm) resulta aproximadamente un 26,83 % mayor.

Estos resultados evidencian que la Norma Técnica Peruana E.060 y los modelos implementados mediante software estructural basados en el ACI 318-19 comparten fundamentos teóricos comunes y presentan estimaciones prácticamente equivalentes, mientras que enfoques como el Model Code tienden a proporcionar valores más conservadores, especialmente en la evaluación de los efectos diferidos. En este sentido, cualquier discrepancia respecto al comportamiento real de los elementos de concreto armado no se debe a diferencias entre los modelos tradicionales, sino a limitaciones

inherentes en la estimación de parámetros como la inercia efectiva y los efectos de fluencia.

2.3 Fundamento teórico

2.3.1 *Concreto estructural*

El concreto estructural es un material compuesto constituido por concreto y acero de refuerzo, cuya interacción permite aprovechar las ventajas mecánicas de ambos materiales. Mientras el concreto presenta una elevada resistencia a los esfuerzos de compresión, el acero de refuerzo aporta la capacidad necesaria para resistir los esfuerzos de tracción, logrando un comportamiento estructural adecuado frente a cargas de servicio y estados últimos.

De acuerdo con la Norma Técnica E.060 (2019), el concreto estructural corresponde a aquel que se encuentra reforzado con una cuantía de acero no menor a la mínima establecida, pudiendo ser preesforzado o no. Asimismo, dicha norma establece que, para el concreto estructural, la resistencia a la compresión especificada f'_c no debe ser inferior a 17 MPa, con excepción del concreto estructural simple. No obstante, la norma no fija un límite máximo para el valor de f'_c , salvo cuando este se encuentre condicionado por alguna disposición particular contemplada en la propia normativa.

Desde el punto de vista mecánico, el concreto presenta un comportamiento eficiente frente a esfuerzos de compresión; sin embargo, su resistencia a la tracción es reducida y su comportamiento es predominantemente frágil. En elementos sometidos

a flexión, como las losas de concreto armado, esta limitación conduce a la aparición de fisuras una vez superada la resistencia a tracción del material, lo cual hace indispensable el uso de acero de refuerzo para garantizar la seguridad y funcionalidad estructural.

2.3.1.1 Concreto

De acuerdo con la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2019), el concreto se define como un material compuesto que resulta de la combinación de un cemento hidráulico, agregados finos y gruesos, y agua, pudiendo incluir aditivos según las necesidades del diseño y de las condiciones de uso. Se aprecia los principales componentes del concreto:

Tabla 2

Composición del concreto

Con Aire atrapado naturalmente (%)	Componente	Con aire incluido intencionalmente (%)
0,5 a 3	Pasta de Cemento	Aire 4 a 8
7 a 15		Cemento 7 a 15
16 a 21		Agua 14 a 18
25 a 30	Agregados	Arena o agregado fino 25 a 30
25 a 50		Grava o agregado grueso 30 a 50

Nota: Adaptado de Matallana Rodríguez (2019)

A. Cemento

Material pulverizado que, al mezclarse con una cantidad adecuada de agua, genera una pasta aglomerante capaz de endurecer, bajo el agua como en el aire. En esta definición no se incluyen las cales hidráulicas, las cales aéreas ni los yesos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019)

B. Agua

De acuerdo con Harmsen, (2017), el agua de mezcla, debe estar libre de sustancias que alteren su composición química, como aceites, ácidos, sales o materia orgánica. En la mayoría de los casos, el agua potable resulta adecuada para su empleo en la fabricación de concreto. Su función principal consiste en hidratar el cemento y favorecer la trabajabilidad de la mezcla

C. Agregados

Material granular de origen natural o manufacturado, como arena, grava, piedra triturada o escoria de alto horno, que se utiliza en combinación con un material cementante para la elaboración de concreto o mortero.

Agregado Fino: Agregado compuesto por partículas pequeñas que pasan el tamiz de 9,5 mm (3/8"), empleado para llenar los vacíos entre los agregados de mayor tamaño.

Agregado Grueso: Agregado formado por partículas de mayor tamaño, retenidas en el tamiz de 4,75 mm (N.º 4), que aportan resistencia y rigidez al concreto.

D. Clasificación del concreto

Tabla 3

Clasificación del concreto

Clasificación	Categorías	Detalles
Consistencia o Trabajabilidad	Muy Fluido	Fácil de mover, alto deslizamiento
	Fluido	Fácil de mover, buena fluidez
	Plástico	Trabajabilidad media, menos fluido
	Semiseco	Limitada trabajabilidad, conserva la forma
	Seco	Muy poca fluidez
Resistencia	Baja	$f'_c < 20$ MPa
	Normal	20 - 40 MPa
	Alta	40 - 80 MPa
	Muy alta	> 80 MPa
Peso Volumétrico	Ligero	Menos de 1800 kg/m ³
	Normal	1,800 - 2,500 kg/m ³
	Pesado	Mayor a 2,500 kg/m ³
Tipo de Refuerzo	Sin Refuerzo	No tiene acero
	Concreto Armado	Refuerzo con barras o mallas de acero
	Pretensado	Tendones tensados antes del fraguado
	Postensado	Tendones tensados después del fraguado

Nota: Datos adaptados de Clasificación del concreto (Matallana Rodríguez, 2019)

E. Propiedades mecánicas del concreto y fenómenos dependientes del tiempo

Tabla 4

Propiedades mecánicas del concreto

Propiedad	Descripción
Resistencia	Capacidad del material para soportar esfuerzos sin presentar fallas, comúnmente expresada en función de su resistencia a la compresión.
Trabajabilidad	Facilidad con la cual la mezcla puede ser preparada, transportada, colocada y compactada adecuadamente sin presentar segregación.
Contracción por secado	Fenómeno asociado a la reducción volumétrica del concreto provocada por la evaporación del agua interna, capaz de generar fisuración o agrietamiento en condiciones de restricción.

Nota: Información basada en las propiedades físicas del concreto, según Matallana

Rodríguez (2019).

- Resistencia a compresión del concreto

De acuerdo con el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019), la resistencia a la compresión del concreto, f'_c , se determina mediante ensayos realizados en probetas cilíndricas adecuadamente moldeadas, curadas y ensayadas bajo condiciones estándar y controladas. Salvo indicación contraria, el valor de f'_c se establece a partir de los resultados obtenidos a los 28 días de edad del concreto; en caso de requerirse la evaluación a una edad diferente, debe especificarse en los planos y en las especificaciones técnicas del proyecto. Para efectos de control de calidad, un ensayo de resistencia corresponde al promedio de los resultados obtenidos a partir de dos probetas cilíndricas de 6" de diámetro por 12" de altura (150 mm $\times$ 300 mm) o de tres probetas cilíndricas de 4" de diámetro por 8" de altura (100 mm $\times$ 200 mm), elaboradas a partir de una misma muestra de concreto y ensayadas a la edad definida para la determinación de f'_c .

- Fluencia (flujo plástico / creep)

El flujo plástico del concreto es un proceso que afecta la deformación de los elementos estructurales con el paso del tiempo. Esta deformación final puede ser considerablemente mayor que la deformación elástica inicial. Aunque el flujo plástico por sí mismo no suele impactar la resistencia de la estructura, sí provoca una redistribución de esfuerzos y un aumento en las deflexiones. En ciertos casos, las deformaciones causadas por el flujo plástico pueden ser beneficiosas, como al reducir los esfuerzos debido a asentamientos diferenciales o al retardar el agrietamiento por contracción del concreto.

La deformación por flujo plástico aumenta en proporción directa al esfuerzo aplicado dentro de ciertos límites, siempre que dicho esfuerzo no sea excesivo. Sin embargo, hay discrepancias sobre el punto en el cual cesa esta relación lineal entre el flujo plástico y el esfuerzo aplicado.

La magnitud de la deformación por flujo plástico está influenciada por varios factores, como la composición del concreto, el entorno y la historia esfuerzo-tiempo. Las cargas aplicadas a una edad temprana provocan mayores deformaciones por flujo plástico, mientras que aumentar la edad en la que se aplica la carga inicial conduce a una disminución significativa en estas deformaciones. Además, las deformaciones por flujo plástico aumentan con la duración de la carga. (Oviedo Sarmiento, 2016)

- Contracción del concreto

La contracción del concreto ocurre cuando pierde humedad por evaporación, lo que puede causar agrietamiento y aumento de las deflexiones estructurales. La contracción es reversible si se satura el concreto con agua. La magnitud de la contracción depende de la composición del concreto y del ambiente, similar al flujo plástico.

Las deformaciones asociadas a la contracción se manifiestan sin depender de las sollicitaciones mecánicas aplicadas y evolucionan con una velocidad que disminuye conforme transcurre el tiempo. Asimismo, concretos que presentan mayores deformaciones por flujo plástico tienden a experimentar niveles más elevados de

contracción, lo que puede generar variaciones adicionales de deflexión en estructuras sometidas a cambios ambientales estacionales. (Oviedo Sarmiento, 2016)

- Tipos de contracción del concreto

Tabla 5

Tipos de contracción del concreto

Tipo de contracción	Descripción
Contracción Plástica	Se refiere al cambio de volumen que se produce en el hormigón recién vertido antes de que se endurezca. La contracción plástica suele producirse durante el proceso de construcción, especialmente entre 3 y 12 horas después del vertido del hormigón
Contracción térmica	También conocida como contracción por frío, es la deformación que se produce en el hormigón debido a la disminución de la temperatura (por encima de 0 °C) durante su fraguado, endurecimiento y uso. Después del vertido del hormigón, la reacción de hidratación del cemento libera calor, lo que provoca un aumento de la temperatura interna del hormigón. A medida que avanza la reacción de hidratación, el calor se disipa gradualmente, lo que provoca una disminución de la temperatura interna y la consiguiente reducción del volumen
Contracción por carbonatación	Se refiere al fenómeno de reducción de volumen que se produce cuando el dióxido de carbono (CO ₂) de la atmósfera reacciona con los productos de hidratación del cemento en presencia de humedad (en realidad, el verdadero mediador es el ácido carbónico), produciendo carbonato de calcio (CaCO ₃) y agua libre, entre otros productos
Contracción por secado	Se refiere a la deformación irreversible que se produce cuando el hormigón, tras el cese del curado, pierde el agua adsorbida en los poros capilares internos y gelatinosos al exponerse al aire no saturado. Este tipo de contracción está causado por la migración del agua dentro del hormigón y las características de los poros, y es uno de los principales factores que influyen en la contracción del hormigón.
Contracción autógena	Se refiere a la deformación espontánea del volumen que se produce debido al consumo de agua durante la hidratación del cemento en condiciones selladas (sin intercambio de humedad con el entorno exterior).

Nota: Datos tomados del artículo: Una revisión sobre las propiedades de contracción

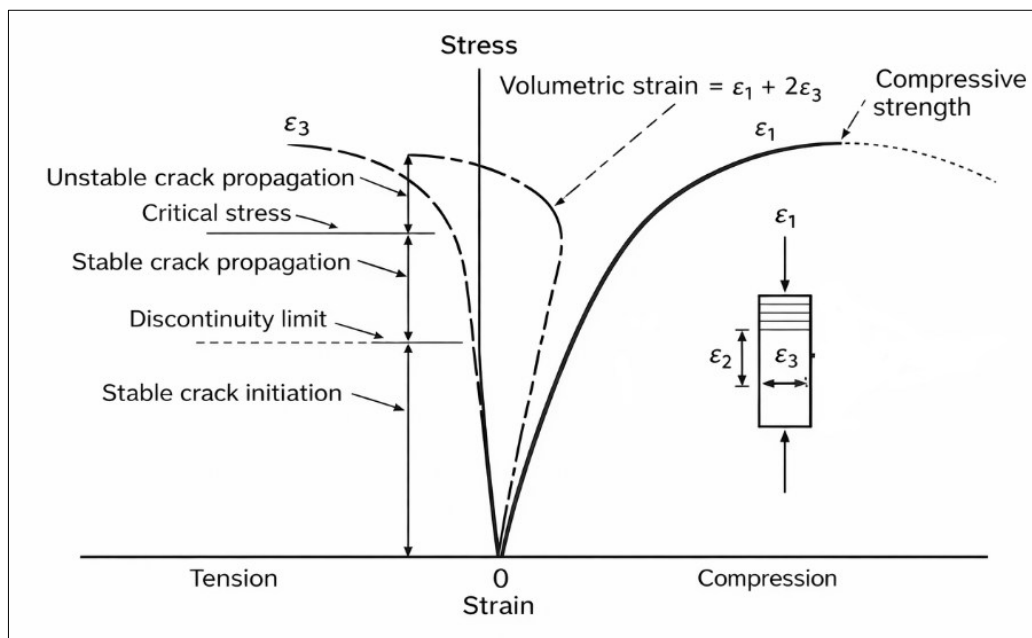
del hormigón y los factores que influyen en ellas (Zhong, 2024)

F. Comportamiento del concreto

El concreto es un material estructural cuya principal capacidad resistente se manifiesta frente a esfuerzos de compresión; por ello, resulta indispensable comprender el comportamiento de su microestructura cuando es sometido a este tipo de sollicitaciones. Dicho comportamiento puede analizarse mediante la curva esfuerzo-deformación, la cual describe la respuesta mecánica del material durante el ensayo de compresión, tal como se aprecia en la Figura 1.

Figura 1

Comportamiento esfuerzo–deformación del C° (carga de compresión)



Nota: Adaptado de Reinforced Concrete: Mechanics and Design, Wight, 2015

A partir de esta curva es posible identificar cuatro etapas que representan la evolución del comportamiento interno del concreto. De acuerdo con Wight (2015), en la primera etapa, que se extiende aproximadamente hasta el 30 % de la resistencia a compresión f'_c , se desarrollan microgrietas originadas principalmente por la retracción

del concreto. Estas fisuras iniciales no generan efectos significativos sobre la capacidad resistente ni sobre el desempeño estructural del material.

En una segunda etapa, el comportamiento del concreto puede considerarse prácticamente lineal, alcanzando valores cercanos al 50 % de f'_c . En este rango se inicia la formación de fisuras en la región de contacto entre la pasta de cemento y el agregado; no obstante, dichas grietas aún no comprometen la integridad estructural del elemento. Posteriormente, en la tercera etapa, se produce una propagación estable de las grietas, lo que indica una pérdida progresiva de rigidez del material. Finalmente, cuando los esfuerzos de compresión superan aproximadamente el 75 % de la resistencia última, el concreto entra en un estado crítico de esfuerzos, caracterizado por un crecimiento acelerado de las fisuras y la imposibilidad de redistribuir internamente las tensiones, lo que conduce a la falla.

En consecuencia, puede afirmarse que, para niveles de esfuerzo menores al 50 % de la resistencia última, el concreto presenta un comportamiento satisfactorio, manteniendo una adecuada capacidad de deformación y la posibilidad de resistir incrementos adicionales de carga sin efectos estructuralmente perjudiciales.

2.3.1.2 Acero estructural

Según la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2019), el acero de refuerzo empleado en elementos de concreto armado debe ser de tipo corrugado, a fin de asegurar una adecuada adherencia con el concreto. Así mismo, la norma permite el uso de refuerzo conformado por secciones de acero estructural, así como por elementos

tubulares de acero, siempre que su utilización cumpla con las limitaciones y disposiciones establecidas.

De acuerdo con Nilson (2011), el concreto presenta un desempeño favorable frente a solicitaciones de compresión, en cambio, el acero presenta una elevada resistencia a tracción, así como por un comportamiento dúctil. La acción de ambos materiales permite que el refuerzo metálico absorba las solicitaciones tensionales que el concreto no logra asumir, lo que contribuye a la reducción de la fisuración, al aumento de la capacidad portante y a una respuesta más eficiente del elemento en condiciones de servicio. Comportamiento mecánico del acero de refuerzo

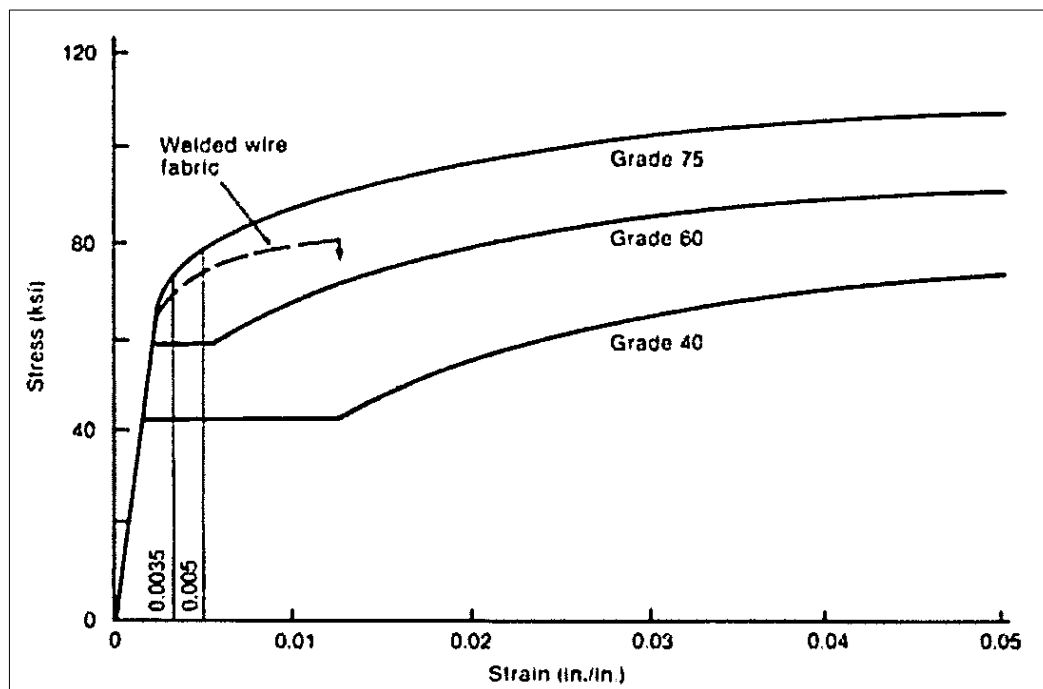
A. Comportamiento mecánico del acero de refuerzo

El acero de refuerzo es incorporado al concreto armado con el objetivo principal de asumir las solicitaciones de tracción, razón por la cual su comportamiento se evalúa mediante ensayos de tracción realizados sobre barras de refuerzo. En la Figura 2 se muestran las curvas esfuerzo-deformación correspondientes a distintos tipos de acero utilizados en estructuras de concreto armado.

Del análisis de la curva esfuerzo - deformación, el acero presenta un comportamiento lineal elástico, desde el inicio de la carga hasta alcanzar el límite de fluencia. Dentro de este rango, las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos aplicados y el material recupera su forma original al retirar la carga.

Figura 2

Relación esfuerzo–deformación del acero de refuerzo estructural.



Nota. Tomado de Reinforced Concrete: Mechanics and Design (7.^a ed.), por J. K. Wight, 2015, Pearson.

En consecuencia, el nivel de esfuerzo que se adopte en el diseño debe garantizar no solo que el acero trabaje dentro de un rango adecuado de deformación, sino también que se preserve una correcta adherencia con el concreto, asegurando así un comportamiento conjunto eficiente de ambos materiales.

2.3.2 Caracterización de los materiales

2.3.2.1 Caracterización de los agregados

Para la caracterización del agregado, se desarrolló el ensayo descrito en las Normas Técnicas Peruanas. Se consideró lo siguiente:

Tabla 6

Normas Técnicas ensayos en agregados, PARTE A

NORMA TÉCNICA PERUANA	NOMBRE	CARACTERÍSTICA	FÓRMULA	EN DONDE / DESCRIPCIÓN VARIABLES
NTP 400.010	Extracción y preparación de muestras	Permite la adecuada obtención, transporte y conservación de muestras representativas de agregados finos y gruesos	No aplica	No aplica
NTP 400.018	Material fino que pasa el tamiz N.º 200 por lavado	Determinar la cantidad de material fino que pasa el tamiz N.º 200, y así determinar qué tan sucio se encuentra el agregado.	$A = ((B - C) / B) \times 100$	A: Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 µm (N.º 200) por lavado. B: Peso seco de la muestra original (gr). C: Peso seco de la muestra después de lavado (gr).
NTP 400.017	Peso unitario y vacíos	Se utiliza para determinar el peso unitario del agregado en condición suelta o compactada	$M = (G - T) / V$	M: Peso unitario del agregado (kg/m³). G: Peso del recipiente de medida más el agregado (kg) T: Peso del recipiente de medida (kg). V: Volumen del recipiente (m³).
NTP 400.012	Análisis granulométrico	Permite establecer la distribución de tamaños de las partículas del agregado fino y grueso	No aplica	No aplica

Nota: Resumen a partir *del Manual de Ensayo de Materiales* – Sección: Agregados (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016).

Tabla 7

Normas Técnicas ensayos en agregados, PARTE B

NORMA TÉCNICA PERUANA	NOMBRE	CARACTERÍSTICA	FÓRMULA	EN DONDE / DESCRIPCIÓN VARIABLES
NTP 400.022	Peso específico y absorción del agregado fino	Permite determinar el peso específico y el porcentaje de absorción del agregado fino en condición seca y saturada superficialmente seca	$Ab = ((500 - W_o) / W_o) \times 100$ $P_{em} = W_o / (V - V_a) \times 100$	Ab: absorción (%) Pem: peso específico Wo: masa seca al horno V: volumen del picnómetro Va: volumen de agua añadida
NTP 400.021	Peso específico y absorción del agregado grueso	Se emplea para evaluar el peso específico y la absorción del agregado grueso	$Ab\% = ((B - A) / A) \times 100$ $P_{em} = A / (B - C) \times 100$	Ab% = porcentaje de absorción A = peso de la muestra seca al aire. B = peso de la muestra saturada superficialmente seca. C = peso en el agua de la muestra saturada.
NTP 400.019	Abrasión en Máquina de Los Ángeles	Permite evaluar la resistencia al desgaste del agregado grueso frente a impactos y fricción	No aplica	No aplica
NTP 339.185	Contenido de humedad total evaporable de agregados	Se utiliza para determinar el contenido de humedad presente en agregados finos y gruesos	$P = ((W - D) / D) \times 100$	P: contenido de humedad (%) W: masa original de la muestra D: masa seca al horno

Nota: Resumen tomado del *Manual de ensayo de Materiales - Sección: Agregados* (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016)

2.3.2.2 Caracterización del concreto

Para la caracterización del concreto se realizaron los ensayos descritos en la Norma Técnica Peruana, para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

Conforme a lo indicado en el Manual de Ensayo de Materiales (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016), el procedimiento consiste en someter los especímenes a una carga axial de compresión aplicada de manera controlada, hasta alcanzar la falla del material. La resistencia a la compresión se obtiene a partir de la relación entre la carga máxima registrada durante el ensayo y el área de la sección transversal del espécimen.

2.3.3 Losas de concreto armado

De acuerdo con Blanco Blasco (1994), las losas constituyen elementos fundamentales para la conformación de pisos y techos en las edificaciones. Desde el punto de vista estructural, cumplen dos funciones principales. En primer lugar, permiten la transferencia de las cargas gravitacionales hacia los elementos resistentes del sistema estructural, tales como vigas, muros o pórticos. En segundo lugar, las losas actúan como diafragmas rígidos, desempeñando un papel clave en el comportamiento sísmico de la edificación, ya que favorecen una distribución uniforme de las deformaciones entre columnas y muros en cada nivel.

Bajo esta concepción, la respuesta de los elementos verticales frente a una acción sísmica está directamente relacionada con su rigidez lateral, siendo esta la que

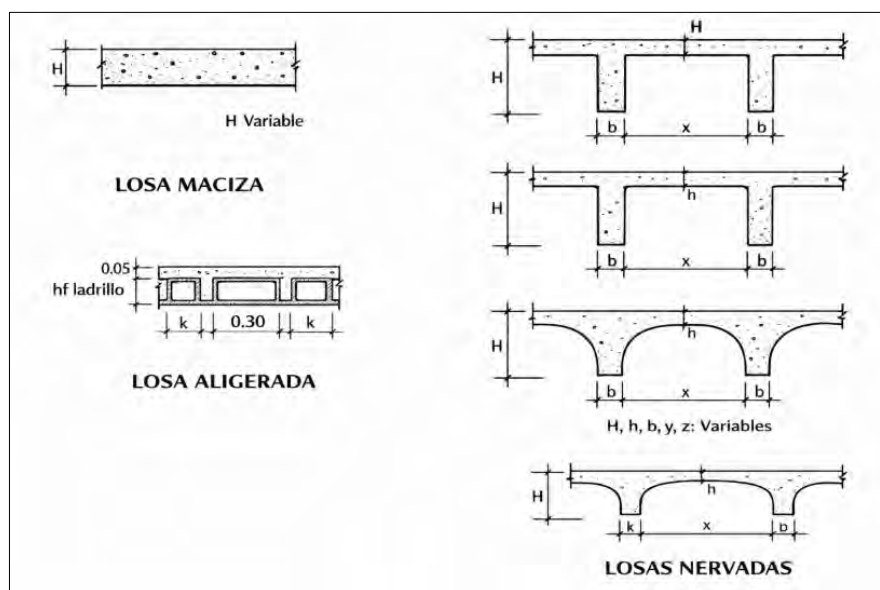
determina la proporción de carga sísmica que cada elemento es capaz de resistir dentro del sistema estructural.

2.3.3.1 Tipos de losas estructurales

Asimismo (Blanco Blasco, 1994) distingue tres tipos principales de losas: las aligeradas, las macizas y las nervadas. Cada una de estas puede comportarse estructuralmente en una o dos direcciones, dependiendo de su diseño. En el caso de las losas nervadas y aligeradas, su funcionamiento está condicionado por el armado de sus viguetas, ya sea en una dirección (unidireccional) o en ambas (bidireccional). En cambio, las losas macizas responden principalmente a las condiciones de soporte provistas por vigas o muros perimetrales, así como a la relación geométrica entre sus luces.

Figura 3

Tipos de losas estructurales



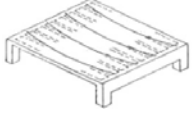
NOTA: tomado de *Estructuración y Diseño De Edificaciones De Concreto Armado* (Blanco Blasco, 1994)

2.3.3.2 Losas macizas de concreto armado

Como su nombre lo indica, las losas macizas están conformadas íntegramente por concreto armado. En la siguiente tabla se presenta la diferencia en el comportamiento estructural entre las losas macizas unidireccionales y bidireccionales.

Tabla 8

Tipos de losas macizas de concreto armado

Comportamiento	Elementos de borde	Relación de luces
Unidireccional	 Vigas peraltadas en dos bordes paralelos	-
	 Vigas peraltadas o muros estructurales en todo el contorno	Mayor a 2
Bidireccional	 Vigas peraltadas o muros estructurales en los cuatro bordes	Menor o igual 2

Nota: Adaptado a partir de los criterios de clasificación de losas propuestos por Blanco Blasco (1994).

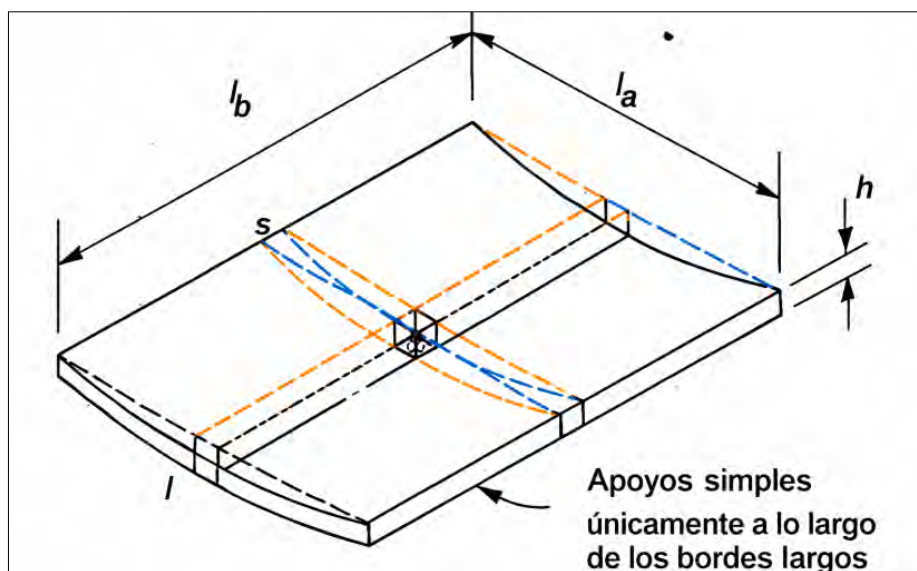
A. Losas macizas en una dirección (unidireccionales)

Según Nilson (2011), el comportamiento estructural de una losa unidireccional puede comprenderse a partir de la forma que adopta su deformación bajo la acción de cargas. En una losa rectangular apoyada únicamente en dos bordes opuestos de mayor longitud, la aplicación de una carga distribuida genera deflexiones concentradas en franjas orientadas perpendicularmente a dichos apoyos. En estas franjas se desarrollan curvaturas y momentos flectores uniformes a lo largo de la dirección corta de la losa, mientras que en la dirección paralela a los bordes apoyados no se manifiestan

curvaturas significativas ni esfuerzos de flexión. Como resultado, la superficie deformada adopta una geometría aproximada de tipo cilíndrico.

Figura 4

Deflexión de una losa en una dirección y cargada uniformemente.



NOTA: Adaptado de Diseño de estructuras de concreto (Nilson, 2011).

Para el análisis y diseño de la losa se considera una franja unitaria, tomada en dirección perpendicular a las vigas de apoyo, tal como se muestra en la figura. Esta franja puede entenderse como una viga rectangular de ancho unitario, con espesor de losa h y luz l_a es la distancia entre los bordes apoyados. De esta forma, la franja se analiza de manera similar a una viga rectangular, lo que permite evaluar los momentos de flexión por unidad de ancho y la carga distribuida sobre la superficie se convierte de una carga por unidad de área a una carga aplicada por unidad de longitud.

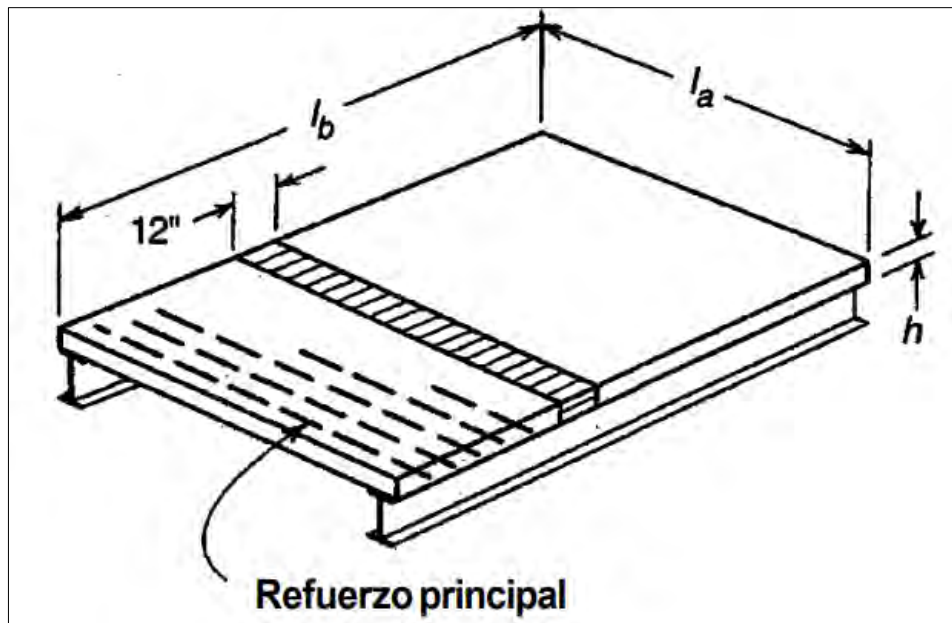
Dado que la carga de la losa se transmite hacia las vigas de apoyo, se deduce que el refuerzo principal debe colocarse en dirección perpendicular a dichas vigas.

Además, se dispone refuerzo en la dirección transversal con la finalidad de reducir la aparición de fisuras producidas por efectos de retracción del concreto o variaciones de temperatura.

Una losa que trabaja en una sola dirección puede interpretarse como un conjunto de vigas rectangulares colocadas una junto a otra. Este procedimiento de análisis, que supone una relación de Poisson nula, resulta ligeramente conservador. En la práctica, la flexión del concreto en la dirección l_a genera una expansión lateral en la dirección l_b , la cual es parcialmente limitada por las franjas vecinas. Este efecto produce un leve aumento de rigidez en la dirección de la luz, el cual es reducido y puede despreciarse en el análisis (Nilson, 2011).

Figura 5

Principio básico de la franja unitaria para el diseño a flexión.



NOTA: Tomado de Diseño de estructuras de concreto (Nilson, 2011).

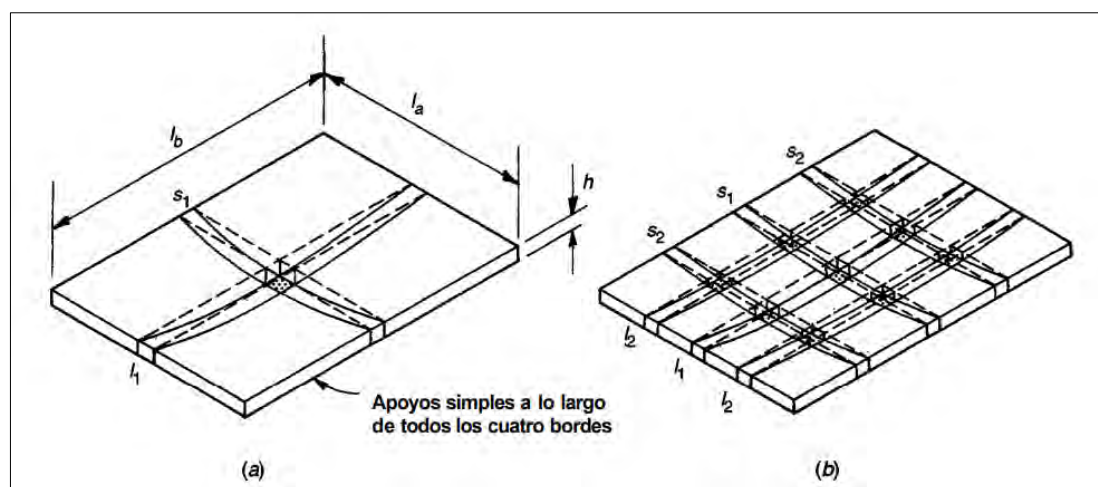
B. Losas macizas en dos direcciones

En las losas unidireccionales, la deformación producida por la aplicación de cargas se manifiesta principalmente en una sola dirección, dando lugar a una superficie deformada de tipo cilíndrico. En cambio, en las losas bidireccionales, la respuesta estructural no se concentra en una única dirección, ya que las condiciones geométricas del panel y la forma de apoyo permiten que la losa participe estructuralmente en ambas direcciones principales. En muchos casos, las losas rectangulares presentan proporciones y apoyos tales que el comportamiento no puede considerarse exclusivamente unidireccional.

Cuando se aplica la carga, este tipo de losas se deforma adoptando una superficie con curvatura en dos direcciones, similar a una forma de plato, en lugar de una superficie cilíndrica. Esto implica que, en cualquier punto de la losa, se desarrollan curvaturas simultáneas en ambas direcciones principales. Dado que los momentos flectores están directamente relacionados con dichas curvaturas, se generan esfuerzos de flexión en los dos sentidos. Para resistir adecuadamente estos efectos, la losa debe contar con refuerzo distribuido en ambas direcciones, generalmente mediante dos capas de barras dispuestas perpendicularmente a cada par de bordes. En consecuencia, el diseño debe considerar que la losa resiste una porción de la carga en cada dirección, de acuerdo con su comportamiento bidireccional (Nilson, 2011).

Figura 6

Losas en dos direcciones sobre apoyos de borde simples: (a) flexión de la franja central de la losa; (b) modelo reticular de la losa



NOTA: Tomado de Diseño de estructuras de concreto (Nilson, 2011).

Las estructuras de concreto armado que presentan un comportamiento en dos direcciones incluyen, entre otros sistemas, las losas apoyadas en vigas o muros a lo largo de todo su contorno, las losas planas, las placas planas y las losas reticulares. En estos casos, la losa transmite las cargas hacia los apoyos en ambas direcciones principales, dependiendo de la geometría del panel y de las condiciones de soporte existentes (Nilson, 2011).

El comportamiento más simple de una losa bidireccional se presenta cuando esta se encuentra apoyada en sus cuatro bordes mediante vigas de concreto relativamente rígidas, muros estructurales o vigas principales de acero. Cuando las vigas de borde son poco rígidas o están ausentes, como ocurre en las placas y losas planas, las deformaciones del sistema modifican de manera apreciable la distribución de los momentos dentro del panel de la losa. En estos casos, suele asumirse que los apoyos de

borde presentan una rigidez suficiente como para no experimentar desplazamientos significativos bajo la acción de las cargas.

2.3.3.3 Comportamiento estructural de las losas

Cuando una losa forma parte de un sistema de marcos de concreto armado, su presencia influye de manera significativa en la respuesta global de la estructura frente a acciones sísmicas. De acuerdo con Rangel Torres y Terán Gilmore (2010), la losa contribuye al sistema mediante un incremento de la rigidez lateral y de la capacidad resistente frente a cargas laterales, lo que permite un mejor control de las demandas máximas y acumuladas de deformación plástica.

Este aumento de rigidez se refleja en una reducción de las deformaciones laterales globales, lo que favorece el desempeño sísmico del sistema estructural. No obstante, dicho efecto viene acompañado de una disminución de la capacidad total de deformación, dando lugar a estructuras relativamente menos flexibles, aunque sometidas a menores exigencias de deformación.

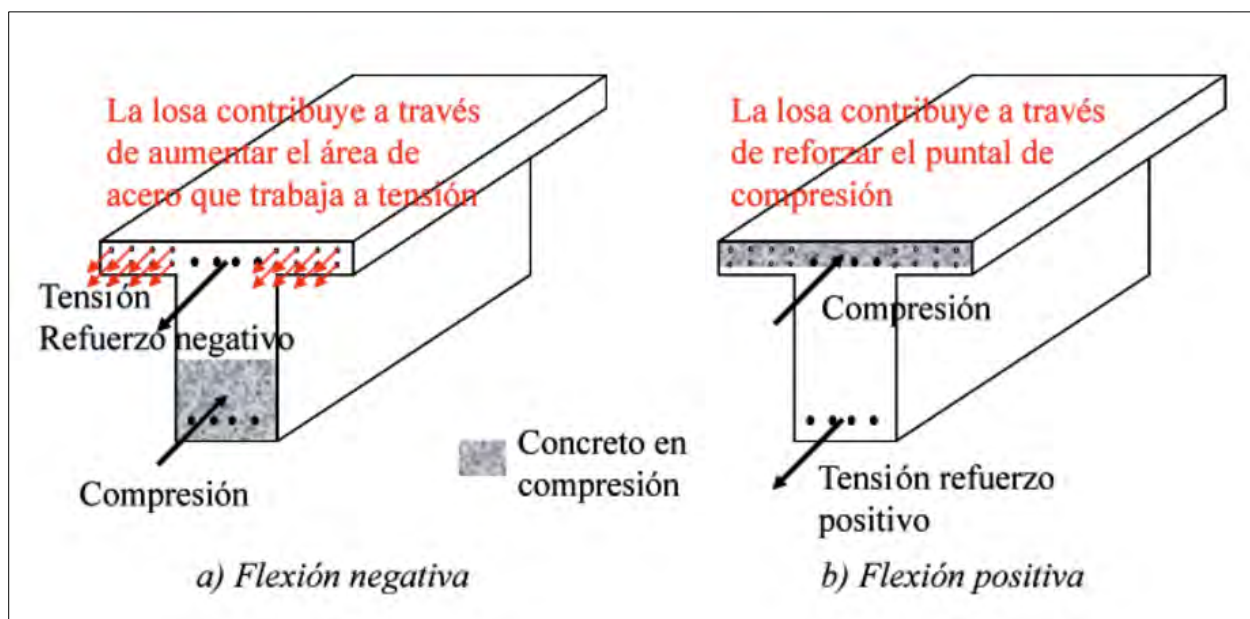
Desde una perspectiva global, la contribución de la losa resulta favorable en marcos dúctiles, ya que los beneficios asociados al aumento de rigidez y resistencia lateral superan los posibles efectos adversos relacionados con la reducción de la flexibilidad o con una mayor concentración del daño estructural en los niveles inferiores.

Asimismo, la losa actúa como un elemento de enlace entre vigas y columnas, favoreciendo una respuesta más uniforme del marco y contribuyendo a la redistribución

de esfuerzos durante la acción sísmica. En este sentido, el grado de influencia de la losa depende de manera importante de las dimensiones y del refuerzo de las vigas: su efecto es más significativo en marcos con vigas esbeltas y con cuantías reducidas de acero, mientras que disminuye en sistemas con vigas más rígidas y armadas en forma sustancial.

Figura 7

Contribución de losas a las características mecánicas de las vigas a flexión



NOTA: Tomado de Rangel Torres & Terán Gilmore (2010)

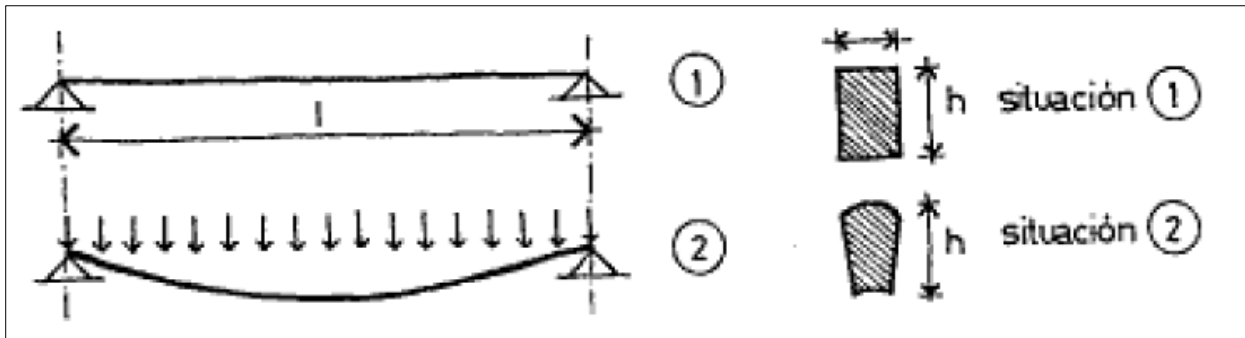
2.3.3.4 Diferencia entre losas y vigas

La diferencia entre cómo las losas y las vigas responden a la flexión es notable, aunque ambas se calculen como vigas de ancho unitario. Las vigas, debido a su estrecho ancho, se contraen en la zona traccionada y se ensanchan en la parte superior, lo que produce una curvatura transversal en su deformación, conocida como curvatura transversal no elástica. (Bernal, 2005)

A. Curvas transversales

Figura 8

Deformación en vigas

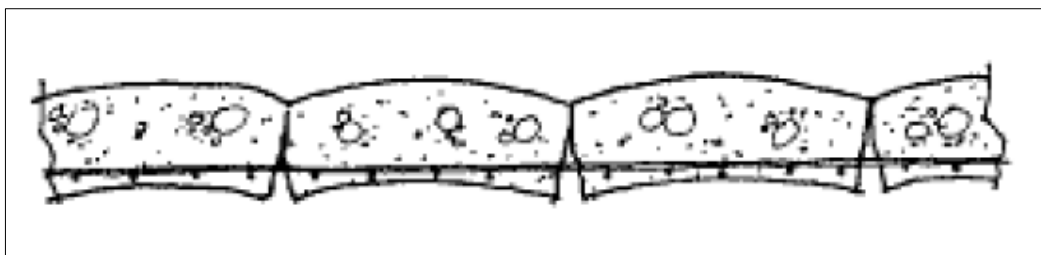


NOTA: Tomado de: Losas - Bernal (2005)

Debido a su reducido ancho, la viga tiende a contraerse en la zona sometida a tracción y a expandirse en la parte superior. Como consecuencia, se genera una curvatura transversal en la deformación, conocida como “antielástica”, por presentarse en dirección opuesta a la curvatura longitudinal propia de la viga. (Bernal, 2005)

Figura 9

Idealización del fenómeno de fragmentos de losa.



NOTA: Tomado de: Losas - Bernal (2005)

Por otro lado, en las losas, las deformaciones transversales están limitadas por su ancho extenso, lo que genera tensiones transversales de tracción y compresión entre

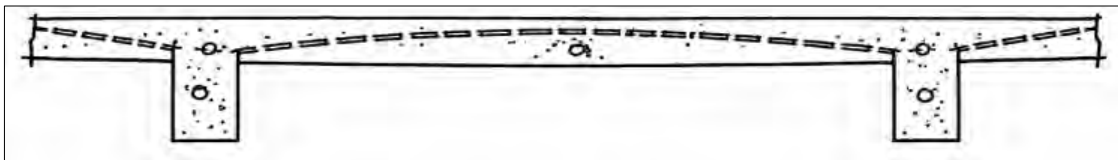
las franjas adyacentes de la losa. Este fenómeno es la razón de la colocación de armaduras transversales. (Bernal, 2005)

B. Acción de membrana

Las losas, en su mayoría, se encuentran confinadas por condiciones de borde, ya sea por vigas en su perímetro o por otras losas adyacentes cuando forman un damero. Estas losas presentan restricción para desplazarse horizontalmente. Bajo esta condición, a determinados valores de carga, se origina un efecto de membrana a compresión en el interior de la losa, lo cual incrementa notablemente su resistencia última. (Bernal, 2005)

Figura 10

Efecto de membrana en losa



NOTA: Tomado de: Losas - Bernal (2005)

C. Grado de Hiperestaticidad

Las losas, en particular aquellas con refuerzos en ambas direcciones, presentan un elevado nivel de hiperestaticidad. Esto impide considerar que trabajen con un apoyo uniforme sobre vigas o muros. El denominado efecto de esquina genera en una misma zona de la losa la presencia de momentos negativos y positivos, además de esfuerzos de torsión y corte. Esta condición es propia de las losas y no ocurre en las vigas, debido a su carácter lineal. (Bernal, 2005)

D. Espesores mínimos

La Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (2009) establece espesores mínimos para losas macizas que trabajan en una sola dirección, los cuales se presentan en la Tabla 9.1, con el fin de prescindir de la verificación de deflexiones. Dichos valores pueden emplearse como referencia para elementos armados en una dirección, tales como losas macizas, losas aligeradas y vigas, siempre que no soporten ni se encuentren vinculados a elementos no estructurales susceptibles de sufrir daños debido a deformaciones excesivas. No obstante, estos límites pueden dejar de aplicarse cuando el análisis de deflexiones demuestra que es posible adoptar un espesor menor sin generar efectos desfavorables en el comportamiento del elemento estructural.

Tabla 9

Espesores mínimos losas reforzadas en una dirección a menos que se calculen las deflexiones.

Elementos	Espesor o peralte mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.				
Losas macizas en una dirección	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

NOTA: Fuente NTP E 060 (2009)

2.3.4 Estados límite de servicio en losas de concreto armado

Usualmente, los diseñadores priorizan el cumplimiento de los requisitos de resistencia estructural, mientras que los estados límite de servicio reciben menor atención. Esta situación puede generar condiciones que comprometan la funcionalidad de la estructura especialmente donde las condiciones climáticas amplifican los riesgos de agrietamiento, incluso si esta cuenta con un margen de seguridad adecuado. Este control adquiere mayor importancia en estructuras que deben garantizar impermeabilidad, como tanques y piscinas, así como en edificaciones esenciales y de alta seguridad.

Los estados límites, se presentan cuando una estructura deja de cumplir de manera satisfactoria la función para la cual fue concebida Wight (2015). Este concepto hace referencia al desempeño inadecuado de una estructura cuando está sometida a cargas de servicio, y se manifiesta mediante deflexiones, fisuras, vibraciones y esfuerzos internos. Estas situaciones no implican necesariamente el colapso estructural (Ottazi Pasino, 2015). En el caso de los elementos de concreto armado, dichos estados límite han sido identificados y clasificados en la literatura especializada, tal como se expone en la obra de Wight (2015).

- i. Estados Límite Últimos: Corresponden a condiciones en las que se produce el colapso total o parcial de la estructura, comprometiendo su estabilidad y seguridad.

- ii. Estados Límite de Servicio: Se refieren al deterioro funcional de la estructura bajo cargas normales de operación. Aunque no implican colapso, afectan su desempeño y habitabilidad.
- iii. Estados Límite Especiales: Están asociados a fallas provocadas por eventos excepcionales, como sismos severos, corrosión avanzada del acero de refuerzo u otras acciones inusuales que exceden las condiciones normales de diseño.

Para el control de las deflexiones en elementos de concreto armado existen dos enfoques principales. El primero se basa en el cumplimiento de espesores mínimos, definidos en función del tipo de elemento, las condiciones de apoyo y la luz libre, siendo aplicable en situaciones consideradas estándar. El segundo enfoque corresponde al cálculo directo de la deflexión, mediante expresiones analíticas que permiten una evaluación más específica del comportamiento en servicio, aunque este procedimiento presenta limitaciones asociadas a la variabilidad de los parámetros involucrados.

En este contexto, las deflexiones en losas macizas se determinan conforme a los criterios establecidos en la Norma Técnica E.060 - Concreto Armado (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2009) y en el ACI 318-19, empleando el concepto de inercia efectiva para considerar la fisuración del elemento bajo cargas de servicio. La Norma E.060 adopta un enfoque basado en la rigidez efectiva para la estimación de las deflexiones inmediatas y aplica factores de corrección asociados a la fluencia y la retracción del concreto para la evaluación de las deflexiones a largo plazo, con el fin de verificar el cumplimiento de los estados límite de servicio (Lozano Guevara y Marcas Arrieta, 2022).

2.3.5 Consideración en losas unidireccionales y bidireccionales

El análisis de deflexiones varía según el tipo de losa y su forma de trabajo estructural. En losas unidireccionales, el comportamiento frente a cargas gravitacionales se asemeja al de un elemento tipo viga, por lo que el análisis puede simplificarse considerando una franja representativa del paño. Bajo este enfoque, las deflexiones se estiman empleando expresiones clásicas de flexión, ajustadas mediante el uso de una inercia efectiva que represente el estado fisurado del elemento.

En contraste, las losas bidireccionales presentan un comportamiento más complejo al presentar rigidez a flexión en dos direcciones. Esto implica que las curvaturas y deflexiones se distribuyen de manera simultánea en dos sentidos, pudiendo existir valores distintos de rigidez efectiva en cada dirección. Debido a esta complejidad, los métodos simplificados resultan menos precisos, siendo recomendable el uso de modelos numéricos, como el método de los elementos finitos, para una evaluación más realista de las deflexiones.

2.3.6 Deflexiones en losas macizas de concreto armado

La deflexión es el desplazamiento vertical que experimenta un elemento estructural como respuesta a la aplicación de cargas. En las losas de concreto armado, la deflexión se produce principalmente por efectos de flexión bajo la acción de cargas gravitacionales, tal como el peso propio, los acabados y la carga viva. Si bien las deflexiones forman parte del comportamiento normal de los elementos estructurales, su magnitud debe mantenerse dentro de límites admisibles para asegurar un adecuado desempeño en condiciones de servicio.

Las deflexiones aumentan con el tiempo debido principalmente a los efectos de la fluencia (creep) y la retracción por secado del concreto, los cuales incrementan las curvaturas y, en consecuencia, las deformaciones verticales bajo cargas sostenidas. Debido a la complejidad y variabilidad de estos fenómenos, las normas técnicas incorporan factores de amplificación que permiten considerar su efecto de manera simplificada en el análisis.

En las losas, el problema de las deflexiones adquiere especial relevancia debido a su gran esbeltez, a la amplia superficie expuesta a cargas gravitacionales y a la interacción directa con elementos no estructurales, tales como tabiquería, acabados y sistemas de drenaje. Por ello, los reglamentos modernos de diseño estructural establecen límites estrictos para las flechas admisibles, así como criterios simplificados para su evaluación.

2.3.6.1 Tipos de deflexiones

De acuerdo con (MacGregor & Wight, 2012), En los elementos de concreto armado, la deflexión puede distinguirse en dos componentes principales: deflexión inmediata y deflexión diferida.

- a) Deflexión instantánea: La deflexión instantánea es aquella que se produce al instante después de la aplicación de las cargas, tales como el peso propio, los acabados y la carga viva. Esta deflexión depende fundamentalmente de la rigidez inicial del elemento, la cual depende del módulo de elasticidad del concreto, de

la geometría de la sección y del nivel de fisuración presente al momento de aplicar la carga.

- b) Deflexión diferida: La deflexión diferida, en cambio, se desarrolla progresivamente con el tiempo bajo la acción de cargas sostenidas y se ve fuertemente influenciada por fenómenos reológicos propios del concreto, como el flujo plástico (creep) y la retracción por secado. Estos efectos provocan un incremento gradual de la curvatura del elemento, incluso cuando el nivel de carga permanece constante. Diversos estudios ensayados en laboratorio han demostrado que la deflexión diferida puede alcanzar valores considerablemente mayores que la deflexión instantánea, llegando a ser del orden de dos a tres veces su magnitud.
- c) Deflexión total: La deflexión total se obtiene como la suma de la deflexión instantánea y el incremento por efectos diferidos, siendo este valor el que se compara con los criterios normativos de aceptación, establecidos para asegurar un adecuado desempeño en servicio.

2.3.6.2 Factores que influyen en las deflexiones

La deflexión de elementos de concreto armado está condicionado por diversos factores mecánicos y constructivos que actúan de manera conjunta. Entre los más relevantes se encuentra la resistencia a tracción del concreto, la cual influye en el momento en que se inicia el agrietamiento por flexión. A medida que esta resistencia aumenta, el inicio de la fisuración se retrasa y la rigidez inicial del elemento se mantiene por un mayor rango de carga, lo que contribuye a reducir las deflexiones. Sin embargo,

este efecto no suele considerarse de forma explícita en el diseño por resistencia, debido a la variabilidad inherente de dicha propiedad.

El módulo de elasticidad del concreto (E_c) es otro parámetro principal. Valores elevados de E_c implican una mayor rigidez del material, lo que se traduce en menores curvaturas para un mismo nivel de carga y, por consiguiente, en deflexiones instantáneas más reducidas al momento de aplicar las cargas de servicio.

Asimismo, la cuantía y distribución del acero de refuerzo, tanto en tracción como en compresión, desempeñan un papel determinante. Un incremento en la cuantía de acero a tracción reduce los esfuerzos que este desarrolla bajo cargas de servicio, disminuyendo su deformación y, en consecuencia, la curvatura de la sección. De manera similar, la presencia de acero en compresión contribuye a limitar las deformaciones diferidas, especialmente aquellas asociadas al creep.

Adicionalmente, la fluencia del concreto y la retracción por secado contribuyen a deformaciones que se desarrollan con el tiempo. Estos fenómenos dependen de múltiples variables, como la historia de cargas, las condiciones ambientales y las propiedades del material, lo que convierte su evaluación en un problema de naturaleza no lineal y de difícil predicción exacta.

2.3.6.3 Importancia del control de deflexiones en servicio

El control de las deflexiones en losas y otros elementos horizontales es un aspecto esencial del diseño estructural, ya que deformaciones excesivas pueden afectar el desempeño funcional de la estructura aun cuando esta cumpla con los requisitos de

resistencia última. Las principales razones que justifican la limitación de las deflexiones se resumen a continuación:

- ✓ Aspecto y confort visual: deformaciones apreciables pueden resultar visualmente inaceptables y generar incomodidad o desconfianza en los usuarios.
- ✓ Vibraciones no deseadas: los elementos con grandes deflexiones suelen presentar baja rigidez, lo que los hace más susceptibles a vibraciones inducidas por cargas dinámicas, como el tránsito de personas o impactos.
- ✓ Daños en elementos no estructurales: deflexiones elevadas pueden ocasionar fisuración en tabiquería, desprendimiento de revestimientos y fallas en cielos rasos, afectando la funcionalidad del edificio.
- ✓ Alteraciones en el comportamiento estructural: cuando las deformaciones son lo suficientemente grandes como para generar contacto entre elementos estructurales, puede producirse una redistribución no prevista de las cargas, dando lugar a fisuración adicional.
- ✓ Problemas operativos y funcionales: equipos sensibles y maquinaria de precisión pueden verse afectados por deformaciones excesivas. Asimismo, la deformación de los pisos puede generar pendientes indeseadas y acumulación de agua de lluvia.
- ✓ Durabilidad del concreto: la acumulación de agua asociada a grandes deflexiones incrementa el riesgo de ingreso de agentes agresivos al interior del concreto, acelerando su deterioro.

- ✓ Incremento de la fisuración: mayores deflexiones implican mayores deformaciones del acero de refuerzo, lo que incrementa la probabilidad de formación y apertura de grietas.

2.3.6.4 Efectos de carga temprana y posible sobrecarga

Durante las primeras etapas de vida de un piso, no es raro que se sobrecargue temporalmente como resultado del proceso constructivo. Hay una creciente presión económica para retirar el encofrado lo antes posible y pasar a los pisos siguientes con el mínimo de apuntalamiento. Las pruebas en Cardington demostraron que alrededor del 70% de las cargas de un piso de losa plana recién colado (encofrado, concreto húmedo, cargas de construcción) son llevadas por el piso suspendido debajo (es decir, solo el 30% se lleva a los niveles inferiores mediante apuntalamiento).

El 70% de la carga desde arriba probablemente sea de 4 a 6 kN/m², y puede causar una sobrecarga temporal en algunas estructuras. Esto es más probable en estructuras donde la relación CV/CM es baja. En estos casos, solo hay una pequeña capacidad de reserva disponible para llevar las cargas de construcción. (Concrete Society Technical Report No. 58, 2005)

La sobrecarga temprana puede llevar a lo siguiente:

- Puede ocurrir agrietamiento en edades tempranas que no se esperaría en edades posteriores bajo cargas de servicio. Esto probablemente se deba a una combinación por la baja resistencia a tracción del concreto en edades tempranas y las altas cargas de construcción.

- El flujo debido a la carga temprana será mayor de lo que se esperaría para la carga en una etapa posterior.
- Alguna de la deflexión bajo la carga de construcción no será recuperable. Algunas de estas serán debidas a deformaciones por fluencia irreversibles, mientras que el resto probablemente se deba al aumento en el módulo de elasticidad con el tiempo, ya que la carga se retira de una losa más rígida de la que se aplicó.

A. Fisuración en losas de concreto

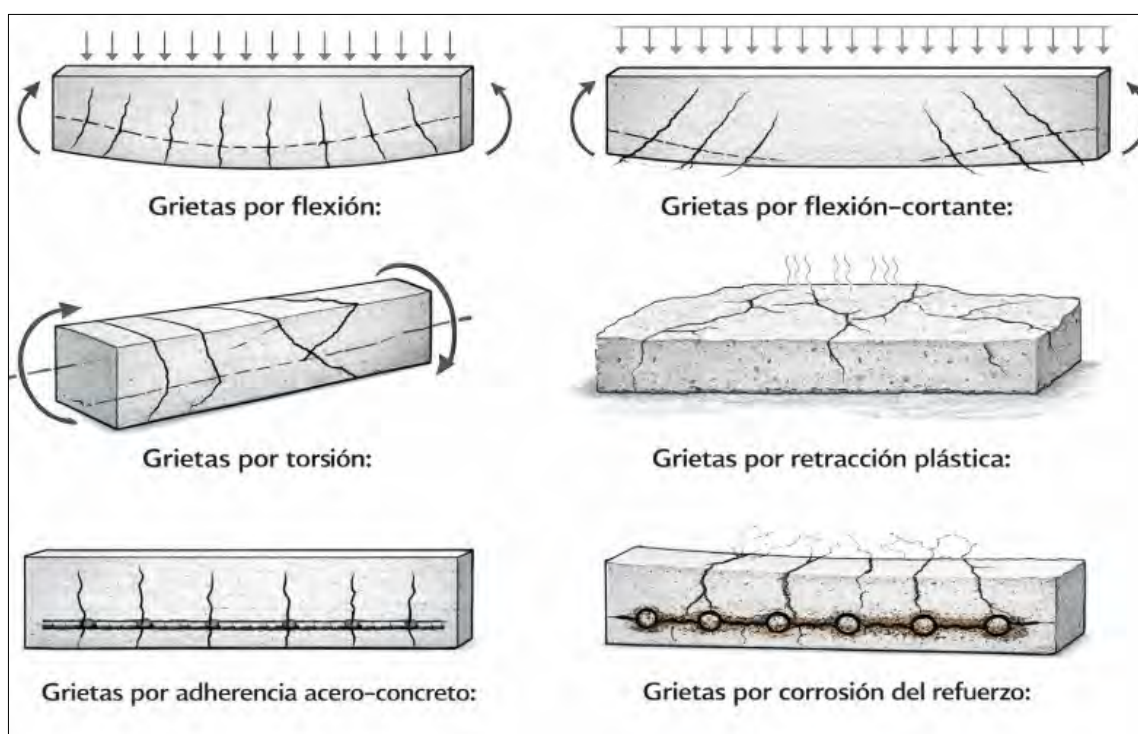
El agrietamiento en el concreto se produce cuando aparecen grietas o fisuras en la estructura, lo que puede debilitarla y afectar su durabilidad. Estas grietas pueden surgir por diversos motivos, como la aplicación de cargas, cambios de temperatura, contracción del concreto o asentamientos diferenciales. (ACI 224, 1993)

- Tipos de fisuras
- Grietas por flexión: Se desarrollan en la zona traccionada de la losa y se orientan predominantemente en forma vertical. Son más visibles en el centro de la luz y se asocian directamente a las cargas de servicio.
- Grietas por cortante: Se manifiestan con inclinaciones cercanas a 45° , producto de esfuerzos cortantes elevados.
- Grietas por flexión-cortante: Inician como grietas verticales por flexión y cambian de inclinación conforme se combinan los efectos de cortante.
- Grietas por torsión: Presentan trayectorias inclinadas y, en algunos casos, un patrón helicoidal alrededor del elemento.

- Grietas por adherencia acero-concreto: Se originan por la pérdida de la adherencia existente entre el acero de refuerzo y el concreto, generando separaciones longitudinales.
- Grietas por corrosión del refuerzo: Resultan del aumento de volumen del acero corroído, lo que provoca fisuras paralelas a las barras y desprendimiento del recubrimiento.
- Grietas por retracción plástica: Ocurren en fases iniciales debido a una rápida pérdida de agua en la superficie del concreto recién colocado.

Figura 11

Tipos de grietas en elementos de concreto armado: flexión, flexión–cortante, torsión, adherencia acero–concreto, corrosión del refuerzo y retracción plástica



NOTA: Elaboración propia, a partir de Wight (2015), Nilson et al. (2010) y Neville (2011).

- Variables que influyen en la generación de grietas

La aparición de fisuras en los elementos de concreto está influenciada por diversos factores estructurales y materiales. Entre los más importantes se encuentran:

- Esfuerzo en el acero de refuerzo: Incrementos en la tensión del acero bajo cargas de servicio conducen a mayores deformaciones y, por ende, a un aumento del ancho de las grietas.
- Adherencia del acero y el concreto: Una adecuada adherencia permite una mejor distribución de las fisuras, favoreciendo grietas más numerosas, pero de menor ancho.
- Espesor del recubrimiento: Aunque un mayor recubrimiento tiende a incrementar el ancho de las grietas, su reducción no constituye una solución óptima debido a implicancias en durabilidad y protección contra la corrosión.
- Fenómenos dependientes del tiempo: El creep y la retracción por secado generan deformaciones adicionales que contribuyen a la apertura progresiva de las fisuras.

La fisuración tiene una relación directa con la duración del concreto armado, ya que facilita el ingreso de agentes agresivos que aceleran los procesos de deterioro, tales como: la abrasión superficial del concreto, la acción de ciclos de congelamiento y deshielo, la reacción álcali-agregado, el ataque de sulfatos, y la corrosión del acero de refuerzo.

En este sentido, la fisuración puede ser tanto una causa como una consecuencia del deterioro progresivo del concreto.

- Control del ancho de grietas

Según Wight (2015), el ancho de las grietas en elementos de concreto debe controlarse atendiendo a tres criterios esenciales.:

- a) Apariencia: estudios del comité 224 del ACI determinaron que, cuando las grietas superan un ancho aproximado de 0.25 a 0.33 mm, generan percepción de inseguridad e incomodidad en los usuarios.
- b) Permeabilidad: en estructuras destinadas a retener líquidos, el ancho de las grietas influye directamente en la aparición de filtraciones; por ello, se exige que estas se mantengan por debajo de límites permisibles.
- c) Corrosión: aunque se ha sugerido una relación entre el ancho de grietas y la corrosión del acero de refuerzo, investigaciones como las de Borosnyó (2010) señalan que ambos fenómenos pueden considerarse relativamente independientes.

2.3.6.5 Deflexiones a largo plazo: efectos del creep y la retracción

Además de las deflexiones instantáneas, los elementos de concreto armado experimentan un incremento progresivo de las deformaciones con el paso del tiempo. Este comportamiento está dominado por los efectos del creep, que produce deformaciones adicionales bajo cargas sostenidas, y por la retracción por secado, que genera deformaciones independientes de la carga.

El creep amplifica la curvatura inicial del elemento, incrementando las deflexiones incluso cuando la carga aplicada permanece constante. Por su parte, la retracción induce tensiones internas que pueden contribuir tanto a la fisuración como al aumento de las deformaciones globales. Dado que estos fenómenos dependen de múltiples variables - como la edad del concreto, las condiciones ambientales y la duración de las cargas, su análisis detallado resulta complejo.

Por esta razón, los reglamentos de diseño incorporan factores de amplificación que permiten estimar de manera práctica las deflexiones a largo plazo, tomando en cuenta la fluencia y la retracción, sin necesidad de modelos reológicos de mayor complejidad.

CAPITULO 3 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Metodología de investigación

3.1.1 Tipo y enfoque de investigación

La investigación es aplicada, ya que busca generar conocimiento con una finalidad práctica, orientada a la evaluación del comportamiento en servicio de losas macizas unidireccionales de concreto armado mediante la comparación de deflexiones obtenidas por métodos normativos, modelado estructural y ensayos ensayados en laboratorio. Los resultados permiten contribuir a una mejor comprensión del desempeño real de este tipo de elementos estructurales utilizados en edificaciones de vivienda multifamiliar.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, debido a que se basa en la medición, registro y análisis de valores numéricos de deflexión, los cuales son comparados mediante criterios técnicos establecidos.

3.1.2 Nivel o alcance de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo, debido a que tiene como propósito de analizar y comparar el comportamiento de las deflexiones en losas macizas bajo distintos escenarios de evaluación. En particular, se comparan:

- ❖ Determinación de resultados basada en lo dispuesto por la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2009)
- ❖ Simulación mediante el software de análisis estructural SAP 2000.

- ❖ Ensayos realizados en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil.

3.1.3 Diseño de investigación

La presente investigación se rige bajo un diseño no experimental y transversal. Según Hernández Sampieri y Fernández Collado (2014), los estudios no experimentales se caracterizan por la observación de los fenómenos en su contexto natural, sin la manipulación deliberada de las variables.

El componente transversal se evidencia en la comparación de resultados obtenidos entre los distintos métodos de análisis (normativo, numérico mediante SAP2000 y experimental), los cuales son evaluados en un mismo periodo de estudio.

En términos prácticos, la investigación se desarrolla mediante la observación directa de las deflexiones en losas macizas de concreto armado, sin intervención sobre las propiedades del material ni de la estructura.

3.2 Limitaciones del estudio de investigación

Las principales limitaciones de la investigación son las siguientes:

- ❖ El estudio se limita al análisis de losas macizas unidireccionales de concreto armado, sin considerar otros sistemas estructurales como losas aligeradas, reticulares o bidireccionales.
- ❖ Las losas ensayadas corresponden a modelos de laboratorio con dimensiones reducidas, diseñados conforme a la Norma E.060 - Concreto Armado (2009) para reproducir el comportamiento estructural en estado de servicio. Aunque

los cálculos garantizan la proporcionalidad en resistencia y rigidez, el modelo puede no captar todas las variables de las losas a escala real, como efectos de borde o interacciones con otros elementos estructurales.

- ❖ El periodo de monitoreo de deflexiones diferidas se encuentra limitado al tiempo de observación establecido en el programa experimental, por lo que no se evalúa el comportamiento a largo plazo durante toda la vida útil de la estructura.

A pesar de estas limitaciones, los resultados obtenidos constituyen una aproximación al comportamiento a flexión de losas macizas de concreto armado y proporcionan una base técnica sólida para futuras investigaciones de mayor alcance.

3.3 Normatividad y viabilidad

3.3.1 Normatividad

La investigación se rige principalmente por la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2009), la cual establece los criterios para el cálculo y el control de deflexiones inmediatas y deflexiones diferidas en elementos de concreto armado.

De manera complementaria, se consideran los lineamientos del ACI 318-19, en particular aquellos relacionados con el comportamiento en estado límite de servicio del concreto armado, el uso de la inercia efectiva y los factores asociados a la estimación de deflexiones a corto y largo plazo, con fines de referencia técnica.

Las losas ensayadas fueron diseñadas conforme a los criterios establecidos por la Norma E.060 (2009), empleando concreto con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ y distribuciones de refuerzo relacionados con el enfoque experimental del estudio

3.3.2 Viabilidad

El proyecto es viable técnica y logísticamente, debido a la disponibilidad de las instalaciones y equipo necesarios en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil - UNSAAC para realizar ensayos, así como con software de análisis estructural que permitirán modelar las losas bajo estudio.

La investigación cuenta con la disponibilidad de los recursos humanos y económicos necesarios para su ejecución, el financiamiento será cubierto mediante recursos personales.

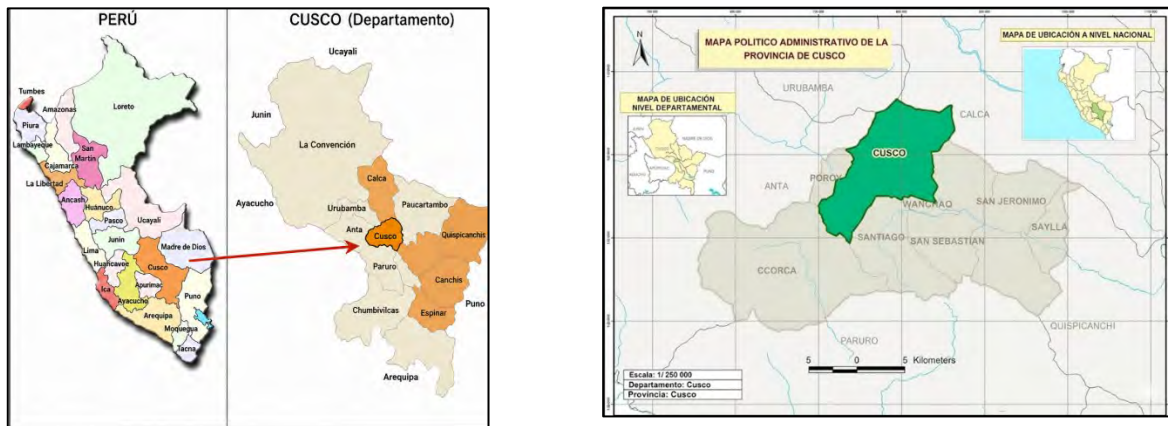
El desarrollo del estudio se encuentra respaldado por el asesor de tesis asignado, lo que permite el adecuado seguimiento metodológico y técnico de la investigación.

3.4 Ámbito de estudio: localización política y geográfica

El trabajo de investigación se desarrolló en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC), ubicado en la ciudad del Cusco, provincia del Cusco y departamento del Cusco, en la región sur del Perú.

Figura 12

Ámbito de estudio, Ubicación de estudio (Cusco, Cusco, Perú)



Nota: Adaptado de Departamentos del Cusco - (ECURED, 2026)

Figura 13

Mapa de Ubicación Laboratorio de Estructuras – FIC, UNSAAC



Nota: Elaboración propia

En dicho laboratorio se realizaron los ensayos ensayados en laboratorio de deflexión inmediata y diferida en losas macizas unidireccionales de concreto armado

con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, aplicando cargas controladas y midiendo los desplazamientos verticales mediante transductores de desplazamiento lineal (LVDT).

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

De acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), la población se entiende como el conjunto total de elementos que comparten características comunes y que son considerados dentro del ámbito del estudio.

La población de estudio está conformada por losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, utilizadas como elementos estructurales horizontales en edificaciones de vivienda multifamiliar ubicadas en el distrito de San Jerónimo, Cusco.

3.5.2 Muestra

La muestra ha sido seleccionada mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, de acuerdo con la naturaleza aplicada del estudio. Este tipo de muestreo es apropiado cuando se requiere seleccionar unidades accesibles, representativas desde un punto de vista técnico, y que permitan cumplir con los criterios de ensayo establecidos.

La muestra está conformada por cuatro (04) losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, diseñadas y construidas específicamente para esta investigación y ensayadas en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC).

De las cuatro losas ensayadas:

- Tres (03) losas fueron sometidas a ensayos de carga puntual centrada, con el objetivo de evaluar la deflexión inmediata bajo condiciones controladas de laboratorio.
- Una (01) losa fue sometida inicialmente solo a su peso propio durante un periodo de 36 días. Posteriormente, se procedió a la aplicación de una carga distribuida sostenida de 1 316,00 kg, con el objetivo de evaluar la deflexión inmediata generada por la carga adicional y la evolución de la deflexión diferida durante 184 días. Durante este periodo se efectuó el monitoreo periódico de las deformaciones.

Estas cuatro losas, son réplicas de un mismo modelo estructural, elaboradas bajo iguales condiciones de diseño, materiales y procedimiento constructivo.

La significancia de los datos se sustenta mediante la aplicación de la prueba T de Student, método estadístico adecuado para muestras pequeñas cuando la desviación estándar poblacional es desconocida, permitiendo contrastar la media experimental con valores teóricos de referencia.

3.6 Variables y operacionalización de investigación

Tabla 10

Tabla de Operacionalización de Variables

VARIABLES E INDICADORES				
Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensión	Indicadores
V1: Método de evaluación de deflexiones	El análisis de deflexiones en concreto armado puede abordarse mediante métodos analíticos, numéricos y experimentales, los cuales permiten estimar el comportamiento en servicio de los elementos estructurales (Nilson, 2011).	Aplicación de métodos normativos, modelado numérico computacional mediante software, y ensayos en laboratorio para determinar deflexiones en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$.	Método analítico normativo	Deflexión calculada según Norma E.060 (mm)
			Modelado numérico computacional	Deflexión obtenida mediante software SAP2000 (mm)
			Método ensayo en laboratorio	Deflexión medida mediante ensayos en laboratorio (mm)
V2: Deflexión en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$	Según Hibbeler (2016), la deflexión es el desplazamiento vertical que experimenta un elemento estructural sometido a cargas.	Medición y comparación del desplazamiento vertical (en el centro de luz) de losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, bajo condiciones de carga definidas.	Deflexión inmediata por carga de servicio	Deflexión al desencofrado + deflexión inmediata en el centro de la luz CV+CM (mm)
	Asimismo, ACI 318-19 clasifica la deflexión en inmediata y diferida, siendo esta última producto de efectos como fluencia y retracción del concreto.		Deflexión diferida por carga sostenida	Incremento de deflexión en el tiempo $\Delta(t)$ (mm)

NOTA: Elaboración Propia

3.7 Técnicas e instrumentos

Las técnicas e instrumentos fueron seleccionados en función de las variables, dimensiones e indicadores definidos en la operacionalización, con el objetivo de obtener información sobre la deflexión de losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia a la compresión $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$. De esta manera, se logró contrastar los resultados teóricos obtenidos a partir del análisis normativo y del modelado estructural con el comportamiento observado durante los ensayos realizados en laboratorio.

3.7.1 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.7.1.1 Análisis documental y normativo

Esta técnica se basó en la revisión, interpretación y aplicación de los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (2009), vinculados al cálculo de la deflexión inmediata y la deflexión diferida en losas macizas unidireccionales.

Para ello, la losa fue idealizada como una franja equivalente de ancho unitario, analizándose como una viga simplemente apoyada. Mediante este análisis se determinaron las deflexiones teóricas, considerando:

- Las condiciones de carga de servicio.
- La rigidez efectiva de la sección.
- La fisuración del concreto.

Esta técnica permitió obtener valores teóricos de deflexión que representan el comportamiento esperado según la normativa vigente en el Perú, constituyendo una base de comparación frente a los resultados ensayados en laboratorio.

3.7.1.2 Simulación estructural (modelado y análisis)

En la presente se emplea la simulación estructural, mediante un software de análisis estructural (SAP 2000), el cual permitió modelar numéricamente las losas macizas unidireccionales considerando sus propiedades geométricas, mecánicas y condiciones de apoyo reales. El modelo estructural incorporó:

- Las propiedades geométricas de las losas.
- Las propiedades mecánicas del concreto armado con resistencia $f'_c = 280$ kgf/cm².
- Condiciones de apoyo simple, coherentes con el esquema experimental.
- Cargas distribuidas equivalentes a las consideradas en el análisis normativo.

El software permitió obtener las deflexiones inmediatas bajo carga distribuida de servicio, las cuales fueron utilizadas para la comparación con:

- Las deflexiones calculadas mediante la Norma E.060.
- Las deflexiones diferidas evaluadas mediante ensayos en la losa sometida a carga sostenida.

Esta técnica permitió evaluar la capacidad del análisis numérico para reproducir el comportamiento real de las losas y analizar su grado de aproximación frente a los valores medidos en laboratorio.

3.7.1.3 Ensayos controlados en laboratorio

La técnica principal del estudio fue la medición mediante ensayos de deflexiones, aplicada en condiciones controladas dentro del Laboratorio de Estructuras de la Universidad.

Esta técnica consistió en la medición directa del desplazamiento vertical en el centro de la luz de las losas macizas unidireccionales, bajo diferentes condiciones representativas del estado límite de servicio. Las mediciones ensayadas en laboratorio se realizaron en cuatro momentos claramente definidos:

- Deflexión inmediata por peso propio, medida al momento del desencofrado de las losas.
- Deflexión inmediata por aplicación de carga, registrada durante los ensayos de carga controlada en laboratorio.
- Deflexión inmediata por peso propio de una losa, registrada durante 1 mes.
- Deflexión diferida por carga sostenida, evaluada mediante monitoreo periódico de una losa sometida a carga constante durante aproximadamente 6 meses.

La deflexión vertical en el centro de la luz se registró con LVDT y la carga se obtuvo de la lectura de la máquina de celda de carga. Este procedimiento permitió construir la relación carga-deflexión y obtener la deflexión inmediata bajo diferentes niveles de carga.

Esta técnica permitió registrar tanto la deflexión inmediata asociada a la aplicación de la carga, como la deflexión diferida producto de la permanencia de cargas en el tiempo, representando el comportamiento real de las losas bajo condiciones de servicio, los cuales constituyen la referencia principal de comparación con los métodos normativo y computacional.

3.7.2 Instrumentos utilizados

Para el desarrollo de la presente investigación se emplearon instrumentos de medición y equipos especializados, seleccionados en función de la precisión requerida para el registro de deflexiones inmediatas y diferidas en losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$. Todos los instrumentos fueron utilizados bajo condiciones controladas en el Laboratorio de Estructuras de la Facultad de Ingeniería Civil, siguiendo procedimientos técnicos adecuados para ensayos estructurales.

- Máquina universal de carga: Constituida por un marco de carga rígido, que proporcionó la estabilidad necesaria para la aplicación de cargas verticales sobre las losas ensayadas. Este equipo permitió reproducir condiciones controladas de carga puntual, representativas del estado límite de servicio. El sistema de carga estuvo compuesto por:
 - Gato hidráulico, encargado de aplicar la carga de forma progresiva y controlada.
 - Celda de carga, integrada al sistema, que permitió registrar la magnitud de la fuerza aplicada durante el ensayo.

- o Dial o indicador de carga, utilizado para el control y verificación del nivel de carga aplicado.
 - o Elementos de transmisión de carga, mediante los cuales la carga se aplicó en el centro de la luz de la losa, a través de una placa metálica, asegurando una aplicación puntual y centrada.
- LVDT (Linear Variable Differential Transformer): Transductor de desplazamiento lineal utilizado para medir con alta precisión las deflexiones verticales en el centro de la losa. Se conectó a un sistema digital de adquisición de datos, lo cual permitió registrar:
- o Registrar la deflexión en tiempo real.
 - o Obtener la relación carga-deflexión durante el ensayo.
 - o Minimizar errores asociados a lecturas manuales.
- Nivel láser: El nivel láser se utilizó como instrumento de referencia para:
- o Determinar la deflexión inicial al momento del desencofrado.
 - o Verificar la alineación y nivelación de las losas antes del ensayo.
 - o Realizar el seguimiento de la deflexión diferida en la losa sometida a carga sostenida.
- Vernier (calibrador milimétrico): Se empleó como apoyo para la verificación puntual de desplazamientos y para la comprobación de lecturas obtenidas mediante otros instrumentos.

- Soporte metálico de carga y vigas de reacción: Conjunto estructural diseñado para generar un marco de carga estable en condiciones de laboratorio, permitiendo aplicar cargas centralizadas o distribuidas de manera segura.
- Cinta métrica de precisión y nivel de burbuja: Herramientas auxiliares para garantizar la correcta ubicación, alineación y nivelación de las losas antes y durante la prueba.

Todos estos instrumentos fueron utilizados bajo las condiciones controladas del laboratorio de Estructuras de la Universidad, siguiendo protocolos establecidos y buenas prácticas en ensayos estructurales.

3.7.2.1 Softwares utilizados

Para el desarrollo del presente estudio, se emplearon diversos programas que cumplieron un rol clave en la modelación estructural, análisis comparativo, procesamiento de datos y sistematización de resultados.

SAP 2000

El software SAP 2000 fue utilizado como herramienta para simulación en SAP 2000 de las losas macizas unidireccionales. Mediante este programa se desarrolló un modelo numérico representativo del comportamiento estructural bajo condiciones de servicio, considerando las propiedades geométricas de las losas, las características mecánicas del concreto armado y las condiciones de apoyo con el esquema experimental. Los resultados obtenidos fueron empleados para la comparación con las deflexiones calculadas conforme a la Norma Técnica Peruana E.060 (2009) con las

deflexiones medidas mediante ensayos en laboratorio, evaluando así la capacidad del análisis numérico para reproducir el comportamiento real de las losas.

Revit

El software Revit fue empleado como herramienta de apoyo en la fase de planificación y preparación experimental, específicamente para el diseño preliminar del sistema de ensayo. Su uso estuvo orientado a la definición de ensayo, las dimensiones óptimas de las losas y las condiciones de apoyo necesarias, así como el espacio requerido para la correcta instalación de los equipos de carga y de medición de deflexiones.

3.8 Estrategia de recolección de datos

La estrategia de recolección de datos se estructuró secuencial y cronológicamente, con el fin de garantizar las etapas de diseño, ejecución en laboratorio y análisis de resultados. Dicha estrategia permitió obtener información comparable de la deflexión en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$.

1. Fase de diseño y simulación (base teórica)

Recopilación de datos teóricos y computacionales para el contraste posterior.

- Proceso: Diseño estructural bajo la NTP E.060 y simulación en el software SAP 2000.
- Dato obtenido: Deflexiones nominales y teóricas.

2. Fase preliminar: caracterización de materiales

En esta etapa se recolectan las propiedades mecánicas de los insumos (agregados, cemento, acero).

- Técnica: Ensayos de laboratorio de agregados grueso y fino
- Instrumento: Fichas de registro de laboratorio y normativa técnica (NTP).
- Objetivo: Garantizar que el concreto alcance los $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ requeridos para el diseño.

3. Fase de construcción y control (Ejecución)

Recopilación de información durante el proceso constructivo de las cuatro (04) losas macizas a escala real.

4. Fase de ensayos de carga (Deflexión inmediata y diferida)

Es la fase donde se obtienen los datos para la discusión de resultados.

- Ensayo de carga estática mediante Máquina Universal, y ensayo de deflexión diferida con carga sostenida.
- Monitoreo de Deflexión Diferida: Registro periódico de la cuarta losa (L-04) bajo carga sostenida.

CAPITULO 4 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

4.1 Deflexiones en losas macizas - NTP E.060

4.1.1 Alcance de diseño y predimensionamiento.

A. Alcance del diseño

En el presente estudio no se considera el análisis sísmico del elemento estructural, debido a que este corresponde a una unidad evaluada de manera individual y no a un sistema estructural completo. De acuerdo con la Norma E.030: Diseño Sismorresistente, el análisis sísmico se formula a partir de un modelo global de la estructura, tal como se establece: “El modelo para el análisis considera una distribución espacial de masas y rigideces” (MVCS, 2018). Este planteamiento evidencia que el análisis sísmico requiere la interacción entre los diferentes elementos estructurales, condición que no se cumple en ensayos de elementos aislados. Adicionalmente, la norma establece en su alcance que “Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas tengan un comportamiento sísmico...”, lo que confirma que su aplicación está orientada a estructuras completas.

En concordancia, la Norma E.060: Concreto Armado establece que: “Debe tenerse en cuenta en el análisis la interacción de todos los elementos estructurales y no estructurales que afecten la respuesta lineal y no lineal de la estructura frente a los movimientos sísmicos” (MVCS, 2009). Este requerimiento refuerza que el análisis sísmico depende de la interacción global entre los elementos que conforman la estructura, incluyendo vigas, columnas, losas y otros componentes, lo cual no es representativo en el caso de elementos evaluados de manera aislada.

B. Predimensionamiento

La longitud se determinó de acuerdo con el criterio de predimensionamiento establecidos en la NTP E.060 - Concreto Armado (2009). En partículas, este equipo permite un ancho máximo de 0,80 m, debido a la distancia entre parantes que componen su estructura. Asimismo, para garantizar la seguridad durante el ensayo, los apoyos debían disponerse de manera empotrada, lo cual se logró con una separación de 2,00 m, considerando adicionalmente una longitud de 0,10 m de losa en cada apoyo, se obtuvo una longitud total de 2,20 m (longitud efectiva + longitud sobre apoyos).

Tabla 11

Espesores mínimos para losas reforzadas unidireccionales, salvo se verifiquen deflexiones mediante cálculos.

Elementos	Simplemente apoyados	Con un extremo continuo	Ambos extremos continuos	En voladizo
	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos no estructurales susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas				
macizas en una dirección	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Vigas o losas				
nervadas en una dirección	$l/16$	$l/18.5$	$l/21$	$l/8$

Nota: Datos tomados de la NTP E.060 – Concreto Armado (2009)

El peralte mínimo para una losa maciza unidireccional simplemente apoyados es $L/20$. Entonces $L/20 = 2,00\text{m}/20 = 10\text{ cm}$, por lo tanto, para el propósito de la presente tesis se tendrá un espesor de 10 cm, además de que podremos ver más fácilmente las deflexiones originadas por el peso propio de la losa, así como de la sobrecarga aplicada para el tipo de edificación en estudio.

Tabla 12

Dimensiones 4 losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm²

Dimensión	Longitud	Unidad
Largo (L)	2,20	m
Ancho (A)	0,70	m
Espesor (E)	0,10	m

Nota: Elaboración propia.

4.1.2 Diseño por la NTP E.060 – Concreto Armado (2009)

La Norma Técnica Peruana E.060 – Concreto Armado establece que el diseño de estructuras de concreto armado se desarrolla mediante el método de diseño por resistencia, bajo el enfoque de los estados límite, con énfasis en la verificación de los estados límite últimos. De acuerdo con este enfoque, se requiere que la resistencia de diseño del elemento sea igual o superior a la resistencia solicitante, cumpliéndose la condición $R_n \geq R_u$, lo que permite verificar un comportamiento estructural compatible con las acciones consideradas en el diseño (Ottazzi Pasino, 2015).

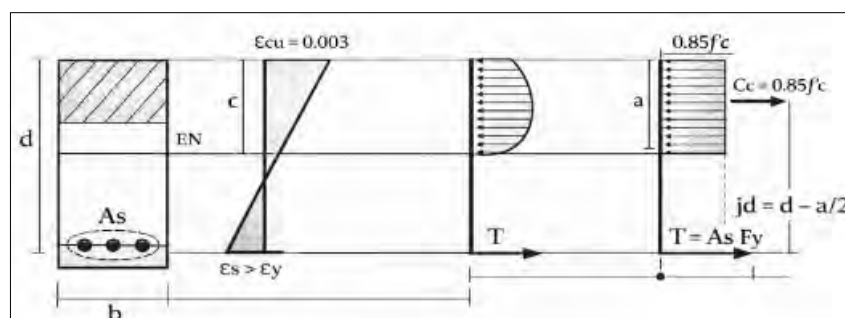
El análisis y diseño por flexión de elementos de concreto armado se fundamenta en las siguientes hipótesis básicas:

- Hipótesis de Navier: Se asume que las secciones transversales permanecen planas después de la deformación, lo que implica una variación lineal de las deformaciones del concreto y del acero con respecto a la distancia al eje neutro, hipótesis válida para elementos esbeltos.
- La deformación unitaria máxima del concreto en compresión 0,003.
- El esfuerzo desarrollado en el acero de refuerzo se determina a partir de su deformación unitaria y del módulo de elasticidad correspondiente.
- Se considera que el concreto no contribuye a resistir esfuerzos de tracción, los cuales son asumidos por el acero de refuerzo.
- Se supone la existencia de adherencia completa entre el acero y el concreto, garantizando la compatibilidad de deformaciones.
- La distribución de esfuerzos de compresión en el concreto se representa mediante un bloque rectangular equivalente, de intensidad $0,85 f'_c$.

Estas hipótesis permiten establecer el equilibrio interno de la sección y determinar la resistencia a flexión de los elementos de concreto armado.

Figura 14

Deformaciones y fuerzas internas en una sección rectangular de C° A° (flexión)



Nota: Adaptado de Ottazzi Pasino, 2015

A. Criterios de diseño estructural de losa unidireccional de concreto armado

Como se describió en la sección de losas macizas unidireccionales y bidireccionales:

- Diseño losas macizas unidireccionales: Una losa que trabaja en una sola dirección puede analizarse de manera simplificada como un conjunto de elementos tipo viga de sección rectangular, dispuestos de forma paralela y trabajando conjuntamente.

B. Datos de entrada

Tabla 13

Datos iniciales para diseño de losa maciza unidireccional

DATOS PARA DISEÑO			
Resistencia a la compresión del concreto	$f'_c =$	280,00	kgf/cm ²
Acero de fluencia	$f_y =$	4 200,00	kgf/cm ²
Peso unitario del C°	$\rho =$	2 400,00	kgf/m ³
Luz libre dirección corta	$b =$	0,70	m
Luz libre dirección larga	$L =$	2,00	m
Espesor de losa	$h =$	0,10	m
Recubrimiento	$Re =$	2,50	cm

Nota: Elaboración propia.

- Metrado de cargas - Amplificación de cargas

Tabla 14

Metrado de cargas de servicio y cargas de diseño

Descripción		Valor	Unidad
CARGAS EN SERVICIO			
Peso propio de losa		240,00	kgf/m^2
Peso de tabiquería		400,00	kgf/m^2
Peso de acabados		100,00	kgf/m^2
CARGA MUERTA	CM=	740,00	kgf/m^2
CARGA VIVA	CV=	200,00	kgf/m^2
CARGA DE SERVICIO	CM+CV=	940,00	kgf/m^2
CARGAS ÚLTIMAS			
CARGA MUERTA	1,4*CM=	1 036,00	kgf/m^2
CARGA VIVA	1,7*CV=	340,00	kgf/m^2
CARGA ÚLTIMA	1,4*CM+1,7*CV=	1 376,00	kgf/m^2
$W_U=$		1 376,00	kgf/m^2

Nota: Elaboración propia

- Determinación de los momentos último

Al tratarse de una losa simplemente apoyada sometida bajo la acción de una carga uniformemente distribuida, el momento flector máximo se localiza en el centro del vano. De acuerdo con la teoría elástica de vigas y conforme a los criterios de análisis estructural permitidos por la NTP E.060 – Concreto Armado (2009).

Ecuación 1 Momento último

$$M_u = \frac{W_u L^2}{8} \quad (1)$$

Donde: W es la carga distribuida última por unidad de longitud y L es la luz libre de la losa.

$$M_u = \frac{(1\,376\,kgf/m^2)(2\,m)^2}{8}$$

$$M_u = 688\,kgf.m = 68\,800\,kgf.cm$$

El momento flector último (M_u) representa la sollicitación máxima de flexión que actúa sobre la sección de diseño de la losa (crítica), producto de la combinación de cargas mayoradas, y constituye la demanda estructural que debe ser resistida por la capacidad de diseño del elemento

- Cálculo de la altura del rectángulo de esfuerzos a compresión

Ecuación 2 Altura del rectángulo de esfuerzos a compresión

$$a = d - \sqrt{d^2 - \frac{2 * M_u}{\phi * 0,85 * f'c * b}} \quad (2)$$

$$d = 10\,cm - 2,5 - \frac{1,27\,cm}{2} = 6,865\,cm$$

$$M_u = 68\,800\,kgf.cm$$

$\phi = 0,9$ coeficiente de reducción por flexión, NTP E.060 – Concreto Armado (2009)

$$a = 6,865\,cm - \sqrt{(6,865\,cm)^2 - \frac{2 * (68\,800\,kgf.cm)}{(0,9) * 0,85 * \left(280\frac{kgf}{cm^2}\right) * (0,70\,cm)}}$$

$$a = 0,705\,cm$$

C. Cálculo del acero de refuerzo

Para la iteración se tiene las siguientes fórmulas de a y A_s

Ecuación 3 Profundidad de bloque de compresión equivalente

$$a = \frac{As * f_y}{0,85 * b * f'_c} \quad (3)$$

Ecuación 4 Área de acero requerida por flexión

$$As = \frac{M_u}{\phi * f_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \quad (4)$$

Mu= 0,688 Ton-m Suponiendo: a=d/5=1,37cm

Tabla 15

Cálculo As(+)_Mu

Nº	a asum	As	a
1	1,373	2,946	0,743
2	0,743	2,803	0,707
3	0,707	2,795	0,705
4	0,705	2,795	0,705
5	0,705	2,795	0,705
6	0,705	2,795	0,705
7	0,705	2,795	0,705
8	0,705	2,795	0,705
9	0,705	2,795	0,705
10	0,705	2,795	0,705
Usar: As(+)=		2,79	cm ²

Nota: Elaboración propia.

- Diseño de acero de refuerzo
- Espaciamiento máximo losas

Ecuación 5 Separación máxima de estribos

$$S_{m\acute{a}x} \leq 3 * h \quad (5)$$

$$3(0,1m) = 0,30m \vee S_{m\acute{a}x} \leq 0,40 m \text{ (Norma E.060)}$$

- Utilizamos el criterio más conservador: $S_{m\acute{a}x} = 0,30 m$
- Acero de refuerzo

Tabla 16

Diseño de refuerzo para losa maciza unidireccional $f'c$ 280 kgf/cm²

Momentos	Ton-m	As (cm ²)	#	Ø	As final (cm ²)	Sfinal (m)
Ma (+)	0,688	2,795	3	1/2"	3,801	0,30

Nota: Elaboración propia

El acero transversal NO resiste momento flexionante principal, su función es:

- Control de fisuración
- Resistencia a retracción y temperatura
- Distribuir cargas puntuales
- Amarrar el acero principal
- La NTP E.060 lo llama acero de distribución.
- Cálculo de acero mínimo positivo

En losas unidireccionales, el acero transversal se diseña con la cuantía mínima.

Tenemos:

$$b_u = 220 \text{ cm (largo total de la losa)}$$

$$h = 10 \text{ cm (espesor de la losa)}$$

Ecuación 6 Cuantía mínima

$$A_{smin} = 0.0018 * b * e \quad (6)$$

$$A_{smin} = 0.0018 * 220 * 10$$

$$A_{smin} = 3,96 \text{ cm}^2$$

Entonces para el acero transversal Figura 15, se considera 3/8" @ 0.30 m

$$8 * 0,713 \text{ cm}^2 = 5,704 \text{ cm}^2 > 3,96 \text{ cm}^2$$

D. Verificación de tipo de falla

Distancia del eje neutro hasta la fibra comprimida externa:

$$a = 0,7045 \text{ cm}; \beta = 0,85 \left(f'c \leq 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \right)$$

$$c_t = \frac{a}{\beta} = 0,8289 \text{ cm}$$

Determinamos la deformación unitaria del acero a tensión por relación de triángulos:

- $\varepsilon_c = 0,003$ (deformación máxima del concreto a compresión)
- $d = 6,865 \text{ cm}$ (altura efectiva)
- $c_t = 0,8289 \text{ cm}$

Ecuación 7 Deformación unitaria del acero a tensión

$$\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_c(d - c_t)}{c_t} \quad (7)$$

$$\varepsilon_t = \frac{0,003(6,865 - 0,8289)}{0,8289}$$

$$\varepsilon_t = 0,0218 \geq 0,005$$

Sección controlada por tensión (falla dúctil). El acero fluye antes de que el concreto falle.

E. Cuantía mínima y máxima

La E.060 da los mismos límites que el ACI 318, porque está basada directamente en esta, con pequeñas diferencias de redacción y unidades.

- Cuantía mínima

Ecuación 8 Cuantía mínima ACI 318

$$As_{min} \geq \frac{0,7\sqrt{f'c}}{fy} bw * d \quad (8)$$

$$As_{min} \geq \frac{0,7\sqrt{280 \frac{kgf}{cm^2}}}{4 \ 200 \frac{kgf}{cm^2}} (70 \text{ cm}) * (6,865 \text{ cm})$$

$$As_{min} \geq 1,34 \text{ cm}^2$$

- Cuantía máxima

Ecuación 9 Cuantía máxima ACI 318

$$As_{máx} \leq 0,75As_{bal} \quad (9)$$

Ecuación 10 Cuantía balanceada de refuerzo

$$\rho_{bal} = \frac{As_{bal}}{bd} \quad (\varepsilon_c = 0,003; \varepsilon_s = \varepsilon_y) \quad (10)$$

$$As_{bal} = \rho_{bal} * b * d$$

Ecuación 11 Cuantía balanceada teórica

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 * f'c * \beta}{fy} \left(\frac{6 \ 000}{6 \ 000 + fy} \right) \left(\frac{dt}{d} \right) \quad (11)$$

$$\rho_{bal} = \frac{0,85 * 280 \frac{kgf}{cm^2} * 0,85}{4\,200 \frac{kgf}{cm^2}} \left(\frac{6\,000}{6\,000 + 4\,200 \frac{kgf}{cm^2}} \right) \left(\frac{6,865\,cm}{6,865\,cm} \right)$$

$$\rho_{bal} = 0,0283$$

$$As_{bal} = 0,0283 * 70\,cm * 6,865\,cm$$

$$As_{bal} = 13,62\,cm^2$$

Finalmente:

$$As_{m\acute{a}x} \leq 0,75(13,62\,cm^2)$$

$$As_{m\acute{a}x} \leq 10,21\,cm^2$$

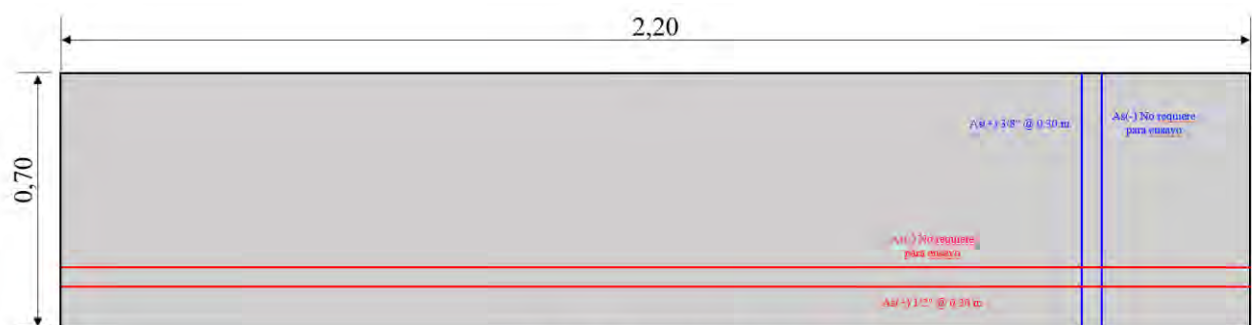
$$As_{min}(1,34\,cm^2) \leq As(3,80\,cm^2) \leq As_{m\acute{a}x}(10,21\,cm^2)$$

F. Distribución final de Acero

Finalmente, la distribución de acero es la siguiente:

Figura 15

Vista en planta, esquema de diseño de acero de refuerzo (unidades: m)

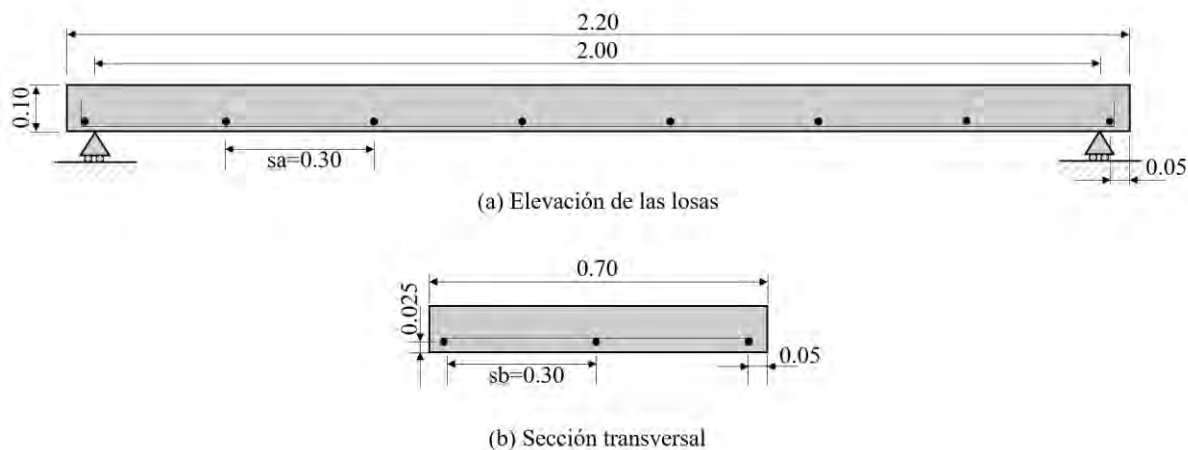


Vista en planta de las losas

Nota: Elaboración propia.

Figura 16

Elevación y sección transversal de losas, esquema referencial de diseño (uni: m)



Nota: Elaboración propia.

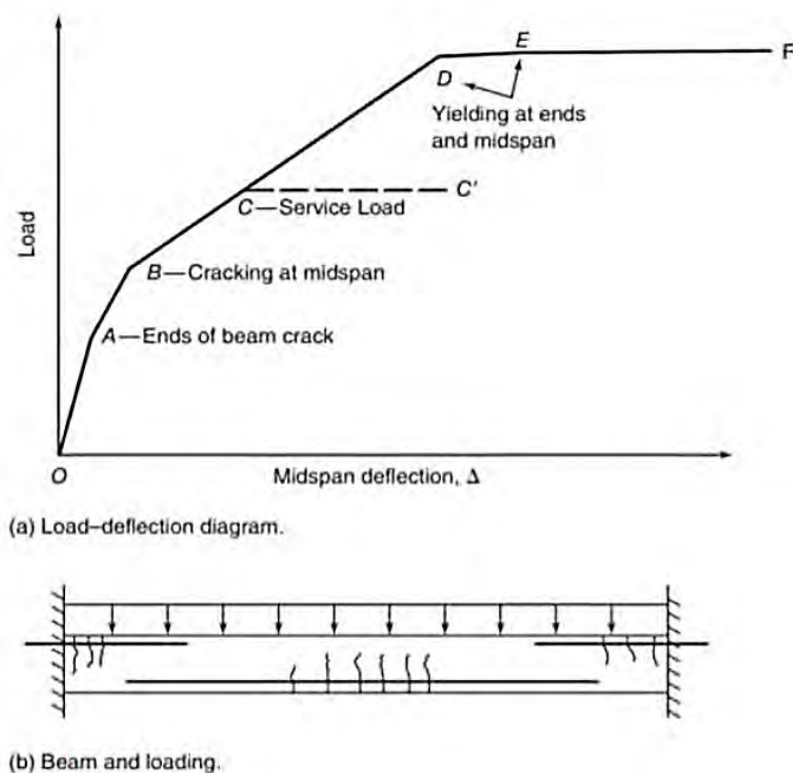
4.1.3 Deflexión losas macizas según la Norma E.060

En este apartado se presenta el enfoque adoptado para la evaluación de la deflexión en elementos horizontales de concreto armado, con el fin de evaluar el comportamiento en condición de servicio y contrastarlo con los límites admisibles establecidos por la normativa aplicable.

La bibliografía revisada señala que el concreto armado presenta una limitada capacidad para resistir tracción, lo que origina fisuración cuando los elementos son sometidos a cargas gravitacionales. Este proceso reduce la rigidez a flexión y modifica la relación entre la carga aplicada y la deflexión desarrollada en el elemento, especialmente en el tramo medio de la luz, tal como se aprecia en la figura correspondiente.

Figura 17

Comportamiento carga-deflexión en el centro del vano de un elemento



NOTA: Tomado de *Reinforced Concrete: Mechanics and Design* (7.^a ed.), por J. K. Wight, 2015, Pearson.

Los puntos A y B señalan las etapas de aparición de fisuras en las zonas extremas y en la región central del elemento, respectivamente; mientras que el punto C corresponde al estado habitual de trabajo bajo cargas de servicio.

A. Análisis de fisuración y rigidez

El comportamiento a flexión de las losas de concreto armado se encuentra estrechamente vinculado al proceso de fisuración del concreto, el cual se inicia cuando las tensiones de tracción sobrepasan la resistencia propia del material. Esta resistencia a tracción puede estimarse mediante el módulo de rotura del concreto, definido como:

- Módulo de rotura:

Ecuación 12 Módulo de rotura (resistencia a tensiones de tracción)

$$f_{cr} = 2\lambda\sqrt{f'c} \quad (12)$$

$$f'c = 280 \frac{kgf}{cm^2}; \lambda = 1 \text{ (concreto normal)}$$

$$f_{cr} = 2(1) \sqrt{280 \frac{kgf}{cm^2}} = 33,47 \frac{kgf}{cm^2}$$

Si la tensión supera fr el concreto se fisura.

- Relación modular del concreto y el acero

Módulo de elasticidad del acero:

$$E_s = 2\,000\,000 \frac{kgf}{cm^2}$$

Módulo de elasticidad del concreto:

$$E_c = 15\,000\sqrt{f'c} = 15\,000 \sqrt{280 \frac{kgf}{cm^2}} = 250\,998 \frac{kgf}{cm^2}$$

Ecuación 13 Relación modular del concreto y el acero

$$n = \frac{E_s}{E_c} \quad (13)$$

$$n = 7,97$$

- Momento de Agrietamiento

Momento de agrietamiento (M_{cr}), se estima con la inercia bruta de la sección y el valor del módulo de rotura.

Ecuación 14 Momento de agrietamiento

$$M_{cr} = \frac{2f_{cr}I_g}{h} \quad (14)$$

$$I_g = \frac{bh^3}{12} = \frac{(70 \text{ cm})(10 \text{ cm})^3}{12} = 5\,833,33 \text{ cm}^4$$

$$M_{cr} = \frac{2 * \left(33,47 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}\right) (5\,833,33 \text{ cm}^4)}{10 \text{ cm}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

$$M_{cr} = 390,44 \text{ kgf.m}$$

Tenemos:

$$M_u = 688,00 \text{ kgf.m}$$

$$M_u(688,00 \text{ kgf.m}) > M_{cr}(390,44 \text{ kgf.m})$$

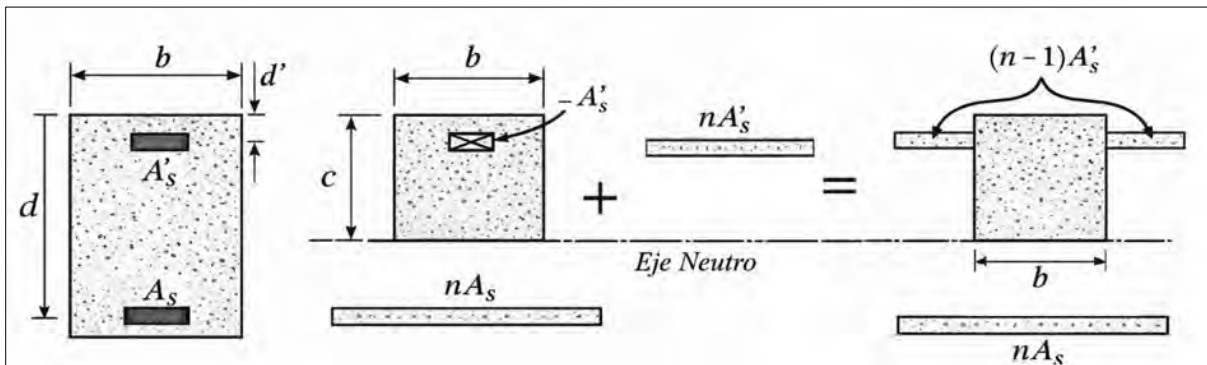
El momento actuante supera el momento de fisuración por lo tanto nos encontramos en la parte agrietada. El momento M_{cr} representa el valor a partir del cual el concreto comienza a fisurarse en tracción.

B. Cálculo de la inercia agrietada I_{cr}

Análisis despreciando la tracción del concreto y usando sección transformada

Figura 18

Sección transformada agrietada



Nota: Tomado del curso de Concreto Armado, Otazzi (2015)

$$A_s = 3,801 \text{ cm}^2; b = 70 \text{ cm}; d = 6,865 \text{ cm}$$

d: peralte efectivo medido desde la fibra comprimida hasta el centroide del acero.

1. Profundidad del eje neutro “c”

De la condición de equilibrio en sección agrietada:

Ecuación 15 Condición de equilibrio sección agrietada

$$\frac{bc^2}{2} = nA_s(d - c) \quad (15)$$

$$c = 0,890 \text{ cm}$$

Todo el concreto a tracción se desprecia, solo el bloque comprimido equilibra el acero transformado.

2. Inercia Agrietada:

Ecuación 16 Inercia agrietada

$$I_{cr} = \frac{bc^3}{3} + nA_s(d - c)^2 \quad (16)$$

$$I_{cr} = \frac{(70 \text{ cm})(0,890 \text{ cm})^3}{3} + (7,97)(3,801 \text{ cm}^2)(6,865 \text{ cm} - 0,890 \text{ cm})^2$$

$$I_{cr} = 1\,097,64 \text{ cm}^4$$

Representa la rigidez cuando el concreto ya está fisurado, pero sin considerar la transición entre no fisurado y fisurado.

C. Inercia efectiva de Branson I_e

Tenemos:

Ecuación 17 Inercia efectiva de Branson I_e

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_u}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_u}\right)^3\right] I_{cr} \quad (17)$$

$$I_e = \left(\frac{390,44 \text{ kgf.m}}{688,00 \text{ kgf.m}}\right)^3 (5\,833,33 \text{ cm}^4) + \left[1 - \left(\frac{390,44 \text{ kgf.m}}{688,00 \text{ kgf.m}}\right)^3\right] (1\,097,64 \text{ cm}^4)$$

$$I_e = 1\,963,18 \text{ cm}^4$$

Esta inercia combina el comportamiento no fisurado y fisurado, es la inercia más realista para el cálculo de deflexión.

$$\frac{I_e}{I_g} = 0,3365$$

La rigidez efectiva de la sección representa aproximadamente el 33,7% de la rigidez bruta, debido al efecto de fisuración del concreto.

D. Deflexión inmediata y diferida

La NTP E.060 - Concreto Armado (2009) determina que las deflexiones pueden evaluarse mediante análisis elástico, considerando: El módulo de elasticidad del concreto, la fisuración, los efectos de largo plazo cuando corresponda.

- Cargas para cálculo de deflexiones

$$w_D = 740 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}; w_L = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}; w_{D+L} = 1\,376 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Trabajamos para la flanja total de $b=0.70 \text{ m}$, convertimos la carga a lineal

$$w_D = 740 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} (0,70 \text{ m}) \frac{100 \text{ cm}}{\text{m}} = 5,18 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}}$$

$$w_L = 200 \frac{kgf}{m^2} (0,70 m) \frac{100 cm}{m} = 1,40 \frac{kgf}{cm}$$

Carga total inmediata:

Ecuación 18 Carga total inmediata

$$W_{ui} = W_D + W_L \quad (18)$$

$$W_{ui} = 6,58 \frac{kgf}{cm}$$

Carga viva sostenida al 30%:

$$W_{L,30\%} = 30\% \left(1,40 \frac{kgf}{cm} \right)$$

$$W_{L,30\%} = 0,42 \frac{kgf}{cm}$$

1. Deflexiones inmediatas:

Ecuación 19 Deflexión inmediata

$$\Delta_i = \frac{5wL^4}{384E_cI_e} \quad (19)$$

- Deflexión inmediata por carga muerta

$$\Delta_{i_CM} = \frac{5w_{CM}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(5,18 kgf/cm)(200 cm)^4}{384(250\,998,01 kgf/cm^2)(1\,963,18 cm^4)} = 2,190 mm$$

- Deflexión inmediata por carga viva 100%

$$\Delta_{i_CV} = \frac{5w_{CV}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(1,40 kgf/cm)(200 cm)^4}{384(250\,998,01 kgf/cm^2)(1\,963,18 cm^4)} = 0,592 mm$$

- Deflexión por carga viva 30%

$$\Delta_{i_{CV30\%}} = \frac{5w_{CV30\%}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(0,42 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(250\,998,01 \text{ kgf/cm}^2)(1\,963,18 \text{ cm}^4)} = 0,178 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = \Delta_{i_{CM}} + \Delta_{i_{CV}} = 2,190 \text{ mm} + 0,592 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = 2,782 \text{ mm}$$

2. Deflexiones diferidas

Según la norma E.060 – Concreto Armado (2009), la deflexión diferida es el resultado del flujo plástico del concreto y de la retracción de los elementos a flexión, pueden estimarse a partir de la deflexión inmediata producida por las cargas sostenidas, las cuales incluyen la carga muerta y la fracción de la carga viva que se considera actuante de manera permanente. Para tal efecto, la normativa propone un factor de incremento que permite aproximar la deflexión diferida mediante la siguiente expresión:

Ecuación 20 Deflexión diferida

$$\Delta_d = \Delta_i \left(\frac{\xi}{1 + 50\rho'} \right) \quad (20)$$

Donde:

ρ' : Cuantía de acero en compresión, determinada en la sección ubicada a la mitad de la luz para elementos simplemente apoyados y continuos, y en la sección de apoyo en el caso de voladizos.

ξ : Factor dependiente del tiempo, asociado a la duración de la acción de las cargas sostenidas.

Tabla 17

 ξ Factor dependiente del tiempo

Tiempo para cargas sostenidas	ξ
5 años o más	2,0
12 meses	1,4
6 meses	1,2
3 meses	1,0

Nota: Tomado de la Norma E.060 - Concreto Armado

En el caso de la losa L-04 se midió las deflexiones en un periodo de 6 meses, por lo tanto, utilizamos $\zeta = 1,2$ en cuanto a la cuantía de acero en compresión es $\rho' = 0$, nuestra losa solo tiene acero positivo a tracción.

- Deflexión diferida por carga muerta

$$\Delta_{d_{CM}} = \Delta_{i_{CM}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 2.190 \text{ mm} \left(\frac{1.2}{1 + 50(0)} \right) = 2,628 \text{ mm}$$

- Deflexión diferida por carga viva 30%

$$\Delta_{d_{CV30\%}} = \Delta_{i_{CM30\%}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 0.178 \text{ mm} \left(\frac{1.2}{1 + 50(0)} \right) = 0,213 \text{ mm}$$

- Deflexión total

La deflexión total se obtiene sumando la deflexión inmediata producida por la acción de las cargas (CV+CM) y el incremento de deformación asociado a los efectos diferidos del concreto (fluencia y retracción del concreto), causados por las cargas sostenidas. En el presente análisis, la carga sostenida considera el 100 % de la carga muerta y el 30 % de la carga viva.

Ecuación 21 Deflexión total

$$\Delta_t = \Delta_i + \Delta_d \quad (21)$$

Tabla 18

Deflexión total losa maciza usando la Norma E.060 – Concreto Armado (2009)

Deflexión	(mm)
Deflexión inmediata CM	2,190
Deflexión inmediata CV 100%	0,592
Deflexión inmediata (I)	2,782
Deflexión diferida CM	2,628
Deflexión diferida CV 30%	0,213
Deflexión diferida (II)	2,841
Deflexión total (I+II)	5,623

Nota: Elaboración propia.

- Verificación de deflexiones y criterio adoptado según el escenario de análisis

Para la verificación de las deflexiones máximas admisibles se tuvo en cuenta el escenario real del ensayo experimental desarrollado. Durante el experimento, la losa maciza unidireccional no estuvo ligada ni soportó componentes no estructurales propensos de sufrir daños por deflexiones excesivas, tales como tabiques, enchapes o cielorrasos rígidos. La carga viva fue simulada mediante sacos dispuestos sobre la losa, los cuales representan únicamente una acción gravitacional y no constituyen elementos frágiles sensibles a deformaciones.

En consecuencia, de acuerdo con la Tabla de límites de deflexión de la NTP E.060 – Concreto Armado (2009), para el escenario experimental analizado corresponde adoptar el límite de deflexión, bajo el cual la losa cumple satisfactoriamente el estado límite de servicio.

Ecuación 22 Limite de deflexión NTP E.060

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{240} \quad (22)$$

$$\Delta_{m\acute{a}x} = \frac{2\,000\,mm}{240} = 8,333\,mm$$

$$\Delta_t = \Delta_i + \Delta_d = 5,623\,mm$$

$$\Delta_t < \Delta_{m\acute{a}x}$$

No obstante, en el diseño de una edificación multifamiliar real, la losa de entrepiso normalmente se encuentra ligada a componentes no estructurales propensos de sufrir daños, como tabiquería o acabados rígidos. En tal caso, la NTP E.060 establece un límite más estricto para la deflexión total, correspondiente a $L/480$.

Este límite no resulta excesivamente restrictivo, ya que la misma normativa permite la adopción de medidas constructivas adicionales, como la provisión de contra flecha. Mediante la aplicación de una contra flecha adecuada, la deflexión final efectiva, definida como la diferencia entre la deflexión total calculada y la contra flecha proporcionada, puede mantenerse dentro del límite normativo sin necesidad de modificar el espesor ni la cuantía de refuerzo del elemento estructural.

Tomando ese criterio:

$$\Delta_t - \Delta_{contraflecha} \leq \frac{L}{480}$$

$$\Delta_{contraflecha} = \Delta_t - \frac{L}{480} = 5,623 \text{ mm} - \frac{2\,000 \text{ mm}}{480} = 1,5 \text{ mm}$$

Entonces:

$$\Delta_{efectiva} = \Delta_t - \Delta_{contraflecha} \leq \frac{L}{480}$$

$$\Delta_{efectiva} = 4.14 \leq 4.16$$

Finalmente, para efectos de la presente investigación, y considerando las condiciones reales de la experimentación, en las cuales no se emplearon elementos no estructurales susceptibles de daño, así como con el objetivo de mantener criterios homogéneos y precisos para la comparación y análisis de resultados, se adopta como referencia la deflexión máxima admisible correspondiente a $L/480$.

4.2 Deflexiones en losas macizas - Simulación SAP2000

En la presente investigación, la respuesta estructural de las losas macizas unidireccionales de concreto armado será evaluado mediante el modelado numérico en el programa SAP 2000, el cual permite simular de manera adecuada la respuesta estructural de elementos de concreto bajo diferentes condiciones de carga y apoyo.

En el modelo se definirán las combinaciones de carga de servicio establecidas por la normativa vigente, incorporando el peso propio, las cargas muertas adicionales y la carga viva correspondiente. Asimismo, se considerará el criterio normativo adoptado para la evaluación de deflexiones, incluyendo la reducción de rigidez asociada a la fisuración, mediante el uso de propiedades efectivas compatibles con el ACI 318.

Finalmente, a partir del análisis estructural, se obtendrán las deflexiones verticales máximas en el centro de la luz de las losas, las cuales serán utilizadas para la comparación con los resultados obtenidos mediante el cálculo teórico (NTP E.060) y los ensayos ensayados en laboratorio, permitiendo así evaluar el grado de concordancia entre el modelo numérico y el comportamiento real observado.

4.2.1 Definición del material

Se definió un material tipo concreto, considerando el $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$. Las propiedades mecánicas fueron asumidas dentro del rango elástico lineal, dado que el análisis se desarrolla en el estado límite de servicio, donde no se espera un comportamiento no lineal del material.

Figura 19

Propiedades del material definidas en el software SAP 2000

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The 'General Data' section includes 'Material Name and Display Color' (f'c=280kg/cm2), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' (f'c 4000 psi), and 'Material Notes'. The 'Weight and Mass' section shows 'Weight per Unit Volume' (2400) and 'Mass per Unit Volume' (244.7319). The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (2.527E+09), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9.900E-06), and 'Shear Modulus, G' (1.053E+09). The 'Other Properties For Concrete Materials' section includes 'Specified Concrete Compressive Strength, f'c' (2800000), 'Expected Concrete Compressive Strength' (2800000), and a checkbox for 'Lightweight Concrete'. The 'Switch To Advanced Property Display' checkbox is unchecked. The 'OK' and 'Cancel' buttons are at the bottom.

Nota: Elaboración Propia

4.2.2 Tipo de elementos y sección (Shell - Thin)

Las losas fueron modeladas mediante elementos tipo *Shell - Thin*, los cuales permiten representar adecuadamente el comportamiento a flexión de elementos planos de pequeño espesor en relación con su luz. Se consideró únicamente la contribución de la rigidez a flexión, descartando deformaciones por corte.

Figura 20

Propiedades de la sección shell definidas en el software SAP 2000

The image shows the 'Shell Section Data' dialog box in SAP 2000. The 'Section Name' field contains 'Losa'. The 'Section Notes' field is empty, and there is a 'Modify/Show...' button next to it. The 'Display Color' is set to a magenta square. Under the 'Type' section, 'Shell - Thin' is selected with a radio button. Other options include 'Shell - Thick', 'Plate - Thin', 'Plate Thick', 'Membrane', and 'Shell - Layered/Nonlinear'. There is a 'Modify/Show Layer Definition' button below these options. The 'Thickness' section has two input fields: 'Membrane' and 'Bending', both set to 0.1. The 'Material' section has a 'Material Name' dropdown set to 'f'c=280kg/cm2' and a 'Material Angle' input field set to 0. There is a 'Set Time Dependent Properties...' button below the material section. The 'Concrete Shell Section Design Parameters' section has a 'Modify/Show Shell Design Parameters...' button. The 'Stiffness Modifiers' section has a 'Set Modifiers...' button. The 'Temp Dependent Properties' section has a 'Thermal Properties...' button. At the bottom, there are 'OK' and 'Cancel' buttons.

Nota: Elaboración Propia

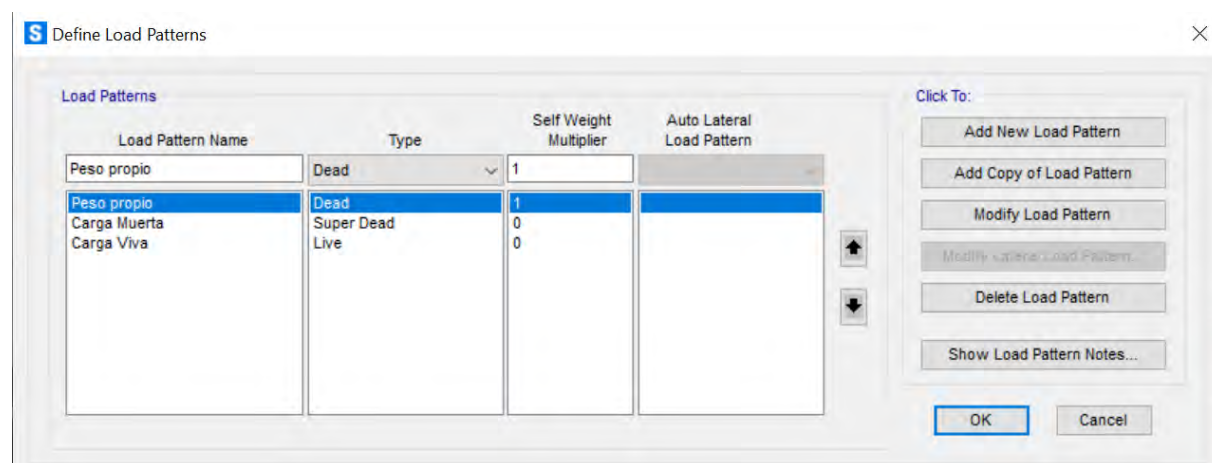
4.2.3 Definición de cargas

Se definieron los patrones de carga correspondientes al peso propio, carga muerta adicional y carga viva, considerando factores unitarios, dado que el análisis se realiza en condiciones de servicio. El peso propio fue considerado automáticamente por

el programa, mientras que las demás cargas fueron aplicadas de manera uniforme sobre el área de la losa.

Figura 21

Patrones de carga definidos en el software SAP 2000

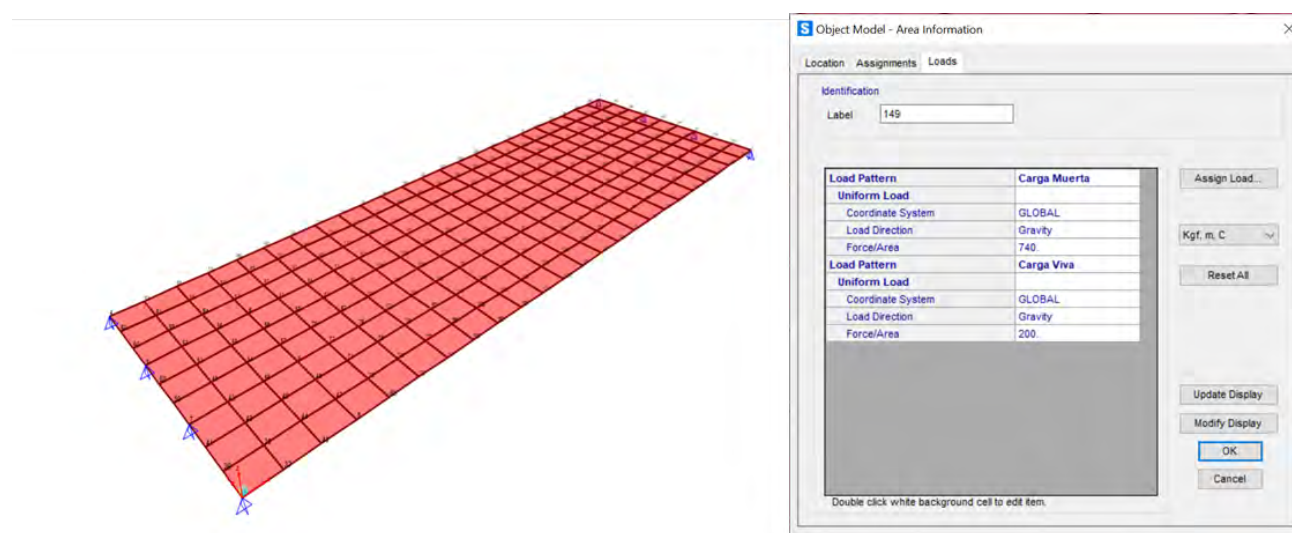


Nota: Elaboración Propia

4.2.4 Condiciones de apoyo, discretización y asignación de cargas a la losa

Figura 22

Asignación de CV y CM, extraído del software SAP 2000



Nota: Elaboración Propia

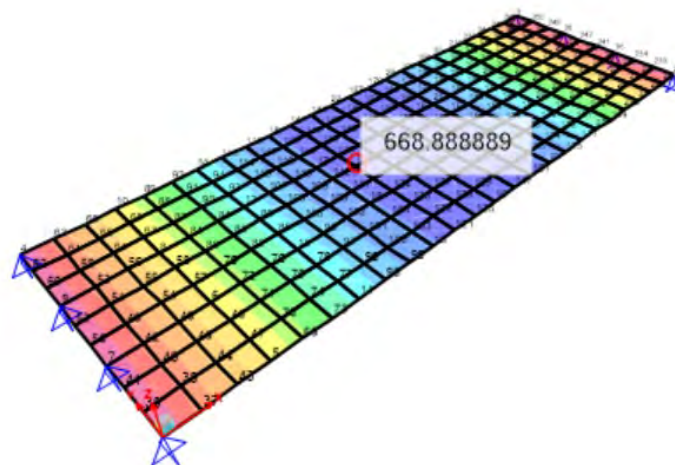
Las condiciones de apoyo fueron modeladas como simplemente apoyadas, reproduciendo las condiciones reales de ensayo en laboratorio. Esta idealización permite una comparación directa con las expresiones analíticas clásicas de deflexión para losas unidireccionales simplemente apoyadas. La discretización de la losa se realizó con una malla regular de elementos finitos tipo *Shell*, lo cual permite capturar adecuadamente la distribución de rigideces y deformaciones.

4.2.5 Verificación de cuantía de acero

El momento último de diseño, se determinó a partir de los esfuerzos obtenidos en los elementos tipo *Shell* mediante el análisis estructural en SAP 2000, considerando combinaciones de carga de resistencia. Se evaluaron los momentos flectores por unidad de ancho, seleccionándose el valor máximo como momento último representativo para la franja unitaria de la losa.

Figura 23

Distribución del momento flector último en franja de la losa, extraído del software SAP 2000



Nota: Elaboración Propia

Tabla 19

Momentos flectores últimos por unidad de ancho en losa (1.4CM+1.7CV), en los nudos (joints) 137 Y 138, extraído del software SAP 2000

Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf-m/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
144	144	Shell-Thin	137	1.4CM + 1.7CV	Combination	688	137,6	-2,785E-11
144	144	Shell-Thin	157	1.4CM + 1.7CV	Combination	683.22	136,64	-1,245E-11
144	144	Shell-Thin	158	1.4CM + 1.7CV	Combination	683,22	136,64	-1,245E-11
144	144	Shell-Thin	138	1.4CM + 1.7CV	Combination	688	137,6	-2,785E-11

Nota: Elaboración Propia.

La cuantía de acero de la losa fue determinada a partir del momento último obtenido del análisis estructural en SAP 2000, aplicando los criterios de diseño por resistencia establecidos en el ACI 318 - 19. El cálculo se realizó considerando una franja unitaria de 10 cm de ancho, verificándose que la cuantía obtenida supera el refuerzo mínimo exigido por la normativa. Se considera el mismo acero utilizado en la experimentación 3 acero de ½”.

Tenemos:

Ecuación 23 Resistencia nominal a flexión

$$R_u = \frac{M_y}{bd^2}; \quad (23)$$

Ecuación 24 Área de acero de refuerzo

$$A_s = \rho bd \quad (24)$$

Tabla 20

Verificación de cuantía de acero

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
a´=	10,00	cm	Franja de diseño (discretización)
re=	2,50	cm	Recubrimiento de la losa
Mu=	6 880,00	kgf.cm	Momento último
h=	10,00	cm	Altura de la losa
d=	7,50	cm	Peralte efectivo
f´c=	280,00	kgf/cm ²	Resistencia del concreto
fy=	4 200,00		Fluencia del acero
Ru=	12,23	kgf/cm ²	Esfuerzo de diseño acero
ρ=	0,00333		Cuantía Mecánica > 0.0018 OK
As=	0,25	cm ²	Acero requerido franja 10 cm
	2,50	cm ²	Aplicado para todo el ancho 0.70 m
As asum.=	3,80	cm ²	3φ1/2"

Nota: Elaboración propia

4.2.6 Inercia bruta y momento de fisuración

El análisis se desarrolló considerando una franja unitaria de la losa, con el objetivo de evaluar su comportamiento a nivel de servicio. A partir de la geometría de la sección y de las propiedades del concreto y del acero, se determinó la inercia bruta de la losa y el momento de fisuración, lo cual permitió identificar el inicio del agrietamiento por flexión.

Tenemos:

Ecuación 25 Inercia bruta sección rectangular

$$I_g = \frac{b'h^3}{12} \quad (25)$$

Ecuación 26 Módulo de rotura del concreto

$$f_r = 2\sqrt{f'c} \quad (26)$$

Ecuación 27 Momento de fisuración

$$M_{cr} = \frac{2I_g f_r}{h} \quad (27)$$

Tabla 21

Cálculo de inercia bruta, momento de fisuración

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Inercia bruta			
b´	10,00	cm	Franja 10 cm
h=	10,00	cm	Altura de losa
Ig=	833,33	cm ⁴	Inercia bruta
Momento de fisuración			
f´c	280,00	kgf/cm ²	Resistencia a la compresión
λ	1,00		Factor por tipo de concreto (concreto normal)
fr	33,47	kgf/cm ²	Módulo de rotura del concreto 2*sqrt(f´c)
Mcr=	55,78	kgf.m	Momento de fisuración

Nota: Elaboración propia

4.2.7 Relación I_e/I_g

Una vez fisurada la sección, se estableció la relación modular entre el acero y el concreto, lo que permitió determinar la posición del eje neutro y la correspondiente inercia fisurada. Con estos parámetros, se calculó la inercia efectiva mediante la

formulación de Branson, la cual considera el grado de fisuración de la sección en función del momento actuante de servicio.

Tabla 22

Momento actuante de servicio, extraído del software SAP 2000

TABLE: Element Forces - Area Shells								
Area	AreaElement	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	M11	M22	M12
Text	Text	Text	Text	Text	Text	Kgf-m/m	Kgf-m/m	Kgf-m/m
144	144	Shell-Thin	137	Servicio	Combination	470	94	-1.927E-11
144	144	Shell-Thin	157	Servicio	Combination	466.74	93.35	-8.73E-12
144	144	Shell-Thin	158	Servicio	Combination	466.74	93.35	-8.73E-12
144	144	Shell-Thin	138	Servicio	Combination	470	94	-1.927E-11

Nota: Elaboración propia.

Tenemos:

Ecuación 28 Posición del eje neutro "c"

$$b'c^2 + 2nA_s(c - d) = 0; I_{cr} = \frac{b'c^3}{3} + nA_s(d - c)^2 \quad (28)$$

Ecuación 29 Momento de inercia efectivo Branson

$$I_e = \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \quad (29)$$

Tabla 23

Cálculos de Relación modular, eje neutro, inercia fisurada y efectiva

Parámetro	Valor	Unidad	Descripción
Relación modular			
$E_c =$	252 671,33	kg/cm ²	Módulo de elasticidad
	2 000		
$E_s =$	000,00	kg/cm ²	Módulo de acero
$n = E_s/E_c$	7,92		Relación modular E_c/E_s
Eje neutro (c)			
$n =$	7,92		Relación modular E_c/E_s
$A_s =$	0,38	cm ²	Acero equivalente franja 10 cm
$b' =$	10,00	cm	Franja 10 cm
$d =$	7,50	cm	Peralte efectivo
$c =$	3,16	cm	Profundidad del eje neutro sección fisurada
Inercia fisurada			
$I_{cr} =$	161,70	cm ⁴	
			Momento actuante de servicio (CV+CM) SAP 2000
$M_a =$	4 700,00	kgf-cm	
$M_{cr} =$	1 076,19	cm ⁴	
Inercia efectiva			
$I_e =$	169,77	cm ⁴	
$I_e/I_g =$	0,20		Relación I_e/I_g

Nota: Elaboración propia

Este procedimiento permitió establecer una relación ajustada entre la inercia bruta y la inercia efectiva, reflejando de manera más realista la pérdida de rigidez asociada al agrietamiento del concreto. Dicha relación fue empleada para corregir los resultados obtenidos mediante el SAP 2000, permitiendo calcular la deflexión inmediata de la losa considerando explícitamente el efecto de la fisuración, en concordancia con los criterios que considera este programa (ACI 318 - 19).

4.3 Deflexiones en losas macizas – Ensayos de laboratorio

4.3.1 Caracterización y selección de materiales

Para la investigación, se adquirieron agregados de las canteras de Vicho y Cunyac en Cusco. Esta elección se basó en una encuesta realizada a 9 proveedores locales (30 registros), la cual se detalla en el Anexo 10.7., quienes identificaron a estas fuentes como las de mayor calidad, recomendación y uso frecuente para concreto estructural en el distrito de San Jerónimo.

Tabla 24:

Piedra de 1/2" - Frecuencia por procedencia y recomendación

Procedencia	Total menciones	Recomendada	Alternativa/otros	% recomendada
Vicho	5	5	0	100 %
Huambutío	6	0	6	0 %
Huambutío roja	1	0	1	0 %
Wilki	1	0	1	0 %
Surite	1	0	1	0 %
TOTAL	14	5	9	36 %

Nota: Elaboración Propia

Vicho obtuvo 5 menciones como "Recomendada" de las 14 menciones totales de piedra (35,7%). Es la que fue la más recomendada para este tipo de agregado.

Cunyac obtuvo 6 menciones como "Recomendada" de las 17 menciones totales de arena (35,3%). Es la cantera con mayor frecuencia de recomendación, superando a Vicho (2), Pisac y Huacarpay.

Tabla 25:

Arena gruesa - Frecuencia por procedencia y recomendación

Procedencia	Total, menciones	Recomendada	Alternativa/Otros	% Recomendada
Cunyac	6	6	0	100 %
Vicho	3	2	1	67 %
Pisac	3	0	3	0 %
Huacarpay	3	0	3	0 %
Huambutío	2	0	2	0 %
TOTAL	17	8	9	47 %

Nota: Elaboración Propia

Los datos estadísticos demuestran con respaldo mayoritario que la Piedra de 1/2" de Vicho y la Arena gruesa de Cunyac son los materiales más recomendados por los proveedores del mercado local de Cusco, lo que justifica su selección como materiales de referencia para la presente tesis.

❖ Cantera Vicho: Esta cantera está ubicada en la provincia de Paucartambo.

De esta fuente se obtiene principalmente agregado grueso, siendo considerada una de las más importantes proveedoras de este material para el Cusco. Su producción abastece de manera constante a las obras de construcción, garantizando agregados de calidad aceptable para concreto estructural.

❖ Cantera Cunyac: está situada en el departamento de Apurímac, a lo largo de la vía Cusco–Abancay. El agregado se obtiene de la ribera del río Apurímac, presentando características físicas favorables para la producción de concreto.

Debido a estas propiedades, gran parte de los proveedores del Cusco emplean con frecuencia este material.

En el laboratorio de suelos y materiales de la Facultad de Ingeniería Civil se ejecutaron diversos ensayos destinados a determinar las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, con el objetivo de establecer el diseño de mezcla para una resistencia característica de 280 kgf/cm^2 . Estos ensayos se realizaron siguiendo las normas técnicas peruanas (NTP) y los métodos de ensayo del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), garantizando la validez y confiabilidad de los resultados. A continuación, se presenta la relación de ensayos ejecutados:

Tabla 26

Ensayos en agregados grueso y agregado fino para diseño de mezcla

N°	DESCRIPCIÓN	NORMA MTC / NTP
1	Extracción y preparación de muestras de agregados	MTC E 201, NTP 400.010
2	Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200	MTC E 202, NTP 400.037
3	Peso unitario y vacíos de los agregados	MTC E 203, NTP 400.017
4	Análisis granulométrico del agregado fino (AF)	MTC E 204, NTP 400.012
5	Análisis granulométrico del agregado grueso (AG)	MTC E 204, NTP 400.012
6	Peso específico y absorción del agregado fino (AF)	MTC E 205, NTP 400.020
7	Peso específico y absorción del agregado grueso (AG)	MTC E 206, NTP 400.021
8	Abrasión de Los Ángeles en agregados	MTC E 207, NTP 400.019
9	Contenido de humedad por secado en agregados	MTC E 208, NTP 339.185

Nota. Elaboración propia.

La descripción detallada de los ensayos aplicados a los agregados se incluye en el Anexo 10.9.1 (Ensayos en agregados).

4.3.1.1 Diseño de mezcla concreto $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Para el diseño de mezcla se siguió la metodología del comité del ACI

- Resistencia especificada a la compresión

Resistencia especificada a la compresión de concreto de losas unidireccionales de concreto macizo, según objetivos de la investigación: $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$

Cusco es una zona de alta pluviosidad. Si usamos un concreto convencional, la permeabilidad permitiría el ingreso de humedad hacia el refuerzo, comprometiendo la vida útil de la estructura por corrosión, por ello para el diseño de la losa maciza, se ha considerado un concreto de $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, siguiendo los requisitos de durabilidad de la Norma E.060, Tabla 4.2.

La elección del concreto no solo se fundamenta en la normativa vigente, sino también en los criterios de desempeño de la propuesta de actualización de la Norma E.060 (2019). Bajo este nuevo enfoque, las estructuras en la ciudad de Cusco se clasifican dentro de la Categoría de Exposición F1 (Congelamiento y Deshielo con humedad ocasional). Según la Tabla 4.3.1, para esta condición es obligatorio un $f'c$ mínimo de 28 MPa y una relación agua/cemento máximo de 0,50, asegurando así que el concreto evite la degradación prematura por el fenómeno de expansión del hielo en los poros capilares.

- Determinación del revenimiento del concreto en condición fresca

Tabla 27

Revenimiento recomendado de acuerdo con tipo de construcción

TIPO DE CONTRUCCIÓN	Revenimiento SLUMP (")	
	Comp. con vibrador	Comp. manual
Concreto Masivo	2"	3"
Muros gruesos, zapatas, cimientos, corridos, vigas de cimentación	3"	4"
Losas, sobre suelo y encofradas	3"	4"
Vigas, muros con ancho $t > 30$ cm	4"	5"
Columnas	4"	5"
Secciones delgadas o secciones congestionadas de armadura (acero)	5"	N.A.

Nota: Datos tomados del Manual de Construcción Yura S.A. Concretos Supermix
(2017)

Tabla 28

Tipo de consistencia de acuerdo con SLUMP y Método de Compactación

Descripción de la consistencia	SLUMP	Método de Compactación
Tiesa	0 - 1 (*)	Compac. por vibr. y presión
Tiesa - plástica	1 - 2	Vibración normal
Plástica	3 - 4	Vibración ligera y chuceado
Fluida	5 - 7	Chuseado

(*) La prueba de SLUMP es poco confiable en este rango

Nota: Datos tomados del Manual de Construcción Yura S.A. Concretos Supermix
(2017)

De acuerdo con las tablas de referencia, se seleccionó un asentamiento de 3" para las encofradas.

- Datos iniciales para diseño

Tabla 29

Datos diseño de mezcla

Datos para diseño:		
Yura Tipo I		
F'c	280	kgf/cm ²
Pe	3,15	gr/cm ³
slump	3	pulg

Nota: Elaboración propia.

Tabla 30

Resultado ensayo de agregados

Agregados	Fino	Grueso	Unidad
Peso unitario suelto	1 829,69	1 622,20	kg/m ³
Peso unitario compactado	1 961,73	1 754,24	kg/m ³
Peso específico	2 680,00	2 730,00	kg/m ³
Módulo de fineza	2,48	6,91	
TMN	-	3/4"	
%abs	1,83 %	1,24 %	
%w	0,55 %	0,32 %	

Nota: Elaboración propia

- Cálculo f'cr (resistencia promedio requerida)

Ante la ausencia de datos para usar la desviación estándar, se adoptaron los valores de la siguiente tabla.

Tabla 31

Valores de $f'c$ para diseño de mezcla

Res. especificada..a la compresión		Res. promedio requerida a la compresión	
$f'c$	(kgf/cm ²)	$f'cr$	(kgf/cm ²)
Menores a 210		$f'cr = f'c + 70$	
Entre 210 y 350		$f'cr = f'c + 84$	
Mayores a 350		$f'cr = f'c + 98$	

Nota: Tomado de la NTP E.060 - Concreto Armado (2019)

Entonces: $f'cr = 280 + 84 = 364 \text{ kgf/cm}^2$

- Contenido de aire

Tabla 32

Cantidad de aire atrapado

TMN A.G.	Aire atrapado
3/8"	3,00 %
1/2"	2,50 %
3/4"	2,00 %
1"	1,00 %
1 1/2"	1,50 %
2"	0,50 %
3"	0,30 %
6"	0,20 %

Nota: Datos tomados de ACI Committee 211 (2002).

Del cuadro, según el TMN $\frac{3}{4}$ " del agregado grueso, el contenido de aire atrapado corresponde a 2,00 %.

- Contenido de agua

Tabla 33

Volumen unitario de agua

Asentamiento	Agua en L/M3 para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	4 "
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	-
Concreto 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	-

Nota: Datos tomados de ACI Committee 211 (2002).

La determinación del volumen unitario de agua depende principalmente del asentamiento requerido, del tamaño máximo nominal (TMN) del agregado grueso y de las condiciones de incorporación de aire en la mezcla. En términos generales, concretos con mayores valores de asentamiento requieren una mayor cantidad de agua para garantizar la fluidez y manejabilidad necesarias durante el proceso constructivo.

Del cuadro para un asentamiento entre 3" a 4" y un TMN de $\frac{3}{4}$ " se relaciona con un volumen unitario de agua de 205 l/m³.

- Relación de a/c (por resistencia de f'_{cr})

Tabla 34

Relación a/c por resistencia

f'cr (28 días) kgf/cm ²	Relación a/c de diseño por peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0,80	0,71
200	0,70	0,70
250	0,62	0,61
300	0,55	0,53
350	0,48	0,46
400	0,43	0,40
420	0,40	-

Nota: Datos tomados de ACI Committee 211 (2002).

Se interpola los datos para una resistencia requerida $f'_{cr} = 364$ kgf/cm² y considerando el concreto sin aire incorporado. Como resultado, la relación a/c por resistencia f'_{cr} es 0,47.

- Contenido de cemento

Se tiene la relación a/c=0.47 y el volumen unitario de agua 205 l/m³.

Ecuación 30 Relación agua/cemento

$$\text{agua/cemento} = \frac{a}{c} \quad (30)$$

$$\frac{a}{c} = \frac{205}{c} = 0,47$$

$$c = 439.91 \frac{kg}{m^3}$$

Por lo tanto, el Factor cemento es:

$$FC = \frac{439,91 \text{ kg}}{42 \frac{\text{kg}}{\text{bolsa}}} FC = 10,35 \text{ bolsas de cemento}$$

- Peso del agregado grueso

Tenemos MF= 2,48, TMN= $\frac{3}{4}$ "

Tabla 35

Peso agregado grueso por unidad de volumen de C°

TMN del AG	VOLÚMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO, PARA DIVERSOS MÓDULOS DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2,40	2,60	2,80	3,00
$\frac{3}{8}$ "	0,50	0,48	0,46	0,44
$\frac{1}{2}$ "	0,59	0,57	0,55	0,53
$\frac{3}{4}$ "	0,66	0,64	0,62	0,60
1 "	0,71	0,69	0,67	0,65
1 $\frac{1}{2}$ "	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

Nota: Datos tomados de ACI Committee 211 (2002).

Debido a que el $MF = 2,48$, interpolamos en la fila del TMN de $\frac{3}{4}$ ". Realizando el cálculo obtenemos:

$$\frac{Peso_{AG}}{C^{\circ}} = 0,65 \frac{m^3}{m^3 C^{\circ}}$$

Del ensayo de los agregados se tiene:

$$Peso \text{ unitario compactado } (PUC_{AG}) = 1\,754,24 \frac{kg}{m^3}$$

Entonces:

Ecuación 31 Peso agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI)

$$Peso \text{ AG} = PUC_{AG} * \frac{Peso_{AG}}{C^{\circ}} \quad (31)$$

$$Peso \text{ AG} = 1\,754,24 \frac{kg}{m^3} * 0,65 \frac{m^3}{m^3 C^{\circ}}$$

$$Peso \text{ AG} = 1\,143,77 \frac{kg}{m^3}$$

- Volumen absoluto

Tenemos: Aire: 2,00 %, agua: 205 l/m³, Cemento: 439,91 kg/m³, Peso AG: 1 143,77 kg/m³

Calculamos el volumen absoluto:

$$V_{\text{cemento}} = \frac{439,91 \frac{kg}{m^3}}{Pe_{\text{cemento}}} = \frac{439,91 \frac{kg}{m^3}}{2\,850 \frac{kg}{m^3}} = 0,154$$

$$V_{\text{agua}} = \frac{205 \frac{l}{m^3}}{Pe_{\text{agua}}} = \frac{205 \frac{l}{m^3}}{1\,000 \frac{kg}{m^3}} = 0,205$$

$$V_{aire} = 2,00 \frac{\%}{m^3} = \frac{2}{100} = 0,020$$

$$V_{AG} = \frac{Peso\ AG}{Peso\ Esp.\ AG} = \frac{1\ 143,77 \frac{kg}{m^3}}{2\ 730,00 \frac{kg}{m^3}} = 0,419$$

Con el volumen absoluto de la mezcla, se obtiene el volumen absoluto de agregado fino y el peso de este.

$$V_{cemento} + V_{agua} + V_{aire} + V_{AG} + V_{AF} = 1,00$$

$$0,154 + 0,205 + 0,020 + 0,419 + V_{AF} = 1,00$$

$$V_{AF} = 0,202$$

- Cálculo del peso del agregado fino

Ecuación 32 Peso agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)

$$Peso\ AF = V_{AF} * PE_{AF} \quad (32)$$

$$Peso\ AF = 0,202 * 2\ 680,00 \frac{kg}{m^3}$$

$$Peso\ AF = 504,51 \frac{kg}{m^3}$$

- Presentación del diseño - estado seco
 - Cemento: 439.91 kg/m³
 - Agua: 205 l/m³
 - Peso AG: 1 143,77 kg/m³
 - Peso AF: 504,51 kg/m³
- Ajuste por contenido de humedad agregados

Para el agregado fino:

Ecuación 33 Ajuste contenido de humedad agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)

$$AF_{w\%} = \text{Peso seco}_{AF} \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right) \quad (33)$$

$$AF_{w\%} = 540,51 \frac{kg}{m^3} \left(\frac{0,55}{100} + 1 \right)$$

$$AF_{w\%} = 543,48 \frac{kg}{m^3}$$

Para el agregado grueso:

Ecuación 34 Ajuste contenido de humedad agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI)

$$AG_{w\%} = \text{Peso seco}_{AG} \left(\frac{w\%}{100} + 1 \right) \quad (34)$$

$$AG_{w\%} = 1\,147,43 \frac{kg}{m^3}$$

- Contribución de agua

Para el agregado fino:

Ecuación 35 Aporte de agua al agregado fino (Diseño de mezcla - ACI)

$$\text{Aporte de agua al AF} = \frac{(\%w - \%abs) * AF_{w\%}}{100} \quad (35)$$

$$\text{Aporte de agua al AF} = \frac{(0,55 - 1,83) * 543,48 \frac{kg}{m^3}}{100}$$

$$\text{Aporte de agua al AF} = -6,96 \frac{l}{m^3}$$

Para el agregado grueso:

Ecuación 36 Aporte de agua al agregado grueso (Diseño de mezcla - ACI)

$$\text{Aporte de agua al AG} = \frac{(\%w - \%abs) * AG_{w\%}}{100} \quad (36)$$

$$\text{Aporte de agua al AG} = \frac{(0,32 - 1,24) * 1\,147,43 \frac{kg}{m^3}}{100}$$

$$\text{Aporte de agua al AG} = -10,56 \frac{l}{m^3}$$

$$\text{Aporte de agua al AF} + \text{Aporte de agua al AG} = -17,51 \frac{l}{m^3}$$

- Agua efectiva

Ecuación 37 Agua efectiva (Diseño de mezcla - ACI)

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua} - (\text{Aposte de agua AF} + \text{Aposte de agua AG}) \quad (37)$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \frac{l}{m^3} - \left(-10,56 \frac{l}{m^3} \right)$$

$$\text{Agua efectiva} = 222,51 \frac{l}{m^3}$$

- Diseño teórico húmedo

Corregimos el cemento usando la relación agua/cemento y el agua efectiva

Tenemos:

$$\text{Relación } \frac{a}{c} = \frac{\text{agua efectiva}}{c} = \frac{222,51}{c} = 0,47$$

$$c = 477,50 \frac{kg}{m^3}$$

- Diseño en peso

Tabla 36

Resumen diseño de mezcla

Material	Valor	Unidad		Proporción en peso
Cemento	477,50	kg/m ³	$\frac{477,50 \frac{kg}{m^3}}{477,50 \frac{kg}{m^3}}$	1
Agregado fino	543,48	kg/m ³	$\frac{543,48 \frac{kg}{m^3}}{477,50 \frac{kg}{m^3}}$	1,14
Agregado grueso	1147,43	kg/m ³	$\frac{1\,147,43 \frac{kg}{m^3}}{477,50 \frac{kg}{m^3}}$	2,40
Agua	222,51	l/m ³	$\frac{222,51 \frac{l}{m^3}}{477,50 \frac{kg}{m^3}}$	a/c = 0,47

Nota: Elaboración propia.

- Diseño en volumen

$$\frac{\text{Proporción Peso} * 42,5 * 35,31}{\text{Peso Unitario Suelto Seco}}$$

$$\text{Cemento} = 1 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = \frac{1,14 * 42,5 * 35,31}{1\,829,69} = 0,93 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = \frac{2,40 * 42,5 * 35,31}{1\,622,20} = 2,22 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 0,47 * 42,5 = 19,81 \text{ l}$$

Cemento: Agregado fino: Agregado Grueso

1 : 1,93 : 2,22 con 19,81 l. de agua

4.3.1.2 Cálculo de volumen de concreto

Se determinó la cantidad de concreto requerido para los testigos cilíndricos de concreto (ensayo de resistencia a la compresión en laboratorio) y cantidad de concreto para ensayos de deflexión en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm².

Tabla 37

Cálculo de volumen de concreto para ensayos

METRADO DE CONCRETO PARA ENSAYOS							
Muestras cilíndricas	N° de especímenes	Diámetro (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volume n teórico (m ³)	Volumen vaciado. Inc. Des. (m ³)
Evaluación de resistencia a compresión de especímenes de concreto (280 kgf/cm ²)							
						TOTAL	0,05
Testigo							
cilíndrico	6,00	0,15	-	-	0,30	0,03	0,05
Losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm ² - Ensayos de deflexión							
						TOTAL	0,91
Testigo							
cilíndrico	3,00	0,15	-	-	0,30	0,02	0,05
Losa de							
concreto	4,00	-	2,20	0,75	0,10	0,66	0,86

Nota: Elaboración propia.

4.3.1.3 Preparación y curado de especímenes de concreto en laboratorio

Se elaboró las muestras de acuerdo a la NTP 339.183.

- Procedimiento

Se realizó el cálculo de cantidad de materiales para el vaciado de 6 briquetas cilíndricas para realizar el ensayo.

Tabla 38

Requerimiento de material para testigos cilíndricos

Material	Cantidad de material por m ³		Volumen vaciado 6 briquetas (m ³)	Cantidad de material 6 briquetas	
Cemento	477,50	kg/m ³	0,05	23,88	kg
Agregado fino	543,48	kg/m ³	0,05	27,17	kg
Agregado grueso	1 147,43	kg/m ³	0,05	57,37	kg
Agua	222, 51	l/m ³	0,05	11,13	l

Nota: Elaboración propia

1. Preparación de materiales para elaboración de briquetas

De acuerdo con la cantidad de m³ de vaciado se realizó la preparación de cantidad de material de agregado grueso/fino, cemento y agua

Figura 24

Agregado grueso para ensayo de briquetas



Nota: Elaboración propia.

Figura 25

Pesaje de agregado fino, cemento y agua para ensayo de briquetas



Nota: Elaboración propia

2. Mezcla de concreto para briquetas de control

Según la NTP E.060 – Concreto Armado (2019), la resistencia de una clase de concreto se considera aceptable cuando cumple simultáneamente con dos condiciones de control de calidad:

- En primer lugar, el promedio aritmético de tres ensayos consecutivos de resistencia debe ser igual o mayor que la resistencia especificada f'_c .
- En segundo lugar, ningún resultado individual de resistencia -obtenido a partir del promedio de dos cilindros de 6"×12" o tres cilindros de 4"×8"- debe ser inferior a f'_c en más de 3,5 MPa cuando f'_c es menor o igual a 35 MPa, ni en más del 10 % de f'_c cuando esta resistencia es mayor a 35 MPa.

Figura 26

Elaboración de especímenes de concreto para ensayo de compresión.



Nota: Elaboración propia.

Por lo tanto, se elaboró las 6 briquetas de concreto (considerando un ensayo como el promedio de dos cilindros de 6"x12", y realizando 3 ensayo consecutivos, de los cuales estos deben ser superiores al $f'c = 280\text{kgf/cm}^2$, como indica la norma) con un trompo pequeño, asimismo, se realizó el control de asentamiento con la prueba de cono de Abrams (NTP 339.035).

3. Vaciado de concreto en moldes de briquetas

Se realizó el vaciado en los moldes cilíndricos de 6" x 12", posteriormente se esperaron 24 horas para el desencofrado e inicio de curado en los pozos.

Figura 27

Izquierda: preparación de la mezcla de concreto. Derecha: ensayo de asentamiento



Nota: Elaboración propia

De acuerdo con las dimensiones de las briquetas, la compactación del concreto se realizó mediante varillado en 3 capas, con una altura aproximada de 10 cm.

Figura 28

Briquetas (6"x12") cilíndricas de control



Nota: Elaboración propia

4. Desencofrado y curado de briquetas

Las muestras se extrajeron de sus moldes en un tiempo de 24 horas y colocadas por inmersión en un pozo de agua, para lograr la condición de humedad necesaria.

Figura 29

Extracción de muestras cilíndricas



Nota: Elaboración propia.

Figura 30

Especímenes cilíndricos de concreto para inmersión en pozo de agua



Nota: Elaboración propia.

El siguiente cuadro presenta las características de los seis especímenes para el ensayo de compresión. El tiempo de curado fue de 28 días, y se realizaron 3 ensayos individuales (considerando en cada caso el promedio de ensayo en dos briquetas).

Tabla 39

Características de especímenes (briquetas) para ensayo a compresión

ESPECÍMENES (BRIQUETAS) PARA ENSAYO DE COMPRESIÓN					
Código	Fecha de elaboración	Fecha de desencofrado	Tiempo de curado (dc)	Resistencia de diseño $f'c$ (kgf/cm ²)	Ensayo individual (promedio de dos briquetas)
MA-01	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	MA
MA-02	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	
MB-01	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	MB
MB-02	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	
MC-01	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	MC
MC-02	12/02/2025	13/02/2025	28	280,00	

Nota: Elaboración propia.

4.3.1.4 Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos en laboratorio

Para la evaluación de la resistencia del concreto, ningún ensayo individual - definido como el promedio de resistencia de dos briquetas- deberá ser inferior a la resistencia especificada f'_c en más de 3,5 MPa cuando f'_c sea igual o menor a 35 MPa. Asimismo, el promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos deberá ser igual o superior a f'_c , de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica Peruana E.060 – Concreto Armado (2009).

Conforme a los procedimientos estipulados en la Norma Técnica Peruana NTP 339.034, se obtienen los siguientes resultados:

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MA-01: 301,50 kgf/cm²

Figura 31

Especimen MA-01_ Ensayo de compresión en briqueta

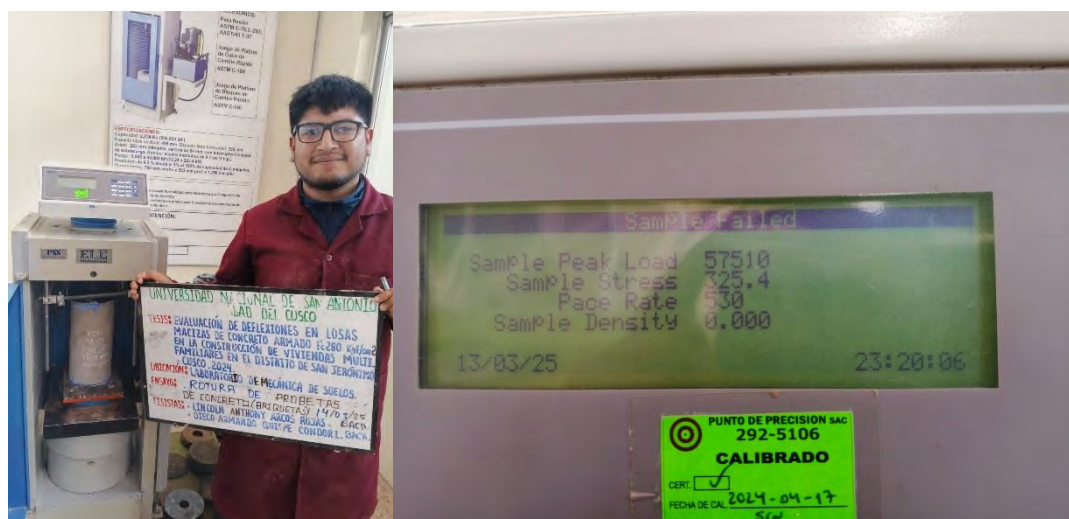


Nota: Elaboración propia.

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MA-02: 325,40 kgf/cm²

Figura 32

Espécimen MA-02_ Ensayo de compresión en briqueta



Nota: Elaboración propia.

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MB-01: 307,80 kgf/cm²

Figura 33

Espécimen MB-01_ Ensayo de compresión en briqueta

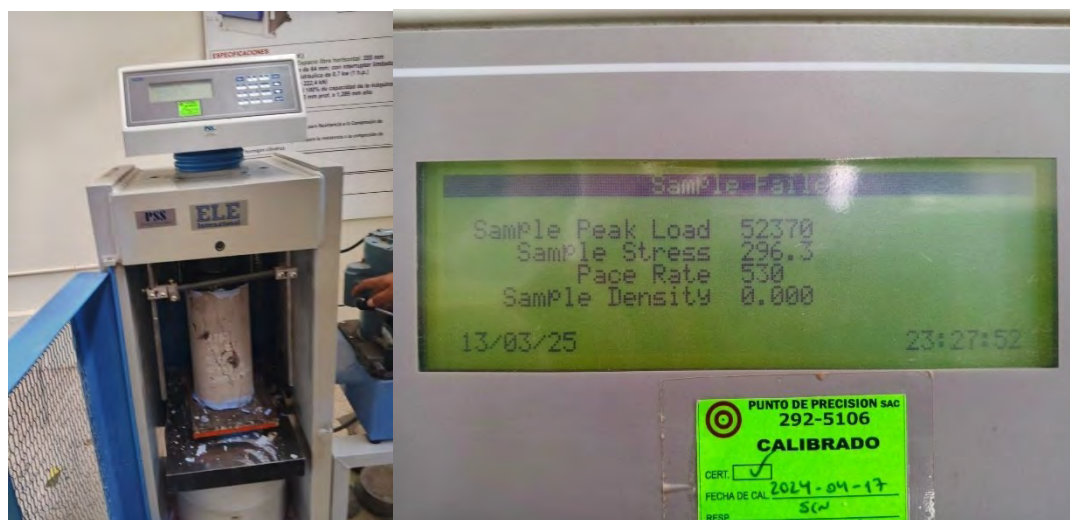


Nota: Elaboración propia.

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MB-02: 296,30 kgf/cm²

Figura 34

Espécimen MB-02_ Ensayo de compresión en briqueta

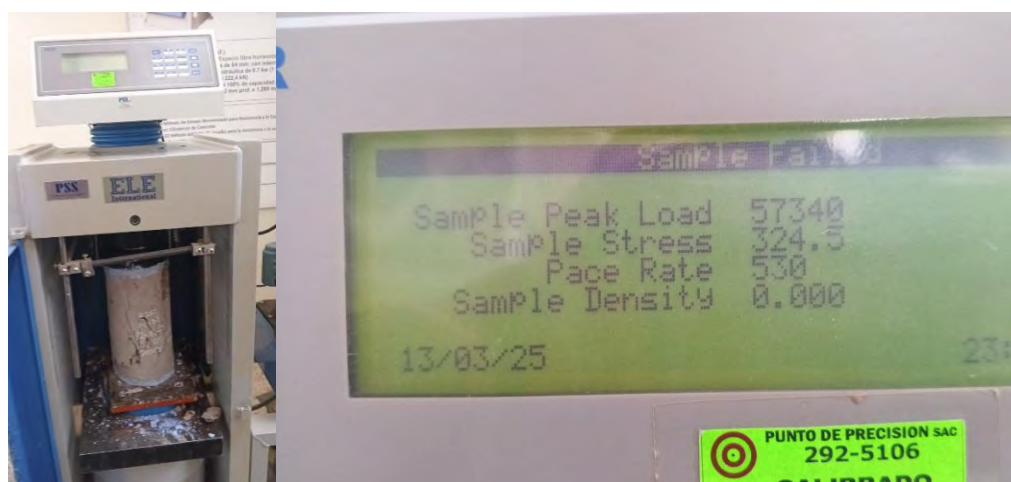


Nota: Elaboración propia.

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MC-01: 324,50 kgf/cm²

Figura 35

Espécimen MC-01_ Ensayo de compresión en briqueta



Nota: Elaboración propia.

- Ensayo resistencia a la compresión briqueta MB-02: 318,40 kgf/cm²

Figura 36

Espécimen MC-02_ Ensayo de compresión en briqueta



Nota: Elaboración propia.

Tabla 40

Resumen de resistencia alcanzada en ensayo normalizado de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas

Código	Fecha de ensayo	Resistencia de diseño f´c (kgf/cm²)	Resistencia de diseño de mezcla f´cr (kgf/cm²)	Resistencia de alcanzada en ensayo de compresión (kgf/cm²)	Resistencia individual (promedio de 2 briquetas)	Resistencia obtenida promedio de 3 ensayos individuales
MA-01	13/03/2025	280,00	364,00	301,50	313,45	312,32
MA-02	13/03/2025	280,00	364,00	325,40		
MB-01	13/03/2025	280,00	364,00	307,80	302,05	
MB-02	13/03/2025	280,00	364,00	296,30		
MC-01	13/03/2025	280,00	364,00	324,50	321,45	
MC-02	13/03/2025	280,00	364,00	318,40		

Nota: Elaboración propia.

Figura 37

Rotura de briquetas de concreto - Ensayo de compresión Axial



Nota: Elaboración propia.

4.3.2 Construcción losas macizas

4.3.2.1 Datos para la construcción

A. Diseño de mezcla:

Se tiene el proporcionamiento de diseño por volumen

- 1 : 1,93 : 2,22 con 19,81 l. de agua

B. Diseño de la parrilla de acero

De acuerdo al diseño de las losas macizas unidireccionales de concreto armado

$f'c$ 280 kgf/cm² desarrollado en el sección 4.1.2, tenemos malla de acero inferior:

- ❖ Longitudinal: 1/2" @ 30 cm

❖ Transversal: 3/8" @ 30 cm

La Tabla 41 resume las características y los detalles del refuerzo de las cuatro losas.

Tabla 41

Características del acero en las losas L-01, L-02, L-03 y L-04

Losa	Refuerzo_a			As_a (mm ²)	ρ_a (%)	s_a (mm)
L-01	3	φ	1/2"	381,10	0,54	300
L-02	3	φ	1/2"	381,10	0,54	300
L-03	3	φ	1/2"	381,10	0,54	300
L-04	3	φ	1/2"	381,10	0,54	300

Nota: Elaboración propia

Las losas se construyeron empleando una cantidad de refuerzo longitudinal y transversal positivo. Para las 4 losas se utilizó acero longitudinal 3 φ 1/2" ($\rho = 0.3\%$) y acero transversal 8 φ 3/8". Al refuerzo longitudinal y trasversal de todas las losas se les asignó recubrimiento libre vertical y horizontal de 25 mm y 50 mm, respectivamente. La separación horizontal entre las barras longitudinales (sb) y trasversales (sa) de 300 mm. Cabe resaltar que no se utilizó refuerzo superior (negativo)

C. Dimensiones y metrado de losas:

En las secciones 4.1 y 4.3.1.2 se detallan los cálculos y las consideraciones adoptadas para la obtención de estos datos; a continuación, se presenta el resumen correspondiente.

Tabla 42

Dimensiones 4 losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c=280 \text{ kgf/cm}^2$

Dimensión	Longitud	Unidad
Largo	2,20	m
Ancho	0,70	m
Espesor	0,10	m
Recubrimiento	2,5	cm

Nota: Elaboración propia.

Tabla 43

Metrado de concreto para construcción y ensayos de losa de concreto armado $f'c 280 \text{ kgf/cm}^2$

METRADO DE CONCRETO PARA ENSAYOS							
Muestras cilíndricas	N° de especímenes	Diám etro (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Volumen teórico (m ³)	Volumen vaciado. Inc. Desp. (m ³)
Losas de concreto armado $f'c 280 \text{ kgf/cm}^2$ - Ensayos de deflexión							
						TOTAL (m ³)	0.91
Testigo cilíndrico	3,00	0,15	-	-	0,30	0,02	0,05
Losa de concreto	4,00		2,20	0,75	0,10	0,66	0,86

Nota: Elaboración propia

4.3.2.2 Proceso constructivo de las losas ensayados en laboratorio

El proceso constructivo de las losas ensayados en laboratorio se desarrolló en el patio del laboratorio de Mecánica de Suelos (UNSAAC), cumpliendo con los lineamientos establecidos en la NTP E.060 - Concreto Armado (2019). Dicho proceso

comprendió varias etapas secuenciales que garantizaron la correcta elaboración de las losas destinadas a los ensayos de deflexión inmediata y diferida. Se elaboraron cuatro losas macizas de concreto armado con iguales dimensiones y características de refuerzo.

A. Habilitación y armado del acero

En primer lugar, se realizó la habilitación del acero de refuerzo, efectuando el corte, doblado y armado de las barras conforme a los planos de diseño estructural. El refuerzo se dispuso en forma de parrillas inferior, unidas mediante alambre de amarre, asegurando el espaciamiento adecuado con separadores plásticos para mantener el recubrimiento especificado.

Figura 38

Armado de parrilla de acero según diseño para L-01, L-02, L-03 y L-04



Nota: Elaboración propia

B. Encofrado de las losas

Posteriormente, se procedió con el armado del encofrado, utilizando fenólico, con dimensiones ajustadas a las medidas de diseño de las losas: 2,20 m de largo, 0,70 m de ancho y 0,10 m de espesor. Este procedimiento se repitió para las cuatro losas ensayados en laboratorio.

Figura 39

Armado de acero y encofrado L-01, L-02, L-03 y L-04



Nota: Elaboración propia

C. Vaciado y vibrado del concreto

Durante el vaciado, se aplicó vibrado mecánico, asegurando la compactación del material y la eliminación de posibles bolsas de aire.

Figura 40

Vaciado L-01, L-02, L-03 y L-04 en el patio del laboratorio de Mecánica de Suelos



Nota: Elaboración propia.

Durante esta fase del estudio se obtuvieron tres probetas cilíndricas elaboradas con la mezcla de concreta empleada, con el propósito de verificar su resistencia a la compresión. La fabricación, acondicionamiento y curado de dichas probetas se llevó a cabo conforme a lo establecido en la NTP 339.033. Posteriormente, el ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la NTP 339.034, efectuándose la evaluación a los 28 días de edad después del vaciado.

Figura 41

Briquetas de control extraídas del vaciado de losa



Nota: Elaboración propia.

D. Curado del concreto y control de retracción

Una vez concluido el vaciado, las losas fueron cubiertas con plástico para evitar la evaporación rápida del agua superficial. El curado húmedo se realizó diariamente durante los primeros siete días y posteriormente cada tres días durante las siguientes semanas, contribuyendo al desarrollo eficiente de la resistencia del concreto y disminuyendo los efectos de retracción plástica.

Figura 42

Izquierda: Curado de concreto día 1 posterior al vaciado. Derecha: Control de fisuración día 2 posterior al vaciado



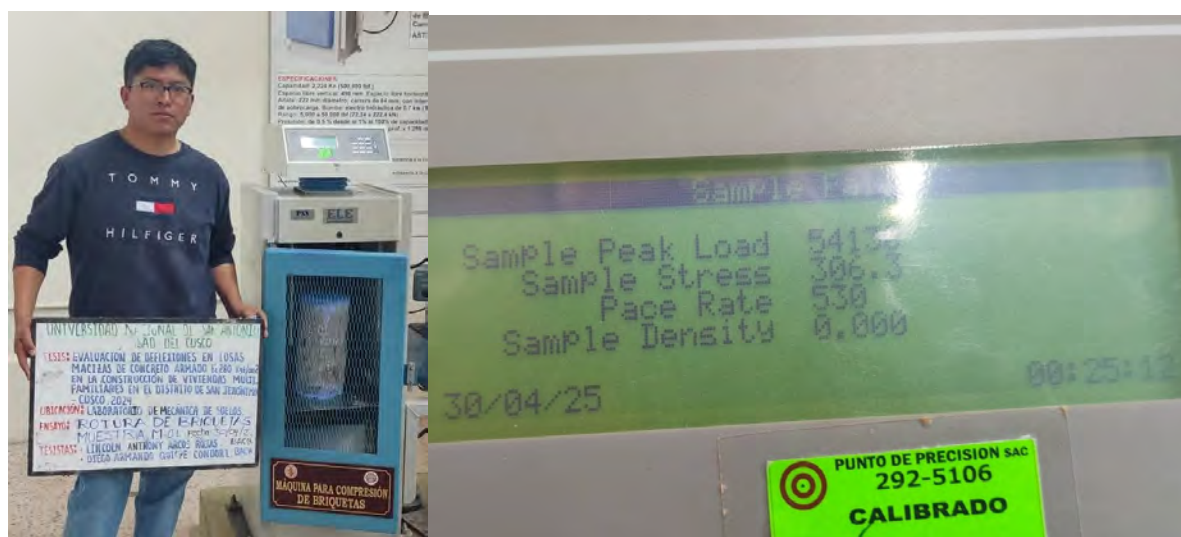
NOTA: Elaboración propia

4.3.2.3 Ensayo de compresión en probetas cilíndricas extraídas del vaciado de losas (L-01, L-02, L-03 y L-04)

La resistencia a la compresión se llevó a cabo mediante un ensayo normalizado en especímenes cilíndricos, conforme a lo indicado por la NTP 339.034.

Figura 43

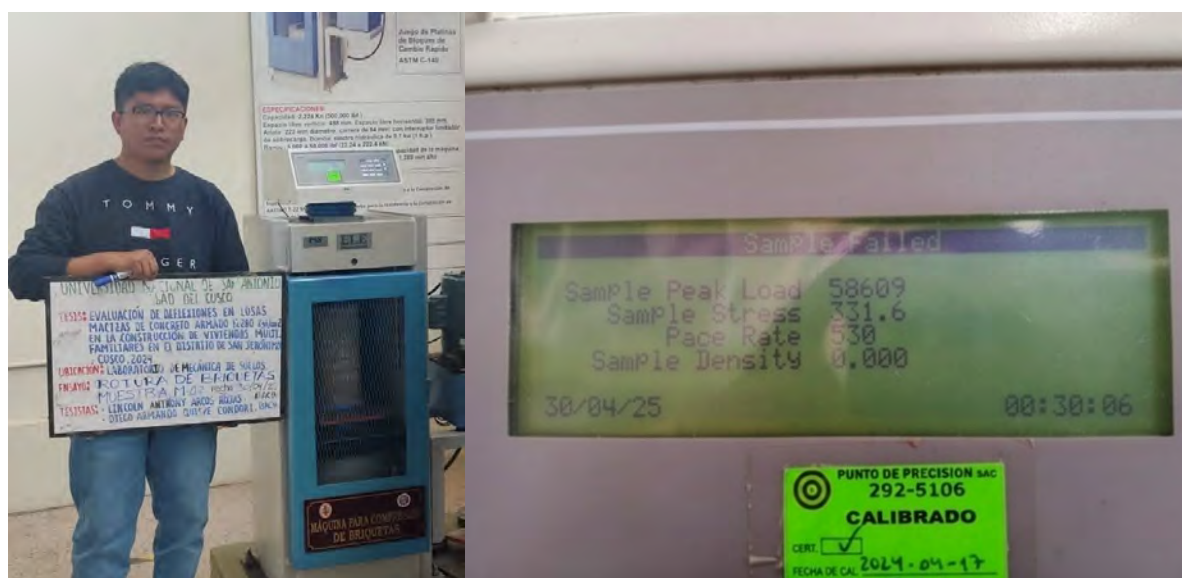
Especímen ML-01_ Ensayo de compresión en briquetas_ 306,30 kgf/cm²



NOTA: Elaboración propia

Figura 44

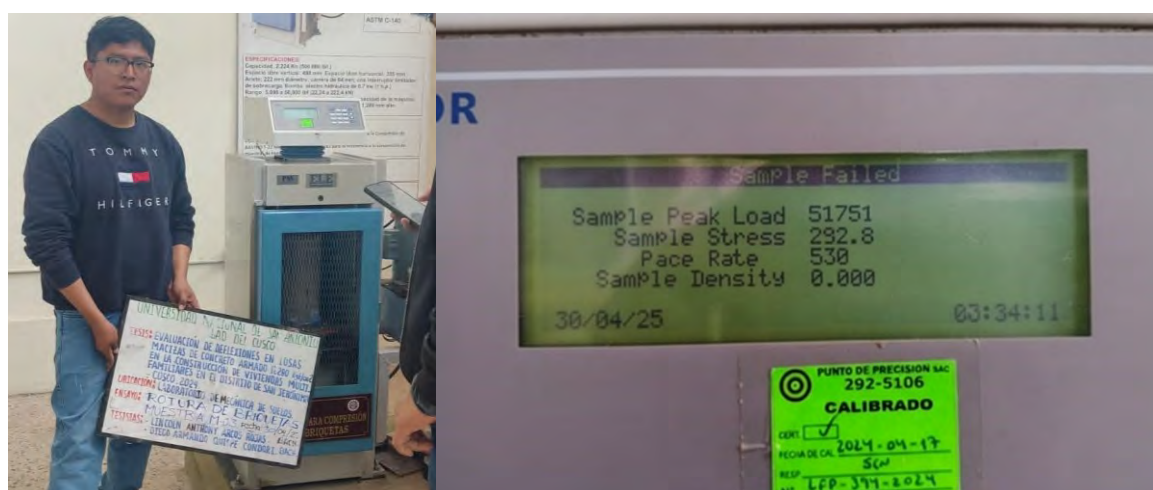
Espécimen ML-02_ Ensayo de compresión en briquetas_ 331,60 kgf/cm²



NOTA: Elaboración propia

Figura 45

Espécimen ML-03_ Ensayo de compresión en briquetas_ 292,80 kgf/cm²



NOTA: Elaboración propia

Se obtuvieron valores superiores tanto en la resistencia individual como en la resistencia promedio, en comparación con la resistencia de diseño establecida para la evaluación de deflexiones de losas macizas de concreto unidireccionales $f'c$ 280 kgf/cm²

tal como se muestra en la Tabla 44. Con estos resultados se concluye que las losas cumplen el diseño a compresión correspondiente para el ensayo a deflexión.

Tabla 44

Resumen de resistencia alcanzada en ensayo normalizado de resistencia a la compresión de muestras cilíndricas (vaciado a losas)

Código	Fecha de ensayo	f'c de diseño (kgf/cm ²)	f'cr de diseño de mezcla (kgf/cm ²)	Ensayo de compresión(kgf/cm ²)	Resistencia promedio de 3 ensayos briquetas
ML-01	30/04/2025	280,00	364,00	306,30	310,23
ML-02	30/04/2025	280,00	364,00	331,60	
ML-03	30/04/2025	280,00	364,00	292,80	

Nota: Elaboración propia.

Figura 46

Derecha: Briquetas ML-01, ML-02 y ML-03 antes de ensayo de compresión.



Nota: Elaboración propia.

4.3.3 Ensayos de deflexión en losas: L-01, L-02, L-03 Y L-04

El programa de losas ensayadas en laboratorio fue diseñado con la finalidad de evaluar el desempeño en servicio de losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c=280 \text{ kgf/cm}^2$, específicamente en términos de deflexiones inmediatas y deflexiones diferidas, bajo condiciones controladas de laboratorio.

Para tal efecto, se consideró el ensayo de cuatro losas, denominadas L-01, L-02, L-03 y L-04, con características geométricas, de refuerzo y resistencia similares, las cuales fueron evaluadas mediante distintos tipos de medición experimental, de acuerdo con los objetivos específicos del estudio. El programa se estructuró de la siguiente manera:

- ❖ Tres losas (L-01, L-02 y L-03) fueron destinadas al ensayo de deflexión inmediata
- ❖ La losa L-04 fue utilizada para el análisis de deflexión a largo plazo bajo carga sostenida.

En todas las losas se registró la deflexión producida por desencofrado, con la finalidad de establecer una condición inicial de deformación que sirviera como referencia para las mediciones posteriores.

4.3.3.1 Ensayos de deflexión inmediata bajo carga aplicada (L-01, L-02 y L-03)

A. Traslado y preparación de las losas

Finalizado el periodo de curado, se procedió al desencofrado de las losas, manteniendo las parihuelas en la parte inferior para facilitar su traslado hacia la

máquina de rotura de losas del laboratorio. El traslado de las losas hacia la máquina de ensayo representó una operación de alto cuidado debido al peso y tamaño de los especímenes. Para ello, se utilizaron stocas, gatos hidráulicos, y soportes de carga metálicos, que permitieron levantar, desplazar y posicionar las losas con seguridad en la plataforma de ensayo, evitando impactos o tensiones que pudieran alterar su comportamiento estructural antes de la prueba.

Figura 47

Izquierda: Traslado losa L-01 al laboratorio para ensayo de deflexión inmediata.

Centro: L-01 junto a máquina universal para ensayo. Izquierda: L-01, L-02 y L-03



Nota: Elaboración propia.

El uso de parihuelas permitió simular las condiciones de apoyo presentes en una estructura real. Al retirar dichas parihuelas, fue posible observar y registrar la deflexión al desencofrado, análoga a la que se produce en una edificación real al retirar los puntales tras el desencofrado.

Este procedimiento permitió obtener una representación experimental fiel del comportamiento estructural de las losas bajo condiciones de construcción y durante el proceso de descarga inicial.

B. Montaje de los soportes y preparación del sistema de ensayo

Para la ejecución de los ensayos ensayados en laboratorio se implementó un sistema de soportes metálicos con el propósito de reproducir las condiciones de apoyo de una losa simplemente apoyada, bajo un esquema compatible con las restricciones físicas y de seguridad del laboratorio.

El sistema de apoyo estuvo conformado por tres vigas metálicas tipo H superpuestas, cada una con una altura aproximada de 30 cm, las cuales, al disponerse de manera conjunta, conformaron un sistema de apoyo con una altura de 0.90 m. Estas vigas presentaban distintos espesores, lo que permitió ajustar el nivel final de apoyo y garantizar una correcta alineación de la losa durante el ensayo.

Debido a la imposibilidad de intervenir o dañar el piso del laboratorio, las vigas tipo H no fueron ancladas a la estructura base, sino que fueron apuntaladas y rigidizadas mediante elementos auxiliares de soporte, asegurando la estabilidad global del sistema frente a la aplicación progresiva de carga.

Las vigas fueron cuidadosamente niveladas y alineadas, proporcionando un apoyo continuo y uniforme a lo largo del ancho de la losa, evitando concentraciones localizadas de esfuerzo. Asimismo, se incorporaron refuerzos laterales en los bordes del

sistema de apoyo, con el fin de impedir desplazamientos, vuelcos o desalineamientos durante el desarrollo del ensayo.

C. Marcado y alineación de referencia

Previo al inicio del ensayo, se trazaron líneas longitudinales y transversales sobre la superficie de cada losa con el fin de identificar el centro geométrico del vano y establecer puntos de referencia para la medición de deflexiones. Estas marcas garantizaron que todas las lecturas se realizaran de manera consistente durante el desarrollo del ensayo.

Una vez en el laboratorio, las losas fueron levantadas mediante dos plumas hidráulicas, que facilitaron su colocación sobre los muros metálicos (vigas tipo H) que sirvieron como apoyos.

Figura 48

Montaje y posicionamiento de losa L-01 en el marco de carga



Nota: Elaboración propia.

Cada “muro” tenía una altura de 90 cm, de modo que con el espesor de la losa (10 cm), la superficie superior (tope de concreto) alcanzó una altura total de 1 m con referencia al piso nivelado. Esta configuración permitió un montaje cómodo para la aplicación de carga y la observación de la deformación inmediata.

D. Deflexión por desencofrado

Una vez que cada losa fue colocada y estabilizada sobre el sistema de apoyos metálicos, se procedió a realizar la primera medición de deflexión, correspondiente al desplazamiento vertical generado al instante del desencofrado.

Figura 49

Deflexión por desencofrado tras retiro de parihuela y posicionamiento en marco de carga_ L-01(izquierda) y L-02 (derecha)



Nota: Elaboración propia.

Figura 50

Deflexión pro desencofrado tras retiro de parihuela y posicionamiento en marco de carga_ L-03



Nota: Elaboración propia.

Esta medición se efectuó con la losa ya posicionada en el marco de carga, empleando un nivel láser y un calibrador de profundidad (vernier), instrumentos que permitieron registrar con precisión la deformación vertical en el centro del vano. El valor obtenido representa la condición inicial de deformación, previa a la aplicación de cualquier carga adicional durante el ensayo.

Cabe destacar que el retiro de las parihuelas que sostenían las losas previas al ensayo (realizado antes del traslado de las losas a la maquina universal), se observó la similitud al fenómeno que ocurre en obra real al retirar los puntales tras el desencofrado. Este procedimiento permitió registrar con precisión la magnitud inicial

del desplazamiento vertical y establecer el punto de referencia para los ensayos de carga posteriores.

E. Instrumentación para el ensayo de carga y medición

Para la correcta aplicación de la carga y el registro de las deflexiones durante el ensayo experimental, se implementó un sistema de instrumentación diseñado para garantizar una transmisión adecuada de los esfuerzos y mediciones confiables de la deformación vertical.

Sobre la losa se colocaron discos metálicos que ayudaron a distribuir la carga uniformemente en el centro de la losa. Además, se utilizó la dimensión intermedia del gato hidráulico como elemento transmisor de la fuerza del pistón actuador, conforme a la recomendación técnica del laboratorio. El uso de elementos de mayor longitud podía inducir fallas por flexo compresión, además de incrementar el riesgo de pandeo y daño de la celda de carga, la cual, al estar sometida a elevados niveles de esfuerzo, podría comprometer la seguridad del ensayo.

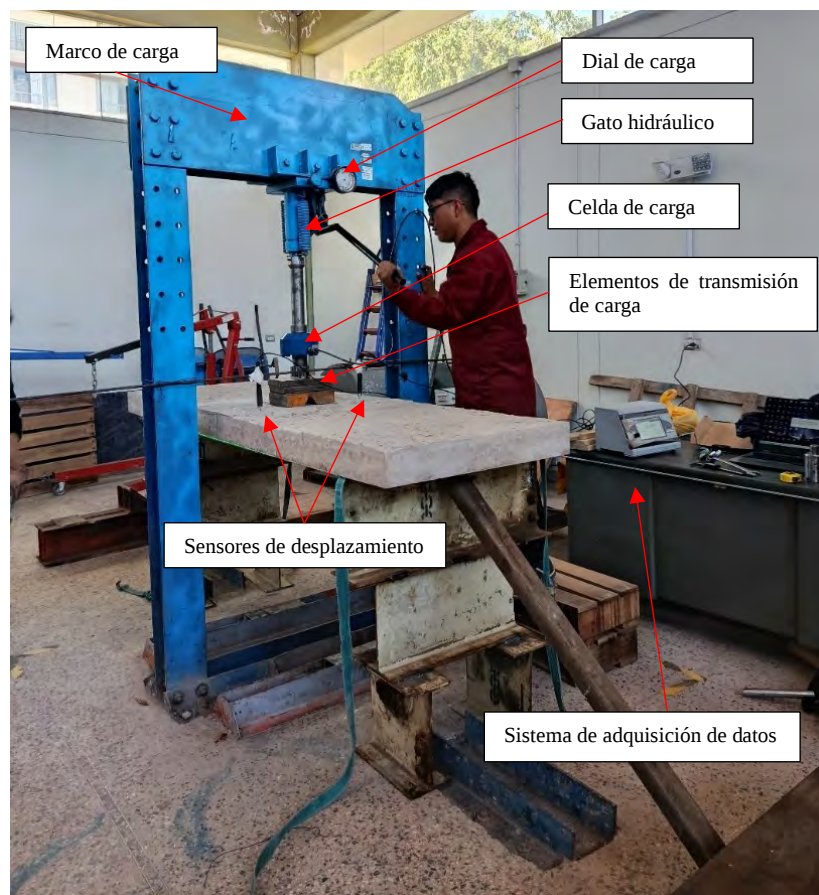
Se instalaron dos diales para medir la deflexión vertical. Los diales se ubicaron a los costados del pistón actuador, a 10 cm del borde de las losas y en el eje, con el fin de medir la deformación central sin interferir directamente con el punto de aplicación de carga.

Los diales empleados contaban con una capacidad máxima de medición de 50 mm, sin embargo, el rango operativo se limitó a 40 mm, a fin de evitar lecturas imprecisas al aproximarse al límite del instrumento.

La Figura 51, muestra el esquema general de la instrumentación y el montaje experimental. La deflexión fue registrada mediante sensores láser dirigidos hacia placas de referencia fijadas a el tope de losa, mientras que la carga total aplicada fue medida mediante una celda de carga.

Figura 51

Detalle de instrumentación para medir la deflexión inmediata en losas L-01, L-02 y L-03



Nota: Elaboración propia.

F. Aplicación de la carga y registro de datos

La aplicación de la carga se realizó mediante un gato hidráulico accionado manualmente, utilizando palanqueadas controladas y progresivas, con el propósito de

garantizar incrementos de carga lo más precisos y uniformes posibles, evitando variaciones bruscas que pudieran inducir efectos dinámicos no deseados en el comportamiento de la losa.

La recolección de datos se realizó mediante un sistema de adquisición de datos, el cual permitió registrar de manera sincronizada los valores de carga aplicada, obtenidos a través de la celda de carga, y las deflexiones verticales, medidas mediante comparadores mecánicos (diales) y nivel láser ubicados en la zona de máxima deformación.

El ensayo se mantuvo hasta alcanzar una deflexión máxima de 40 mm, punto a partir del cual los sensores dejaron de registrar la deflexión y se evidenció una fisuración considerable en la losa. Ante estas condiciones, se procedió a interrumpir la aplicación de carga, con el fin de preservar la integridad del equipo de ensayo y garantizar condiciones seguras de operación.

G. Culminación y retiro de las losas

Una vez finalizado el ensayo experimental, las losas fueron retiradas de la máquina de ensayo de manera controlada, utilizando nuevamente plumas hidráulicas, con el fin de evitar impactos o daños en el equipamiento del laboratorio.

Debido al peso y dimensiones considerables de las losas, el proceso de montaje y desmontaje demandó una planificación cuidadosa y una ejecución segura. Por esta razón, los ensayos se desarrollaron en dos jornadas de trabajo, manteniendo las mismas condiciones ensayados en laboratorio en cada una de ellas: en la primera jornada se

ensayó una losa(L-01), mientras que en la segunda jornada se ensayaron las dos losas restantes (L-02 y L-03).

4.3.3.2 Ensayo de deflexión inmediata y diferida bajo carga sostenida (L-04)

El ensayo de deflexión diferida se desarrolló con la finalidad de evaluar el comportamiento a largo plazo de una losa maciza unidireccional de concreto armado sometida a cargas sostenidas, considerando los efectos de la fluencia (creep) y la retracción del concreto.

El procedimiento experimental se estructuró en tres etapas principales: deflexión al desencofrado, deflexión inmediata (Peso propio) y evaluación en el tiempo con la carga sostenida (CV+CM).

A. Deflexión al desencofrado L-04

Una vez concluido el período de curado, la losa L-04 fue colocada sobre un sistema de soportes rígidos, con el fin de reproducir condiciones representativas de apoyo simple. Posteriormente, se procedió al desencofrado y se registró la deflexión correspondiente a este estado.

Las mediciones de desplazamiento vertical en esta losa, se realizaron empleando dos instrumentos:

- Nivel láser, utilizado para trazar y definir el plano de referencia, el cual estuvo conformado por las superficies superiores de los apoyos de la losa. Dicho plano se mantuvo constante durante todo el ensayo y sirvió como base geométrica para las mediciones de deflexión.

- Vernier de profundidad, empleado como instrumento principal de medición, con el cual se registraron las deflexiones verticales de la losa como desplazamientos relativos respecto al plano de referencia definido por los apoyos. Este procedimiento permitió que eventuales desplazamientos menores del sistema de apoyo no afectaran la determinación de la deflexión.

Figura 52

Posicionamiento de L-04 para ensayo de deflexión diferida, medición de la deflexión por desencofrado.



Nota: Elaboración propia.

B. Deflexión inmediata L-04 (Peso propio)

Inicialmente, la losa fue mantenida únicamente con su peso propio durante un periodo de 28 días. Durante esta etapa, las deflexiones se midieron de forma periódica en la zona de máxima deformación teórica, registrándose los desplazamientos verticales asociados al peso propio y a los efectos iniciales de retracción del concreto. Las

mediciones se realizaron como desplazamientos relativos respecto al plano de referencia definido por los apoyos de la losa.

Figura 53

Deflexión inmediata L-04 (Peso propio) 31/07/2025



Nota: Elaboración propia.

C. Deflexión diferida L-04 carga sostenida (CV+CM)

Transcurrido el primer mes posterior a la etapa de medición sin carga, en la cual la losa fue evaluada únicamente bajo la acción de su peso propio, se procedió a aplicar las cargas adicionales consideradas en el diseño: peso de tabiquería, acabados y la carga viva (CV+CM), equivalente a una carga total de 1 316,00 kg con el objetivo de reproducir condiciones de carga sostenida representativas del estado de servicio.

Figura 54

Adición de carga de diseño - 11/08/2025



Nota: Elaboración propia.

Para la simulación de dicha carga, se emplearon sacos de arena de aproximadamente 65 kg cada uno, los cuales fueron distribuidos uniformemente sobre la superficie de la losa, garantizando una aplicación homogénea y evitando concentraciones localizadas de esfuerzo que pudieran alterar la respuesta estructural del elemento. En total, se utilizaron 20 sacos de arena.

A partir de la aplicación de las cargas de diseño, la losa permaneció sometida a esta condición durante un período de seis meses, realizándose mediciones periódicas, con el fin de registrar la evolución de la deflexión diferida total, resultante de la combinación del peso propio y de la sobrecarga sostenida (CV+CM).

CAPITULO 5 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

5.1 Resultados por método: Analítico normativo (NTP E.060)

En este apartado se presentan los resultados obtenidos mediante la aplicación de las expresiones matemáticas de la norma NTP E.060 (2009). El análisis se centra en la transición de la rigidez bruta a la rigidez fisurada para determinar la deflexión en el estado límite de servicio.

Tabla 45

Resultados de deflexión total losa maciza usando la Norma E.060 – Concreto Armado (2009)

Deflexión	(mm)
Deflexión inmediata CM	2,190
Deflexión inmediata CV 100%	0,592
Deflexión inmediata (I)	2,782
Deflexión diferida CM	2,628
Deflexión diferida CV 30%	0,213
Deflexión diferida (II)	2,841
Deflexión total (I+II)	5,623

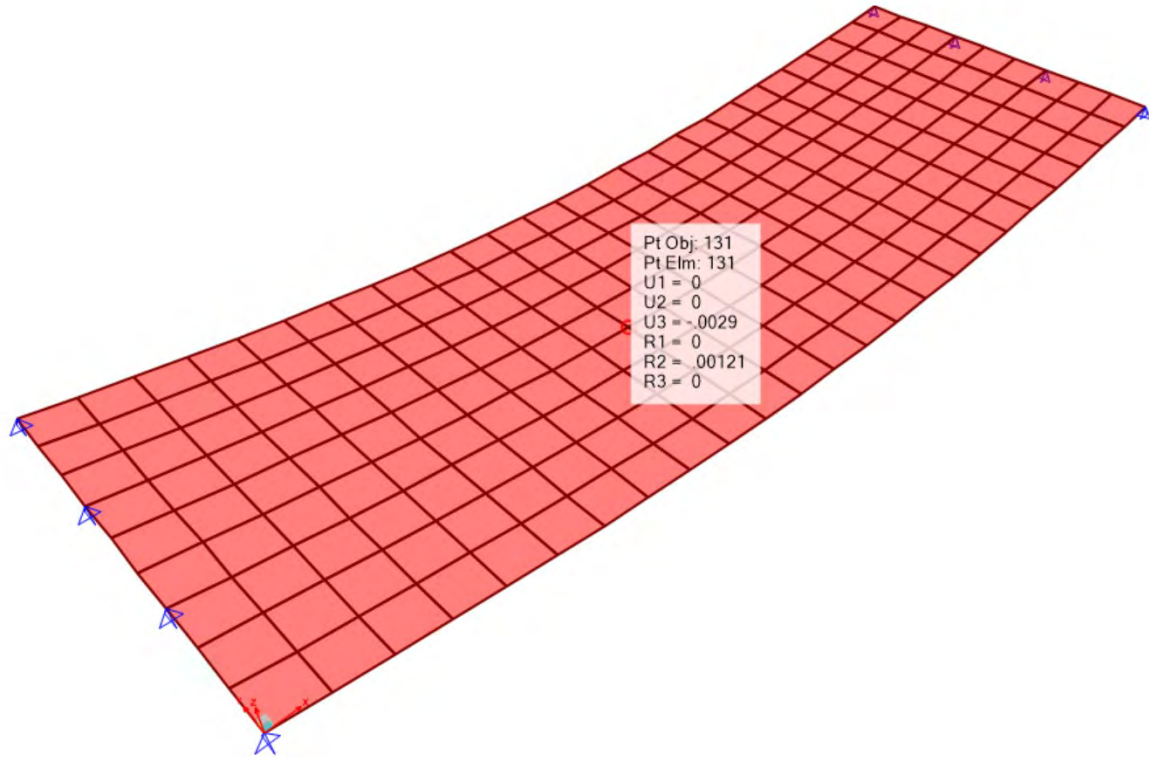
Nota: Elaboración propia.

5.2 Resultados por método: Simulación estructural (SAP 2000)

En esta sección se reportan los resultados obtenidos mediante el modelado por el Método de Elementos Finitos (MEF), en el programa de simulación SAP 2000.

Figura 55

Deformada obtenida del análisis estructural tras la actualización de la inercia efectiva, extraído del software SAP 2000



Nota: Elaboración Propia

La deflexión inmediata obtenida con el software es de 0,0029 m equivalente a 2,9 mm.

Finalmente obtenemos la deflexión diferida con la siguiente formula:

Ecuación 38 Deflexión diferida

$$\Delta_d = \Delta_i \left(\frac{\xi}{1 + 50\rho'} \right) \quad (38)$$

$$\Delta_d = 2,9 \text{ mm} \left(\frac{1,2}{1 + 50(0)} \right) = 3,48 \text{ mm}$$

Resumen de resultados de deflexión obtenidas utilizando el software SAP 2000

Tabla 46

Deflexión total losa maciza utilizando software SAP 2000

Deflexión	(mm)
Deflexión inmediata (I)	2,900
Deflexión diferida (II)	3,480
Deflexión total (I+II)	6,380

Nota: Elaboración propia

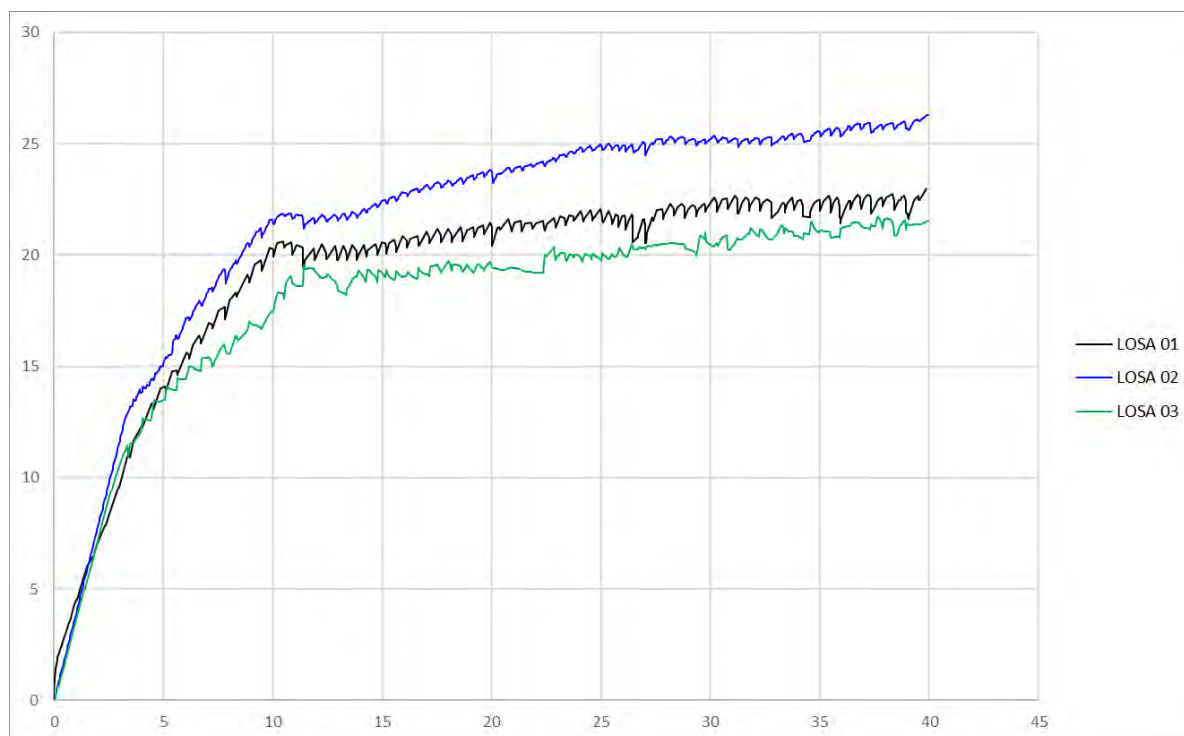
5.3 Resultados por método: Ensayos de laboratorio

5.3.1.1 Deflexión inmediata (L-01, L-02 y L-03)

En este apartado se presentan los resultados ensayados en laboratorio correspondientes a la deflexión inmediata de las losas L-01, L-02 y L-03.

Figura 56

Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_ L-01, L-02 y L-03 ensayo de laboratorio.



Nota: Elaboración propia

Las curvas esfuerzo-deformación reflejan el comportamiento inmediato de las losas frente a la carga aplicada, evidenciándose un tramo inicial aproximadamente lineal, seguido de una reducción progresiva de rigidez asociada al inicio de la fisuración del concreto.

Consideraciones:

En el ensayo experimental, la carga fue aplicada mediante un gato hidráulico y registrada por una celda de carga, obteniéndose directamente la fuerza total aplicada en unidades de kN. Si bien la carga se transmitió a la losa a través de una placa metálica y elementos de distribución, evitando concentraciones excesivas de esfuerzo, el equipo de ensayo registra la resultante vertical total de dicha acción. Por este motivo, para el análisis de los resultados ensayados en laboratorio, la carga se considera como una fuerza concentrada equivalente, lo que permite una comparación coherente con las acciones de carga definidas en el análisis teórico.

$$P_{serv} = CM + CV = 740 \text{ kgf/m}^2 + 200 \text{ kgf/m}^2 = 940 \text{ kgf/m}^2$$

$$P_{serv} = 940 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} (0,7 \text{ m} * 2 \text{ m}) \left(\frac{9,81 \text{ N}}{1 \text{ kg}} \right)$$

$$P_{serv} = 12,91 \text{ kN}$$

Cabe destacar que, previo a la aplicación de las cargas de ensayo, se considera la existencia de una deflexión por desencofrado, originada por el peso propio de la losa, estimado en 240 kgf/m^2 , la cual fue registrada al momento del retiro del encofrado. Durante el ensayo experimental en laboratorio, la carga es aplicada mediante una celda de carga, transmitiéndose a la losa a través de una placa metálica de dimensiones $0,20$

$\times 0,20$ m. El peso propio del concreto que actúa sobre dicha placa corresponde aproximadamente a 0,094 kN, valor que resulta despreciable frente a las cargas aplicadas durante el ensayo; por lo tanto, no se considera en el análisis de deflexiones. En consecuencia, se considera directamente la combinación de carga viva (CV) más carga muerta (CM).

Para la obtención de las deflexiones inmediatas teóricas, se realiza un análisis estático empleando expresiones clásicas de deflexión elástica, considerando la losa como una viga simplemente apoyada sometida a carga distribuida uniforme, de acuerdo con el criterio adoptado en el diseño estructural.

No obstante, en el ensayo experimental la carga se aplica de forma concentrada, lo cual implica un comportamiento estructural distinto al de una carga distribuida. En consecuencia, para efectuar una comparación consistente entre las deflexiones teóricas y ensayados en laboratorio, se hace uso de un factor de equivalencia, aplicado a la deflexión experimental obtenida bajo carga puntual, el cual se determina mediante la comparación de las expresiones teóricas correspondientes a ambos esquemas de carga, tal como se muestra a continuación.

- Por carga puntual en el centro P (ensayo experimental):

Ecuación 39 Deflexión por carga puntual en el centro

$$\Delta_{\max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (39)$$

- Por carga distribuida uniforme w:

Ecuación 40 Deflexión por carga distribuida uniforme “w”

$$\Delta_{\max} = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (40)$$

Comparamos:

$$\frac{PL^3}{48EI} = \frac{5wL^4}{384EI}$$

$$\frac{(wL)L^3}{48EI} = \frac{5wL^4}{384EI}$$

$$\frac{wL^4}{48EI} = \frac{5wL^4}{384EI}$$

$$8 \left[\frac{wL^4}{384EI} \right] = 5 \left[\frac{wL^4}{384EI} \right]$$

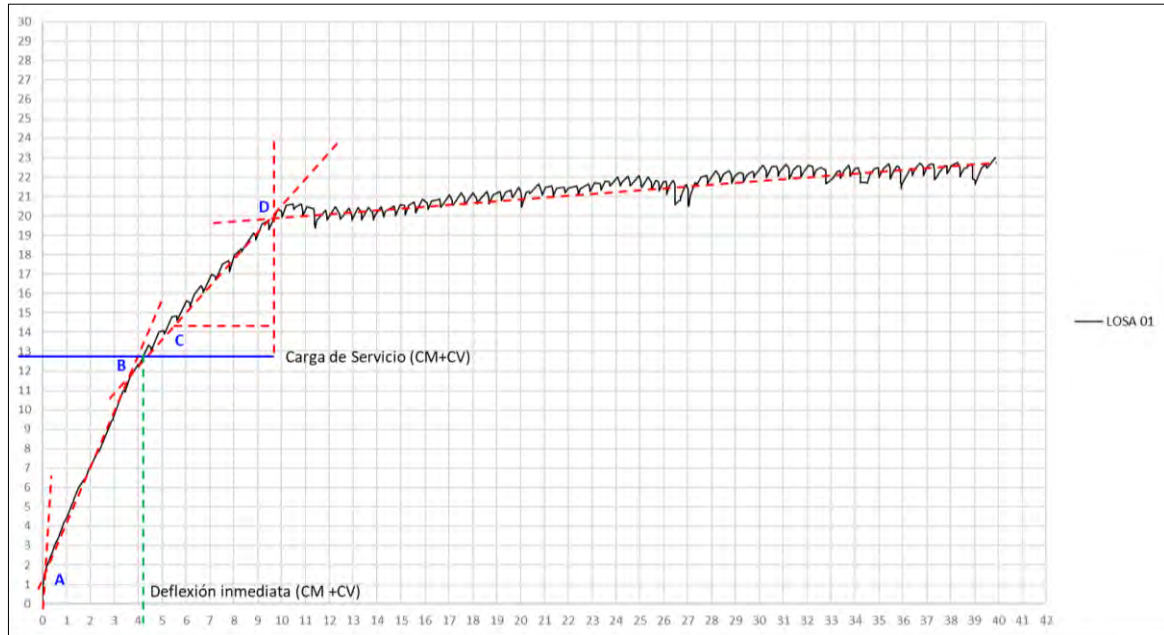
En consecuencia, la carga distribuida uniforme genera una deflexión máxima aproximadamente 0,625 veces menor que la producida por una carga puntual aplicada en el centro de la luz. Este factor de equivalencia se emplea con fines de comparación entre la deflexión obtenida mediante ensayos -bajo la aplicación de una carga puntual en el centro de la luz- y la deflexión teórica determinada considerando una carga distribuida uniforme.

La utilización de este criterio de equivalencia permite establecer una correlación adecuada entre los resultados experimentales y los modelos analíticos empleados en el análisis estructural. De esta manera, es posible evaluar el comportamiento de los elementos estructurales bajo diferentes condiciones de carga, garantizando que las comparaciones realizadas sean consistentes desde el punto de vista mecánico y representativas del comportamiento real de la estructura.

1. Curva esfuerzo deformación L-01

Figura 57

Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_ L-01, obtenida de ensayo de laboratorio.



Nota: Elaboración propia

En el intervalo inicial de carga, correspondiente aproximadamente al tramo 0-B (0 a 11,90 kN), la losa presenta un comportamiento casi lineal, asociado a un concreto no fisurado y a un acero trabajando dentro del rango elástico. En esta zona se observa una elevada rigidez inicial del elemento.

A partir del punto B, se evidencia el inicio de la fisuración del concreto en la zona traccionada, lo cual se refleja en una disminución progresiva de la pendiente de la curva carga-deflexión. Este tramo corresponde al régimen elástico fisurado, en el cual la rigidez de la losa es controlada principalmente por el acero de refuerzo.

La intersección de la curva con la carga de servicio ($CM+CV=12,91$ kN), se obtiene la deflexión inmediata (carga puntual) = 4,07 mm.

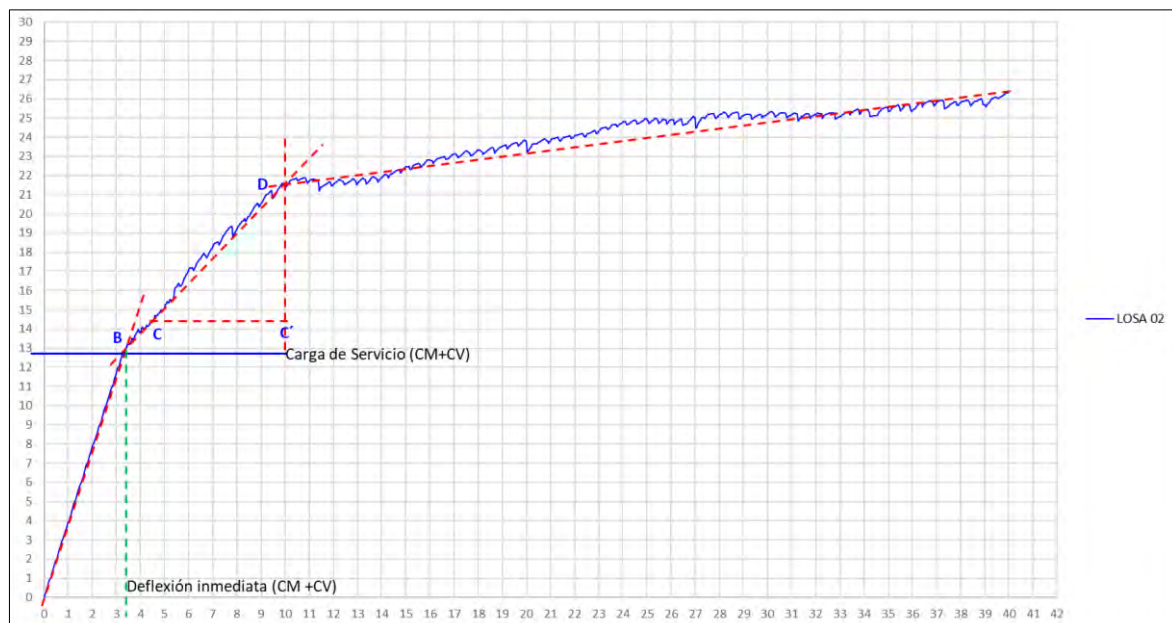
Al incrementarse la carga hasta el punto D (20 kN), correspondiente a un nivel próximo a la carga de diseño, se observa una mayor reducción de la rigidez, asociada al incremento de la fisuración y al inicio de la plastificación del acero de refuerzo. A partir de este punto, la curva presenta una pendiente menor y mayores deformaciones para incrementos reducidos de carga. El elemento logró una resistencia mecánica de 20 kN y la deflexión de 9,80 mm en el punto D (inicio de fluencia del refuerzo de acero).

La rigidez elástica agrietada de la sección se estimó como 1,0 kN/mm, mientras que la rigidez elástica no agrietada de la sección se estimó en un valor de 3,1 kN/mm, de estos resultados se puede apreciar que la relación entre inercia agrietada e inercia elástica no agrietada (I_e/I_g) es aproximadamente 0,32.

2. Curva esfuerzo deformación L-02

Figura 58

Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-02, obtenida de ensayo de laboratorio.



Nota: Elaboración propia

En el intervalo inicial de carga, correspondiente aproximadamente al tramo 0-B (0 a 13,00 kN), la losa presenta un comportamiento casi lineal, asociado a un concreto no fisurado y a un acero trabajando dentro del rango elástico. En esta zona se observa una elevada rigidez inicial del elemento.

A partir del punto B, se evidencia el inicio de la fisuración del concreto en la zona traccionada, lo cual se refleja en una disminución progresiva de la pendiente de la curva carga-deflexión. Este tramo corresponde al régimen elástico fisurado, en el cual la rigidez de la losa es controlada principalmente por el acero de refuerzo.

La intersección de la curva con la carga de servicio ($CM+CV=12,91$ kN), se obtiene la deflexión inmediata = 3,45 mm.

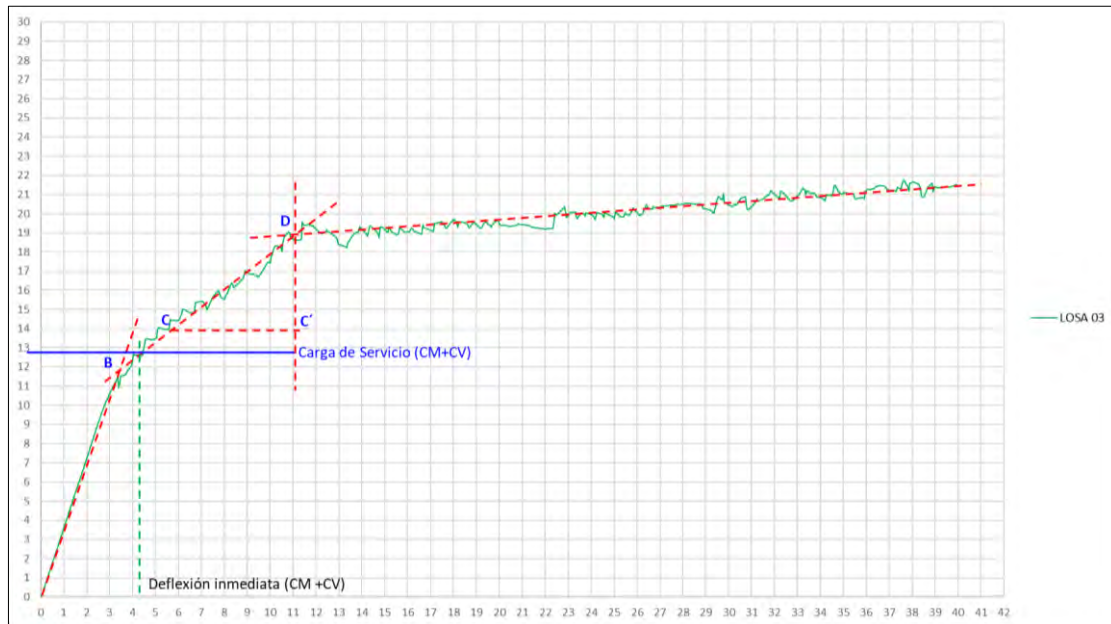
Al incrementarse la carga hasta el punto D (21,9 kN), correspondiente a un nivel próximo a la carga de diseño, se observa una mayor reducción de la rigidez, asociada al incremento de la fisuración y al inicio de la plastificación del acero de refuerzo. A partir de este punto, la curva presenta una pendiente menor y mayores deformaciones para incrementos reducidos de carga. El elemento logró una resistencia mecánica de 21,9 kN y la deflexión de 9,50 mm en el punto D (inicio de fluencia del refuerzo de acero).

La rigidez elástica agrietada de la sección se estimó como 1,49 kN/mm, mientras que la rigidez elástica no agrietada de la sección se estimó en un valor de 3,42 kN/mm, de estos resultados se puede apreciar que la relación entre la Inercia efectiva y la inercia bruta (I_e/I_g) es aproximadamente 0,44.

3. Curva esfuerzo deformación L-03

Figura 59

Curva esfuerzo (kN) vs deformación (mm)_L-03, obtenida de ensayo de laboratorio.



Nota: Elaboración propia.

En el intervalo inicial de carga, correspondiente aproximadamente al tramo 0-B (0 a 11,80 kN), la losa presenta un comportamiento casi lineal, asociado a un concreto no fisurado y a un acero trabajando dentro del rango elástico. En esta zona se observa una elevada rigidez inicial del elemento.

A partir del punto B, se evidencia el inicio de la fisuración del concreto en la zona traccionada, lo cual se refleja en una disminución progresiva de la pendiente de la curva carga-deflexión. Este tramo corresponde al régimen elástico fisurado, en el cual la rigidez de la losa es controlada principalmente por el acero de refuerzo.

La intersección de la curva con la carga de servicio ($CM+CV=12,91$ kN), se obtiene la deflexión inmediata = 4,27 mm.

Al incrementarse la carga hasta el punto D (18,90 kN), correspondiente a un nivel próximo a la carga de diseño, se observa una mayor reducción de la rigidez, asociada al incremento de la fisuración y al inicio de la plastificación del acero de refuerzo. A partir de este punto, la curva presenta una pendiente menor y mayores deformaciones para incrementos reducidos de carga. El elemento logró una resistencia mecánica de 18,50 kN y la deflexión de 11,10 mm en el punto D (inicio de fluencia del refuerzo de acero).

La rigidez elástica agrietada de la sección se estimó como 0,93 kN/mm, mientras que la rigidez elástica no agrietada de la sección se estimó en un valor de 3,56 kN/mm, de estos resultados se puede apreciar que la relación entre inercia agrietada e inercia elástica no agrietada (I_e/I_g) es aproximadamente 0,26.

Tabla 47

Resumen deflexión inmediata en losas L-01, L-02 y L-03

Losa	Def_Carga puntual (A) [mm]	Def_Carga distribuida (B=5/8*A) [mm]	Def_Desenc ofrado (C) [mm]	Def_Inmediat a (B+C) [mm]	I_e/I_g
L-01	4,070	2,544	0,720	3,264	0,32
L-02	3,450	2,156	0,840	2,996	0,44
L-03	4,270	2,669	0,760	3,429	0,26

Notas: Elaboración propia.

5.3.1.2 Deflexión diferida (L-04)

Tabla 48

Resultados históricos deflexión diferida losa L-04

Hito	Fecha	N°	Condición de carga	Deflexión total (mm)	Deflexión diferida (mm)	Tipo de deflexión	Tiempo transcurrido (meses)
Inicio	25-Jun-25	01	PP-Peso propio	0,80	-	Def. inm. Desenc.	-
	31-Jul-25	02	PP-Peso propio	2,00	-	Def. inm. Desenc.	-
Apl. Carga	11-Ago-25	03	CM+CV	3,35	-	Def. inm. CM+CV	-
	26-Ago-25	04	CM+CV	3,95	0,60	Def. diferida	0,50
	10-Set-25	05	CM+CV	5,25	1,90	Def. diferida	1,00
	30-Set-25	06	CM+CV	5,65	2,30	Def. diferida	1,67
	10-Nov-25	07	CM+CV	6,35	3,00	Def. diferida	3,03
	30-Nov-25	08	CM+CV	6,55	3,20	Def. diferida	3,70
Fin ensayo	31-Ene-26	09	CM+CV	7,09	3,74	Def. diferida	5,77

Nota: Elaboración propia.

La Tabla 48 presenta el registro histórico de las deflexiones medidas en la losa L-04 durante el período de seguimiento experimental, desde el desencofrado hasta la finalización del ensayo.

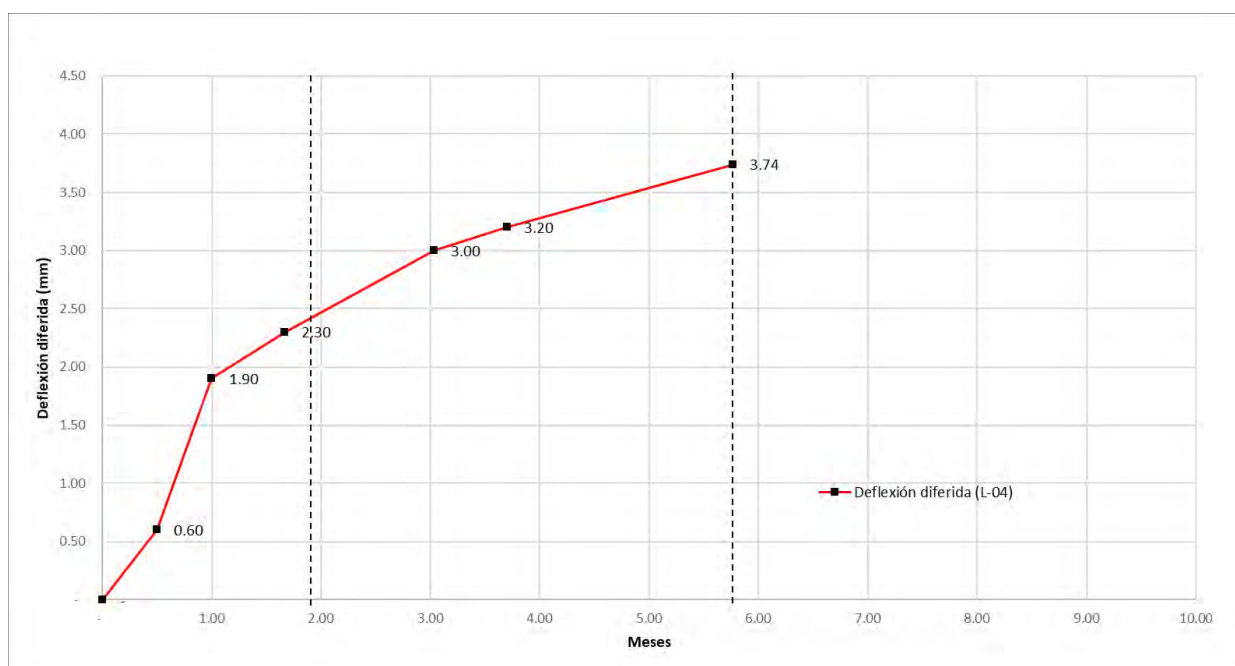
Inicialmente, se registraron las deflexiones asociadas únicamente al peso propio de la losa al momento del desencofrado. Posteriormente, con la aplicación de la carga de servicio correspondiente a la combinación de carga muerta y carga viva (CM + CV), se registró la deflexión inmediata. A partir de este punto, se efectuó el seguimiento

de la deflexión diferida en distintos intervalos de tiempo, permitiendo cuantificar el incremento progresivo de la deformación con el transcurso de los meses.

La Figura 60 ilustra gráficamente la variación de la deflexión diferida en función del tiempo, permitiendo visualizar el comportamiento progresivo de la losa durante el período experimental.

Figura 60

Gráfico deflexión diferida experimental (L-04)



NOTA: Elaboración propia

5.4 Resumen de Resultados: Deflexiones inmediatas y diferidas

La Tabla 49 presenta el registro de las deflexiones inmediatas, diferidas y totales obtenidas para las losas ensayadas en laboratorio, así como los valores estimados mediante la Norma E.060 y el análisis numérico realizado en SAP 2000.

Tabla 49

Registro de deflexiones inmediatas y diferidas

Método de cálculo	Ensayo en laboratorio de Estructuras UNSAAC				Norma E.060	SAP 2000
	L-01	L-02	L-03	L-04		
Deflexión inmediata CM					2,190	
deflexión inmediata CV 100 %					0,592	
Deflexión inmediata (I)	3,264	2,996	3,429	3,350	2,782	2,900
Deflexión diferida CM					2,628	
deflexión diferida CV 30 %					0,213	
Deflexión diferida (II) [6 meses]	3,917*	3,595*	4,115*	3,740	2,841	3,480
Deflexión total (I+II)	7,181	6,591	7,544	7,090	5,623	6,380
*Deflexión diferida obtenida con la deflexión inmediata experimental y el factor de la norma E.060						

Nota: Elaboración propia.

Para las losas L-01, L-02 y L-03, las deflexiones inmediatas ensayados en laboratorio corresponden a los valores medidos durante el ensayo bajo cargas de servicio, mientras que las deflexiones diferidas fueron estimadas considerando la deflexión inmediata experimental y el factor de incremento por carga sostenida establecido por la norma.

En el caso de la losa L-04, tanto la deflexión inmediata como la deflexión diferida fueron obtenidas de manera experimental y medidas directamente en campo.

Finalmente, la deflexión total se determinó como la suma de la deflexión inmediata y la deflexión diferida.

5.5 Comprobación diferencia estadística significativa (T Student)

Cuando el tamaño de la muestra es reducido, no resulta apropiado asumir directamente una distribución normal de la media, ya que la desviación estándar poblacional es desconocida y debe estimarse a partir de la propia muestra. En estas condiciones, la distribución real del estadístico depende del tamaño muestral, dando origen a la distribución t de Student. Esta distribución es especialmente utilizada para muestras pequeñas (generalmente $n \leq 30$), ya que incorpora la incertidumbre asociada a la estimación de la desviación estándar, proporcionando un criterio más adecuado para la inferencia estadística.

En términos prácticos, esta prueba compara la media muestral con un valor teórico de referencia, determinando si la discrepancia entre ambos es estadísticamente significativa. De este modo, la prueba t proporciona sustento estadístico para discriminar si las diferencias entre los resultados ensayados en laboratorio y teóricos responden a un fenómeno estructural real o a fluctuaciones aleatorias propias del proceso de medición.

5.5.1 Evaluación T -student deflexión inmediata

1. Hipótesis nula y alternativa

Valor teórico de referencia: $\mu_{i\ NTP} = 2,782\ mm$; $\mu_{i\ SAP2000} = 2,900\ mm$

HE.01 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 01)

- H0.01 $H_{0i\ NTP} = \mu_{i\ NTP}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060: Concreto Armado en losas macizas

unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ son mayores o iguales que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

- HA.01= HE.01 $H_{0i \text{ NTP}} \neq \mu_{i \text{ NTP}}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.02 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 02)

- H0.02 $H_{0i \text{ SAP 2000}} = \mu_{i \text{ SAP2000}}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante el software SAP 2000 en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ son mayores o iguales que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.
- HA.02= HE.02 $H_{0 \text{ SAP 2000}} \neq \mu_{i \text{ SAP2000}}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

2. Nivel de significancia (posible error que se puede cometer al considerar la hipótesis, de forma errónea)

Confiabilidad: 95%

$$\alpha = 1 - 0,95 = 0,05$$

Nivel de significancia $\alpha/2 = 0,025$

3. Cálculo de la media y la desviación estándar datos ensayados en laboratorio

Ecuación 41 Media aritmética (Prueba T Student)

$$\bar{x} = \frac{\sum fiXi}{n} \quad (41)$$

$$\bar{x} = 3,260 \text{ mm}$$

Ecuación 42 Desviación estándar (Prueba T Student)

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (42)$$

$$\sigma_x = 0,188$$

4. Cálculo de T (estadístico de prueba t)

Ecuación 43 T estadístico (Prueba T Student)

$$T = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}} \quad (43)$$

$$\mu_{i \text{ NTP}} = 2,782 \text{ mm}$$

$$T = \frac{3,260 - 2,782}{\frac{0,188}{\sqrt{4}}}$$

$$T_{i \text{ NPT}} = 5,074$$

$$\mu_{i\text{ SAP2000}} = 2,900 \text{ mm}$$

$$T = \frac{3,260 - 2,900}{\frac{0,188}{\sqrt{4}}}$$

$$T_{i\text{ SAP2000}} = 3,821$$

Se calcula los grados de libertad (df)

$$df = n - 1 = 4 - 1 = 3$$

5. Comparamos el valor obtenido de T con el valor crítico de la tabla

Nivel de significancia $(\alpha/2) = 0,025$

Grados de libertad (df) = 3

Tabla 50

Tabla de valores críticos de la distribución t de Student

Grados de libertad (df)	$\alpha=0,25$	$\alpha=0,10$	$\alpha=0,05$	$\alpha=0,025$	$\alpha=0,01$	$\alpha=0,005$
1	1,000	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657
2	0,816	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925
3	0,765	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841
4	0,741	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604
5	0,727	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032
6	0,718	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707
7	0,711	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499
8	0,706	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355
9	0,703	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250
10	0,700	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169
11	0,697	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106
12	0,695	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055

Nota: Adaptado de Introducción a la Estadística, OpenStax (2022).

Valor critico t de Student: $T_c = 3,182$

HE.01 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 01)

Dado que el valor del estadístico $T_{iNPT} = 5,074$ es mayor que el valor crítico $t = \pm 3,182$, el estadístico se ubica en la región de rechazo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (HE.01).

- HA.01= HE.01 $H_{0iNTP} \neq \mu_{iNTP}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.02 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 02)

Dado que el valor del estadístico $T_{iSAP2000} = 3,821$ es mayor que el valor crítico $t = \pm 3,182$, el estadístico se ubica en la región de rechazo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (HE.02).

- HA.02= HE.02 $H_{0iSAP2000} \neq \mu_{iSAP2000}$: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

5.5.2 Evaluación *t*-student deflexión diferida

1. Hipótesis nula y alternativa

Valor teórico de referencia: $\mu_{d\ NTP} = 2,841\ mm$; $\mu_{d\ SAP2000} = 3,480\ mm$

HE.03 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 03)

HE.03.1 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 03.1)

- H0.03.1 $H_{0d\ NTP} = \mu_{d\ NTP}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280\ kgf/cm^2$, son menores o iguales que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060: Concreto Armado, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.
- HA.03.1= HE.03.1 $H_{0d\ NTP} \neq \mu_{d\ NTP}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280\ kgf/cm^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.03.2 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 03.2)

- H0.03.2 $H_{0d\ SAP\ 2000} = \mu_{d\ SAP2000}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280\ kgf/cm^2$, son menores o iguales que las deflexiones diferidas calculadas mediante el software de modela y análisis

SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

- HA.03.2= HE.03.2 $H_d \text{ SAP } 2000 \neq \mu_{d \text{ SAP } 2000}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

2. Nivel de significancia (posible error que se puede cometer al considerar la hipótesis, de forma errónea)

Confiabilidad: 95%

$$\alpha/2 = (1 - 0,95)/ 2 = 0,05$$

Nivel de significancia $\alpha = 0,025$

3. Cálculo de la media y la desviación estándar datos ensayados en laboratorio

$$\bar{x} = 3,842 \text{ mm}$$

$$\sigma_x = 0,225$$

4. Cálculo de T (estadístico de prueba t)

$$\mu_{d \text{ NTP}} = 2,782 \text{ mm}$$

$$T = \frac{3,842 - 2,841}{\frac{0,225}{\sqrt{4}}}$$

$$T_{d\ NPT} = 8,911$$

$$\mu_{d\ SAP2000} = 2,900\ mm$$

$$T = \frac{3,842 - 2,900}{\frac{0,225}{\sqrt{4}}}$$

$$T_{d\ SAP2000} = 3,221$$

Se calcula los grados de libertad (df)

$$df = n - 1 = 4 - 1 = 3$$

5. Comparamos el valor obtenido de T con el valor crítico de la tabla

Nivel de significancia $(\alpha/2) = 0,025$

Grados de libertad (df) = 3

Valor critico *t* de Student: $T_c = 3,182$

HE.03.1 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 03.1)

Dado que el valor del estadístico $T_{d\ NPT} = 8,911$ es mayor que el valor crítico $t = \pm 3,182$, el estadístico se ubica en la región de rechazo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (HE.03.1).

- HA.03.1= HE.03.1 $H_{0d\ NTP} \neq \mu_{d\ NTP}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280\ kgf/cm^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana

E.060-Concreto Armado, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

HE.03.2 (HIPÓTESIS ESPECIFICA 03.2)

Dado que el valor del estadístico $T_{d\text{ SAP2000}} = 3,221$ es mayor que el valor crítico $t = \pm 3,182$, el estadístico se ubica en la región de rechazo. En consecuencia, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa (HE.03.2).

- HA.03.2= HE.03.2 $H_{d\text{ SAP 2000}} \neq \mu_{d\text{ SAP2000}}$: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

A pesar de contar con un tamaño muestral reducido ($n=4$), la aplicación de la prueba t de Student evidencia una diferencia estadísticamente significativa entre las deflexiones inmediatas/diferidas medidas mediante ensayos y aquellas calculadas según la NTP E.060 y mediante SAP 2000, con un nivel de confianza del 95 %.

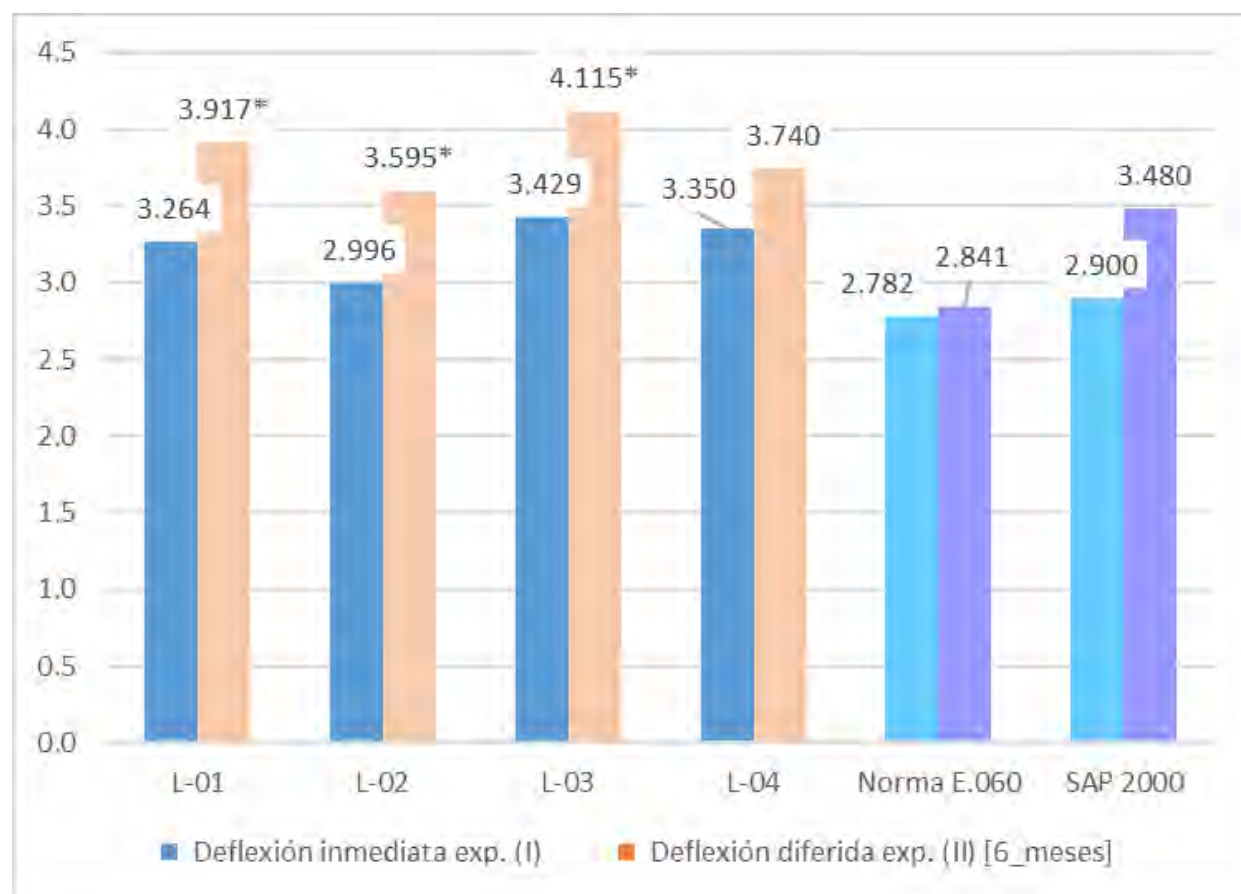
CAPITULO 6 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Discusión referente a la hipótesis general

HG: Las deflexiones obtenidas mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, son mayores que las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

Figura 61

Deflexión total ensayos de laboratorio, Norma E.060 y Software SAP 2000



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio, se acepta la hipótesis general. Se determinó que la deflexión total promedio de las losas ensayados en laboratorio L-01, L-02, L-03 y L-04 es de 7,101 mm. Al comparar este valor con las estimaciones teóricas, se observa que dicho promedio es 26,29 % mayor que la deflexión obtenida mediante la Norma Técnica E.060 (5,623 mm) y 11.31 % mayor que la estimada mediante el software SAP 2000 (6,380 mm).

En el ámbito internacional, los resultados presentan concordancia parcial con lo reportado por Ardila y Hube (2024), quienes determinaron que la deflexión total promedio en losetas de hormigón ensayadas a largo plazo fue mayor en un 28,21 % respecto a la estimación analítica. Este valor se encuentra dentro del mismo orden de magnitud que el obtenido en la presente investigación, particularmente en relación con la comparación frente a la Norma E.060 (26,29 %), presentando una diferencia de apenas 1,92 %, lo que refuerza la consistencia de los resultados y sugiere que las discrepancias observadas no son circunstanciales, sino inherentes a las limitaciones de los modelos teóricos.

En el contexto nacional, los resultados presentan concordancia con lo expuesto por Lozano Guevara y Marcas Arrieta (2022), quienes evidencian que la Norma Técnica Peruana E.060 y el modelo basado en el ACI 318-19, implementado mediante software estructural, presentan resultados prácticamente idénticos en la estimación de deflexiones. En dicha investigación, la diferencia en la deflexión diferida total entre ambos enfoques es de apenas 0,82 %, lo que demuestra una alta consistencia entre el método analítico y el modelo computacional. Esta tendencia también se observa en la

presente investigación, donde la diferencia entre la estimación mediante la E.060 y SAP 2000 alcanza un valor de 13,46 %, manteniéndose dentro de un mismo orden de magnitud.

6.2 Discusión referente a la primera hipótesis específica

HE.01: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las deflexiones inmediatas (Ensayos - NTP E.060).

Tabla 51

Registro de deflexiones inmediatas (Ensayos-NTP E.060)

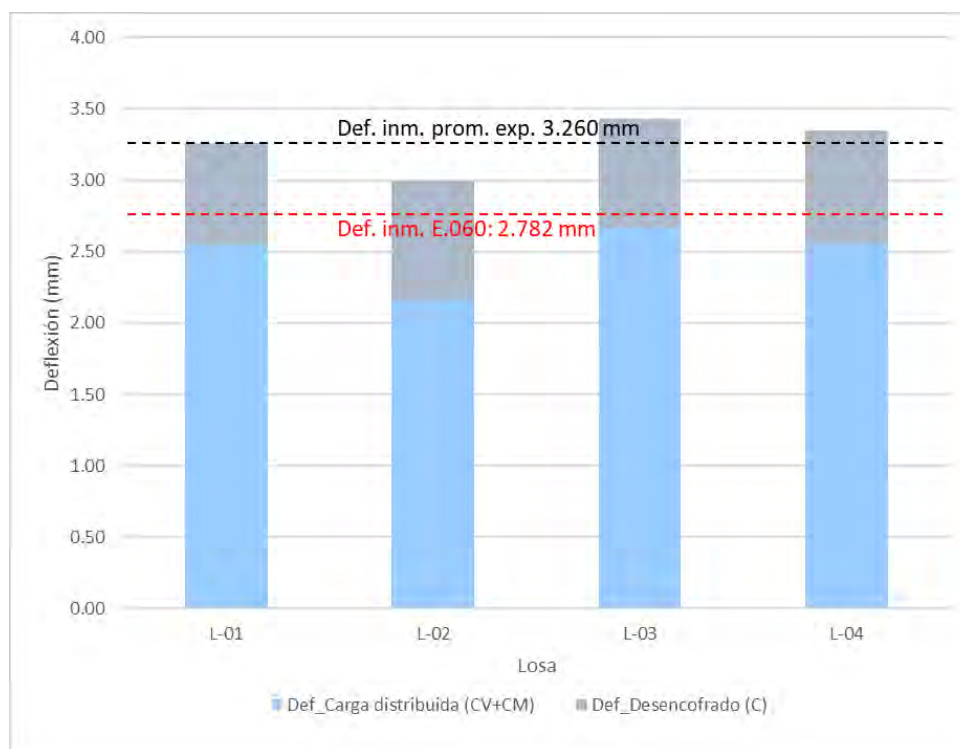
Método de cálculo	Ensayo en laboratorio de Estructuras UNSAAC				Norma E.060
	L-01	L-02	L-03	L-04	
Deflexión inmediata CM	-	-	-	-	2,190
Deflexión inmediata CV 100 %	-	-	-	-	0,592
Deflexión inmediata (I)	3,264	2,996	3,429	3,350	2,782

Nota: Elaboración propia

La siguiente figura muestra la comparación entre las deflexiones inmediatas ensayados en laboratorio obtenidas para las losas ensayadas y la deflexión inmediata teórica calculada conforme a la Norma Técnica Peruana E.060.

Figura 62

Def. inm. experimental (L-01, L-02, L-03 y L-04) vs def. inm. E 0.60



Nota: elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio, se acepta la HE.01. Se determinó que la deflexión inmediata calculada mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (2,782 mm), es menor en 17,17 % que la deflexión promedio inmediata obtenida mediante ensayos (3,260 mm).

En el ámbito internacional, los resultados presentan una tendencia parcialmente similar a lo reportado por Ardila y Hube (2024), quienes determinaron que las deflexiones inmediatas ensayadas en losetas de hormigón convencional (3,40 mm) fueron un 41,38 % menores que las estimaciones analíticas basadas en el ACI 318 (5,80 mm), evidenciando un comportamiento conservador del modelo teórico en condiciones

instantáneas. Este resultado difiere de lo observado en la presente investigación, donde la deflexión inmediata calculada mediante la Norma Técnica Peruana E.060 (2,782 mm) resulta menor en 17,17 % respecto a la obtenida en las losas ensayadas (3,260 mm), mostrando una subestimación por parte del modelo normativo.

No obstante, ambas investigaciones coinciden en evidenciar una discrepancia entre los valores teóricos y los obtenidos mediante ensayos, aunque con diferente tendencia. Mientras que en el estudio internacional el modelo analítico sobreestima la deflexión inmediata, en la presente investigación se observa una subestimación

6.3 Discusión referente a la segunda hipótesis específica

HE.02: Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

Tabla 52

Registro de deflexiones inmediatas (ensayos - SAP2000)

Método de cálculo	Ensayo en laboratorio de Estructuras UNSAAC				SAP 2000
	L-01	L-02	L-03	L-04	
Deflexión inmediata CM	-	-	-	-	-
Deflexión inmediata CV 100 %	-	-	-	-	-
Deflexión inmediata (I)	3,264	2,996	3,429	3,350	2,900

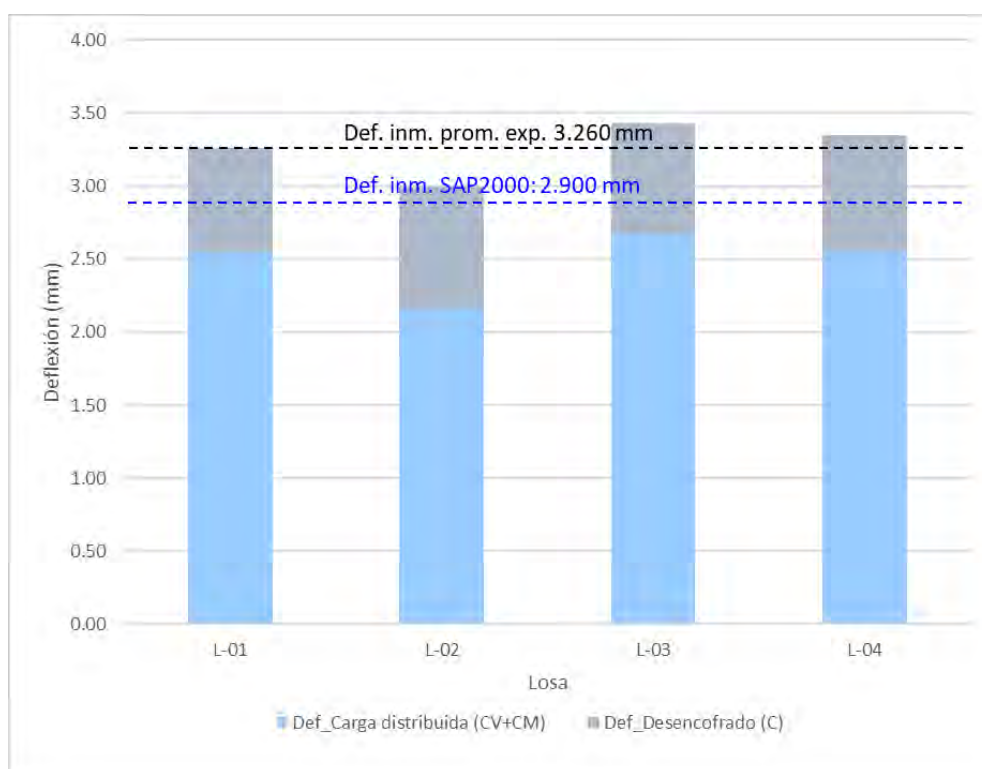
Nota: Elaboración propia

En la tabla 52 se presenta el resumen de las deflexiones inmediatas (Ensayos - SAP2000).

La siguiente figura muestra la comparación entre las deflexiones inmediatas ensayados en laboratorio y la deflexión inmediata con SAP 2000.

Figura 63

Def. inm. experimental (L-01, L-02, L-03 y L-04), def. inm. SAP 2000



Nota: elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio, se acepta la HE.02. Se determinó que la deflexión inmediata calculada mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, es menor en 12,41 % que la deflexión inmediata promedio obtenidas mediante ensayos (3,260 mm)

En el ámbito internacional, los resultados presentan concordancia parcial con lo reportado por Ardila y Hube (2024), quienes determinaron que las deflexiones inmediatas en losetas de hormigón convencional ensayadas (3,40 mm) fueron menores en 41,38 % respecto a las estimaciones analíticas basadas en el ACI 318 (5,80 mm), evidenciando una tendencia del modelo teórico a sobreestimar o diferir del comportamiento real observado en condiciones de ensayo. Esta situación es consistente con lo obtenido en la presente investigación, donde la deflexión inmediata obtenida mediante simulación en SAP 2000 resultó menor en 12,41 % respecto a la deflexión promedio ensayada (3,260 mm), lo que confirma que, aunque en distinta magnitud, existe una tendencia de discrepancia entre modelos numéricos y resultados obtenidos en ensayos de laboratorio.

6.4 Discusión referente a la tercera hipótesis específica

HE.03: Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

En la siguiente tabla se presenta el resumen de las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos de laboratorio (L-01, L-02, L-03 y L-04) , NTP E.060 y SAP2000. Las deflexiones diferidas ensayadas se obtuvieron usando la deflexión inmediata ensayadas y el factor de la E.060.

Tabla 53

Registro de deflexiones diferidas

Método de cálculo	Ensayo en laboratorio de Estructuras UNSAAC				Norma E.060	SAP 2000
	L-01	L-02	L-03	L-04		
Deflexión diferida CM					2,628	
deflexión diferida CV 30 %					0,213	
Deflexión diferida (II) [6_meses]	3,917*	3,595*	4,115*	3,740	2,841	3,480

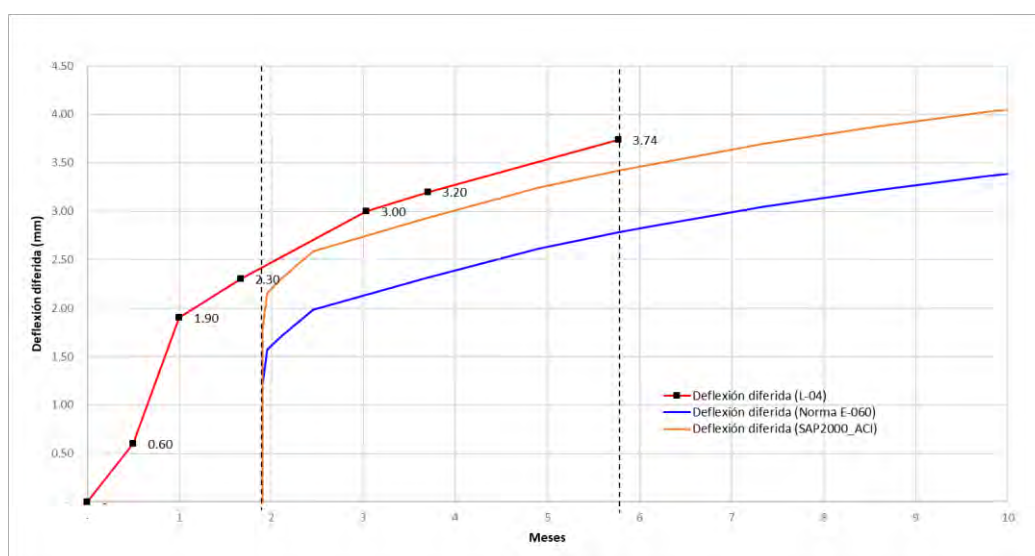
*Deflexión diferida obtenida con la deflexión inmediata ensayada y el factor de la norma E.060

Nota: Elaboración propia.

Usando el gráfico del factor dependiente del tiempo para cargas sostenidas(ξ) y la deflexión inmediata obtenida usando la norma E.060 = 2,782 mm, construimos en el gráfico de deflexiones diferidas (teórico) y la comparamos con los datos obtenidos mediante ensayos con la losa L-04.

Figura 64

Def. diferida Norma E.060 vs SAP 2000 vs experimental de la losa L-04 (6 meses)



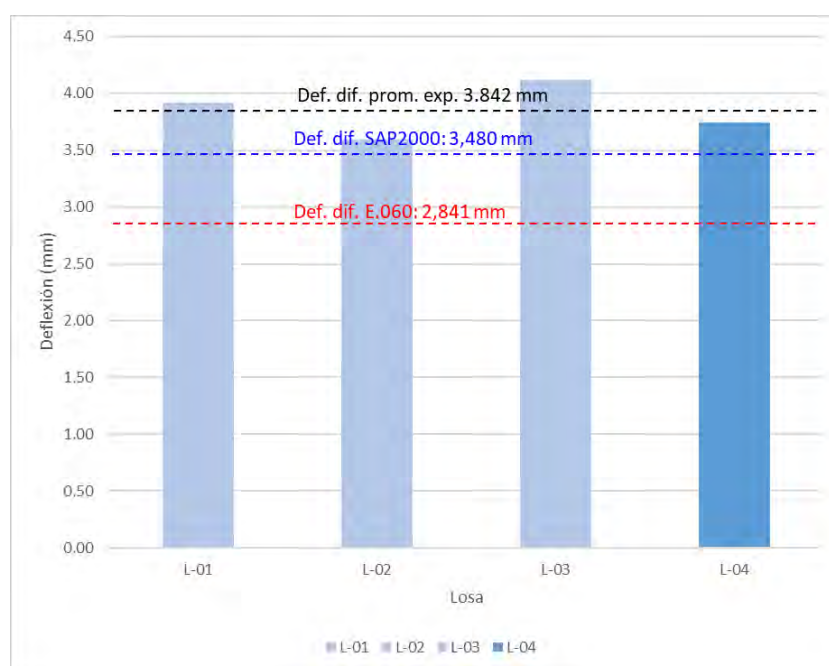
Nota: Elaboración propia

A los 6 meses, la deflexión diferida obtenida mediante la Norma E.060 es de 2,841 mm, mientras que la deflexión diferida ensayada (L-04) alcanza 3,740 mm, presentándose una diferencia de 0,899 mm. Dicha diferencia equivale a un error porcentual de 31,64 %, lo que pone en evidencia que la normativa subestima la magnitud de la deflexión diferida observada mediante ensayos para la losa analizada.

Por otro lado, la deflexión diferida teórica obtenida mediante el software SAP 2000 a los 6 meses es de 3,480 mm, valor que resulta 7.47 % mayor que la deflexión diferida experimental correspondiente a la losa L-04 (3,740 mm). Esta diferencia se explica debido a que, en el modelo numérico, se considera la totalidad de la carga viva (CV) y la carga muerta (CM) como cargas sostenidas, mientras que la NTP E.060 establece que solo una fracción de la CV actúa de manera permanente en el tiempo.

Figura 65

Deflexión diferida experimental (L-01, L-02, L-06 y L-04)



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados obtenidos y bajo las condiciones del presente estudio, se acepta la HE.03. La deflexión diferida promedio obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC (L-01, L-02, L-03 y L-04), en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (3,842 mm), es mayor en 35,22 % que la deflexión diferida calculada mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto (2,841 mm) y es mayor en 10,39 % que calculado con simulación en SAP 2000 (3,480 mm).

En el ámbito internacional, los resultados presentan concordancia parcial con lo reportado por Ardila y Hube (2024), quienes determinaron que las deflexiones diferidas en losetas de hormigón ensayadas a largo plazo fueron mayores en 79,6 % respecto a la estimación analítica. Este valor es significativamente superior al obtenido en la presente investigación frente a la Norma E.060 (35,22 %), evidenciando una diferencia de 44,38 puntos porcentuales, lo que indica que el comportamiento reportado por dichos autores presenta una mayor discrepancia entre el estado real del material y los modelos teóricos (Cabe resaltar que los resultados corresponden a un período de carga de 357 días, lo cual sugiere una mayor incidencia de los fenómenos de fluencia y retracción del concreto en la respuesta a largo plazo del elemento). Sin embargo, en comparación con la simulación en SAP 2000 (10,39 %), la diferencia respecto al estudio internacional alcanza 69,21 puntos porcentuales, lo que sugiere que el modelo numérico utilizado en la presente investigación se aproxima más al comportamiento de referencia normativo que a las desviaciones extremas observadas en ensayos de larga duración.

En el contexto nacional, los resultados presentan concordancia con lo expuesto por Lozano Guevara y Marcas Arrieta (2022), quienes evidencian que la Norma Técnica Peruana E.060 y el modelo basado en el ACI 318-19 implementado mediante software estructural presentan diferencias mínimas en la estimación de deflexiones diferidas, del orden de 0,82 %. En contraste, la presente investigación muestra una diferencia de 10,39 % entre la E.060 y SAP 2000, lo que representa un incremento de 9,57 puntos porcentuales respecto a lo reportado en dicho estudio, evidenciando una mayor dispersión entre el modelo normativo y el modelo computacional en el caso analizado.

Asimismo, Lozano Guevara y Marcas Arrieta (2022) señalan que las discrepancias entre modelos se mantienen generalmente por debajo del 1 %, mientras que en la presente investigación la comparación entre los valores obtenidos mediante SAP 2000 y la norma E.060 se encuentra aproximadamente diez veces por encima de dicho rango. Sin embargo, al contrastar con la diferencia observada entre ensayos y norma (35,22 %), se evidencia que el modelo SAP 2000 reduce la brecha en 24,83 puntos porcentuales, acercándose más al comportamiento real que el método normativo.

CAPITULO 7 CONCLUSIONES

CG: La deflexión total promedio obtenida mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (L-01, L-02, L-03 y L-04), ensayadas en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC (7,101 mm), es mayor en 26.29 % que la deflexiones calculada mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado (5,623 mm) y es mayor en 11,31 % que la calculada con simulación en SAP 2000 (6,380 mm), en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco. En el marco de la presente investigación, bajo los criterios adoptados y la muestra analizada, se observa que los métodos teóricos tienden a subestimar las deflexiones respecto a los valores ensayados, siendo la Norma E.060 la que presenta la mayor diferencia en comparación con los resultados de laboratorio.

CE01: Bajo las condiciones del presente estudio. La deflexión inmediata calculada mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (2,782 mm), es menor en 17,17 % que la deflexión promedio inmediata obtenida mediante ensayos (3.260) en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC (L-01, L-02, L-03 y L-04), en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

CE02: Bajo las condiciones del presente estudio. La deflexión inmediata calculada mediante simulación en SAP 2000 (2,900 mm), en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, es menor en 12,41 % que la deflexión inmediata promedio obtenidas mediante ensayos (3,260 mm) en laboratorio

de Estructuras de la UNSAAC (L-01, L-02, L-03 y L-04), en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

CE03: Bajo las condiciones del presente estudio. La deflexión diferida promedio obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC (L-01, L-02, L-03 y L-04), en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'_c = 280 \text{ kgf/cm}^2$ (3,842 mm), es mayor en 35,22% que la deflexión diferida calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto (2,841 mm) y es mayor en 10,39 % que calculado con simulación en SAP 2000 (3,480 mm), en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.

CAPITULO 8 RECOMENDACIONES

- Se recomienda desarrollar estudios experimentales probabilísticos en laboratorio orientados a la determinación de propiedades mecánicas del concreto producido con materiales locales (agregado grueso y fino) del distrito de San Jerónimo - Cusco, especialmente el módulo de elasticidad. Debido a que los modelos empleados en la N.T.P E 0.60 Concreto Armado se basan en códigos internacionales como el ACI 318 (materiales de otros contextos, particularmente norteamericanos), los cuales pueden presentar diferencias en composición, peso específico y comportamiento mecánico respecto a los materiales disponibles en la región. La generación de parámetros propios permitiría mejorar la precisión de los modelos de cálculo y lograr diseños más acordes a las condiciones locales.
- Se recomienda determinar el módulo de elasticidad del concreto mediante el ensayo de módulo de elasticidad estático en compresión, debido a que las deflexiones obtenidas se encuentran en el orden de milímetros y presentan diferencias pequeñas entre sí, lo que hace sensible el análisis al valor adoptado de dicho parámetro.
- Se recomienda evaluar la influencia de la cuantía de acero de refuerzo en el control de deflexiones, analizando diferentes porcentajes de refuerzo longitudinal, con el objetivo de identificar la cuantía óptima que permita que las deflexiones se aproximen a los valores previstos por la Norma Técnica E.060 y no superen los límites admisibles de servicio, evitando así daños en elementos no estructurales y afectaciones a la funcionalidad de las edificaciones.

- Se recomienda analizar el efecto de la variación del espesor de la losa en el comportamiento de las deflexiones inmediatas y diferidas, manteniendo constantes las demás variables, con el fin de evaluar su influencia en la rigidez global del elemento y en el cumplimiento de los límites establecidos por la norma.
- Se recomienda complementar el análisis mediante un programa experimental que considere la selección de muestras bajo criterios de muestreo probabilístico, a fin de asegurar la representatividad estadística de los datos y permitir la generalización de los resultados.
- Para futuros ensayos ensayados en laboratorio, se recomienda evaluar la deflexión bajo cargas distribuidas, mediante la implementación de un sistema de aplicación de carga que reproduzca de manera más realista las condiciones de servicio, permitiendo una mejor comparación con los modelos teóricos y normativos, los cuales asumen generalmente cargas uniformemente distribuidas.
- Se recomienda ampliar el período de observación de las deflexiones diferidas, evaluando horizontes de tiempo mayores (1, 3 y 5 años), a fin de analizar con mayor precisión la evolución de los efectos de fluencia y retracción del concreto, y su impacto en el desempeño en servicio de las losas macizas.
- A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda considerar la optimización del control de deflexiones en losas mediante el incremento de la cuantía de refuerzo y/o el aumento del espesor, así como prestar atención al sistema de apuntalamiento por su influencia en el

comportamiento estructural. Cabe precisar que estos resultados y recomendaciones son aplicables a las condiciones específicas de la presente tesis, en función de los criterios adoptados y las muestras analizadas. El desarrollo detallado de estas recomendaciones se presenta en el Anexo 10.8: Aportes de la investigación (Recomendaciones), como complemento a los resultados expuestos.

CAPITULO 9 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 224. (1993). *ACI 224.1R-93 Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras*. Association Concrete Institute.
- ACI Committee 211. (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (ACI 211.1)*.
- ACI Committee 318. (2014). *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-14)*. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Ardila, J., & Hube, M. (2024). *Programa Experimental Sobre Deflexiones de Losetas de Hormigón Convencional y Autocompactante*. Centro UC - Innovación del Hormigón.
- Bažant, Z., & Yu, Q. (2013). Prediction of Creep and Shrinkage and their Effects in Concrete Structures: Critical Review. *Structural Concrete*, 7–21.
- Bernal, I. R. (2005). *Losas*. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- Blanco Blasco, A. (1994). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Lima: Capitulo de Ingeniería Civil.
- Concrete Society Technical Report No. 58. (2005). *Deflections in Concrete Slabs and Beams*. Camberley, Surrey: Cromwell Press, Trowbridge, Wiltshire.
- Deanza College, B. I., & Deanza College, S. D. (2022). *Introducción a la estadística*. Hpuston, Texas: OpenStax.
- ECURED. (2026). *Departamentos del Cusco*. Obtenido de https://www.ecured.cu/Departamento_del_Cusco
- Harmsen, T. (2017). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima: Pontificia

Universidad Católica del Perú.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014).

Metodología de la Investigación. México D.F.: McGRAW-HILL /
Interamericana Editores, S.A. DE C.V.

Hibbeler, R. C. (2016). *Structural Analysis*. Boston: Pearson.

Hube, M., & Ardila, J. (2024). *Programa experimental sobre deflexiones de losetas de hormigón convencional y autocompactante*. Pontificia Universidad Católica de Chile – Centro UC Innovación del Hormigón.

Kerlinger, F., & Lee, H. (2002). *Investigación del comportamiento: Métodos de investigación en ciencias sociales*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Lozano Guevara, A. A., & Marcas Arrieta, M. M. (2022). *Estudio de criterios de diseño para estados límite en condición de servicio para elementos de concreto armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

MacGregor, J., & Wight, J. (2012). *Reinforced concrete: Mechanics and design (6th ed.)*. Upper Saddle River, New Jersey: Person.

Matallana Rodríguez, R. (2019). *EL CONCRETO FUNDAMENTOS Y NUEVAS TECNOLOGÍAS*. Bogotá: Corona, ISBN.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica E.060 – Concreto armado*. Lima: MVCS. Obtenido de
<https://www.cip.org.pe/publicaciones/2021/enero/portal/e.060-concreto->

armado-sencico.pdf

Nilson, A. H. (2011). *Design of Concrete Structures*. New York: McGraw-Hill Education.

Ottazi Pasino, G. (2015). *Apuntes del Curso Concreto Armado I*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Oviedo Sarmiento, D. (2016). *Diseño Sismorresistente de Edificaciones de concreto Armado*. Lima: Oviedo Ingeniería EIRL.

Rangel Torres, G., & Terán Gilmore, A. (2010). *Efecto de la Losa en las Propiedades Estructurales y el Desempeño Sísmico de Marcos de Concreto Reforzado*. México DF.

Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El proceso de investigación científica*. México D.F.: Limusa.

Wight, J. K. (2015). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. Pearson.

YURA S.A. / Concretos Supermix. (2017). Manual de Construcción.

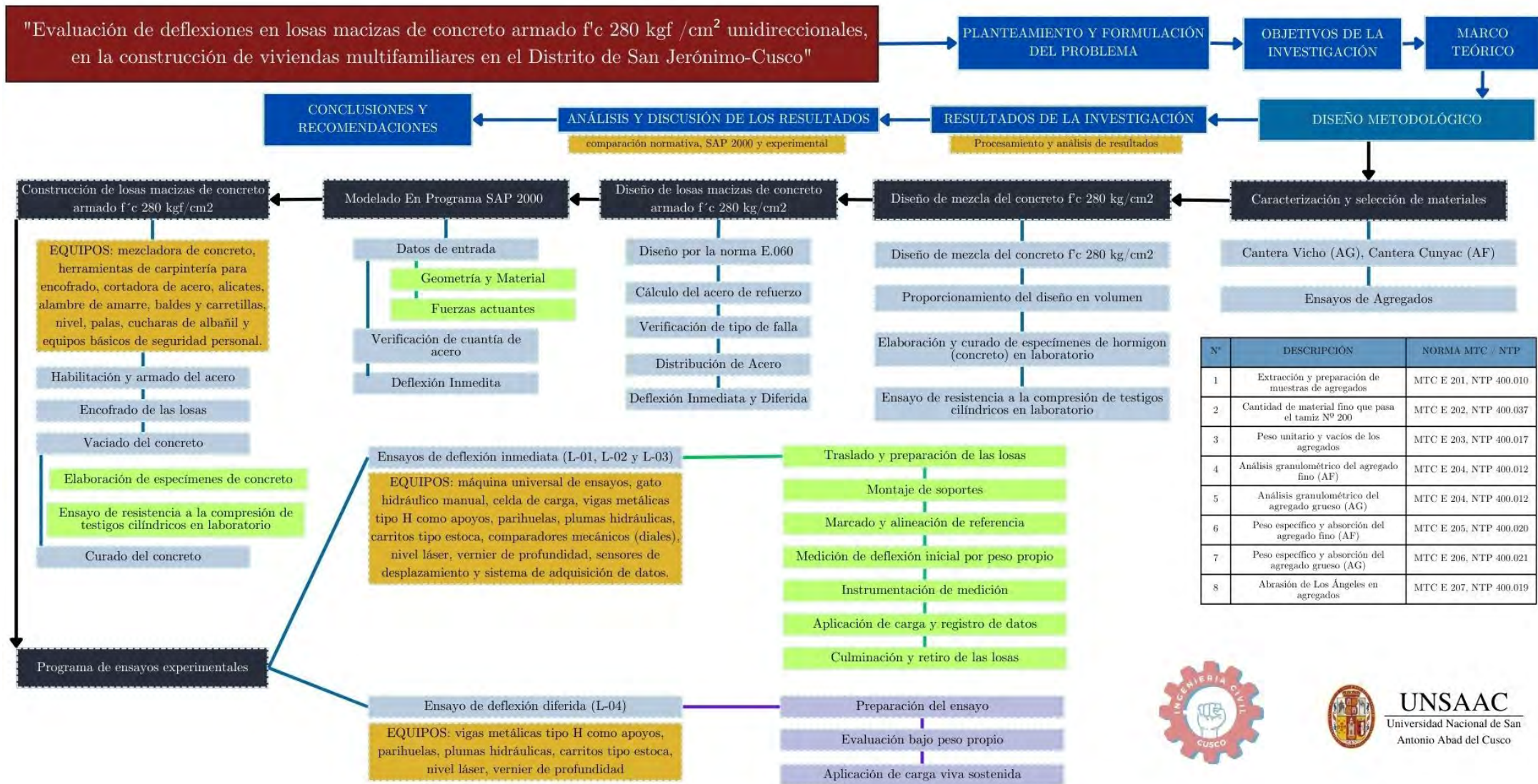
Zhong, H. (2024). *A Review on the Shrinkage Properties of Concrete and Influencing Factors*. Henan, China.

CAPITULO 10 ANEXOS

10.1 Matriz de consistencia

Nivel	Planteamiento del problema	Objetivos de la investigación	Hipótesis de la investigación	VARIABLES E INDICADORES			Metodología de investigación
	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable	Dimensión	Indicadores	
General	¿Existen diferencias significativas entre las deflexiones obtenidas mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , ensayadas en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, y las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?	Evaluar y comparar las deflexiones obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, con las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	Las deflexiones obtenidas mediante ensayos en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, son mayores que las deflexiones calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	V1: Método de evaluación de deflexiones	Método analítico normativo	Deflexión calculada según Norma E.060 (mm)	Enfoque: Cuantitativo. Alcance: Descriptivo-comparativo Nivel: Aplicado Diseño: No Experimental. Población de estudio: Losas macizas unidireccionales de concreto armado con resistencia a la compresión $f'c = 280$ kgf/cm ² , en construcción de viviendas multifamiliares ubicadas en el distrito de San Jerónimo - Cusco, 2024.
Esp. 01	¿Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , difieren de las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?	Determinar y comparar las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado con las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	Las deflexiones inmediatas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.		Modelado numérico computacional	Deflexión obtenida mediante software SAP2000 (mm)	
Esp. 02	¿Las deflexiones inmediatas obtenidas mediante simulación en SAP 2000 en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , difieren de las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?	Determinar y comparar las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000 con las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en el Laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	Las deflexiones inmediatas calculadas mediante simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , son menores que las deflexiones inmediatas obtenidas mediante ensayos en laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	V2: Deflexión en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ²	Deflexión inmediata por carga de servicio	Deflexión al desencofrado + deflexión inmediata en el centro de la luz CV+CM (mm)	Muestra: Cuatro (04) losas macizas unidireccionales de concreto armado con $f'c = 280$ kgf/cm ² , ensayadas en laboratorio. Técnicas: Análisis comparativo, análisis normativo, medición de ensayos, simulación numérica.
Esp. 03	¿Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , difieren de las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco?	Evaluar y comparar las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, con las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060 - Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.	Las deflexiones diferidas obtenidas mediante ensayos en el laboratorio de Estructuras de la UNSAAC, en losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c = 280$ kgf/cm ² , son mayores que las deflexiones diferidas calculadas mediante la Norma Técnica Peruana E.060-Concreto Armado y simulación en SAP 2000, en la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco.		Deflexión diferida por carga sostenida	Incremento de deflexión en el tiempo $\Delta(t)$ (mm)	
							Instrumentos: Norma E.060, software de análisis estructural, LVDT, máquina de ensayos, nivel láser como verificación de referencia, instrumentos de laboratorio, ficha de registro.

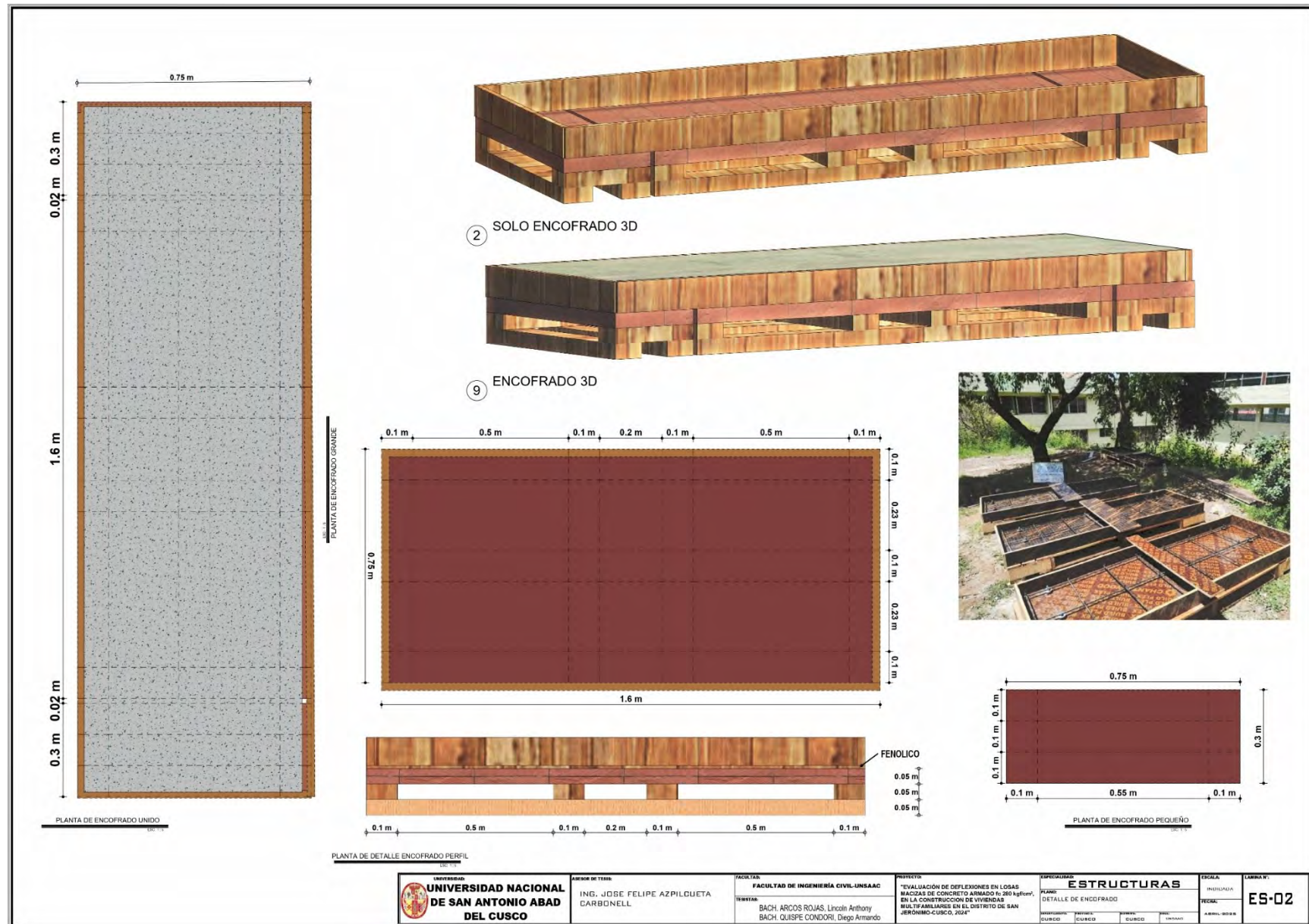
10.2 Flujograma



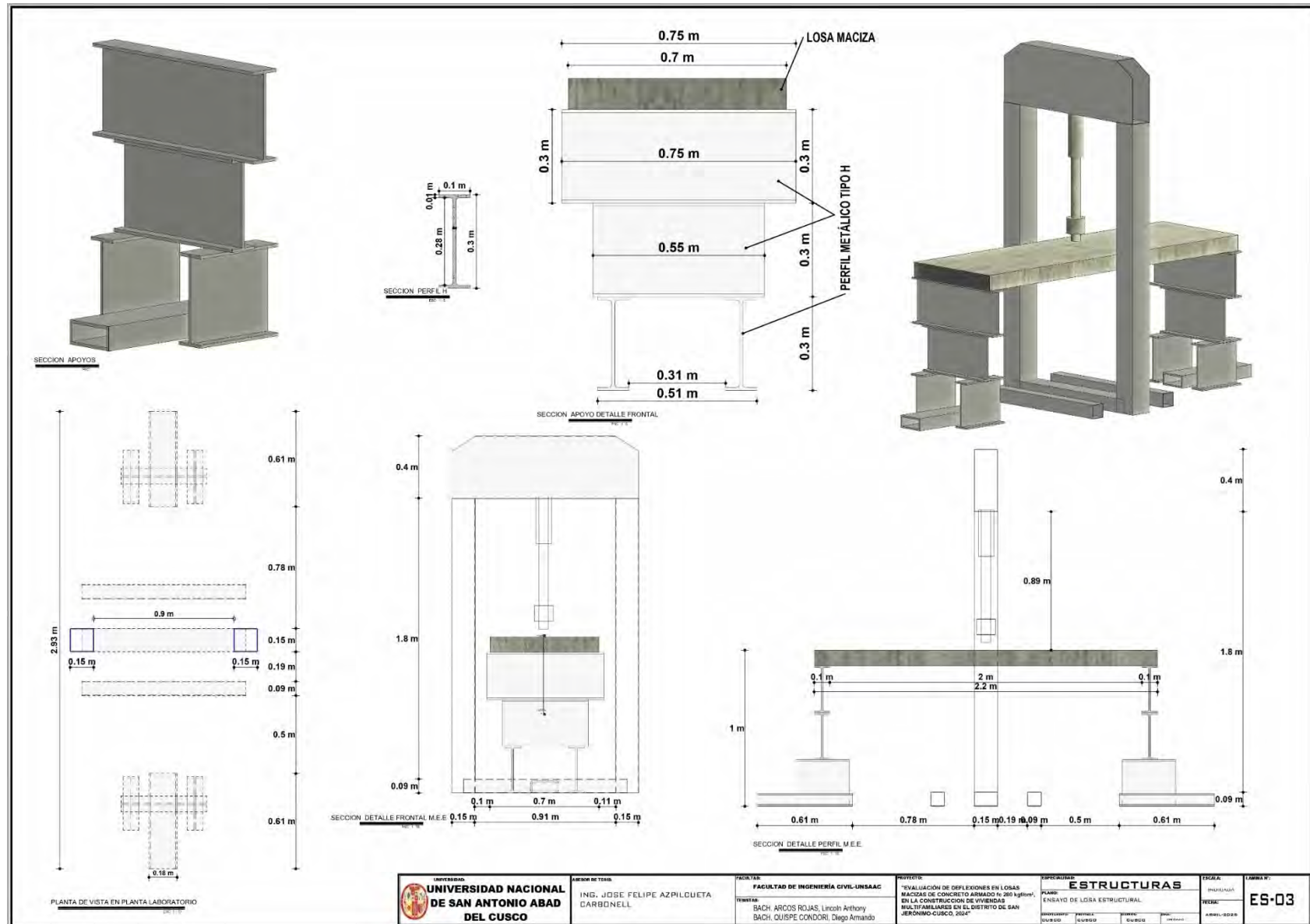
10.3 Plano de ubicación



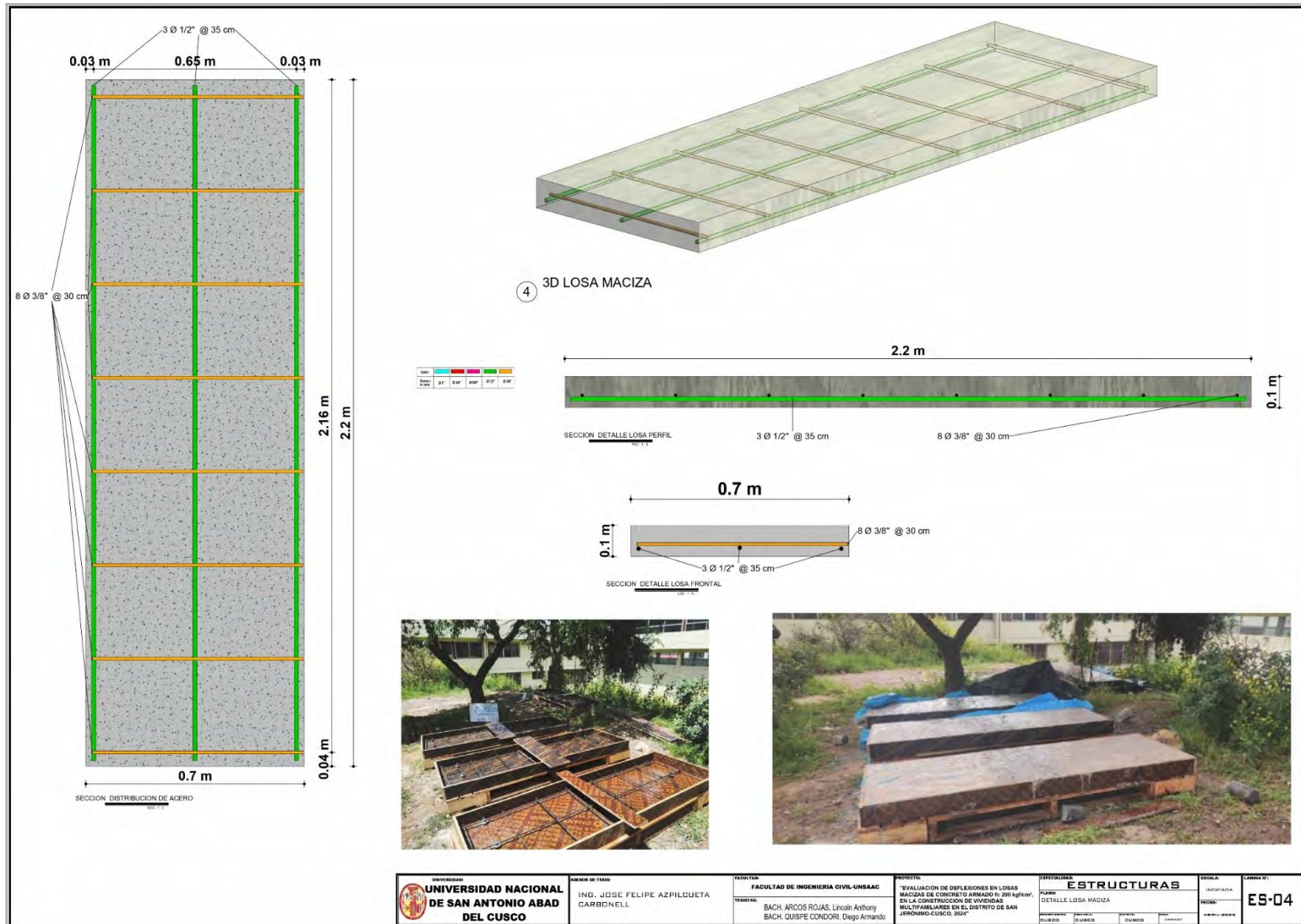
10.4 Plano detalle de encofrado



10.5 Plano detalle de soportes y maquina universal



10.6 Plano detallado de armado de acero



10.7 Encuesta de vendedores de agregado

	Tienda	Procedencia	Tipo de agregado	Precio (S/ m ³)	Observación
Óscar		Huambutío	Piedra de 1/2"	70	Uso alternativo
		Huambutío	Arena gruesa	75	Uso alternativo
Indira'S		Wilki	Piedra de 1/2"	70	Uso alternativo
		Surite	Piedra de 1/2"	70	Uso alternativo
		Cunyac	Arena gruesa	130	Recomendada
		Pisac	Arena gruesa	80	Uso alternativo
Valle Sagrado		Vicho	Piedra de 1/2"	70	Recomendada
		Huambutío	Piedra de 1/2"	70	Recomendada
		Huacarpay	Arena gruesa	70	Uso alternativo
Luz		Huambutío	Piedra de 1/2"	60	Uso alternativo
		Cunyac	Arena gruesa	140	Recomendada
		Pisac	Arena gruesa	100	Alternativa
Brenda ´S		Huambutío	Piedra de 1/2"	65	Uso general
		Vicho	Piedra de 1/2"	70	Recomendada
		Huacarpay	Arena gruesa	70	Uso local
		Vicho	Arena gruesa	75	Recomendada
		Cunyac	Arena gruesa	120	Recomendada
ANAHÍ		Huambutío (roja)	Piedra de 1/2"	60	Uso alternativo
		Vicho	Piedra de 1/2"	60	Uso alternativo
		Huacarpay	Arena gruesa	60	Uso local
		Cunyac	Arena gruesa	120	Recomendada
MOTTA'S		Vicho	Piedra de 1/2"	65	Costo promedio
		Huambutío	Piedra de 1/2"	60	Uso alternativo
		Vicho	Arena gruesa	75	Lavada
		Huambutío	Arena gruesa	75	Uso alternativo
MARY		Vicho	Piedra de 1/2"	70	Recomendada
		Cunyac	Arena gruesa	125	Recomendada
NANDO		Vicho	Arena gruesa	75	Recomendada
		Cunyac	Arena gruesa	130	Recomendada
		Pisac	Arena gruesa	80	Alternativa

10.8 Certificado de uso de laboratorio de Mecánica de Suelos



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACION**

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DE CUSCO.

HAGO CONSTAR:

Que los Tesistas en Ingeniería Civil, Bach. DIEGO ARMANDO QUISPE CONDORI, identificado con DNI N° 74924271, con código universitario N° 184017; y Bach. LINCOLN ANTHONY ARCOS ROJAS, identificado con DNI N° 71464199, con código universitario N° 181748, hicieron uso del laboratorio para la ejecución de la tesis de investigación: **"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$, EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO – CUSCO, 2024"**.

Los ensayos realizados son los siguientes:

N°	DESCRIPCIÓN	NORMA MTC / NTP
1	Extracción y preparación de muestras de agregados	MTC E 201, NTP 400.010
2	Cantidad de material fino que pasa el tamiz N° 200	MTC E 202, NTP 400.037
3	Peso unitario y vacíos de los agregados	MTC E 203, NTP 400.017
4	Análisis granulométrico del agregado fino (AF)	MTC E 204, NTP 400.012
5	Análisis granulométrico del agregado grueso (AG)	MTC E 204, NTP 400.012
6	Peso específico y absorción del agregado fino (AF)	MTC E 205, NTP 400.020
7	Peso específico y absorción del agregado grueso (AG)	MTC E 206, NTP 400.021
8	Abrasión de Los Ángeles en agregados	MTC E 207, NTP 400.019
9	Contenido de humedad por secado en agregados	MTC E 208, NTP 339.185
10	Ensayo de resistencia a la compresión de probetas de concreto	NTP 339.034
11	Ensayo experimental de deflexión inmediata en losas macizas de concreto armado $f'c 280 \text{ kg/cm}^2$ (Máquina universal de ensayos estructurales)	Ensayo sin norma técnica específica. Lineamientos de la NTP E.060

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados, con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco 08 de enero del 2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Marlené Nieto Palomán
Jefe de Laboratorio

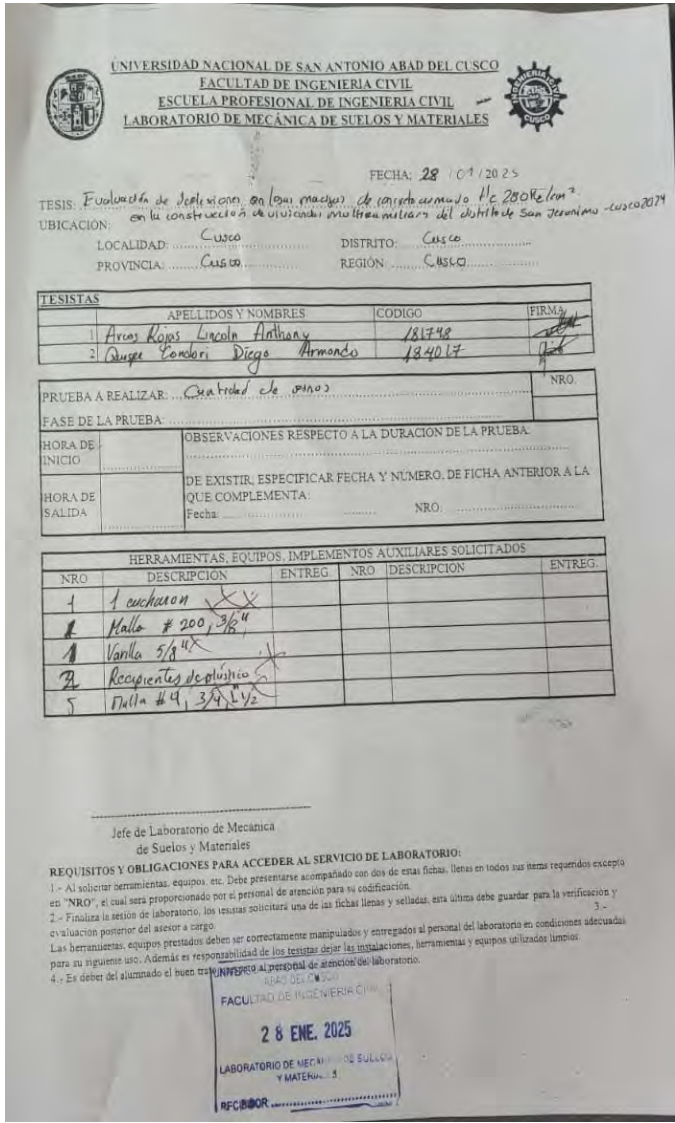


10.9 Resultados de ensayos de laboratorio

10.9.1 Ensayo en agregados

10.9.1.1 Cantidad de material fino que pasa el tamiz de 75 mm (N°200) por lavado

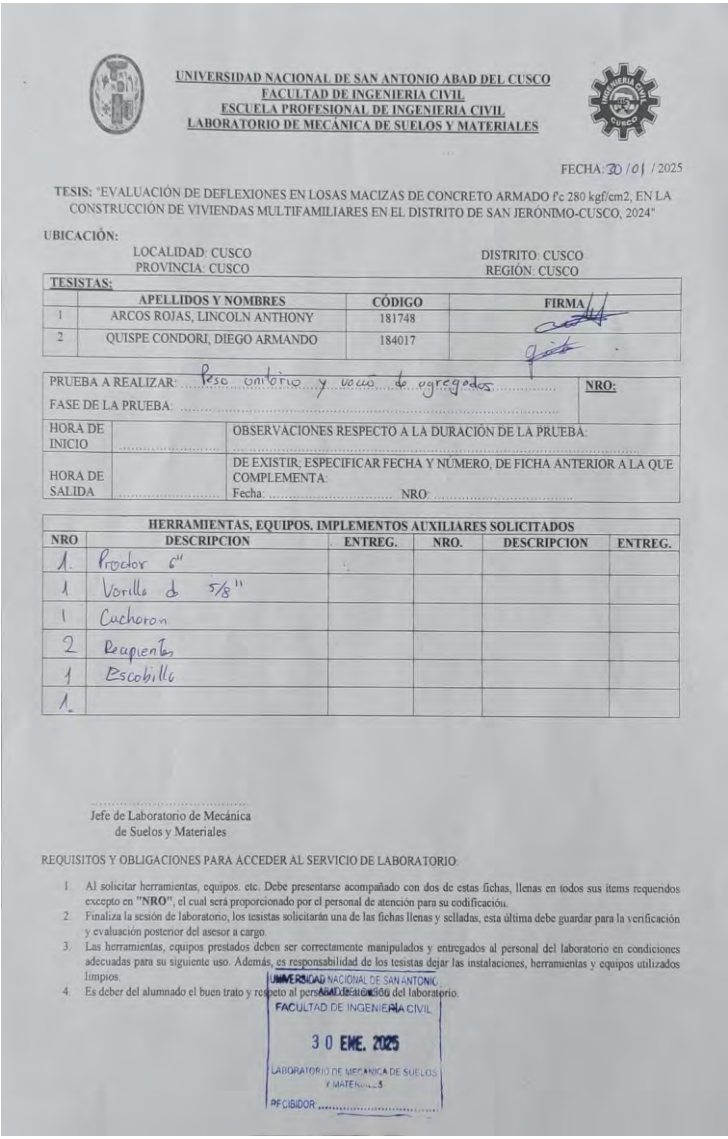
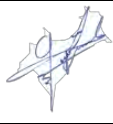
UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA: 30/01/2025															
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																	
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco															
ENSAYO:	CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ DE 75 MM (N° 200) POR LAVADO	PROVINCIA	Cusco															
NORMA:	NTP 400.018	DISTRITO	Cusco															
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0															
MUESTRA:	1	CONSIDERACIONES Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyag Laboratorio de Mécanica de Suelos - UNSAAC																
N° DE ENSAYO:	1																	
PAG:	1 de 2																	
OBJETO El procedimiento consiste en determinar, mediante el lavado con agua, la cantidad de partículas finas presentes en el agregado que atraviesan el tamiz de 75 µm (N° 200). Durante el ensayo, el lavado permite desprender de la superficie del agregado aquellas fracciones que logran pasar dicho tamiz, entre las que se incluyen arcillas, partículas muy finas y		PROCEDIMIENTO - Se obtiene una muestra de agregado fino mediante la técnica de cuarteo, asegurando un peso mínimo de 500 g de acuerdo con las especificaciones normativas. - Se pesa el material con el fin de determinar el peso seco inicial de la muestra en gramos. - Se procede al lavado de la muestra, eliminando el material retenido en el tamiz N° 200 hasta que el agua de enjuague se observe completamente transparente. - Se coloca la fracción resultante en una estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C durante un lapso de 24 horas. - Se pesa nuevamente la muestra seca después del proceso de lavado y secado en horno.																
MUESTRA Tabla 1: Cantidad mínima de muestra. <table border="1"> <thead> <tr> <th>Tamaño máximo nominal del</th> <th>(N° 4) o menor</th> <th>Peso mínimo de la muestra</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>4,75 mm</td> <td>(N° 4) o menor</td> <td>300</td> </tr> <tr> <td>9,5 mm</td> <td>(3/8")</td> <td>1000</td> </tr> <tr> <td>19,0 mm</td> <td>(3/4")</td> <td>2500</td> </tr> <tr> <td>37,5 mm</td> <td>(1 1/2")</td> <td>5000</td> </tr> </tbody> </table> Fuente: Manual de Ensayo de Materiales, MTC 2016		Tamaño máximo nominal del	(N° 4) o menor	Peso mínimo de la muestra	4,75 mm	(N° 4) o menor	300	9,5 mm	(3/8")	1000	19,0 mm	(3/4")	2500	37,5 mm	(1 1/2")	5000	CALCULOS $A = ((B - C) / B) \times 100$ Donde: A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 µm (N° 200) por lavado. B = Peso seco de la muestra original, en gramos. C = Peso seco de la muestra después de lavado, en gramos.	
Tamaño máximo nominal del	(N° 4) o menor	Peso mínimo de la muestra																
4,75 mm	(N° 4) o menor	300																
9,5 mm	(3/8")	1000																
19,0 mm	(3/4")	2500																
37,5 mm	(1 1/2")	5000																
CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ DE 75 MM (N° 200) POR LAVADO																		
CANTIDAD DE MATERIAL FINO PASA TAMIZ N°200_AGREGADO FINO		CANTIDAD DE MATERIAL FINO PASA TAMIZ N°200_AGREGADO GRUESO																
ANTES DEL LAVADO		ANTES DEL LAVADO																
Peso de la muestra húmeda (g)	M01_AF 384.26	Peso de la muestra húmeda (g)	M01_AG 2,578.14															
Peso de la muestra seca (g) [B]	381.42	Peso de la muestra seca (g) [B]	2,574.08															
DESPUÉS DEL LAVADO		DESPUÉS DEL LAVADO																
Peso de la muestra seca (g) [C]	359.95	Peso de la muestra seca (g) [C]	2,554.63															
Peso del retenido Filtrado Seco (g)	21.47	Peso del retenido Filtrado Seco (g)	19.45															
Material más fino que el tamiz N°200		Material más fino que el tamiz N°200																
Material que pasa el tamiz N° 200 (g) [B-C]	21.47	Material que pasa el tamiz N° 200 (g) [B-C]	19.45															
% de material fino que pasa el tamiz N°200 [A]	5.63%	% de material fino que pasa el tamiz N°200 [A]	0.76%															
PANEL FOTOGRÁFICO																		
FOTOGRAFÍA N°01 		FOTOGRAFÍA N°02 																
Lavado de muestra		Pizarra tesis_Peso de la muestra seca M-01_AF																
OBSERVACIONES Fuente: Elaboración propia																		
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:																
Firma: 		Firma: 																
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas Fecha: 30/01/2025		Nombre: Diego Armando Quispe Condori Fecha: 30/01/2025																

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																																
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	30/01/2025																																																														
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																																	
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																															
ENSAYO:	CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ DE 75 MM (N° 200) POR LAVADO	PROVINCIA	Cusco																																																															
NORMA:	NTP 400.018	DISTRITO	Cusco																																																															
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																															
MUESTRA:	1	CONSIDERACIONES Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																																
N° DE ENSAYO:	1																																																																	
PAG:	2 de 2																																																																	
PANEL FOTOGRÁFICO																																																																		
FOTOGRAFÍA N°03																																																																		
 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES FECHA: 28/01/2025 TESIS: Evaluación de deflexión en las macizas de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm² en la construcción de viviendas multifamiliares del distrito de San Jerónimo - Cusco 2024 UBICACIÓN: LOCALIDAD: Cusco DISTRITO: Cusco PROVINCIA: Cusco REGIÓN: Cusco <table border="1"> <thead> <tr> <th>TESISTAS</th> <th>APELLIDOS Y NOMBRES</th> <th>CODIGO</th> <th>FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Arcos Rojas Lincoln Anthony</td> <td>181748</td> <td>[Firma]</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Quispe Condori Diego Armando</td> <td>184017</td> <td>[Firma]</td> </tr> </tbody> </table> PRUEBA A REALIZAR: Control de arena FASE DE LA PRUEBA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>HORA DE INICIO</th> <th>OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th>HORA DE SALIDA</th> <th>DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Fecha: NRO:</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS</th> </tr> <tr> <th>NRO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ENTREG</th> <th>NRO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ENTREG</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>1 cucharon</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Halla # 200, 3/8"</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Varilla 5/8"</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Recipientes de plástico</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Halla # 4, 3/8"</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO: - Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación. - Finaliza la sesión de laboratorio, los testas solicitan una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo. - Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los testas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios. - Es deber del alumnado el buen trato al personal de atención del laboratorio. UNSAAC FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL 28 ENE. 2025 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES RFCB00R					TESISTAS	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA	1	Arcos Rojas Lincoln Anthony	181748	[Firma]	2	Quispe Condori Diego Armando	184017	[Firma]	HORA DE INICIO	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA			HORA DE SALIDA	DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:		Fecha: NRO:	HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS						NRO	DESCRIPCION	ENTREG	NRO	DESCRIPCION	ENTREG	1	1 cucharon	X				2	Halla # 200, 3/8"	X				3	Varilla 5/8"	X				4	Recipientes de plástico	X				5	Halla # 4, 3/8"	X			
TESISTAS	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA																																																															
1	Arcos Rojas Lincoln Anthony	181748	[Firma]																																																															
2	Quispe Condori Diego Armando	184017	[Firma]																																																															
HORA DE INICIO	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA																																																																	
HORA DE SALIDA	DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:																																																																	
	Fecha: NRO:																																																																	
HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS																																																																		
NRO	DESCRIPCION	ENTREG	NRO	DESCRIPCION	ENTREG																																																													
1	1 cucharon	X																																																																
2	Halla # 200, 3/8"	X																																																																
3	Varilla 5/8"	X																																																																
4	Recipientes de plástico	X																																																																
5	Halla # 4, 3/8"	X																																																																
Ensayo cantidad de material fino																																																																		
OBSERVACIONES																																																																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">ELABORADO POR:</th> <th colspan="2">ELABORADO POR:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Firma:</td> <td>[Firma]</td> <td>Firma:</td> <td>[Firma]</td> </tr> <tr> <td>Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas</td> <td></td> <td>Nombre: Diego Armando Quispe Condori</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fecha: 30/01/2025</td> <td></td> <td>Fecha: 30/01/2025</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					ELABORADO POR:		ELABORADO POR:		Firma:	[Firma]	Firma:	[Firma]	Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		Fecha: 30/01/2025		Fecha: 30/01/2025																																															
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:																																																																
Firma:	[Firma]	Firma:	[Firma]																																																															
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																																
Fecha: 30/01/2025		Fecha: 30/01/2025																																																																

10.9.1.2 Peso unitario suelto y compactado de agregados

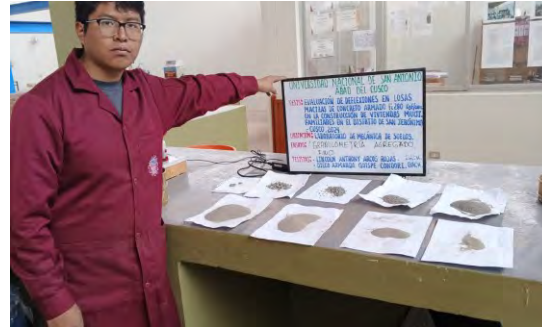
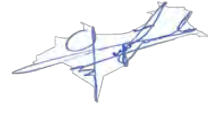
UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																																																	
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"	FECHA:	30/01/2025																																																																																
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																																																		
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																																																
ENSAYO:	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADOS	PROVINCIA	Cusco																																																																																
NORMA:	NTP 400.017	DISTRITO	Cusco																																																																																
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																																																
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES																																																																																	
N° DE ENSAYO:	1-2-3-4	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq																																																																																	
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																																																	
OBJETO		PROCEDIMIENTO																																																																																	
Se busca establecer el peso unitario, tanto en estado suelto como compactado, así como el porcentaje de vacíos en los agregados, ya sean finos, gruesos o en una mezcla de ambos. Este procedimiento es aplicable a agregados cuyo tamaño máximo nominal		Peso unitario suelto Para la determinación con agregado grueso se emplea el Proctor estándar, mientras que en el caso de agregado fino se utiliza el Proctor modificado. Inicialmente, se registra el peso de cada Proctor (estándar y modificado) para contar con la tara correspondiente. Posteriormente, se miden sus dimensiones con el fin de calcular el volumen de los moldes. El procedimiento consiste en llenar el Proctor con el material de manera libre, sin aplicar ningún tipo de compactación, retirando el excedente con ayuda de una varilla hasta nivelar la superficie. Finalmente, se obtiene el peso total del conjunto (Proctor más material). Peso unitario compactado Para esta determinación también se recurre al Proctor estándar en el caso de agregados gruesos y al Proctor modificado para agregados finos. Luego de pesar los moldes para obtener su tara, se procede al llenado en tres capas, cada una equivalente a un tercio del volumen del Proctor. En cada capa, el material es compactado aplicando 25 golpes con la varilla metálica y posteriormente nivelado hasta el borde del molde. Una vez completado el procedimiento, se pesa el Proctor con el material para obtener el valor del peso unitario compactado.																																																																																	
CALCULOS																																																																																			
1. Peso unitario (suelto y compactado)																																																																																			
M = (G - T) / V ... (1)																																																																																			
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																																																																																			
PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADOS																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO</th> <th colspan="4">PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO</th> </tr> <tr> <th>DATOS</th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> <th>DATOS</th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del Molde (kg) [T]</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>Peso del Molde (kg) [T]</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> </tr> <tr> <td>Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]</td> <td>12.80</td> <td>12.85</td> <td>12.75</td> <td>Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]</td> <td>12.25</td> <td>12.27</td> <td>12.23</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Suelta (kg)</td> <td>4.85</td> <td>4.90</td> <td>4.80</td> <td>Peso de la Muestra Suelta (kg)</td> <td>4.30</td> <td>4.32</td> <td>4.28</td> </tr> <tr> <td>Altura del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>Altura del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>Diámetro del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Volumen del Molde (m³) [V]</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>Volumen del Molde (m³) [V]</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td> <td>1,829.69</td> <td>1,848.56</td> <td>1,810.83</td> <td>Peso Unitario Suelto (kg/m³)</td> <td>1,622.20</td> <td>1,629.75</td> <td>1,614.66</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Suelto Promedio AF (kg/m³) [M]</td> <td colspan="3">1829.69</td> <td>Peso Unitario Suelto Promedio AG (kg/m³) [M]</td> <td colspan="3">1622.20</td> </tr> </tbody> </table>				PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO				PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO				DATOS	M-01	M-02	M-03	DATOS	M-01	M-02	M-03	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]	12.80	12.85	12.75	Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]	12.25	12.27	12.23	Peso de la Muestra Suelta (kg)	4.85	4.90	4.80	Peso de la Muestra Suelta (kg)	4.30	4.32	4.28	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1,829.69	1,848.56	1,810.83	Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1,622.20	1,629.75	1,614.66	Peso Unitario Suelto Promedio AF (kg/m³) [M]	1829.69			Peso Unitario Suelto Promedio AG (kg/m³) [M]	1622.20		
PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO				PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO																																																																															
DATOS	M-01	M-02	M-03	DATOS	M-01	M-02	M-03																																																																												
Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95																																																																												
Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]	12.80	12.85	12.75	Peso del Molde + Muestra Suelta (kg) [G]	12.25	12.27	12.23																																																																												
Peso de la Muestra Suelta (kg)	4.85	4.90	4.80	Peso de la Muestra Suelta (kg)	4.30	4.32	4.28																																																																												
Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15																																																																												
Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15																																																																												
Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027																																																																												
Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1,829.69	1,848.56	1,810.83	Peso Unitario Suelto (kg/m³)	1,622.20	1,629.75	1,614.66																																																																												
Peso Unitario Suelto Promedio AF (kg/m³) [M]	1829.69			Peso Unitario Suelto Promedio AG (kg/m³) [M]	1622.20																																																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO</th> <th colspan="4">PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO</th> </tr> <tr> <th>DATOS</th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> <th>DATOS</th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso del Molde (kg) [T]</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>Peso del Molde (kg) [T]</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> <td>7.95</td> </tr> <tr> <td>Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]</td> <td>13.15</td> <td>13.15</td> <td>13.15</td> <td>Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]</td> <td>12.60</td> <td>12.62</td> <td>12.58</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Compactada (kg)</td> <td>5.20</td> <td>5.20</td> <td>5.20</td> <td>Peso de la Muestra Compactada (kg)</td> <td>4.65</td> <td>4.67</td> <td>4.63</td> </tr> <tr> <td>Altura del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>Altura del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Diámetro del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>Diámetro del Molde (m)</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>Volumen del Molde (m³) [V]</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>Volumen del Molde (m³) [V]</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> <td>0.0027</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Compactado (kg/m³)</td> <td>1,961.73</td> <td>1,961.73</td> <td>1,961.73</td> <td>Peso Unitario Compactado (kg/m³)</td> <td>1,754.24</td> <td>1,761.79</td> <td>1,746.70</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario Compactado Promedio AF (kg/m³) [M]</td> <td colspan="3">1961.73</td> <td>Peso Unitario Compactado Promedio AG (kg/m³) [M]</td> <td colspan="3">1754.24</td> </tr> </tbody> </table>				PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO				PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO				DATOS	M-01	M-02	M-03	DATOS	M-01	M-02	M-03	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]	13.15	13.15	13.15	Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]	12.60	12.62	12.58	Peso de la Muestra Compactada (kg)	5.20	5.20	5.20	Peso de la Muestra Compactada (kg)	4.65	4.67	4.63	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1,961.73	1,961.73	1,961.73	Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1,754.24	1,761.79	1,746.70	Peso Unitario Compactado Promedio AF (kg/m³) [M]	1961.73			Peso Unitario Compactado Promedio AG (kg/m³) [M]	1754.24		
PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO				PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO																																																																															
DATOS	M-01	M-02	M-03	DATOS	M-01	M-02	M-03																																																																												
Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95	Peso del Molde (kg) [T]	7.95	7.95	7.95																																																																												
Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]	13.15	13.15	13.15	Peso del Molde + Muestra Compactada (kg) [G]	12.60	12.62	12.58																																																																												
Peso de la Muestra Compactada (kg)	5.20	5.20	5.20	Peso de la Muestra Compactada (kg)	4.65	4.67	4.63																																																																												
Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Altura del Molde (m)	0.15	0.15	0.15																																																																												
Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15	Diámetro del Molde (m)	0.15	0.15	0.15																																																																												
Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027	Volumen del Molde (m³) [V]	0.0027	0.0027	0.0027																																																																												
Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1,961.73	1,961.73	1,961.73	Peso Unitario Compactado (kg/m³)	1,754.24	1,761.79	1,746.70																																																																												
Peso Unitario Compactado Promedio AF (kg/m³) [M]	1961.73			Peso Unitario Compactado Promedio AG (kg/m³) [M]	1754.24																																																																														
PANEL FOTOGRÁFICO																																																																																			
FOTOGRAFÍA N°01		FOTOGRAFÍA N°02																																																																																	
Compactado en capas de agregado fino		Pesado Agregado Grueso Suelto M-01, Peso del Molde + Muestra Suelta: 1225.00 gr.																																																																																	
OBSERVACIONES																																																																																			
Fuente: Elaboración propia																																																																																			
ELABORADO POR:		ELABORADO POR																																																																																	
Firma:		Firma:																																																																																	
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																																																	
Fecha: 6/02/2025		Fecha: 6/02/2025																																																																																	

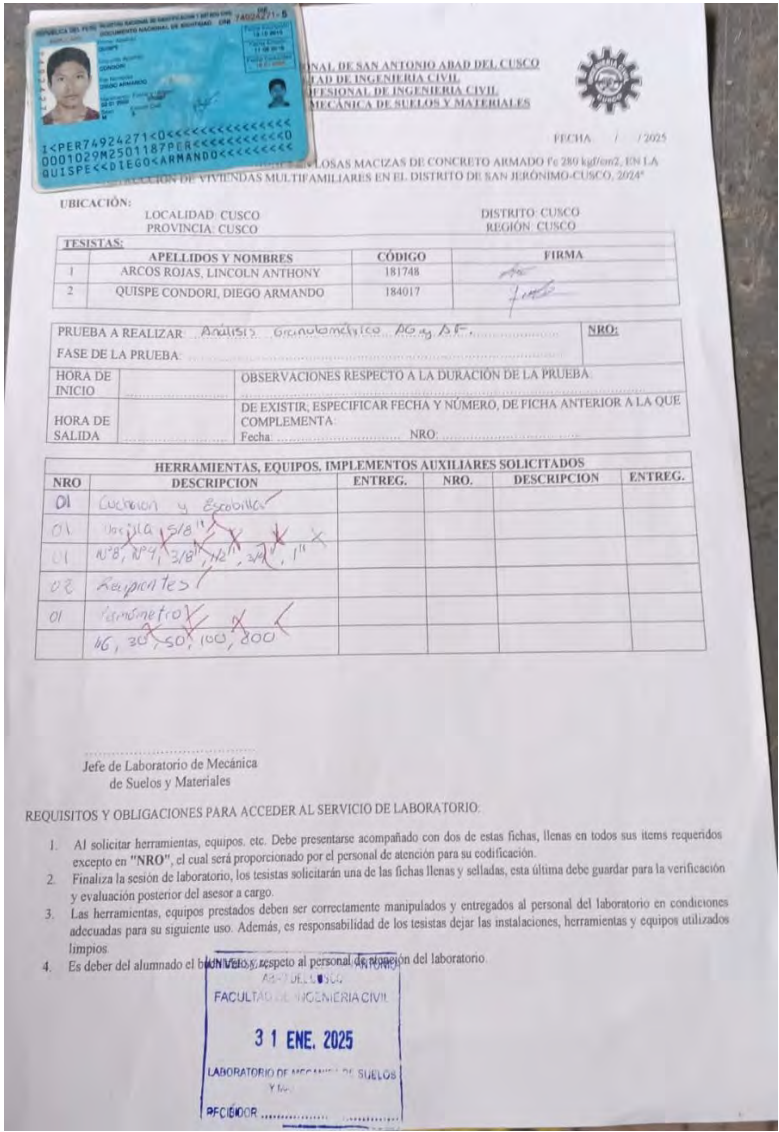
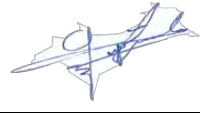
 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	30/01/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS		DEPART.	Cusco
ENSAYO:	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADOS		PROVINCIA	Cusco
NORMA:	NTP 400.017		DISTRITO	Cusco
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell		Rev.	0
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1-2-3-4	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq		
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mécanica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°03		FOTOGRAFÍA N°04		
				
Pesado Agregado Grueso Compactado_M-01_Peso del Molde + Muestra Suelta: 1260.00 g		Pesado Agregado Fino Suelto_M-01_Peso del Molde + Muestra Suelta: 1280.00 gr.		
OBSERVACIONES				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR		
Firma:		Firma:		
				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 6/02/2025		Fecha: 6/02/2025		

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL			
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"	FECHA	30/01/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando		
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco
ENSAYO:	PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO DE AGREGADOS	PROVINCIA	Cusco
NORMA:	NTP 400.017	DISTRITO	Cusco
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES	
N° DE ENSAYO:	1-2-3-4	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq	
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC	
PANEL FOTOGRÁFICO			
FOTOGRAFÍA N°05			
			
Ensayo en laboratorio peso unitario y vacío de agregados			
OBSERVACIONES			
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:	
Firma:		Firma:	
			
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori	
Fecha: 16/02/2025		Fecha: 16/02/2025	

10.9.1.3 Análisis granulométrico de agregado fino

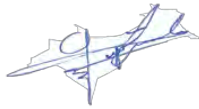
UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco									
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DELCUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL									
TESIS:		"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"					FECHA	7/02/2025	
TESTISTAS:		Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando							
MATERIAL:	AGREGADOS						DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO						PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 400.012						DISTRITO	Cusco	
ASESOR:		Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell					Rev.	0	
MUESTRA:	AF-01								
Nº DE ENSAYO:	1								
PAG:	1 de 2								
OBJETO				PROCEDIMIENTO					
Determinar la distribución de partículas del agregado fino mediante una serie de tamices, utilizando una muestra seca de peso previamente conocido.				Para el agregado fino - Seleccionar la muestra de material que debe pasar completamente por la malla 3/8" (70% de grava de Vicho y 30% de arena fina de Cunyac) y secarla a una temperatura constante de 110 °C ± 5 °C. - Pesas el agregado fino seleccionado, considerando que no debe ser inferior a 300 g. - Escoger los tamices de tamaños 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100 y N° 200, además de la cazuela; ordenarlos en forma decreciente según la abertura y colocar la muestra previamente pesada sobre el tamiz superior evitando la sobrecarga en cada tamiz individual. - Cubrir herméticamente y realizar el tamizado manual durante el tiempo suficiente para diferenciar el tamaño de agregado en cada tamiz.- Al concluir el tamizado, destapar y verificar que no queden partículas retenidas en el tamiz 3/8". - Determinar los pesos retenidos en cada tamiz mediante una balanza que cumpla con lo establecido, con una aproximación mínima de 0,5 g y una exactitud del 0,1% respecto al peso de la muestra ensayada.					
CALCULOS									
1. Módulo de fineza AF									
Suma de los porcentajes retenidos acumulados de las siguientes mallas dividido entre 100: $\frac{N^{\circ}100 + N^{\circ}50 + N^{\circ}30 + N^{\circ}16 + N^{\circ}8 + N^{\circ}4}{4}$									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO									
Peso Inicia 830.34 MF 2.54									
Malla		Retenido parcial		% Retenid o	% que Pasa (P)	LÍMITES ASTM C-33			
ASTM	mm	gr.	%			100	100		
3/8"	9.5	8.2	1.0	1.0	99.0	100	100		
#4	4.75	78.2	9.4	10.4	89.6	95	100		
#8	2.36	49.8	6.0	16.4	83.6	80	100		
#16	1.18	47.7	5.7	22.2	77.8	50	85		
#30	0.6	126.6	15.3	37.4	62.6	25	60		
#50	0.3	303.1	36.5	73.9	26.1	5	30		
#100	0.15	159.3	19.2	93.1	6.9	0	10		
#200	0.075	44.1	5.3	98.4	1.6	0	10		
Bandeja		11.2	1.4	99.8	0.2	0	0		
Suma:		828.34	99.8						
Discrepancia (gr.):		2							
Discrepancia (gr.):		0.24	<0.3%						
La curva granulométrica no está dentro de los límites de la norma, por tal motivo se realiza la corrección.									
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO CORREGIDO									
Peso Inicia 834.34 MF 2.48									
Malla		Retenido parcial		% Retenid o	% que Pasa (P)	LÍMITES ASTM C-33			
ASTM	mm	gr.	%			100	100		
3/8"	9.5	8.2	0.9	0.9	99.1	100	100		
#4	4.75	30.2	3.4	4.3	95.7	95	100		
#8	2.36	61.3	6.9	11.2	88.8	80	100		
#16	1.18	81.6	9.1	20.3	79.7	50	85		
#30	0.6	193.7	21.7	41.9	58.1	25	60		
#50	0.3	303.1	33.9	75.8	24.2	5	30		
#100	0.15	159.3	17.8	93.6	6.4	0	10		
#200	0.075	44.1	4.9	98.6	1.4	0	10		
Bandeja		11.2	1.3	99.8	0.2	0	0		
Suma:		892.74	99.8						
Discrepancia (gr.):		1.6							
Discrepancia (gr.):		0.18	<0.3%						
OBSERVACIONES	Fuente: Elaboración propia								
ELABORADOR POR:	Firma:				ELABORADO POR				
Firma:					Firma:				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas				Nombre: Diego Armando Quispe Condori					
Fecha: 7/02/2025				Fecha: 17/02/2025					

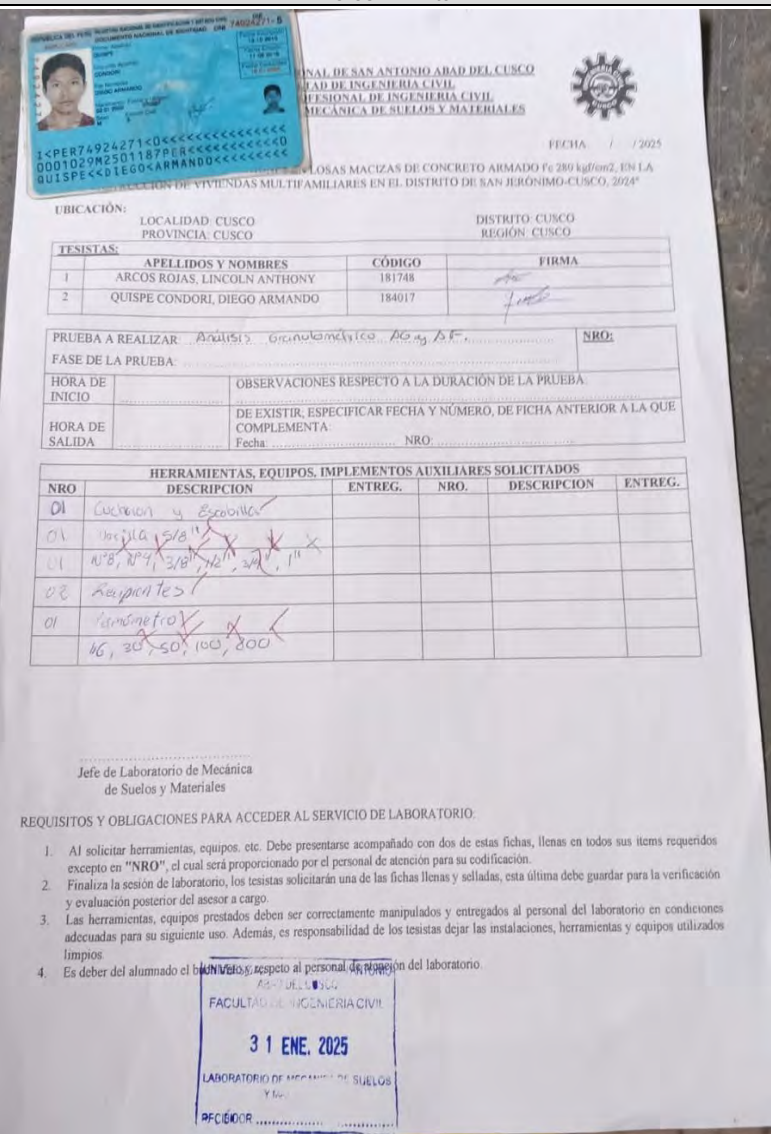
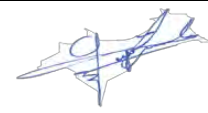
 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 400.012	DISTRITO	Cusco	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0	
MUESTRA:	AF-01	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq		
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°01		FOTOGRAFÍA N°02		
				
Ensayo granulometría de agregado fino		Ensayo granulometría de agregado fino		
FOTOGRAFÍA N°03		FOTOGRAFÍA N°04		
				
Retenido parcial mallas 3/8", N°4, N°8, N°16		Retenido parcial mallas N°30, N°50, N°100		
FOTOGRAFÍA N°05		FOTOGRAFÍA N°06		
				
Retenido parcial mallas N°200 y bandeja		Material retenido en diferentes mallas		
OBSERVACIONES				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:		
Firma: 		Firma: 		
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025		

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																														
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025																																																												
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																															
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																													
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO FINO	PROVINCIA	Cusco																																																													
NORMA:	NTP 400.012	DISTRITO	Cusco																																																													
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																													
MUESTRA:	AF-01	CONSIDERACIONES Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																														
N° DE ENSAYO:	1																																																															
PAG:	2 de 2																																																															
PANEL FOTOGRÁFICO																																																																
FOTOGRAFÍA N°07																																																																
 UNSAAC UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES FECHA: 7/2025 TÍTULO: EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024 UBICACIÓN: LOCALIDAD: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: CUSCO REGIÓN: CUSCO <table border="1"> <thead> <tr> <th>TESISTAS:</th> <th>APELLIDOS Y NOMBRES</th> <th>CÓDIGO</th> <th>FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY</td> <td>181748</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO</td> <td>184017</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> PRUEBA A REALIZAR: Análisis Granulométrico AG y AF FASE DE LA PRUEBA: HORA DE INICIO: HORA DE SALIDA: OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA: DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS</th> </tr> <tr> <th>NRO.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ENTREG.</th> <th>NRO.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ENTREG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Cuchara y Escobilla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>Varilla 5/8"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Respirantes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>Granulómetro</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td>40, 60, 80, 100, 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO: - Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación. - Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo. - Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además, es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios. - Es deber del alumnado el comportamiento ético y profesional respecto al personal de atención del laboratorio. 31 ENE. 2025 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PFC. J. F. AZPILCUETA CARBONELL					TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA	1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748		2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017		HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS						NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	01	Cuchara y Escobilla					01	Varilla 5/8"					01	N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"					08	Respirantes					01	Granulómetro						40, 60, 80, 100, 200				
TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA																																																													
1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748																																																														
2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017																																																														
HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS																																																																
NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.																																																											
01	Cuchara y Escobilla																																																															
01	Varilla 5/8"																																																															
01	N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"																																																															
08	Respirantes																																																															
01	Granulómetro																																																															
	40, 60, 80, 100, 200																																																															
Ensayo en laboratorio análisis granulométrico AG y AF																																																																
OBSERVACIONES																																																																
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:																																																														
Firma:		Firma:																																																														
																																																																
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																														
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025																																																														

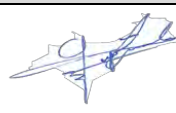
10.9.1.4 Análisis granulométrico agregado grueso

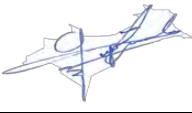
UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA: 7/02/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando		
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	PROVINCIA:	Cusco
NORMA:	NTP 400.012	DISTRITO:	Cusco
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0
MUESTRA:	AG-01	CONSIDERACIONES	
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyay	
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC	
OBJETO		PROCEDIMIENTO	
Determinar la distribución de partículas del agregado grueso mediante una serie de tamices, utilizando una muestra seca de peso previamente conocido.		Para el agregado grueso - Seleccionar la muestra de material que debe ser retenida completamente en la malla 3/8" (agregado grueso de Vicho) y secarla a una temperatura constante de 110°C ± 5 °C. - Tomar una muestra representativa de acuerdo con lo establecido en Norma NTP 400.010 - Pesar el agregado grueso seleccionado, considerando que el peso no debe ser menor a 300 g. - Escoger los tamices de tamaños 3/4", 1/2", 3/8", N° 4 y la cazuela; ordenarlos en forma decreciente según la abertura y colocar la muestra previamente pesada sobre el tamiz superior, evitando la sobrecarga de material en cada tamiz individual. - Cubrir herméticamente y realizar el tamizado manual para diferenciar el tamaño de las partículas en cada tamiz. - Una vez concluido el proceso, destapar y comprobar que no queden partículas retenidas en el tamiz de 3/4". - Determinar los pesos retenidos en cada tamiz empleando una balanza que cumpla con los requisitos establecidos, con aproximación mínima de 0,5 g y exactitud del 0,1% respecto al peso de la muestra ensayada. - Considerar lo dispuesto en la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, a fin de seleccionar el huso correspondiente	
CALCULOS			
1. TM Tamiz por el que pasa toda la muestra del agregado grueso 2. TMN El menor tamiz que produce un retenido mayor al 3. MF Agregado Grueso Suma de retenido acumulado de las mallas (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 16, N° 30, N° 50, N° 100)/100			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO			
Peso Inicia	5392.13	MF 6.98	
Malla	Retenido parcial	% Retenido	% que Pasa (P)
ASTM	mm	gr.	%
1"	25	0	0.0
3/4"	19	457	8.5
1/2"	12.5	3037	56.3
3/8"	9.5	1331	24.7
N° 4	4.75	555	10.3
N° 8	2.36	2	0.0
Bandeja	10	0.2	100.0
Suma:	5391.02	100.0	
Discrepancia (gr.):	1.1		
Discrepancia (gr.):	0.02	<0.3%	
La curva granulométrica no está dentro de los límites de la norma, por tal motivo se realiza la corrección.			
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO CORREGIDO			
Peso Inicia	4991.93	MF 6.91	
Malla	Retenido parcial	% Retenido	% que Pasa (P)
ASTM	mm	gr.	%
1"	25	0	0.0
3/4"	19	457	9.1
1/2"	12.5	2037	40.8
3/8"	9.5	1631	32.7
N° 4	4.75	855	17.1
N° 8	2.36	2	0.0
Bandeja	10	0.2	100.0
Suma:	4990.84	100.0	
Discrepancia (gr.):	1.1		
Discrepancia (gr.):	0.02	<0.3%	
TM: 1" TMN: 3/4"			
OBSERVACIONES			
Fuente: Elaboración propia			
ELABORADO POR:		ELABORADO POR	
Firma:		Firma:	
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori	
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025	

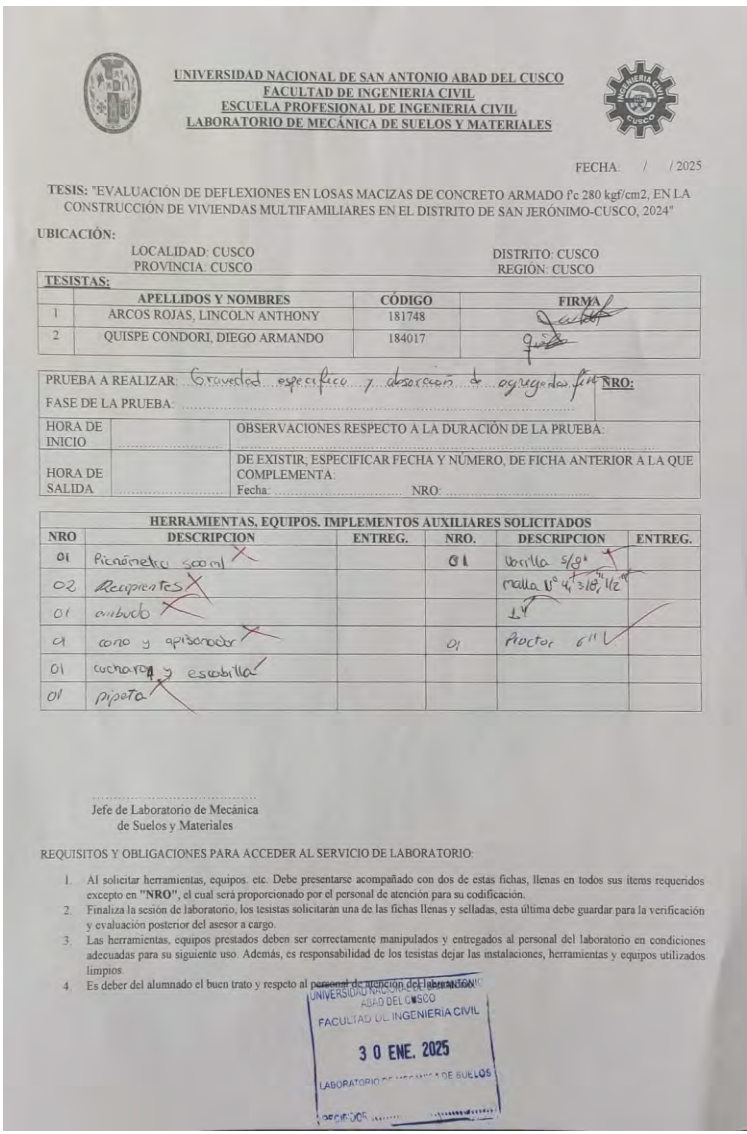
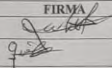
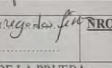
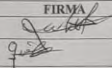
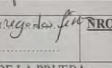
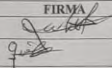
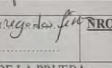
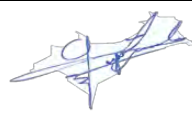
 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 400.012	DISTRITO	Cusco	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0	
MUESTRA:	AG-01	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq		
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°01 		FOTOGRAFÍA N°02 		
Ensayo granulometría de agregado GRUESO		Proceso de tamizado de agregado grueso		
FOTOGRAFÍA N°03 		FOTOGRAFÍA N°04 		
Proceso de tamizado de agregado grueso		Retenido parcial mallas 1/2"		
OBSERVACIONES				
ELABORADO POR: Firma: 		ELABORADO POR: Firma: 		
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025		

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																								
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025																																																						
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																									
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																							
ENSAYO:	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO	PROVINCIA	Cusco																																																							
NORMA:	NTP 400.012	DISTRITO	Cusco																																																							
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																							
MUESTRA:	AG-01	CONSIDERACIONES Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																								
N° DE ENSAYO:	1																																																									
PAG:	2 de 2																																																									
PANEL FOTOGRÁFICO																																																										
FOTOGRAFÍA N°05																																																										
 UNSAAC UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES FECHA: 7/2025 TÍTULO: EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024 UBICACIÓN: LOCALIDAD: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: CUSCO REGIÓN: CUSCO <table border="1"> <thead> <tr> <th>TESISTAS:</th> <th>APELLIDOS Y NOMBRES</th> <th>CÓDIGO</th> <th>FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY</td> <td>181748</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO</td> <td>184017</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> PRUEBA A REALIZAR: Análisis Granulométrico AG y AF FASE DE LA PRUEBA: HORA DE INICIO: HORA DE SALIDA: OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA: DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO: <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS</th> </tr> <tr> <th>NRO.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ENTREG.</th> <th>NRO.</th> <th>DESCRIPCIÓN</th> <th>ENTREG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Cuchara y Escobilla</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>Varilla 5/8"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>08</td> <td>Resortes</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>Granulómetro 4G, 30, 50, 100, 200</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO: 1. Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación. 2. Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo. 3. Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además, es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios. 4. Es deber del alumnado el borrar y respetar al personal de atención del laboratorio. 31 ENE. 2025 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PFC. J. F. AZPILCUETA CARBONELL					TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA	1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748		2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017		HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS						NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	01	Cuchara y Escobilla					01	Varilla 5/8"					01	N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"					08	Resortes					01	Granulómetro 4G, 30, 50, 100, 200				
TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA																																																							
1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748																																																								
2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017																																																								
HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS																																																										
NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO.	DESCRIPCIÓN	ENTREG.																																																					
01	Cuchara y Escobilla																																																									
01	Varilla 5/8"																																																									
01	N°8, N°4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"																																																									
08	Resortes																																																									
01	Granulómetro 4G, 30, 50, 100, 200																																																									
Ensayo en laboratorio análisis granulométrico AG y AF																																																										
OBSERVACIONES																																																										
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:																																																								
Firma:		Firma:																																																								
																																																										
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																								
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025																																																								

10.9.1.5 Peso específico y absorción de agregados finos y gruesos

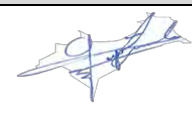
 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																																																																	
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA																																																																																																
			7/02/2025																																																																																																
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																																																																		
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																																																																
ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESO	PROVINCIA	Cusco																																																																																																
NORMA:	NTP 400.022, NTP 400.021	DISTRITO	Cusco																																																																																																
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																																																																
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES																																																																																																	
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq																																																																																																	
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																																																																	
OBJETO		PROCEDIMIENTO																																																																																																	
AGREGADO FINO: Obtener el peso específico seco, el peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y el porcentaje de absorción a las 24 horas de inmersión en agua del agregado fino. AGREGADO GRUESO: Calcular la densidad seca, la densidad en condición saturada con superficie seca, la densidad aparente y el porcentaje de absorción (tras 24 horas) del agregado grueso. La determinación de la condición saturada y de la absorción se realiza a partir de partículas mantenidas en inmersión durante 24 horas. CALCULOS 1. Peso específico de masa (Pem) $P_{em} = \frac{A}{(B - C)} \times 100$ 4. Peso específico aparente (Pea) $P_{ea} = \frac{A}{(A - C)} \times 100$ 2. Absorción (Ab%) $A_b = \frac{B - A}{A} \times 100$ 3. Peso específico de masa saturada con superficie seca $P_{ess} = \frac{B}{(B - C)} \times 100$ Donde A = Peso de la muestra seca al aire B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca C = Peso en el agua de la muestra saturada		AGREGADO FINO - El agregado fino se mantiene en inmersión durante 24 horas. - Transcurrido ese tiempo, se obtiene la condición de superficie seca utilizando el molde cónico. - El procedimiento con el molde cónico se ejecuta conforme al manual de ensayos de materiales, indicando que deben aplicarse tres capas de 25 golpes, hasta que al retirar el molde las partículas no presenten adherencia entre sí. - Una vez alcanzada la condición de superficie seca, el material se pesa y se introduce en el picnómetro, eliminando las burbujas de aire mediante agitación. - Para garantizar la extracción completa del aire, se emplea la bomba de vacío, agitando suavemente el picnómetro con el material. - Posteriormente, se llena el picnómetro con agua y se realiza el respectivo pesado. - Finalmente, el agregado se extrae del picnómetro y se coloca en el horno para obtener el peso seco en estufa de la muestra. AGREGADO GRUESO - El agregado grueso debe permanecer en inmersión durante un periodo de 24 horas. - Posteriormente, se procede a retirar el exceso de humedad superficial empleando un paño seco, hasta que el material presente un aspecto mate u opaco. - A continuación, se registra el peso del agregado en condición saturada con superficie seca. - Seguidamente, el material se introduce en una canastilla para ser sumergido nuevamente en agua, con el fin de determinar el peso bajo inmersión. - Luego, la muestra se traslada a la estufa para obtener su peso en estado seco al horno. - Con los valores obtenidos, se efectúan los cálculos necesarios para la determinación de las propiedades del agregado..																																																																																																	
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESO																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO</th> </tr> <tr> <th></th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso específico de agregado fino</td> <td>677.51</td> <td>698.76</td> <td>656.26</td> </tr> <tr> <td>Peso del matraz con contenido de agua</td> <td>998.67</td> <td>1023.97</td> <td>977.42</td> </tr> <tr> <td>Peso en el agua de la muestra saturada [C]</td> <td>321.16</td> <td>325.21</td> <td>321.16</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico</td> <td>2.68</td> <td>2.64</td> <td>2.72</td> </tr> <tr> <td>Peso específico promedio [Pem] kg/m³</td> <td colspan="3">2.68</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción de agregado fino</td> <td>M-01</td> <td>M-02</td> <td>M-03</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra saturada superficialmente seca [B]</td> <td>506.88</td> <td>517.73</td> <td>502.66</td> </tr> <tr> <td>Peso de la muestra seca al horno [A]</td> <td>497.78</td> <td>508.03</td> <td>494.07</td> </tr> <tr> <td>% De absorción</td> <td>1.83%</td> <td>1.91%</td> <td>1.74%</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción promedio [Ab] %</td> <td colspan="3">1.83%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO</th> </tr> <tr> <th></th> <th>M-01</th> <th>M-02</th> <th>M-03</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Peso específico de agregado grueso</td> <td>2,987.13</td> <td>2,792.05</td> <td>2,546.32</td> </tr> <tr> <td>Peso de la Muestra Seca (gr) [A]</td> <td>3,024.07</td> <td>2,821.45</td> <td>2,583.10</td> </tr> <tr> <td>Peso en el agua de la muestra saturada (gr) [C]</td> <td>1,930.20</td> <td>1,725.21</td> <td>1,705.21</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico de masa (gr/cm³)</td> <td>2.73</td> <td>2.55</td> <td>2.90</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico promedio de masa (gr/cm³)</td> <td colspan="3">2.73</td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de absorción de agregado grueso</td> <td>M-01</td> <td>M-02</td> <td>M-03</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico de masa saturada con superficie seca (gr/</td> <td>2.76</td> <td>2.57</td> <td>2.94</td> </tr> <tr> <td>Peso Específico Aparente (gr/cm³)</td> <td>2.83</td> <td>2.62</td> <td>3.03</td> </tr> <tr> <td>Absorción (%)</td> <td>1.24%</td> <td>1.05%</td> <td>1.44%</td> </tr> <tr> <td>Absorción promedio (%)</td> <td colspan="3">1.24%</td> </tr> </tbody> </table>				PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO					M-01	M-02	M-03	Peso específico de agregado fino	677.51	698.76	656.26	Peso del matraz con contenido de agua	998.67	1023.97	977.42	Peso en el agua de la muestra saturada [C]	321.16	325.21	321.16	Peso Específico	2.68	2.64	2.72	Peso específico promedio [Pem] kg/m³	2.68			Porcentaje de absorción de agregado fino	M-01	M-02	M-03	Peso de la muestra saturada superficialmente seca [B]	506.88	517.73	502.66	Peso de la muestra seca al horno [A]	497.78	508.03	494.07	% De absorción	1.83%	1.91%	1.74%	Porcentaje de absorción promedio [Ab] %	1.83%			PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO					M-01	M-02	M-03	Peso específico de agregado grueso	2,987.13	2,792.05	2,546.32	Peso de la Muestra Seca (gr) [A]	3,024.07	2,821.45	2,583.10	Peso en el agua de la muestra saturada (gr) [C]	1,930.20	1,725.21	1,705.21	Peso Específico de masa (gr/cm³)	2.73	2.55	2.90	Peso Específico promedio de masa (gr/cm³)	2.73			Porcentaje de absorción de agregado grueso	M-01	M-02	M-03	Peso Específico de masa saturada con superficie seca (gr/	2.76	2.57	2.94	Peso Específico Aparente (gr/cm³)	2.83	2.62	3.03	Absorción (%)	1.24%	1.05%	1.44%	Absorción promedio (%)	1.24%		
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO																																																																																																			
	M-01	M-02	M-03																																																																																																
Peso específico de agregado fino	677.51	698.76	656.26																																																																																																
Peso del matraz con contenido de agua	998.67	1023.97	977.42																																																																																																
Peso en el agua de la muestra saturada [C]	321.16	325.21	321.16																																																																																																
Peso Específico	2.68	2.64	2.72																																																																																																
Peso específico promedio [Pem] kg/m³	2.68																																																																																																		
Porcentaje de absorción de agregado fino	M-01	M-02	M-03																																																																																																
Peso de la muestra saturada superficialmente seca [B]	506.88	517.73	502.66																																																																																																
Peso de la muestra seca al horno [A]	497.78	508.03	494.07																																																																																																
% De absorción	1.83%	1.91%	1.74%																																																																																																
Porcentaje de absorción promedio [Ab] %	1.83%																																																																																																		
PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO																																																																																																			
	M-01	M-02	M-03																																																																																																
Peso específico de agregado grueso	2,987.13	2,792.05	2,546.32																																																																																																
Peso de la Muestra Seca (gr) [A]	3,024.07	2,821.45	2,583.10																																																																																																
Peso en el agua de la muestra saturada (gr) [C]	1,930.20	1,725.21	1,705.21																																																																																																
Peso Específico de masa (gr/cm³)	2.73	2.55	2.90																																																																																																
Peso Específico promedio de masa (gr/cm³)	2.73																																																																																																		
Porcentaje de absorción de agregado grueso	M-01	M-02	M-03																																																																																																
Peso Específico de masa saturada con superficie seca (gr/	2.76	2.57	2.94																																																																																																
Peso Específico Aparente (gr/cm³)	2.83	2.62	3.03																																																																																																
Absorción (%)	1.24%	1.05%	1.44%																																																																																																
Absorción promedio (%)	1.24%																																																																																																		
OBSERVACIONES																																																																																																			
Fuente: Elaboración propia																																																																																																			
ELABORADO POR:		ELABORADO POR																																																																																																	
Firma:		Firma:																																																																																																	
																																																																																																			
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																																																																	
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025																																																																																																	

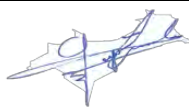
 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESO	PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 400.022, NTP 400.021	DISTRITO	Cusco	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0	
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyay		
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mécanica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°01		FOTOGRAFÍA N°02		
				
Ensayo de peso específico y absorción		Llenado de pycnómetro con agua		
FOTOGRAFÍA N°03		FOTOGRAFÍA N°04		
				
Ensayo de peso específico y absorción de AG		Peso de muestra seca M-01		
OBSERVACIONES				
Fuente: Elaboración propia				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:		
Firma:		Firma:		
				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025		

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																																		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025																																																																
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																																			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																																	
ENSAYO:	PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS Y GRUESO	PROVINCIA	Cusco																																																																	
NORMA:	NTP 400.022, NTP 400.021	DISTRITO	Cusco																																																																	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																																	
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES																																																																		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq																																																																		
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																																		
PANEL FOTOGRÁFICO																																																																				
FOTOGRAFÍA N°05																																																																				
																																																																				
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES FECHA: / / 2025 TESIS: "EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO-CUSCO, 2024" UBICACIÓN: LOCALIDAD: CUSCO PROVINCIA: CUSCO DISTRITO: CUSCO REGION: CUSCO <table border="1"> <thead> <tr> <th>TESISTAS:</th> <th>APELLIDOS Y NOMBRES</th> <th>CÓDIGO</th> <th>FIRMA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY</td> <td>181748</td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO</td> <td>184017</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> PRUEBA A REALIZAR: <u>Gravedad específica y absorción de agregados finos</u> NRO: _____ FASE DE LA PRUEBA: <table border="1"> <thead> <tr> <th>HORA DE INICIO</th> <th>OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>HORA DE SALIDA</td> <td>DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: _____ NRO: _____</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="6">HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS</th> </tr> <tr> <th>NRO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ENTREG.</th> <th>NRO</th> <th>DESCRIPCION</th> <th>ENTREG.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>Picnómetro 500 ml</td> <td>X</td> <td>01</td> <td>Varilla 5/8"</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>02</td> <td>Recipientes</td> <td>X</td> <td></td> <td>Redes N° 4, 10, 1/2"</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>embudo</td> <td>X</td> <td></td> <td>1"</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>cono y apisonador</td> <td>X</td> <td>01</td> <td>Proctor 611</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>cuarenta y esbilla</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>01</td> <td>pipeta</td> <td>X</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO: - Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación. - Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo. - Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además, es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios. - Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio. UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL 30 ENE. 2025 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS					TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA	1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748		2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017		HORA DE INICIO	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:	HORA DE SALIDA	DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: _____ NRO: _____	HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS						NRO	DESCRIPCION	ENTREG.	NRO	DESCRIPCION	ENTREG.	01	Picnómetro 500 ml	X	01	Varilla 5/8"	X	02	Recipientes	X		Redes N° 4, 10, 1/2"	X	01	embudo	X		1"	X	01	cono y apisonador	X	01	Proctor 611	X	01	cuarenta y esbilla	X				01	pipeta	X			
TESISTAS:	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA																																																																	
1	ARCOS ROJAS, LINCOLN ANTHONY	181748																																																																		
2	QUISPE CONDORI, DIEGO ARMANDO	184017																																																																		
HORA DE INICIO	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:																																																																			
HORA DE SALIDA	DE EXISTIR, ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: _____ NRO: _____																																																																			
HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS																																																																				
NRO	DESCRIPCION	ENTREG.	NRO	DESCRIPCION	ENTREG.																																																															
01	Picnómetro 500 ml	X	01	Varilla 5/8"	X																																																															
02	Recipientes	X		Redes N° 4, 10, 1/2"	X																																																															
01	embudo	X		1"	X																																																															
01	cono y apisonador	X	01	Proctor 611	X																																																															
01	cuarenta y esbilla	X																																																																		
01	pipeta	X																																																																		
Ensayo en laboratorio Gravedad específica y absorción de agregados finos																																																																				
OBSERVACIONES																																																																				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:																																																																		
Firma:		Firma:																																																																		
																																																																				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																																		
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025																																																																		

10.9.1.6 Abrasión de los Ángeles de los agregados gruesos de tamaños menor de

1 1/2"

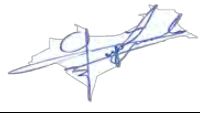
UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																																																									
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA: 7/02/2025																																																																								
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																																										
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco																																																																								
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENOR DE 1 1/2"	PROVINCIA	Cusco																																																																								
NORMA:	NTP 400.019	DISTRITO	Cusco																																																																								
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0																																																																								
MUESTRA:	M-01, M-02	CONSIDERACIONES																																																																									
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyay																																																																									
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC																																																																									
OBJETO		PROCEDIMIENTO																																																																									
El objetivo es determinar la resistencia a la degradación de los agregados gruesos con tamaños inferiores a 37,5 mm (1 1/2"), utilizando la Máquina de Los Ángeles		Determinar la gradación, el tipo de agregado y el número de esferas de los siguientes cuadros:																																																																									
CALCULOS 1. Porcentaje de abricación $\%Abr = \frac{C}{(F - C)} \times 100 - C = A + B$ Donde: A = Peso de la muestra de 3/4" (gr.) B = Peso de la muestra de 1/2" (gr.) C = Masa original de la muestra (gr.) D = Peso del material retenido en el tamiz N°12 (gr.) E = Peso del material que pasa el tamiz N°12 (gr.) F = Peso del material retenido en el tamiz N° 12 seco al horno (gr.)		Tabla 1 Gradación de las muestras de ensayo <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">Medida del tamiz (apertura cuadrada)</th> <th colspan="4">Masa de tamaño indicado, g</th> </tr> <tr> <th>Que pasa</th> <th>Retenido sobre</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>37,5 mm (1 1/2")</td> <td>25,0 mm (1")</td> <td>1 250 ± 25</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>25,0 mm (1")</td> <td>19,0 mm (3/4")</td> <td>1 250 ± 25</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>19,0 mm (3/4")</td> <td>12,5 mm (1/2")</td> <td>1 250 ± 10</td> <td>2 500 ± 10</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>12,5 mm (1/2")</td> <td>9,5 mm (3/8")</td> <td>1 250 ± 10</td> <td>2 500 ± 10</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>9,5 mm (3/8")</td> <td>6,3 mm (1/4")</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>2 500 ± 10</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>6,3 mm (1/4")</td> <td>4,75 mm (N° 4)</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>2 500 ± 10</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>4,75 mm (N° 4)</td> <td>2,36 mm (N° 8)</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>5 000</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TOTAL</td> <td>5 000 ± 10</td> <td>5 000 ± 10</td> <td>5 000 ± 10</td> <td>5 000 ± 10</td> </tr> </tbody> </table> Gradación Número de Esferas Masa de la carga (g) <table border="1"> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>12</td> <td>5 000 ± 25</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>11</td> <td>4 584 ± 25</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>8</td> <td>3 330 ± 20</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>6</td> <td>2 500 ± 15</td> </tr> </tbody> </table> FUENTE: Manual de Ensayo de materiales (MTC, 2016) - Se lleva a la máquina de los ángeles y se hace revolucionar la máquina según las indicaciones del manual de ensayos de materiales. - Una vez finalizado las revoluciones, se saca el material y se hace el tamizado a través del tamiz N°12 - Se pesa el material que pasa el tamiz N° 12 - Realizar cálculos		Medida del tamiz (apertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g				Que pasa	Retenido sobre	A	B	C	D	37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	---	---	---	25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	---	---	---	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---	12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---	9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	---	---	2 500 ± 10	---	6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N° 4)	---	---	2 500 ± 10	---	4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	---	---	---	5 000	TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	A	12	5 000 ± 25	B	11	4 584 ± 25	C	8	3 330 ± 20	D	6	2 500 ± 15
Medida del tamiz (apertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado, g																																																																									
Que pasa	Retenido sobre	A	B	C	D																																																																						
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1 250 ± 25	---	---	---																																																																						
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1 250 ± 25	---	---	---																																																																						
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---																																																																						
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1 250 ± 10	2 500 ± 10	---	---																																																																						
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	---	---	2 500 ± 10	---																																																																						
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N° 4)	---	---	2 500 ± 10	---																																																																						
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)	---	---	---	5 000																																																																						
TOTAL		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10																																																																						
A	12	5 000 ± 25																																																																									
B	11	4 584 ± 25																																																																									
C	8	3 330 ± 20																																																																									
D	6	2 500 ± 15																																																																									
ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENOR DE 1 1/2"																																																																											
1. Gradación de las muestras de ensayo (TABLA 01)		ABRASIÓN DE LOS ÁNGELES																																																																									
Que pasa 3/4":	2500 g	Descripción																																																																									
Que pasa 1/2":	2500 g	Peso de la muestra de 3/4" (gr) [A]	M-01 2,501.12 M-02 2,502.57																																																																								
Gradación:	B	Peso de la muestra de 1/2" (gr) [B]	2,503.50 2,504.02																																																																								
2. Número de esferas según gradación:		Masa original de la muestra [C=A+B]	5,004.62 5,006.59																																																																								
Gradación:	B	Gradación	B B																																																																								
N° de esferas:	11	Peso del material retenido en el tamiz N°12 (gr) [D]	4,013.58 3,985.19																																																																								
Masa de la carga:	4584 g	Peso del material que pasa el tamiz N°12 (gr) [E]	991.04 1,021.40																																																																								
		Peso del material seco al horno (gr) [F]	3,767.39 3,851.94																																																																								
		Porcentaje de Abración (%) $\%Abr = [(C-F)/C]$	0.25 0.23																																																																								
		Porcentaje de Abración Promedio (%)	0.24																																																																								
PANEL FOTOGRÁFICO																																																																											
FOTOGRAFÍA N°01		FOTOGRAFÍA N°02																																																																									
																																																																											
Ensayo de abricación de los Angeles		Colocación de agregado en Máquina de los Angeles para ensayo																																																																									
OBSERVACIONES																																																																											
Fuente: Elaboración propia																																																																											
ELABORADO POR:		ELABORADO POR																																																																									
Firma:		Firma:																																																																									
																																																																											
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori																																																																									
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025																																																																									

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL		
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	7/02/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENOR DE 1 1/2"	PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 400.019	DISTRITO	Cusco	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0	
MUESTRA:	M-01, M-02	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq		
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°03		FOTOGRAFÍA N°04		
				
Agregado con 11 esferas en Máquina de los Ángeles		Toma de tiempo y final de ensayo en Máquina de los Ángeles, extracción de muestra		
FOTOGRAFÍA N°05				
				
Tamizaje con cazuela N°12 para cálculos				
OBSERVACIONES				
Fuente: Elaboración propia				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR		
Firma:		Firma:		
				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 7/02/2025		Fecha: 7/02/2025		

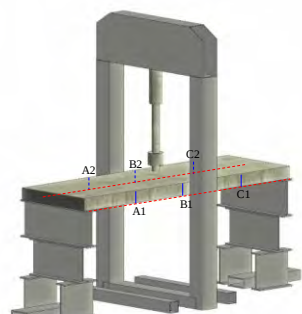
10.9.1.7 Ensayo Para Contenido De Humedad Total De Los Agregados Por

Secado

UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL	
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO f'c 280 kgf/cm², EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA: 28/01/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando		
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco
ENSAYO:	ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO	PROVINCIA	Cusco
NORMA:	NTP 399.185	DISTRITO	Cusco
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES	
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq	
PAG:	1 de 2	Laboratorio de Mécanica de Suelos - UNSAAC	
OBJETO		PROCEDIMIENTO	
El propósito es determinar el contenido total de humedad evaporable en agregados finos o gruesos, empleando el procedimiento de secado como método de evaluación.		Se selecciona la muestra junto con seis cápsulas destinadas a contener el material, distribuyéndose tres para el agregado fino y tres para el agregado grueso. Las muestras deben encontrarse en condición de secado al ambiente.	
CALCULOS		Posteriormente, se procede a pesar cada cápsula con el material correspondiente (fino y grueso), obteniendo así el peso del agregado seco al aire.	
1. Contenido de humedad total evaporable		Finalmente, las cápsulas son introducidas en el horno a una temperatura de 110 °C durante un periodo de 24 horas; transcurrido este tiempo, se realiza nuevamente el pesado en la balanza. lo que permitirá determinar el peso seco	
$P = \frac{100(W - D)}{D}$			
Donde: P = Contenido total de humedad total evaporable de la muestra en porcentaje			
W = Masa de la muestra húmeda original en gramos			
D = Masa de la muestra seca en gramo			
ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO			
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO			
Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso Muestra Húmeda (gr) [W]	692.68	686.46	682.40
Peso Muestra Seca (gr) [D]	690.05	681.65	678.53
Peso del Agua (gr)	2.63	4.81	3.87
Contenido de Humedad	0.38%	0.71%	0.57%
Contenido de humedad Promedio AF (%) [P]=100(W-D)/	0.55%		
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO			
Descripción	M-01	M-02	M-03
Peso Muestra Húmeda (gr) [W]	1,737.41	1,795.55	1,691.38
Peso Muestra Seca (gr) [D]	1,726.00	1,795.19	1,686.90
Peso del Agua (gr)	11.41	0.36	4.48
Contenido de Humedad	0.66%	0.02%	0.27%
Contenido de humedad Promedio AG (%) [P]=100(W-D)/	0.32%		
PANEL FOTOGRÁFICO			
FOTOGRAFÍA N°01		FOTOGRAFÍA N°02	
Peso muestra húmeda (gr.) Agregado Fino (M-01, M-02, M-03)		Peso muestra seca (gr.) Agregado Fino (M-01, M-02, M-03)	
OBSERVACIONES			
Fuente: Elaboración propia			
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:	
Firma:		Firma:	
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori	
Fecha: 4/02/2025		Fecha: 4/02/2025	

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL				
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA	28/01/2025
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando			
MATERIAL:	AGREGADOS	DEPART.	Cusco	
ENSAYO:	ENSAYO PARA CONTENIDO DE HUMEDAD TOTAL DE LOS AGREGADOS POR SECADO	PROVINCIA	Cusco	
NORMA:	NTP 399.185	DISTRITO	Cusco	
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell	Rev.	0	
MUESTRA:	M-01, M-02, M-03	CONSIDERACIONES		
N° DE ENSAYO:	1	Cantera Agregado Grueso: Vicho, Cantera Agregado Fino: Cunyaq		
PAG:	2 de 2	Laboratorio de Mécanica de Suelos - UNSAAC		
PANEL FOTOGRÁFICO				
FOTOGRAFÍA N°03		FOTOGRAFÍA N°04		
				
Peso muestra húmeda (gr.) Agregado Grueso (M-01, M-02, M-03)		Peso muestra seca (gr.) Agregado Grueso (M-01, M-02, M-03)		
FOTOGRAFÍA N°05		FOTOGRAFÍA N°06		
				
Pizarra Tesis_Contenido de Humedad por secado AG y AF		Selección de muestras AF por método del cuarteo		
OBSERVACIONES				
Fuente: Elaboración propia				
ELABORADO POR:		ELABORADO POR:		
Firma:		Firma:		
				
Nombre: Lincoln Anthony Arcos Rojas		Nombre: Diego Armando Quispe Condori		
Fecha: 14/02/2025		Fecha: 14/02/2025		

10.9.2 Ensayo en losas

 UNSAAC Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco		UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABADEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL																																															
TESIS:	"EVALUACIÓN DE DEFLEXIONES EN LOSAS MACIZAS DE CONCRETO ARMADO $f'c$ 280 kgf/cm ² , EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES EN EL DISTRITO DE SAN JERÓNIMO - CUSCO, 2024"		FECHA 18/06/2025- 24/06/2025																																														
TESISTAS:	Bach. Arcos Rojas, Lincoln Anthony Bach. Quispe Condori, Diego Armando																																																
MATERIAL:	LOSAS MACIZAS UNIDIRECCIONALES DE CONCRETO ARMADO $f'c$ =280 kg/cm ²		DEPART. Cusco																																														
ENSAYO:	DEFLEXIÓN POR DESENCONFRADO		PROVINCIA Cusco																																														
NORMA:	NTP E.060 Concreto Armado (2009)		DISTRITO Cusco																																														
ASESOR:	Ing. José Felipe Azpilcueta Carbonell		Rev. 0																																														
MUESTRA:	L-01, L-02, L-03 y L-04	CONSIDERACIONES																																															
N° DE ENSAYO:	1	La medición se realizó con el nivel laser y vernier inmediatamente retirado el desencofoado en las losas.																																															
PAG:	1 de 2																																																
OBJETO		PROCEDIMIENTO																																															
El propósito es medir la deflexión al desencofoado de losas macizas unidireccionales de concreto armado $f'c$ =280kg/cm ² .		- Se coloca la muestra (L-01, L-02 y L-03) sobre las vigas metálicas de soporte, en la posición que se muestra en la imagen de referencia 01 (en este momento aún se cuenta con el desencofoado en la parte inferior) - Para el caso de la muestra L-04, se tiene el mismo soporte sobre vigas metálicas, pero en un espacio aparte del laboratorio de Estructuras de la UNSAAC - Se procede a colocar el nivel de referencia laser a la altura de la base inferior de la losa, y seguidamente se mide la deflexión por desencofoado para todas las losas (L-01, L-02, L-03 y L-04)																																															
VARIABLES, MEDIDAS Y UNIDADES																																																	
Variable principal: deflexión al desencofoado																																																	
Unidad de medida: mm																																																	
DEFLEXIÓN POR DESENCONFRADO																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">DEFLEXIÓN AL DESENCONFRADO</th> </tr> <tr> <th>LOSA</th> <th>L-01</th> <th>L-02</th> <th>L-03</th> <th>L-04</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A1</td> <td>0.120</td> <td>0.110</td> <td>0.120</td> <td>0.140</td> </tr> <tr> <td>A2</td> <td>0.110</td> <td>0.120</td> <td>0.110</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>B1 (CENTRO)</td> <td>0.700</td> <td>0.860</td> <td>0.760</td> <td>0.880</td> </tr> <tr> <td>B2 (CENTRO)</td> <td>0.740</td> <td>0.820</td> <td>0.760</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>C1</td> <td>0.110</td> <td>0.120</td> <td>0.110</td> <td>0.110</td> </tr> <tr> <td>C2</td> <td>0.120</td> <td>0.120</td> <td>0.100</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Promedio en el centro (B1, B2)</td> <td>0.720</td> <td>0.840</td> <td>0.760</td> <td>0.880</td> </tr> </tbody> </table>					DEFLEXIÓN AL DESENCONFRADO					LOSA	L-01	L-02	L-03	L-04	A1	0.120	0.110	0.120	0.140	A2	0.110	0.120	0.110	-	B1 (CENTRO)	0.700	0.860	0.760	0.880	B2 (CENTRO)	0.740	0.820	0.760	-	C1	0.110	0.120	0.110	0.110	C2	0.120	0.120	0.100	-	Promedio en el centro (B1, B2)	0.720	0.840	0.760	0.880
DEFLEXIÓN AL DESENCONFRADO																																																	
LOSA	L-01	L-02	L-03	L-04																																													
A1	0.120	0.110	0.120	0.140																																													
A2	0.110	0.120	0.110	-																																													
B1 (CENTRO)	0.700	0.860	0.760	0.880																																													
B2 (CENTRO)	0.740	0.820	0.760	-																																													
C1	0.110	0.120	0.110	0.110																																													
C2	0.120	0.120	0.100	-																																													
Promedio en el centro (B1, B2)	0.720	0.840	0.760	0.880																																													
																																																	

10.10 Aportes de la investigación (Recomendaciones)

A. Propuesta de optimización del diseño estructural para el control de deflexiones mediante el incremento de la cuantía de refuerzo

A partir del análisis comparativo desarrollado en la presente investigación, se determinó que la deflexión total promedio obtenida mediante ensayos en las losas macizas unidireccionales (L-01, L-02, L-03 y L-04) fue de 7,101 mm, valor que supera en 26,29 % a la deflexión estimada mediante la Norma Técnica Peruana E.060 (5,623 mm).

Se plantea como alternativa de solución el incremento de la cuantía de acero de refuerzo, debido a su influencia en la rigidez post-fisuración.

En ese sentido, a partir del análisis desarrollado en la presente investigación, se determinó que: Un incremento del 17 % en la cuantía de acero de refuerzo permite reducir la deflexión teórica total calculada a un valor de 4,463 mm.

1. Deflexiones inmediatas:

- Deflexión inmediata por carga muerta

$$\Delta_{i_{CM}} = \frac{5w_{CM}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(5,18 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(259\,807,62 \text{ kgf/cm}^2)(2\,389,60 \text{ cm}^4)} = 1,738 \text{ mm}$$

- Deflexión inmediata por carga viva 100%

$$\Delta_{i_{CV}} = \frac{5w_{CV}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(1,40 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(259\,807,62 \text{ kgf/cm}^2)(2\,389,60 \text{ cm}^4)} = 0,469 \text{ mm}$$

- Deflexión por carga viva 30%

$$\Delta_{i_{CV30\%}} = \frac{5w_{CV30\%}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(0,42 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(259\,807,62 \text{ kgf/cm}^2)(2\,389,60 \text{ cm}^4)} = 0,141 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = \Delta_{i_{CM}} + \Delta_{i_{CV}} = 1,738 \text{ mm} + 0,469 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = 2,208 \text{ mm}$$

2. Deflexiones diferidas

- Deflexión diferida por carga muerta

$$\Delta_{d_{CM}} = \Delta_{i_{CM}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 1,738 \text{ mm} \left(\frac{1,2}{1 + 50(0)} \right) = 2,086 \text{ mm}$$

- Deflexión diferida por carga viva 30%

$$\Delta_{d_{CV30\%}} = \Delta_{i_{CM30\%}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 0,141 \text{ mm} \left(\frac{1,2}{1 + 50(0)} \right) = 0,169 \text{ mm}$$

3. Deflexión total

Tabla 54

Deflexión total losa maciza (Propuesta de optimización mediante el incremento de cuantía de refuerzo) usando la Norma E.060

Deflexión	(mm)
Deflexión inmediata CM	1,738
Deflexión inmediata CV 100 %	0,469
Deflexión inmediata (I)	2,208
Deflexión diferida CM	2,086
Deflexión diferida CV 30 %	0,169
Deflexión diferida (II)	2,225
Deflexión total (I+II)	4,463

Nota: Elaboración propia.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento esperado en condiciones reales, se considera la tendencia observada mediante ensayos, donde la deflexión real supera a la teórica en 26,29 %. Bajo esta consideración, se proyecta que la deflexión total en campo sería aproximadamente: 5,637 mm, valor obtenido al incrementar en 26,29 % la deflexión teórica ajustada.

Tabla 55

Propuesta de optimización mediante el incremento de cuantía de refuerzo, comparativa de deflexiones totales

Parámetro	Escenario original	Escenario con +17% de cuantía
Deflexión teórica (mm)	5,623	4,463
Incremento experimental (%)	26,29 %	26,29 %*
Deflexión real esperada (mm)	7,101	5,637
<i>*Tendencia de la evaluación experimental</i>		

Nota: Elaboración propia.

Del análisis comparativo se observa que, aunque la diferencia relativa entre el modelo teórico y el comportamiento real puede mantenerse en valores similares, la reducción de la deflexión teórica base permite disminuir la magnitud absoluta de la deflexión en condiciones de servicio.

En consecuencia, la deflexión total proyectada de 5,637 mm cumple con los límites admisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.060 (criterio $L/480$, se considera contra flecha de 1,5 mm).

B. Propuesta de optimización del diseño estructural para el control de deflexiones mediante el incremento del espesor de la losa

A partir del análisis comparativo desarrollado en la presente investigación, se determinó que la deflexión total promedio obtenida mediante ensayos en las losas macizas unidireccionales (L-01, L-02, L-03 y L-04) fue de 7,101 mm, valor que supera en 26,29 % a la deflexión estimada mediante la Norma Técnica Peruana E.060 (5,623 mm).

En concordancia con el enfoque de la Norma E.060 para el control de deflexiones en estado de servicio, se plantea como alternativa de solución el incremento del espesor de la losa, debido a su influencia directa en el momento de inercia.

En ese sentido, a partir del análisis desarrollado en la presente investigación, se determinó que: Un incremento del 5 % en el espesor de la losa (de 10 cm a 10,5 cm) permite reducir la deflexión teórica total calculada a un valor de 4,463 mm.

1. Deflexiones inmediatas:

- Deflexión inmediata por carga muerta

$$\Delta_{i_{CM}} = \frac{5w_{CM}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(5,18 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(250\,998,01 \text{ kgf/cm}^2)(2\,482,75 \text{ cm}^4)} = 1,732 \text{ mm}$$

- Deflexión inmediata por carga viva 100%

$$\Delta_{i_{CV}} = \frac{5w_{CV}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(1,40 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(250\,998,01 \text{ kgf/cm}^2)(2\,482,75 \text{ cm}^4)} = 0,468 \text{ mm}$$

- Deflexión por carga viva 30%

$$\Delta_{i_{CV30\%}} = \frac{5w_{CV30\%}L^4}{384E_cI_e} = \frac{5(0,42 \text{ kgf/cm})(200 \text{ cm})^4}{384(250\,998,01 \text{ kgf/cm}^2)(2\,482,75 \text{ cm}^4)} = 0,140 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = \Delta_{i_{CM}} + \Delta_{i_{CV}} = 1,732 \text{ mm} + 0,468 \text{ mm}$$

$$\Delta_i = 2,200 \text{ mm}$$

2. Deflexiones diferidas

- Deflexión diferida por carga muerta

$$\Delta_{d_{CM}} = \Delta_{i_{CM}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 1,732 \text{ mm} \left(\frac{1,2}{1 + 50(0)} \right) = 2,078 \text{ mm}$$

- Deflexión diferida por carga viva 30%

$$\Delta_{d_{CV30\%}} = \Delta_{i_{CM30\%}} \left(\frac{\zeta}{1 + 50\rho'} \right) = 0,140 \text{ mm} \left(\frac{1,2}{1 + 50(0)} \right) = 0,168 \text{ mm}$$

3. Deflexión total

Tabla 56

Deflexión total losa maciza (Propuesta de optimización mediante el incremento de espesor de losa) usando la Norma E.060

Deflexión	(mm)
Deflexión inmediata CM	1,732
Deflexión inmediata CV 100 %	0,468
Deflexión inmediata (I)	2,200
Deflexión diferida CM	2,078
Deflexión diferida CV 30 %	0,168
Deflexión diferida (II)	2,247
Deflexión total (I+II)	4,446

Nota: Elaboración propia.

Con la finalidad de evaluar el comportamiento esperado en condiciones reales, se considera la tendencia observada mediante ensayos, donde la deflexión real supera a la teórica en 26.29 %. Bajo esta consideración, se proyecta que la deflexión total en campo sería aproximadamente: 5.637 mm, valor obtenido al incrementar en 26.29 % la deflexión teórica ajustada.

Tabla 57

Propuesta de optimización mediante el incremento de espesor de losa, comparativa de deflexiones totales

Parámetro	Escenario original	Escenario con +5% de espesor
Deflexión teórica (mm)	5,623	4,446
Incremento experimental (%)	26,29 %	26,29 %*
Deflexión real esperada (mm)	7,01	5,615
<i>*Tendencia de la evaluación experimental</i>		

Nota: Elaboración propia.

Del análisis comparativo se observa que, aunque la diferencia relativa entre el modelo teórico y el comportamiento real puede mantenerse en valores similares, la reducción de la deflexión teórica base permite disminuir la magnitud absoluta de la deflexión en condiciones de servicio.

En consecuencia, la deflexión total proyectada de 5,615 mm cumple con los límites admisibles establecidos por la Norma Técnica Peruana E.060 (criterio $L/480$, se considera contra flecha de 1,5 mm).

C. Influencia del sistema de apuntalamiento en las deflexiones y propuesta de mejora constructiva

Si bien parte de estas diferencias obedece a las simplificaciones propias de los modelos normativos, una causa igualmente relevante se encuentra en el proceso constructivo. En particular, el sistema de apuntalamiento empleado en la práctica habitual de la zona - especialmente en el contexto de inmobiliarias que buscan acelerar los tiempos de ejecución- puede generar concentraciones de carga que la norma no contempla.

En la construcción de viviendas multifamiliares en el distrito de San Jerónimo - Cusco, es común que, tras el desencofrado de las losas macizas, se proceda al apuntalamiento del nivel inferior para soportar el peso del piso superior en proceso de construcción. Este apuntalamiento se realiza generalmente mediante puntales de madera o metálicos colocados de forma aislada, sin elementos que distribuyan horizontalmente la carga sobre la losa.

Como resultado, cada puntal transmite la carga como una fuerza concentrada en un área reducida, generando una distribución de esfuerzos distinta a la considerada en los modelos teóricos. En los últimos años, el uso de encofrado metálico se ha incrementado debido a sus ventajas operativas, como mayor rapidez, precisión y durabilidad. Sin embargo, estos sistemas permiten mayores separaciones entre puntales (0,80 m a 1,50 m o más), lo que incrementa la carga que cada uno transmite de forma puntual.

Este mecanismo es especialmente crítico durante el apuntalamiento: la losa ya fraguada (pero aún joven) recibe N cargas puntuales dispersas en su superficie, en lugar de la carga distribuida uniforme que asume la NTP E.020. Esta discrepancia entre la condición real de carga y el modelo teórico constituye una de las causas probables de que las deflexiones ensayadas en laboratorio superen a las teóricas.

A modo ilustrativo, las expresiones clásicas de deflexión para una viga simplemente apoyada muestran que una carga puntual produce mayores deformaciones que una carga distribuida equivalente:

$$\text{Carga puntual central (P): } \Delta_{\max} = PL^3 / 48EI$$

$$\text{Carga distribuida uniforme (w): } \Delta_{\max} = 5wL^4 / 384EI$$

Al considerar una misma carga total ($P = wL$), la carga puntual puede generar aproximadamente 1,6 veces más deflexión que la distribuida. Aunque este es un caso idealizado, permite entender que la concentración de cargas tiende a amplificar las deformaciones.

En este contexto, se propone incorporar listones de madera de sección rectangular, orientados transversalmente a la dirección del vano, como elemento intermedio entre los puntales y la losa. Su función es transformar la carga puntual de cada puntal en una carga lineal más distribuida, reduciendo la concentración de esfuerzos.

Este mecanismo permite aproximar mejor las condiciones reales de carga al esquema considerado en los modelos normativos, lo que podría contribuir a disminuir la fisuración temprana y la pérdida de rigidez efectiva de la losa.

Desde el punto de vista económico, esta propuesta es viable debido a que:

- Los listones de madera (por ejemplo, de 2" × 4") son materiales de uso común y de bajo costo en el mercado local.
- Pueden reutilizarse en múltiples etapas constructivas.
- No requieren mano de obra especializada para su instalación.

Adicionalmente, una reducción en las deflexiones en servicio disminuye el riesgo de daños en elementos no estructurales, como tabiquería, revestimientos y cielorrasos, evitando costos de reparación posteriores que pueden ser significativamente mayores.

En base a lo anterior, se plantean las siguientes recomendaciones:

- Mantener el apuntalamiento durante al menos 28 días o hasta que el concreto alcance el 75 % de su resistencia de diseño, conforme a la NTP E.060.
- Registrar las deflexiones de desencofrado en obra como parte del control de calidad, a fin de identificar desviaciones y tomar medidas correctivas antes del vaciado del nivel superior.

10.11 Panel fotográfico

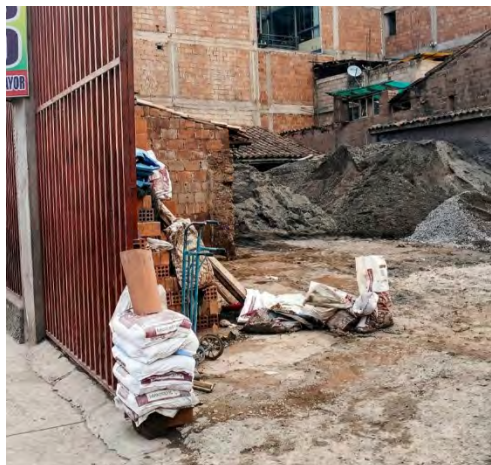


Figura 1: Acopio de agregado fino y grueso en depósito (2do paradero de San Sebastián, Cusco) previo a su traslado para ensayos de laboratorio.



Figura 2: Acopio de agregado fino y grueso seleccionado para los ensayos de laboratorio (Canteras Vicho y Cunyac)



Figura 3: Cuarteo de material para ensayo de agregados



Figura 4: Ensayo de granulométrico del agregado grueso



Figura 5: Ensayo de Peso unitario y vacíos de agregados PUS y PUC



Figura 6: Determinación del Peso Específico de agregado fino



Figura 7: Ensayo de granulométrico en agregado fino

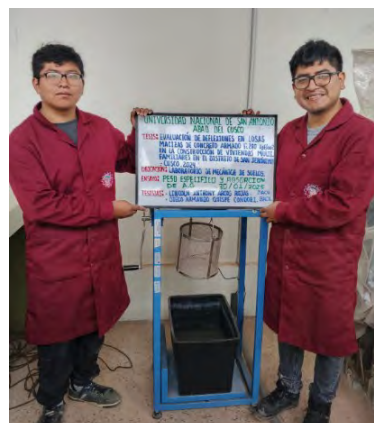


Figura 8: Determinación del Peso Específico y absorción en agregado grueso



Figura 9: Ensayo de abrasión en máquina de los Ángeles



Figura 10: Peso de agregado grueso y fino para la elaboración de briquetas $f'c$ 280 kg/cm²



Figura 11: Preparación de herramientas para el vaciado de briquetas $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 12: Elaboración de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm² en trompo de



Figura 13: Prueba a la mezcla del concreto, prueba del SLUMP



Figura 14: Especímenes de briquetas de concreto f_c 280 kgf/cm^2



Figura 15: Desmoldamiento de briquetas de los especímenes de concreto f_c 280 kgf/cm^2



Figura 16: Briquetas de los especímenes de concreto f_c 280 kgf/cm^2



Figura 17: Ensayo de compresión de los especímenes de briquetas de concreto f_c 280 kgf/cm^2 : MA-01, MA-02, MB-01, MB-02, MC-01, MC-02 después de 28 días



Figura 18: Vista general del proceso de armado del encofrado con fenólico sobre parihuelas para la losa maciza.

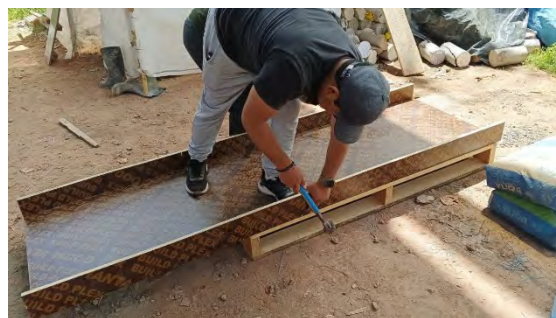


Figura 19: Instalación de fenólico lateral para resistir las cargas del concreto durante el vaciado.



Figura 20: Armado del acero para losas macizas



Figura 21: Colocación de armado de acero en el encofrado para losas macizas



Figura 22: Vaciado de Losas de concreto armado $f'c$ 280 kgf/cm² LM-01, LM-02, LM-03, LM-04



Figura 23: Prueba de SLUMP de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 24: Preparación de briquetas de control del vaciado de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 25: Desmoldamiento de briquetas de control del vaciado de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 26: Briquetas de control del vaciado de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 27: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 1



Figura 28: Verificación de medidas de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04



Figura 29: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 2



Figura 30: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 4



Figura 31: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 7



Figura 32: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 11



Figura 33: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 19



Figura 34: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 20



Figura 35: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 21



Figura 36: Curado de Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04 día 24



Figura 37: Verificación de fisuras de contracción en Losas LM-01, LM-02, LM-03, LM-04



Figura 38: Armado y soldado de soportes de perfil metálico tipo H



Figura 39: Posicionamiento de soportes de perfil metálico tipo H



Figura 40: Rotura de briquetas de control del vaciado de la mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm²



Figura 41: Traslado de losa LM-01 a laboratorio para su ensayo



Figura 42: Traslado de losa LM-02 a laboratorio para su ensayo



Figura 43: Traslado de losa LM-03 a laboratorio para su ensayo



Figura 44: Losas LM-01, LM-02, LM-03 en laboratorio para su ensayo



Figura 45: Izamiento de losa LM-01 para su ensayo



Figura 46: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-01



Figura 47: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-01



Figura 48: Toma de datos de las deflexiones inmediatas de la losa maciza LM-01



Figura 49: Ensayo a flexión de la losa maciza LM-01



Figura 50: Fisuras de la losa maciza LM-01



Figura 51: Izamiento de losa LM-02 para su ensayo



Figura 52: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-02



Figura 53: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-02



Figura 54: Toma de datos de las deflexiones inmediatas de la losa maciza LM-02



Figura 55: Ensayo a flexión de la losa maciza LM-02



Figura 56: Fisuras de la losa maciza LM-02



Figura 57: Izamiento de losa LM-03 para su ensayo



Figura 58: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-03



Figura 59: Instalación de la celda de carga, diales y caja colectora para el ensayo de losa LM-03



Figura 60: Toma de datos de las deflexiones inmediatas de la losa maciza LM-03



Figura 61: Ensayo a flexión de la losa maciza LM-03

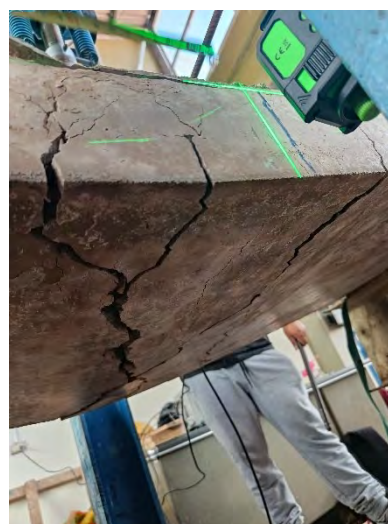


Figura 62: Fisuras de la losa maciza LM-03



Figura 63: Izamiento de losa LM-04 para su ensayo



Figura 64: Toma de datos de las deflexiones inmediatas de la losa maciza LM-04 (25/06/25)



Figura 65: Toma de datos de las deflexiones diferidas de la losa maciza LM-04, día (02/07/25)



*Figura 66: Toma de datos de las deflexiones
diferidas de la losa maciza LM-04, día
(18/07/25)*



Figura 67: Registro del pesaje de sacos empleados como carga aplicada en la losa maciza.



Figura 68: Disposición de sacos de 50 kg sobre la losa maciza, empleados en la evaluación de la deflexión diferida. (11/08/2025)



Figura 69: Disposición de sacos de 50 kg sobre la losa maciza, empleados en la evaluación de la deflexión diferida. (11/08/2025)



Figura 70: Medición de la deflexión diferida en la losa maciza L-04, día (26/08/2025)



Figura 71: Medición de la deflexión diferida en la losa maciza L-04, día (26/08/2025)



Figura 72: Medición de la deflexión diferida en la losa maciza L-04, día (10/09/2025)

10.11.1 Panel fotográfico - deflexión diferida L-04



Figura 73: Inicio PP - Peso Propio_Def. inm. Desenc. (25/06/2025)-(01)



Figura 74: Medición con vernier_Início PP - Peso Propio_Def. inm. Desenc. (25/06/2025)-(01)



Figura 75: PP - Peso Propio_Def. inm. Desenc. (31/07/2025)-(02)



Figura 76: Medición con vernier_PP - Peso Propio_Def. inm. Desenc. (31/07/2025)-(02)



Figura 77: Apl. Carga - CM+CV_Def. inm. CM+CV (11/08/2025)-(03)



Figura 78: Medición con vernier_Apl. Carga - CM+CV_Def. inm. CM+CV (11/08/2025)-(03)

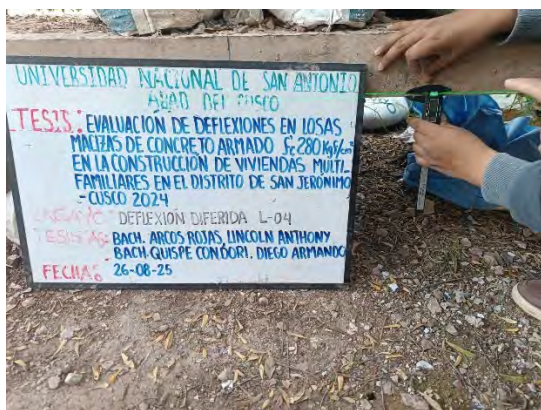


Figura 79: CM+CV_Def. diferida (26/08/2025)-(04)



Figura 80: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (26/08/2025)-(04)



Figura 81: CM+CV_Def. diferida (10/09/2025)-(05)



Figura 82: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (10/09/2025)-(05)



Figura 83: CM+CV_Def. diferida (30/09/2025)-(06)



Figura 84: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (30/09/2025)-(06)



Figura 85: CM+CV_Def. diferida (10/11/2025)-(07)



Figura 86: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (10/11/2025)-(07)



Figura 87: CM+CV_Def. diferida (30/11/2025)-(08)

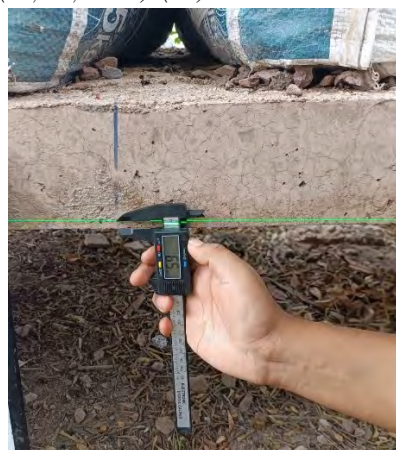


Figura 88: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (30/11/2025)-(08)



Figura 89: CM+CV_Def. diferida (31/01/2026)-(09)



Figura 90: Medición con vernier_ CM+CV_Def. diferida (31/01/2026)-(09)