Universidad Nacional Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CURADO INTERNAMENTE CON AGREGADO GRUESO SATURADO, DISTRITO CARMEN ALTO- AYACUCHO- 2025

Línea de investigación:
Construcción sostenible y sostenibilidad ambiental del territorio

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autora

Huillcahuari Pacheco, Rasselly Malu

Asesor

Romero Ríos, David

ORCID: 0000-0003-3172-9024

Jurado

Benites Zúñiga, José Luis

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

Yucra Ayala, Maddeley Elizabeth

Lima - Perú

2026

RECONOCIMIENTO - NO COMERCIAL - SIN OBRA DERIVADA
(CC BY-NC-ND)

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CURADO INTERNAMENTE CON AGREGADO GRUESO SATURADO, DISTRITO CARMEN ALTO- AYACUCHO-2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	14%	5%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	1%
4	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
5	Submitted to Universidad Nacional de Trujillo Trabajo del estudiante	<1%
6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
9	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
10	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
11	repositorio.upt.edu.pe	

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CURADO INTERNAMENTE CON AGREGADO GRUESO SATURADO, DISTRITO CARMEN ALTO- AYACUCHO- 2025

Línea de Investigación:

Construcción Sostenible y Sostenibilidad Ambiental del Territorio

Tesis para optar el Título profesional de Ingeniero Civil

Autora:

Huillcahuari Pacheco, Rasselly Malu

Asesor:

Romero Ríos, David

ORCID: 0000-0003-3172-9024

Jurado:

Benites Zúñiga, José Luis

Tabory Malpartida, Gustavo Augusto

Yucra Ayala, Maddeley Elizabeth

Lima – Perú

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo a mis padres, José y Julia, por su apoyo incondicional desde mis primeros pasos hasta mi formación profesional, y por haberme brindado la confianza necesaria para alcanzar este objetivo. A mi abuelita, quien estuvo presente durante el desarrollo de esta investigación y que hoy me acompaña desde el cielo.

Agradecimiento

Expreso mi más sincero agradecimiento a los docentes de la UNFV – FIC, quienes, con su noble labor, lograron mantenernos constantemente motivados a lo largo de la carrera. Asimismo, agradezco las sólidas bases de formación académica que me brindaron, las cuales han sido fundamentales para afrontar los retos de la vida profesional.

ÍNDICE

Resumen.....xvi

Abstract.....xvii

I. INTRODUCCIÓN.....1

1.1 Descripción y formulación del problema.....1

1.1.1 Descripción del problema.....1

1.1.2 Formulación del problema.....3

1.2 Antecedentes.....4

1.2.1 Nacionales.....4

1.2.2 Internacionales.....6

1.3 Objetivos.....9

1.3.1 Objetivo general.....9

1.3.2 Objetivos específicos.....9

1.4 Justificación.....9

1.4.1 Justificación práctica.....9

1.4.2 Justificación social.....11

1.4.3 Justificación ambiental.....12

1.5 Hipótesis.....12

1.5.1 Hipótesis general.....12

1.5.2 Hipótesis especificas.....12

II. MARCO TEÓRICO.....14

2.1 Generalidades sobre el proyecto 14

2.1.1 Características del proyecto 14

2.2 Mecánica de suelos 17

2.2.1 Concepto de mecánica de suelos 17

2.2.2 Concepto geotécnico fundamental 17

2.2.3 Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos 18

2.2.4 Descripción del perfil estratigráfico 20

2.2.5 Análisis de la información para fines de cimentación 23

2.2.6 Problemas especiales de cimentación 23

2.3 Concreto 24

2.3.1 Definición de concreto 24

2.3.2 Concreto en el pre vaciado 24

2.3.3 Componentes del concreto 31

2.3.4 Concreto en el post vaciado 48

2.4 Conceptos generales de estructuras 54

2.4.1 Método de diseño y carga 54

2.4.2 Propiedades mecánicas 54

2.4.3 Elementos estructurales 56

2.4.4 Concepto de la vivienda multifamiliar según el RNE 57

III. MÉTODO 59

3.1 Tipo de investigación 59

3.2 Ámbito temporal y espacial....60

3.3 Variables....61

3.4 Población y muestra....61

3.5 Instrumentos....64

3.6 Procedimientos....64

3.7 Análisis de datos....72

3.7.1 Estadística descriptiva....72

IV. RESULTADOS....74

4.1 Evaluación preliminar del área de estudio....74

4.1.1 Inspección del terreno....74

4.1.2 Ejecución de calicatas....74

4.1.3 Ensayos de laboratorio....75

4.1.4 Perfil estratigráfico....77

4.1.5 Análisis de la información....77

4.1.6 Problemas especiales de cimentación....78

4.2 Diseño de mezcla para cimentaciones....80

4.2.1 Ensayo de granulometría de los agregados....80

4.2.2 Ensayo de peso unitario de los agregados....85

4.2.3 Ensayo de peso específico y absorción de agregados....86

4.2.4 Ensayo de contenido de humedad....88

4.2.5 Porcentaje de vacíos....89

4.2.6 Parámetros de diseño del concreto 89

4.2.7 Proporción por m3 de concreto para cimentaciones 90

4.3 Diseño de mezcla para columnas y vigas 91

4.3.1 Ensayo de granulometría de los agregados 91

4.3.2 Ensayo de peso unitario de los agregados 94

4.3.3 Ensayo de peso específico y absorción de agregados 95

4.3.4 Ensayo de contenido de humedad 96

4.3.5 Porcentaje de vacíos 97

4.3.6 Parámetros de diseño del concreto 97

4.3.7 Proporción por m3 de concreto para columnas y vigas 98

4.4 Producción del concreto 99

4.4.1 Dosificación en campo para ensayo en columnas 99

4.4.2 Dosificación en campo para ensayo en vigas 100

4.4.3 Dosificación en campo para ensayo en cimentaciones 100

4.4.4 Cronograma de elaboración del concreto y edades de rotura. 101

4.4.5 Control de calidad del concreto fresco 103

4.4.6 Control de curado de especímenes de concreto 103

4.5 Ensayos de laboratorio 115

4.5.1 Resistencia a la compresión en columnas 115

4.5.2 Resistencia a la flexión en vigas 123

4.5.3 Resistencia a la compresión en cimentaciones 133

4.6 Costos unitarios 141

4.6.1 Análisis de costos unitarios en columnas 141

4.6.2 Análisis de costos unitarios en vigas 143

4.6.3 Análisis de costos unitarios en cimentaciones 145

4.6.4 Análisis de costos unitarios 147

4.6.5 Relación de las propiedades mecánicas a los 28 días con el consumo de agua ... 147

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 149

5.1 Para objetivo específico 01 149

5.2 Para objetivo específico 02 152

5.3 Para objetivo específico 03 154

VI. CONCLUSIONES 157

VII. RECOMENDACIONES 159

VIII. REFERENCIAS 161

IX. ANEXOS 165

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Dimensiones del cono de Abrams 29

Figura 2 Medición del slump 30

Figura 3 Perfil estratigráfico de la zona de estudio.....77

Figura 4 Curva granulométrica del agregado grueso 81

Figura 5 Curva granulométrica del agregado fino 82

Figura 6 Curva granulométrica de los agregados global 84

Figura 7 Curva granulométrica del agregado grueso 92

Figura 8 Curva granulométrica del agregado fino 93

Figura 9 Curva granulométrica del agregado global.....94

Figura 10 Resistencia a compresión con diferentes curados y edades.....121

Figura 11 Coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.....122

Figura 12 Resistencia a flexión con diferentes curados y edades. 129

Figura 13 Coeficiente de variación de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades. 130

Figura 14 Intervalos inferior y superior del módulo de rotura en relación con la resistencia de diseño. 131

Figura 15 Resistencia a compresión con diferentes curados y edades.....139

Figura 16 Coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.....140

Figura 17 Análisis de costos unitarios de producción y métodos de curado por m3 de concreto. 147

Figura 18 Relación de la resistencia a los 28 días y el consumo de agua. 148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Tipo de consistencia y Asentamiento. 27

Tabla 2 Variaciones aceptables de la mezcla 27

Tabla 3 Muestra del estudio 63

Tabla 4 Resumen de tipos de suelos encontrados en campo. 74

Tabla 5 Resumen de la densidad de la roca. 75

Tabla 6 Resumen de la identificación de tipo de roca. 75

Tabla 7 Resumen de los ensayos de corte directo en roca. 76

Tabla 8 Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión simple de la roca. 76

Tabla 9 Resumen de los ensayos químicos del suelo. 76

Tabla 10 Resumen de capacidad admisible para cimentaciones. 78

Tabla 11 Limites permisibles de los valores químicos. 79

Tabla 12 Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2016). 80

Tabla 13 Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 339.128, 2019). 82

Tabla 14 Análisis granulométrico del agregado global (NTP 339.128, 2019). 83

Tabla 15 Resumen del ensayo granulométrico a los agregados gruesos y finos. 84

Tabla 16 Resumen de los pesos unitarios del agregado fino. 85

Tabla 17 Resumen de los pesos unitarios del agregado grueso. 86

Tabla 18 Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso. 86

Tabla 19 Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino. ... 87

Tabla 20 Resumen contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial del agregado grueso. 88

Tabla 21 Resumen contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial del agregado fino. 88

Tabla 22 Resumen porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino. 89

Tabla 23 Resumen de las propiedades físicas de los agregados. 90

Tabla 24 Proporción en peso, por m3 de concreto para mezclas plásticas. 91

Tabla 25 Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2016).....91

Tabla 26 Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 339.128, 2019).....92

Tabla 27 Análisis granulométrico del agregado global (NTP 339.128, 2019). 93

Tabla 28 Resumen de los pesos unitarios del agregado fino. 94

Tabla 29 Resumen de los pesos unitarios del agregado grueso. 95

Tabla 30 Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso.95

Tabla 31 Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino. ...96

Tabla 32 Resumen contenido de humedad de los agregados.....96

Tabla 33 Resumen porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino. 97

Tabla 34 Resumen de las propiedades físicas de los agregados. 97

Tabla 35 Proporción en peso, por m3 de concreto para mezclas plásticas. 98

Tabla 36 Metrado del volumen de especímenes del ensayo. 99

Tabla 37 Proporción en peso, para 0.0257 m3 de concreto. 99

Tabla 38 Metrado del volumen de especímenes del ensayo. 100

Tabla 39 Proporción en peso, para 0.1137 m3 de concreto. 100

Tabla 40 Metrado del volumen de especímenes del ensayo. 101

Tabla 41 Proporción en peso, para 0.0259 m3 de concreto. 101

Tabla 42 Cronograma de elaboración de especímenes en la primera fase. 101

Tabla 43 Cronograma de ensayos a edades 7,14 y 28 días en la primera fase. 102

Tabla 44 Cronograma de elaboración de especímenes en la segunda fase.....102

Tabla 45 Cronograma de ensayos a edades 7,14 y 28 días en la segunda fase.....102

Tabla 46 Resumen de tipos de curados aplicado a las muestras en la primera fase. 103

Tabla 47 Resumen de tipos de curados aplicado a las muestras en la segunda fase.....104

Tabla 48 Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra. 104

Tabla 49 Cálculo del volumen total de las probetas. 104

Tabla 50 Cálculo del volumen de agua empleado. 105

Tabla 51 Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra. 105

Tabla 52 Cálculo del volumen total de las probetas. 105

Tabla 53 Cálculo del volumen de agua empleado. 106

Tabla 54 Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra. 106

Tabla 55 Cálculo del volumen total de las probetas. 106

Tabla 56 Cálculo del volumen de agua empleado. 107

Tabla 57 Control del tiempo de curado de cada muestra. 107

Tabla 58 Cálculo del volumen de agua empleado. 107

Tabla 59 Control del tiempo de curado de cada muestra. 108

Tabla 60 Cálculo del volumen de agua empleado. 108

Tabla 61 Control del tiempo de curado de cada muestra. 109

Tabla 62 Cálculo del volumen de agua empleado. 109

Tabla 63 Control del tiempo de curado de cada muestra. 109

Tabla 64 Cálculo del área total de las probetas. 110

Tabla 65 Cálculo del volumen de aditivo empleado. 110

Tabla 66 Control del tiempo de curado de cada muestra. 110

Tabla 67 Cálculo del área total de las probetas. 111

Tabla 68 Cálculo del volumen de aditivo empleado. 111

Tabla 69 Control del tiempo de curado de cada muestra. 111

Tabla 70 Cálculo del área total de las probetas. 111

Tabla 71 Cálculo del volumen de aditivo empleado. 112

Tabla 72 Control del tiempo de curado de cada muestra. 112

Tabla 73 Control del tiempo de curado de cada muestra. 112

Tabla 74 Control del tiempo de curado de cada muestra. 113

Tabla 75 Cálculo de promedio de agua empleado por peso de muestra. 113

Tabla 76 Determinación del porcentaje de absorción de agua del agregado grueso en condiciones de obra. 114

Tabla 77 Cálculo del volumen de agua empleado. 114

Tabla 78 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 7 días. 115

Tabla 79 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 7 días. 115

Tabla 80 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 7 días. 116

Tabla 81 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días. 116

Tabla 82 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 14 días. 117

Tabla 83 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 14 días. 117

Tabla 84 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 14 días. 118

Tabla 85 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días. ... 118

Tabla 86 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 28 días. 119

Tabla 87 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 28 días. 119

Tabla 88 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 28 días. 120

Tabla 89 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días. ... 120

Tabla 90 Resumen de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades. 121

Tabla 91 Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades. 122

Tabla 92 Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 7 días. 123

Tabla 93 Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 7 días. 123

Tabla 94 Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 7 días. 124

Tabla 95 Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días. 124

Tabla 96 Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 14 días. 125

Tabla 97 Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 14 días. 125

Tabla 98 Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 14 días. 126

Tabla 99 Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días. 126

Tabla 100 Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 28 días. 127

Tabla 101 Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 28 días. 127

Tabla 102 Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 28 días. 128

Tabla 103 Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días. 128

Tabla 104 Resumen de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades. 129

Tabla 105 Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades. 130

Tabla 106 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 7 días. 133

Tabla 107 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 7 días. 133

Tabla 108 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 7 días. 134

Tabla 109 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días. ... 134

Tabla 110 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 14 días. 135

Tabla 111 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 14 días. 135

Tabla 112 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 14 días. 136

Tabla 113 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días. . 136

Tabla 114 Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 28 días. 137

Tabla 115 Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 28 días. 137

Tabla 116 Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 28 días. 138

Tabla 117 Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días. . 138

Tabla 118 Resumen de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades. 139

Tabla 119 Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades. 140

Tabla 120 Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3. 141

Tabla 121 Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3. 141

Tabla 122 Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3...142

Tabla 123 Costo unitario de los materiales para la producción y curado interno con agregado grueso saturado por m3. 142

Tabla 124 Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3. 143

Tabla 125 Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3. 143

Tabla 126 Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3...144

Tabla 127 Costo unitario de los materiales para la producción y curado interno por m3. ...144

Tabla 128 Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3. 145

Tabla 129 Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3. 145

Tabla 130 Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3...146

Tabla 131 Costo unitario de los materiales para la producción y curado c/n agregado grueso saturado por m3.....146

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar un procedimiento alternativo de curado del concreto basado en la saturación previa del agregado grueso, comparándolo con métodos convencionales como el curado por inmersión en agua, rociado con agua y aplicación de compuestos químicos. El análisis se centró en comparar las propiedades mecánicas del concreto, resistencia a compresión y a flexión, así como los costos unitarios bajo distintos regímenes de curado. La metodología adoptada correspondió a un enfoque experimental aplicado, mediante la elaboración de especímenes normalizados ensayados a edades de 7, 14 y 28 días, complementado con un análisis de costos de producción por metro cúbico. Los resultados evidenciaron que el curado por inmersión en agua alcanzó los mayores valores de resistencia a compresión (307.14 kg/cm²) y flexión (39.77 kg/cm²), mientras que el curado interno presentó los valores más bajos, con resistencias de (99.12 kg/cm²) y (21.67 kg/cm²), respectivamente, a los 28 días. No obstante, dado que el curado por inmersión se limita principalmente a condiciones de laboratorio, estos resultados no representan directamente el comportamiento del concreto en estructuras ejecutadas in situ. En este contexto, el curado por rociado con agua presentó un desempeño mecánico superior frente a las demás alternativas aplicables en campo, alcanzando resistencias a compresión de (222.26 kg/cm²) y a flexión de (28.60 kg/cm²), con un costo de producción de S/ 416.40 por m³. Estos resultados lo posicionan como una alternativa técnicamente viable y competitiva. Por el contrario, el curado interno, bajo las condiciones evaluadas, no evidenció ventajas técnicas significativas.

Palabras clave: concreto, métodos de curado, resistencia a compresión, resistencia a flexión, costos unitarios.

Abstract

This research aimed to evaluate an alternative concrete curing procedure based on the pre-saturation of the coarse aggregate, comparing it with conventional methods such as water immersion, water spraying, and the application of chemical compounds. The analysis focused on comparing the mechanical properties of the concrete compressive and flexural strength as well as the unit costs under different curing regimes. The methodology adopted was an applied experimental approach, using standardized specimens tested at 7, 14, and 28 days, complemented by an analysis of production costs per cubic meter. The results showed that water immersion curing achieved the highest compressive strength (307.14 kg/cm²) and flexural strength (39.77 kg/cm²), while internal curing presented the lowest values, with strengths of 99.12 kg/cm² and 21.67 kg/cm², respectively, at 28 days. However, since immersion curing is primarily limited to laboratory conditions, these results do not directly represent the behavior of concrete in in-situ structures. In this context, water spray curing exhibited superior mechanical performance compared to other applicable field alternatives, achieving compressive strengths of 222.26 kg/cm² and flexural strengths of 28.60 kg/cm², with a production cost of S/ 416.40 per m³. These results position it as a technically viable and competitive alternative. Conversely, internal curing, under the evaluated conditions, did not demonstrate significant technical advantages.

Keywords: Concrete, curing methods, compressive strength, flexural strength, unit costs.

I. INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción y formulación del problema

1.1.1 Descripción del problema

En la construcción de viviendas, uno de los elementos para asegurar la resistencia, vida útil y desempeño del concreto es el curado. Tradicionalmente, se han empleado procedimientos tradicionales como el curado por inmersión, la aplicación superficial de agua o el curado químico; los cuales requieren condiciones ambientales controladas y un consumo significativo de recursos. No obstante, en zonas como el distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga – Ayacucho, donde los factores climáticos y operativos representan limitaciones importantes, se hace necesario explorar métodos de curado alternativos que sean técnica y económicamente viables.

En este contexto, como alternativa técnicamente viable, se ha identificado el curado interno mediante la saturación previa del agregado grueso. Esta técnica permite un suministro gradual de humedad desde el interior del concreto, permitiendo una hidratación constante del concreto sin requerir intervención externa posterior. Sin embargo, su aplicación práctica enfrenta diversos desafíos, entre ellos, la ausencia de parámetros normativos uniformes y la existencia de divergencias en cuanto a la eficacia de las distintas técnicas de saturación, tales como la inmersión en agua, la aplicación de vapor o la presurización del agregado.

Adicionalmente, factores como la variabilidad en la porosidad de los agregados y las condiciones ambientales locales pueden influir significativamente en la eficiencia del curado interno, lo que dificulta una evaluación comparativa con los métodos convencionales. Asimismo, la literatura técnica aún presenta escasa evidencia sobre el análisis costo-beneficio de estos métodos, especialmente en el contexto de viviendas ubicadas en regiones altoandinas. La zona donde está ubicado el proyecto en estudio cuenta con canteras cercanas, sin embargo, en la época de lluvias este material se expone generalmente a presentar saturación no

controlada, en ese sentido con esta investigación se pretende evaluar si es beneficioso o perjudicial este factor adicional que no se presenta en las zonas costeras por tener otras condiciones climáticas.

Frente a esta problemática, resulta esencial desarrollar un análisis comparativo integral que evalúe tanto las características mecánicas del concreto (resistencia a compresión, a flexión, durabilidad y permeabilidad) como los costos unitarios a cada método de curado. Esta evaluación permitirá determinar si el curado interno es una solución viable desde el punto de vista técnico-económico en contextos constructivos similares. De esta forma, se contribuirá a optimizar recursos y mejorar la calidad de las estructuras, promoviendo prácticas constructivas más eficientes, sostenibles y ajustadas a las condiciones locales.

En el marco de la ingeniería civil contemporánea, el control del proceso de curado del concreto adquiere una relevancia estratégica para asegurar el desempeño estructural a largo plazo. La hidratación adecuada del cemento, facilitada por un curado eficiente, es determinante para el desarrollo de propiedades mecánicas fundamentales, como la resistencia a compresión, la baja permeabilidad y la resistencia frente a agentes agresivos del entorno. Aunque los métodos tradicionales de curado han sido ampliamente utilizados, sus limitaciones operativas y de costo en determinadas circunstancias han motivado la búsqueda de soluciones alternativas más eficientes.

En este sentido, el curado interno mediante agregados gruesos previamente saturados ofrece ventajas importantes al proporcionar una fuente interna y sostenida de humedad, especialmente útil en zonas de difícil acceso o donde el curado externo resulta poco efectivo. No obstante, su implementación requiere una evaluación rigurosa que considere tanto el comportamiento mecánico del concreto como la viabilidad económica del procedimiento.

Por esta razón, la presente investigación tiene como objetivo comparar los costos y las propiedades mecánicas del concreto curado mediante la técnica de curado interno con

agregados saturados frente a los métodos convencionales, aplicados en elementos estructurales (columna, viga y cimentaciones) en una vivienda del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Se evaluarán parámetros como la resistencia a compresión, a flexión, durabilidad, permeabilidad y costos asociados, con la finalidad de establecer criterios técnicos que orienten la toma de decisiones en obras de construcción civil en contextos similares, promoviendo así estructuras más durables, eficientes y sostenibles.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general. ¿Cómo influye el curado interno mediante la saturación del agregado grueso en las propiedades mecánicas y costos del concreto f´c 210 kg/cm², frente a métodos convencionales de curado en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho?

1.1.2.2. Problemas específicos. ¿Cómo se desempeña el curado interno mediante la saturación del agregado grueso en la resistencia a la compresión del concreto f´c 210 kg/cm², frente a los métodos convencionales de curado (rociado, curado químico y curado por inmersión), a edades de 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como columnas y cimentación?

¿Qué diferencias se presentan en la resistencia a la flexión del concreto f´c 210 kg/cm² con curado interno mediante la saturación del agregado grueso, frente a los métodos convencionales de curado (rociado, curado químico y curado por inmersión) a edades de 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como vigas?

¿Qué variación existe en los costos asociados a la implementación del curado interno del concreto f´c 210 kg/cm² frente a los métodos convencionales de curado en elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación en viviendas?

1.2 Antecedentes

1.2.1 Nacionales

Vásquez (2019), surge como reacción a las metodologías deficientes de curado del concreto, a pesar de que la normativa NTP 339.033 (2015) identifica los protocolos para la creación y curado de muestras. Se plantea que, se podrán obtener los resultados de diseño esperados; aunque el método más común de curado en obras es el riego del elemento, se argumenta que este proceso no produce los mismos resultados que el curado de muestras, que permite analizar la calidad. Por lo tanto, se sugiere explorar otros métodos de curado, como el autocurado. La investigación tuvo como finalidad evaluar cómo se modifica la resistencia de un concreto con una resistencia característica de 210 kg/cm² al sustituir el agregado grueso por traquita saturada en proporciones del 5%, 10% y 15%, y analizar cómo afecta el autocurado al comparar la resistencia cuando se sustituyen los mismos % de traquita húmeda y traquita seca. Luego de evaluar los resultados obtenidos, se evidenciaron que, al emplear traquita saturada en lugar de agregado grueso, se observa una variación menor en su resistencia a diferencia de la muestra patrón, aunque esta sigue siendo superior al diseño de f'c = 210 kg/cm². Además, el impacto del curado a los 28 días en los distintos niveles de reemplazo del 5%, 10% y 15% con traquita saturada aumenta en un 23.80%, 26.95%, y 33.65%, respectivamente, en comparación con la traquita seca.

Tejada y Pérez (2020), indica que el curado se lleva a cabo principalmente de manera superficial, sin conocer completamente la eficacia de los métodos convencionales en relación con la resistencia. Surge la exigencia de explorar nuevos tipos de curado que puedan ser más efectivos y compararlos con los métodos convencionales existentes. Se buscó determinar la eficacia de la hidratación interno a través del humedecimiento del agregado grueso, en contraste con otros métodos comúnmente utilizados. Se propuso examinar cuatro técnicas de curado con una resistencia de 210 Kg/cm²: (a) tratamiento con aplicación de agua por aspersión, (b)

utilización del aditivo membranil Vista, (c) tratamiento mediante inmersión en agua, y (d) el método de curado interno sugerido por la saturación del árido grueso. Se analizaron los factores de humedad en el concreto y la resistencia a 7, 28 y 90. Los resultados indicaron que el curado interno a través de la saturación del árido grueso demostró ser más eficiente. en retener la humedad y aumentar la resistencia del concreto en comparación con los métodos convencionales.

Espinoza (2019), El procedimiento de hidratación es fundamental para confirmar las cualidades adecuadas del concreto, porque permite una hidratación eficiente y continua del cemento al mantener la presencia adecuada de agua. En muchos casos, el curado del concreto se realiza de manera superficial, ya sea mediante la aplicación de agua en los primeros intervalos de fraguado o mediante el uso de soluciones líquidas que forman una capa impermeable. La eficacia de estos métodos en el incremento de la resistencia no está completamente establecida, y es común observar problemas de fisuración en los elementos expuestos a las condiciones ambientales., lo que podría atribuirse a un curado inadecuado del concreto.

El fin de su estudio fue examinar la eficacia del curado interno al sustituir parte del agregado grueso con trozos de ladrillo húmedo, a diferencia del método tradicional de curado por inmersión. Se concluye la utilización de diferentes proporciones de reemplazo de árido grueso por material cerámico proveniente de ladrillos King Kong. Se evalúan tres niveles de sustitución de fragmentos (10%, 20% y 30%) para una resistencia objetivo de 210 Kg/cm². Se investigan los niveles de humedad y la resistencia. Los resultados muestran que la hidratación interna a través de la sustitución del agregado grueso con trozos de ladrillo triturado y saturado es adecuada. A medida que aumenta la proporción de sustitución, se observa una mejora en la conservación de humedad y un incremento en la resistencia del concreto, alcanzando un incremento del 8% en la resistencia (280 Kg/cm² a los 28 días) en comparación con el curado por inmersión, que solo presenta un aumento del 1% (259.66 Kg/cm²). Es importante destacar

que este enfoque se centra únicamente en el curado interno y expone los especímenes a condiciones de intemperie, replicando situaciones de obra realistas.

1.2.2 Internacionales

Para Zambrano et al. (2022), la adecuada curación juega un factor importante en la elaboración del concreto, ya que implica su fraguado y endurecimiento a lo largo del tiempo, contribuyendo a obtener resistencias a la compresión óptimas. El propósito fue evaluar la técnica de curado que optimice la resistencia a los 28 días. Se examinaron tres enfoques diferentes: mantenimiento constante de la humedad, cobertura húmeda y uso de láminas de polietileno. Se produjeron nueve muestras cilíndricas para cada método, siguiendo la Norma Técnica Ecuatoriana. Se desarrollaron pruebas de resistencia según la NTE INEN 1573:2010 para evaluar el rendimiento de las muestras. Se estableció una resistencia de diseño. Se indicó que el método más efectivo fue el de cobertura húmeda, alcanzando una resistencia de 22,92 MPa a los 28 días, superando su f'c.

Gómez et al. (2019) mencionan que el concreto resalta como uno de los compuestos más empleados en proyectos de ingeniería, siendo reconocido por su robustez. Para garantizar esta resistencia, se requiere un método de curado que cumpla con los estándares necesarios, ya que está relacionado con la fortaleza y resistencia a la degradación. Diversos enfoques de curado están disponibles, el estudio se trata en analizar el impacto de métodos, de curado. La metodología adoptada fue experimental, implicando la comparación de los distintos métodos mediante la elaboración de cilindros evaluados en cuatro periodos: 3, 7, 14 y 28 días. Los resultados revelaron que, con los métodos de curado con antisol, plástico y agua, la resistencia aumenta con la edad del hormigón. El curado con agua destacó al superar en un 23.9% la resistencia esperada a los 28 días. No obstante, la elección del método debe ajustarse al estudio, teniendo en cuenta la capacidad de controlar la humedad y temperatura. Para una losa de pavimento, se recomienda el antisol debido a la impracticabilidad del curado con agua en

grandes superficies, mientras que el curado con plástico presenta limitaciones en cuanto a la ubicación. La selección del método, por lo tanto, depende de la resistencia proyectada, de la funcionalidad y la relación entre costo y beneficio.

Betancourth (2017), en su estudio analizó cómo mejorar el proceso de hidratación interno en diseños utilizados en cables de pretensado, mediante la saturación de árido liviano en una mezcla de agua y un aditivo que disminuye la contracción. Se estudian la capacidad de filtración, los métodos de movimiento de iones de cloruro y las propiedades estructurales, al comparar morteros comerciales y experimentales sin curado interno. Se demuestra es posible producir grouts en laboratorio con las propiedades necesarias para su aplicación en tendones de preesfuerzo, utilizando materiales locales y adaptando los procedimientos para su uso en la construcción. El método de curado afecta las propiedades mecánicas, siendo el curado sellado crucial para mantenerlas. El curado interno mejorado se muestra eficaz, mejorando las cualidades como resultado de una hidratación más intensa proporcionada debido al agua interna extra. Los aditivos químicos, como agentes acelerantes y modificadores de consistencia impactan la dinámica de hidratación de los morteros. El curado interno presenta beneficios en términos de durabilidad, previniendo agrietamientos y reduciendo la capacidad de penetración de iones de cloruro. Se sugiere llevar a cabo investigaciones más detalladas sobre pruebas electroquímicas, ya que los hallazgos recientes no permiten concluir completamente el rendimiento superior de esta combinación. En este contexto, la hidratación interna optimizada se postula como una tecnología protectora del acero frente a la corrosión, al reducir agrietamientos que sirven como caminos de acceso para iones, como los cloruros, y reducir la infiltración de estos en el diseño de cemento.

Rodríguez (2016), evaluó diversas propiedades, tanto en su fase plástica como en su fase sólida (fuerza y longevidad), señala que la hidratación interna en el hormigón mediante el reemplazo parcial del árido grueso por áridos livianos previamente humedecidos, se pueden

obtener ciertos beneficios. Se examinaron diferentes tipos de agregados ligeros, como arcillas sometidas a calor y ladrillos triturados, junto con un agente de curado. Se desarrollaron diversas pruebas para analizar propiedades como la manejabilidad, la resistencia estructural y la longevidad del hormigón. Evaluaciones de compresión, coeficiente de elasticidad, hundimiento, peso de la combinación, peso del concreto, índice de captación superficial inicial, captación por capilaridad, durabilidad frente a cloruros, índice de evaporación de humedad y cambio de tamaño. Para vincular los hallazgos de las pruebas de laboratorio con la hidratación interna, se utilizó una combinación de porcentajes de reemplazo del árido grueso del 25% y el 15% por árido liviano previamente humedecido, manteniendo una proporción agua-cemento de 0.30, con el objetivo de identificar la influencia del curado interno en comparación con el curado superficial, se decidió no emplear cilindros normativos habituales. En su lugar, se prefirió utilizar losas con mayor área, siguiendo la recomendación de estudios previos, con el fin de lograr un curado interno más homogéneo, de las cuales posteriormente se utilizó un taladro extractor de núcleos para extraer cilindros. Se observaron resultados favorables en las mezclas que contenían áridos livianos previamente saturados y el uso de un agente curador. Se alcanzaron niveles equivalentes al 88% de la resistencia obtenida en las muestras estándar curadas externamente. La trabajabilidad con áridos ligeros mejoró en comparación con la mezcla de referencia y la longevidad, evaluada mediante ensayos mencionados anteriormente, indicó un buen comportamiento estructural de los concretos. En resumen, los resultados sugieren que los concretos evaluados presentan una calidad superior a la mezcla de referencia conservada en condiciones de humedad y temperatura regulada, y son comparables en calidad a la muestra de referencia tratada, destacando la eficacia de los áridos livianos a través de la hidratación interna.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del curado interno mediante la saturación del agregado grueso en las propiedades mecánicas y costos del concreto f´c 210 kg/cm², frente a métodos convencionales de curado en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho, 2025.

1.3.2 Objetivos específicos

Comparar la resistencia a la compresión del concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante saturación del agregado grueso, frente a los métodos de curado por rociado con agua, curado químico y curado por inmersión, a los 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como columnas y cimentación.

Analizar la resistencia a la flexión del concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante saturación del agregado grueso, frente a los métodos convencionales mencionados, a los 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como vigas.

Determinar variación de los costos unitarios asociados al curado interno del concreto f´c 210 kg/cm² por saturación del agregado grueso con los costos de los métodos convencionales de curado: rociado con agua, aplicación de compuesto químico y curado por inmersión en elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación práctica

Esta investigación responde a una necesidad práctica orientada a optimizar el desempeño del concreto en elementos estructurales clave como vigas, columnas y cimentaciones, en el contexto de una vivienda ubicada en la región altoandina de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho. En este entorno, caracterizado por limitaciones logísticas y climáticas, se vuelve imprescindible explorar alternativas al curado convencional del concreto, cuya efectividad es

comprometida por factores como la disponibilidad de agua, la variabilidad térmica y la dificultad en el control ambiental. En ese marco, el curado interno mediante la saturación previa del agregado grueso emerge como una técnica prometedora, al permitir una hidratación continua desde el interior de la mezcla, reduciendo la dependencia de agentes externos.

Desde la perspectiva estructural, su aplicación en vigas es fundamental, dado que estos elementos están sometidos a esfuerzos de flexión y requieren una adecuada resistencia a la tracción y una óptima adherencia entre el concreto y el acero de refuerzo. Una técnica de curado eficiente puede prevenir la aparición de micro fisuras y mejorar el comportamiento del elemento frente a cargas cíclicas. En el caso de las columnas, que absorben cargas axiales y combinadas, la correcta hidratación del cemento a través del curado interno puede garantizar una mayor resistencia a compresión, disminuir la retracción plástica y reducir el riesgo de fisuración, aspectos críticos para la estabilidad estructural global. En cuanto a las cimentaciones, se requiere un concreto con alta resistencia y baja permeabilidad, especialmente en contacto con suelos húmedos o agresivos. En este sentido, el curado interno contribuye significativamente a la durabilidad y resistencia de estos elementos fundamentales, asegurando una base sólida para la estructura en su conjunto.

Asimismo, al comparar las propiedades mecánicas y los costos asociados a los métodos de curado interno frente a los métodos tradicionales como el rociado de agua, la aplicación de membranas químicas y la inmersión, esta investigación generará criterios técnicos que permitan seleccionar alternativas más eficaces, sostenibles y adaptadas a las particularidades de la zona. Ello facilitará tomar decisiones informadas en futuros proyectos constructivos, permitiendo implementar prácticas que mejoren la eficiencia estructural y reduzcan costos sin sacrificar la calidad ni la seguridad.

1.4.2 Justificación social

La dimensión social de este estudio se fundamenta en su impacto directo sobre la seguridad, sostenibilidad y calidad de vida de las personas que habitarán las edificaciones construidas con concreto curado mediante distintos métodos. En zonas como Carmen Alto, donde las condiciones de acceso a recursos, agua y tecnologías de control son limitadas, la optimización del proceso de curado representa una medida técnica con importantes repercusiones en la infraestructura urbana y, por ende, en el bienestar colectivo. El desarrollo de una técnica de curado eficiente no solo responde a una necesidad constructiva, sino que también se traduce en beneficios tangibles para la comunidad.

En primer lugar, la mejora de la durabilidad y la resistencia del concreto en vigas, columnas y cimentaciones contribuye directamente a la seguridad estructural de las edificaciones, reduciendo los riesgos ante eventos sísmicos o condiciones ambientales adversas. Esta mejora estructural disminuye la necesidad de mantenimientos correctivos a corto plazo, protege el patrimonio habitacional de las familias y refuerza la confianza en la calidad de la infraestructura construida. En segundo lugar, la implementación de un método de curado eficiente desde la perspectiva económica permite abaratar los costos de construcción, facilitando así la accesibilidad a viviendas seguras y de calidad para sectores de bajos y medianos ingresos. La extensión de la vida útil de las edificaciones y la disminución de las intervenciones de reparación también conllevan una reducción del impacto ambiental, al minimizar el uso de materiales, energía y recursos en labores de rehabilitación.

Finalmente, esta investigación representa una contribución significativa hacia un modelo de construcción civil más sostenible, resiliente y adaptado a las realidades socioeconómicas de regiones altoandinas. Al fomentar la aplicación de tecnologías apropiadas y accesibles, se fortalece el rol del ingeniero civil como agente de desarrollo territorial y promotor de soluciones constructivas que priorizan tanto la eficiencia técnica como el bienestar

de la comunidad. Por tanto, el presente estudio no solo aporta al campo académico y profesional de la ingeniería civil, sino que también representa una herramienta para elevar la calidad de vida en zonas vulnerables del país.

1.4.3 Justificación ambiental

Desde el enfoque ambiental, la presente investigación podría demostrar que el curado interno mediante la saturación del agregado grueso no controlado puede reducir el consumo de agua en obra, esto quiere decir que la saturación se realiza de manera natural a causa de las constantes lluvias que se dan en esta zona del país sobre todo en los meses de noviembre a marzo. Esto contribuye a prácticas constructivas más sostenibles, debido a que se estaría aprovechando un recurso natural hídrico y su vez disminuir el impacto ambiental en el sector de la construcción. Esta justificación se sustenta en base a que el concreto es un material de alto consumo de recursos naturales, especialmente el agua; tanto para su elaboración, como para su curado por rociado con agua, que es el método más convencional aplicado en nuestro país.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta un desempeño superior en sus propiedades mecánicas y representa la alternativa de menor costo en comparación con los métodos convencionales de curado, en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho, 2025.

1.5.2 Hipótesis especificas

El concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como columnas y cimentación, curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta una mayor resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, en comparación con los concretos curados por rociado con agua, membrana líquida y por inmersión.

El concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como vigas, curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta una mayor resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días, en comparación con los concretos curados por rociado, con membrana líquida y por inmersión.

El curado interno mediante saturación del agregado grueso reduce los costos unitarios de curado del concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación, en comparación con los métodos convencionales de curado.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades sobre el proyecto

El desarrollo de edificaciones constituye una respuesta a la creciente demanda de vivienda en zonas urbanas, especialmente en ciudades como Huamanga, donde las condiciones geográficas, climáticas y sísmicas influyen directamente en el diseño estructural. Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), una vivienda multifamiliar es aquella que alberga múltiples unidades de vivienda autónomas, destinadas a alojar a diferentes familias de manera independiente dentro de una sola estructura, compartiendo elementos estructurales y servicios comunes.

La ubicación del proyecto en el distrito de Carmen Alto de Huamanga implica considerar factores como la altitud, el clima y la zonificación sísmica. Estas condiciones inciden directamente en el comportamiento del concreto, particularmente en aspectos como el fraguado, la resistencia y la durabilidad. En zonas de alta altitud, por ejemplo, la variación térmica puede afectar el proceso de hidratación del cemento, mientras que la presencia de precipitaciones pluviales influye en los procesos de curado del concreto.

2.1.1 Características del proyecto

2.1.1.1. Ubicación política y geográfica del proyecto. El proyecto se ubica en el distrito de Carmen Alto, en la provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú, una zona propia de la región andina que se caracteriza por presentar altitudes elevadas y condiciones geográficas particulares. Estas características influyen de manera directa en los procesos constructivos, ya que el entorno impone ciertas limitaciones y requerimientos técnicos.

En este contexto, la ubicación geográfica condiciona diversos factores relevantes para el desarrollo del proyecto, como la disponibilidad de materiales de construcción, la accesibilidad al sitio, las condiciones de transporte y logística, así como la tipología del suelo

y su capacidad portante. Todos estos aspectos deben ser evaluados y considerados tanto en el diseño estructural como en la selección de tecnologías constructivas, como es el caso del concreto con curado interno, a fin de garantizar la eficiencia, seguridad y durabilidad de la obra.

2.1.1.2. Altitud. Carmen Alto se ubica a una altitud superior a los 2,700 m s.n.m., condición que incide directamente en diversos aspectos del comportamiento del concreto. En primer lugar, la presión atmosférica es menor en comparación con el nivel del mar, lo que modifica ciertos procesos físicos durante la colocación y el endurecimiento del material. Adicionalmente, esta altitud favorece una mayor velocidad de evaporación del agua presente en la mezcla.

Como consecuencia, el concreto tiende a perder humedad con mayor rapidez, lo que afecta el proceso de fraguado y endurecimiento. En particular, esta evaporación acelerada incrementa el riesgo de fisuración plástica, debido a la pérdida prematura de agua antes de que el material haya desarrollado suficiente resistencia (Betancourth, 2017).

Frente a estas condiciones, el curado interno se presenta como una alternativa eficaz, ya que permite conservar la humedad dentro de la mezcla, favoreciendo una adecuada hidratación del cemento y contribuyendo a mejorar la durabilidad y calidad del concreto (Quispe, 2021).

2.1.1.3. Clima. La región presenta un clima definido por la ocurrencia de períodos con precipitaciones de elevada intensidad, lo que influye significativamente en el comportamiento del concreto. Estas condiciones generan variaciones en la relación agua/cemento efectivo, debido al ingreso no controlado de agua durante el proceso constructivo. Asimismo, las precipitaciones dificultan la aplicación y el control adecuado del curado externo, lo que puede derivar en alteraciones en la calidad final del concreto (Quispe, 2021).

En este contexto, el conocimiento de las condiciones climáticas resulta fundamental para tomar decisiones en obra. Permite justificar, desde un enfoque ambiental y técnico, la implementación del curado interno como una alternativa más eficiente. Además, facilita el diseño de mezclas de concreto con mayor durabilidad, capaces de adaptarse a las exigencias del entorno y reducir riesgos asociados.

De igual manera, considerar el clima contribuye a prevenir patologías comunes como fisuras, segregación o pérdida de resistencia, las cuales pueden comprometer la integridad estructural. En este sentido, el curado interno se presenta como una solución efectiva, ya que ayuda a mitigar los efectos negativos tanto de la evaporación como de las variaciones climáticas, garantizando una hidratación más uniforme del cemento y mejora el desempeño del concreto (Santa, 2019).

2.1.1.4. Zona sísmica. Ayacucho se localiza en una zona sísmica activa del Perú, por lo que las edificaciones deben diseñarse y construirse siguiendo rigurosamente los criterios de diseño sismorresistente. Esta condición implica que los materiales estructurales, especialmente el concreto, deben cumplir con exigencias técnicas específicas que garanticen un adecuado desempeño ante eventos sísmicos (Vásquez, 2019).

En este contexto, el concreto estructural debe presentar una alta resistencia a la compresión, permitiendo soportar las cargas gravitacionales y sísmicas. Asimismo, es fundamental que posea un buen comportamiento frente a cargas cíclicas, es decir, que sea capaz de resistir esfuerzos repetitivos sin perder significativamente su capacidad estructural. De igual manera, la ductilidad se convierte en una propiedad clave, ya que permite que la estructura disipe energía y experimente deformaciones sin colapsar de manera frágil.

Por otro lado, el uso de concreto con curado interno contribuye a mejorar la microestructura del material, al disminuir la porosidad y favorecer una hidratación más uniforme del cemento. Estas mejoras incrementan la durabilidad y la integridad del concreto,

lo que repercute positivamente en el desempeño sísmico de la edificación, brindando mayor seguridad y confiabilidad frente a movimientos telúricos (Vásquez, 2019).

2.2 Mecánica de suelos

2.2.1 Concepto de mecánica de suelos

La mecánica de suelos es una disciplina de la ingeniería geotécnica encargada de analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, así como su comportamiento ante diferentes condiciones y solicitaciones, así como su interacción con estructuras como cimentaciones, pavimentos y obras hidráulicas. Su importancia radica en garantizar la estabilidad, seguridad y durabilidad de las obras civiles, especialmente en el diseño de cimentaciones (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019).

El estudio del suelo permite identificar propiedades esenciales como la resistencia mecánica, la capacidad de deformación, la capacidad portante y las características de drenaje, factores que inciden de manera directa en el desempeño estructural del concreto y en su durabilidad ante la acción de agentes agresivos presentes en el terreno (Matallana, 2019).

2.2.2 Concepto geotécnico fundamental

2.2.2.1. Calicatas de exploración. Las calicatas constituyen excavaciones realizadas con la finalidad de estudiar directamente las características del suelo en campo, permitiendo la observación del perfil estratigráfico y la obtención de muestras representativas para su análisis. Estas exploraciones son fundamentales en la investigación geotécnica, ya que facilitan la identificación de los tipos de suelo presentes, la determinación de la profundidad adecuada de cimentación, la evaluación de la presencia de agua subterránea o napa freática, y la recolección de muestras para la ejecución de ensayos de laboratorio que permitan definir sus propiedades físicas y mecánicas (MVCS, 2019).

2.2.3 Ensayos de laboratorio en mecánica de suelos

2.2.3.1. Ensayos estándares. El ensayo de contenido de humedad constituye una de las pruebas más fundamentales en la mecánica de suelos, ya que permite determinar la cantidad de agua presente en una muestra en relación con su peso seco. Este parámetro es de gran importancia en la caracterización geotécnica, debido a que el agua alojada en los vacíos del suelo influye de manera significativa en su comportamiento físico y mecánico. Entre las propiedades más afectadas se encuentran la resistencia al corte, la compresibilidad y los cambios volumétricos que pueden producirse cuando el terreno está sometido a variaciones de carga o de humedad. Conocer y controlar adecuadamente el contenido de humedad resulta indispensable para evaluar el estado natural del suelo y prever su respuesta frente a las solicitaciones externas a las que estará expuesto. En este sentido, este ensayo proporciona información clave para analizar la estabilidad y el desempeño del terreno, especialmente en proyectos de ingeniería civil donde las condiciones del suelo tienen un papel determinante en la seguridad y durabilidad de las estructuras (Vásquez, 2019).

Por otro lado, la densidad natural del suelo corresponde a la relación existente entre el peso del material en su condición original y el volumen total que abarca, considerando tanto los espacios vacíos como el contenido de humedad presente. Este ensayo evalúa el nivel de compactación del terreno directamente en campo, constituyéndose en un parámetro fundamental para el diseño de cimentaciones y los estudios de estabilidad geotécnica. Además, cuando se analiza juntamente con el contenido de humedad, la densidad natural facilita la determinación del estado de consistencia del suelo y de su capacidad de soporte frente a las cargas estructurales (MVCS, 2019).

En cuanto a la identificación de roca, este procedimiento consiste en reconocer las características físicas y geológicas del material rocoso presente en el terreno, tales como su textura, estructura, grado de meteorización y resistencia. Esta identificación es importante para

clasificar el tipo de roca y estimar su comportamiento mecánico, lo cual influye en el diseño de cimentaciones, especialmente cuando estas se apoyan sobre macizos rocosos (Matallana, 2019).

2.2.3.2. Ensayos especiales. El ensayo de corte directo es una prueba geotécnica ampliamente utilizada para evaluar la resistencia del suelo frente a esfuerzos de corte. Su principal propósito es determinar dos parámetros fundamentales del comportamiento mecánico del terreno: la cohesión (c) y el ángulo de fricción interna (φ). Estos valores son indispensables en la ingeniería geotécnica, ya que permiten comprender cómo responde el suelo ante cargas y deformaciones, proporcionando información clave para el análisis de estabilidad de taludes, el diseño de cimentaciones y la construcción de diversas obras civiles. El procedimiento del ensayo consiste en colocar una muestra de suelo dentro de una caja dividida en dos partes. Primero, se aplica una carga vertical constante que simula el peso que actúa sobre el terreno en condiciones reales. Luego, se induce un desplazamiento horizontal controlado entre ambas secciones de la caja, obligando al suelo a deslizarse a lo largo de un plano de falla previamente definido. Durante este proceso se registra la resistencia que ofrece el material hasta que se produce la falla, lo que permite obtener de manera experimental los parámetros de cohesión y fricción interna que describen la capacidad del suelo para soportar esfuerzos cortantes (MVCS, 2019).

El ensayo de resistencia a la compresión simple se aplica principalmente a suelos cohesivos y a rocas de baja dureza. Este procedimiento consiste en ejercer una carga axial sobre una muestra hasta que se produzca su ruptura o falla estructural. Este ensayo determina la resistencia máxima del material sin confinamiento lateral, lo cual es útil para clasificar el tipo de terreno rocoso y estimar su comportamiento frente a cargas estructurales. Es un parámetro importante en el análisis de cimentaciones superficiales y profundas (MVCS, 2019).

Finalmente, el ensayo de análisis químico del suelo tiene como objetivo identificar la presencia de sustancias que puedan afectar la durabilidad del concreto, tales como sulfatos, cloruros, sales solubles y el nivel de pH. La presencia de sulfatos, por ejemplo, puede generar reacciones expansivas en el concreto, mientras que los cloruros pueden inducir procesos de corrosión en el acero de refuerzo. Por ello, este ensayo es fundamental para la selección adecuada de materiales y el diseño de mezclas de concretos resistentes a condiciones agresivas del suelo (Cango y Saca, 2023).

2.2.4 Descripción del perfil estratigráfico

2.2.4.1. Perfil estratigráfico. El perfil estratigráfico es la representación vertical de las distintas capas o estratos del suelo presentes en un terreno, mostrando su secuencia, espesor, composición y características físicas y mecánicas. Este perfil se obtiene generalmente mediante exploraciones como calicatas o perforaciones, y permite identificar la distribución de materiales, siendo esencial para evaluar la respuesta mecánica del suelo ante la aplicación de cargas estructurales (Cerdán, 2023).

2.2.4.2. Clasificación SUCS. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) constituye una metodología normalizada utilizada para categorizar los suelos de acuerdo con su distribución granulométrica y sus características de plasticidad. Mediante este sistema, los materiales se organizan en grupos tales como gravas, arenas, limos y arcillas, a los cuales se les asignan símbolos específicos que permiten su rápida identificación e interpretación en los estudios geotécnicos y en el análisis del comportamiento del terreno (Cerdán, 2023).

2.2.4.3. Tipos de suelo. La caracterización del tipo de suelo es fundamental para el diseño de cimentaciones y para evaluar la interacción del concreto con el entorno geotécnico. En el distrito de Carmen Alto - Huamanga - Ayacucho, los suelos predominantes presentan una génesis coluvial y aluvial, con presencia de limos, arenas arcillosas y gravas, características de zonas altoandinas con relieve accidentado y procesos erosivos activos.

Según la Norma Técnica Peruana NTP 339.131:2019 - Suelos, clasificación unificada de suelos para propósitos de ingeniería, los suelos se clasifican bajo el SUCS, que los agrupa en suelos gruesos (gravas y arenas) y suelos finos (limos y arcillas), considerando también su plasticidad y granulometría. De acuerdo con los autores Cango y Saca (2023) indican que con este sistema los tipos de suelos más comunes en la zona de estudio pueden incluir:

- GC (Grava arcillosa): Suelo grueso con buena capacidad portante, aunque sensible a la humedad.
- SM (Arenas limosas): Suelo con limitada capacidad portante, susceptible a deformaciones en presencia de agua.
- CL (Arcillas de baja plasticidad): Suelo cohesivo que puede generar expansiones o contracciones, afectando la estabilidad estructural.

La adecuada clasificación del suelo permite definir no solo el tipo de cimentación más apropiado (superficial o profunda), sino también identificar condiciones de humedad que influyen en la durabilidad del concreto, especialmente en la zona de contacto con la cimentación. En ese sentido, el uso de concreto con baja permeabilidad y con curado eficiente es clave para asegurar el comportamiento estructural en este tipo de suelos (Cango y Saca, 2023).

En contextos con suelos medianamente agresivos como los que presentan contenidos variables de humedad o sulfatos, el curado interno del concreto puede ser un método efectivo para mejorar su densificación y disminuir la penetración de agentes agresivos, favoreciendo una cimentación más duradera y resistente a largo plazo.

Los suelos rocosos se caracterizan por su alta resistencia y baja deformabilidad. Están compuestos por materiales consolidados, como rocas ígneas, metamórficas o sedimentarias. En cimentaciones, estos suelos son ideales, ya que ofrecen una gran capacidad portante y estabilidad frente a cargas estructurales elevadas (Espinoza, 2019).

Según la Norma E.050, las rocas pueden clasificarse conforme a su resistencia a compresión simple:

- Rocas duras (>100 MPa): Como el granito o basalto, presentan excelente capacidad estructural. Son adecuadas para anclajes y cimentaciones profundas.
- Rocas moderadamente resistentes (25-100 MPa): Como las areniscas o algunas calizas, pueden requerir evaluación más detallada para determinar su fracturamiento y continuidad.
- Rocas blandas (<25 MPa): Tienen menor capacidad estructural y pueden requerir refuerzos o cimentaciones adaptadas, especialmente si están alteradas por agentes ambientales.

En zonas como Huamanga – Ayacucho, es común la presencia de formaciones volcánicas y sedimentarias, por lo que la evaluación geotécnica debe identificar si las rocas presentan fisuración o meteorización, lo que podría afectar su comportamiento como base de apoyo para cimentaciones. El uso de concreto con curado interno sobre estos suelos ofrece ventajas adicionales al reducir la permeabilidad del concreto en contacto directo con la roca, favoreciendo una interfaz más duradera y estable.

2.2.4.4. Tipo de roca (basalto). El basalto es una roca ígnea de naturaleza volcánica, caracterizada por su textura de grano fino y elevada densidad. Se origina a partir del enfriamiento y solidificación rápida de la lava cuando esta alcanza la superficie terrestre. Se caracteriza por su elevada resistencia mecánica y durabilidad, convirtiéndose en un material favorable como estrato de soporte en cimentaciones, siempre que no presente fracturamientos significativos (Gómez et al., 2019).

2.2.5 Análisis de la información para fines de cimentación

2.2.5.1. Capacidad de carga admisible (CCA). La capacidad portante admisible corresponde a la presión máxima que el terreno de fundación puede resistir de manera segura, sin que se produzcan fallas por esfuerzo cortante ni asentamientos excesivos que comprometan la estabilidad y el adecuado funcionamiento de la estructura. Este valor se determina considerando factores de seguridad y las propiedades geotécnicas del suelo, siendo un parámetro clave para el diseño adecuado de cimentaciones (Gómez et al., 2019).

2.2.5.2. Criterio de rotura no lineal de Hoek y Brown. El criterio de Hoek y Brown es un modelo empírico no lineal utilizado para describir el comportamiento de falla de macizos rocosos. Este criterio relaciona los esfuerzos principales en el material, considerando factores como la resistencia de la roca intacta y el grado de fracturamiento, siendo ampliamente aplicado en el cálculo de la capacidad de carga en cimentaciones sobre roca (Cabrera y Mayo, 2020).

2.2.6 Problemas especiales de cimentación

2.2.6.1. Napa freática. La napa freática es el nivel dentro del suelo en el cual los poros se encuentran completamente saturados de agua. Su presencia influye en el comportamiento del terreno, debido a que puede disminuir la capacidad resistente del suelo, incrementar la presión de poros y afectar la estabilidad y capacidad de carga de las cimentaciones (Vásquez, 2019).

2.2.6.2. Sulfatos. Los sulfatos son compuestos químicos presentes en algunos suelos y aguas subterráneas que pueden reaccionar con el concreto, provocando procesos de expansión, fisuración y deterioro estructural. Su evaluación es fundamental en estudios geotécnicos para definir el tipo de cemento y medidas de protección adecuadas en las cimentaciones (Tejada y Pérez, 2020).

2.3 Concreto

2.3.1 Definición de concreto

Producto manufacturado se compone de una sustancia aglutinante llamada pasta y de un componente unido conocido como "agregado", que está incrustado dentro de la mezcla. La pasta se forma a partir de la reacción química entre el componente cementoso y el agua, formando la fase continua del concreto, dado que se encuentra enlazada consigo misma a lo largo de todo el conjunto (Tejada y Pérez, 2020).

La estructura elemental del concreto comprende cemento, agua y áridos. El cemento constituye aproximadamente el 25%, mientras que los áridos representan alrededor del 65% del total de la mezcla, aunque estas proporciones pueden variar según el uso previsto del hormigón. En consecuencia, las propiedades químicas y físicas del hormigón están estrechamente vinculadas a las características de estos materiales y al nivel de hidratación del cemento. Una hidratación deficiente del cemento puede resultar en la formación de porosidad en el producto final de concreto (Santa, 2019).

2.3.2 Concreto en el pre vaciado

2.3.2.1. Definición. El concreto en el pre vaciado, también denominado concreto en estado fresco, es la mezcla homogénea de cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos, antes de su colocación en el encofrado. En esta etapa, el concreto posee características físicas y reológicas que permiten su transporte, colocación, compactación y acabado, siendo determinantes para la calidad final del elemento estructural. El control adecuado de sus propiedades en esta fase es esencial, debido que influye en la resistencia, durabilidad y comportamiento del concreto endurecido (Santa, 2019).

El concreto en estado fresco es una mezcla de consistencia plástica y fácilmente moldeable, compuesta por materiales cementicios, agregados finos y gruesos, agua y aditivos, que aún no ha iniciado su proceso de fraguado. Durante esta etapa, el concreto debe poseer

características que faciliten su manipulación sin que ocurra segregación o pérdida de uniformidad (Santa, 2019).

2.3.2.2. Componentes. Conforme indica el autor Vásquez (2019), los componentes del concreto en el pre vaciado son:

- Cemento: Material aglomerante que reacciona con el agua para formar la pasta cementante.
- Agua: Activa la hidratación del cemento y proporciona trabajabilidad.
- Agregado fino (arena): Llena los vacíos entre partículas gruesas y mejora la cohesión.
- Agregado grueso (grava o piedra): Proporciona resistencia mecánica y volumen.
- Aditivos (opcionales): Modifican propiedades específicas como el tiempo de fraguado, trabajabilidad o resistencia.

La adecuada proporción de estos componentes garantiza un concreto de calidad.

2.3.2.3. Trabajabilidad. Es la capacidad que presenta la mezcla para ser preparada, trasladada, vaciada y consolidada adecuadamente, manteniendo su homogeneidad y evitando la segregación de sus componentes. Esta propiedad está influenciada por diversos factores, entre los que destacan la cantidad de agua incorporada, la distribución granulométrica de los agregados, la geometría y textura de las partículas, así como la utilización de aditivos químicos que modifican el comportamiento de la mezcla. Una buena trabajabilidad asegura una adecuada colocación del concreto y evita defectos estructurales (Matallana, 2019).

Según Cango y Saca (2023), es una característica del concreto en su estado fresco que se relaciona con la facilidad con la que se puede llevar a cabo la mezcla, manipulado, desplazado, instalado y finalizado sin que pierda su uniformidad (sin exudar o segregar). En otras palabras, para que el concreto sea manejable, es esencial elegir adecuadamente las

cantidades de los materiales constituyentes, como los áridos, considerando además el tipo de elemento estructural para el cual se ha diseñado el concreto.

Matallana (2019), menciona que la evaluación de la manejabilidad se realiza a través del ensayo de asentamiento, conocido como el ensayo del Cono de Abrams. Cuanto mayor sea la humedad, mayor será la consistencia y, en consecuencia, el asentamiento del concreto. La facilidad para colocar, compactar y dar forma al concreto fresco depende directamente de su trabajabilidad, lo que lo convierte en una característica clave en la ingeniería civil. La homogeneidad y fluidez del material al manipularlo determinan este atributo. Factores como el porcentaje de agua, la granulometría de los áridos y la aplicación de aditivos influyen en la trabajabilidad. Cuando el concreto es trabajable, permite crear encofrados complicados y garantiza que el material se distribuya uniformemente alrededor de la armadura. Esto hace que el producto final sea mucho más resistente y duradero. Encuentre un término medio entre la trabajabilidad y otras características del concreto para obtener el mejor material que pueda soportar las condiciones ambientales y cumplir los criterios de diseño.

2.3.2.4. Consistencia. Según Cerdán (2023), esta propiedad se caracteriza como el desplazamiento relativo de la mezcla de concreto, evaluada mediante el grado de asentamiento, y, por lo tanto, está estrechamente vinculada con la trabajabilidad. Esta relación se encuentra influenciada por la cantidad de agua requerida, la cual tiende a incrementarse cuando los agregados adquieren una forma más angular y una mayor granulometría, al mismo tiempo que disminuye en presencia de áridos con una granulometría bien graduada.

A. Tipos de Consistencia:

- **Consistencia seca:** Posee una cantidad de agregado superior o inferior en comparación con los demás componentes, o tiene una proporción más elevada o reducida de agua (Gómez et al., 2019).

- **Consistencia plástica:** Es una combinación formulada con el propósito de fluir sin dificultad y ajustarse sin separación a los componentes para los que ha sido específicamente concebida (Gómez et al., 2019).
- **Consistencia fluida:** Se trata de una combinación que contiene una proporción más elevada de agua, lo que resulta evidente a simple vista debido a su fluidez cuando se encuentra dentro de los moldes o elementos de encofrado (Gómez et al., 2019).

Tabla 1

Tipo de consistencia y Asentamiento.

Tipo de consistencia	Asentamiento (cm)
Seca	0-2
Plástica	3-5
Blanda	6-9
Fluida	10-15

Nota. En la tabla, se examina el grado de coherencia y la cantidad adecuada de hundimiento que debe presentar la mezcla, adaptada de la (NTP 339.035, 2015).

Tabla 2

Variaciones aceptables de la mezcla

Tipo de consistencia	Tolerancia (cm)	Intervalo
Seca	0	0-2
Plástica	±1	3-5
Blanda	±1	6-9
Fluida	±1	10-15

Nota. En la tabla, se evidencia la necesidad de mantener un nivel de tolerancia adecuado durante el proceso de confección de la mezcla, adaptada de la (NTP 339.035, 2015).

2.3.2.5. Durabilidad. Se refiere a su capacidad para resistir condiciones ambientales adversas a lo largo del tiempo. Aunque se manifiesta en estado endurecido, está relacionada con las condiciones del concreto fresco, como la correcta dosificación, compactación y contenido de aire (Zambrano et al., 2022).

2.3.2.6. Densidad. Corresponde a la proporción existente entre la masa y el volumen del material, la cual incide directamente en propiedades como la resistencia mecánica y la durabilidad. Generalmente, el concreto normal presenta densidades entre 2200 y 2400 kg/m³, dependiendo del tipo de agregados utilizados (Zambrano et al., 2022).

2.3.2.7. Apariencia. La apariencia del concreto fresco permite identificar visualmente su calidad. Un concreto homogéneo, sin segregación ni exudación excesiva, indica una adecuada mezcla. La presencia de separación de materiales o agua en la superficie es señal de deficiencias en la dosificación o mezclado (Cabrera y Mayo, 2020).

2.3.2.8. Relación agua – cemento. La proporción entre el agua y el cemento es un parámetro fundamental en el diseño del concreto, ya que condiciona de manera significativa tanto su capacidad resistente como su desempeño frente al paso del tiempo. Un incremento en esta proporción genera mezclas más trabajables y de mayor consistencia plástica, lo que facilita su transporte, vaciado y acomodo en los elementos estructurales; no obstante, este exceso de agua origina una estructura interna más porosa y, en consecuencia, reduce la resistencia mecánica alcanzada después del fraguado. Por el contrario, al emplear una menor cantidad de agua en relación con el cemento, se obtiene un concreto con mayor densidad y mejores características en estado endurecido, lo que se traduce en un aumento de la resistencia y la durabilidad. Sin embargo, esta condición también disminuye la trabajabilidad de la mezcla, exigiendo mayores cuidados durante las operaciones de colocación y compactación en obra (Cabrera y Mayo, 2020).

2.3.2.9. Contenido de aire. El contenido de aire en el concreto fresco puede ser natural o incorporado mediante aditivos. Pequeñas cantidades de aire mejoran la trabajabilidad y la resistencia a ciclos de congelamiento y deshielo, pero un exceso reduce la resistencia mecánica (Cabrera y Mayo, 2020).

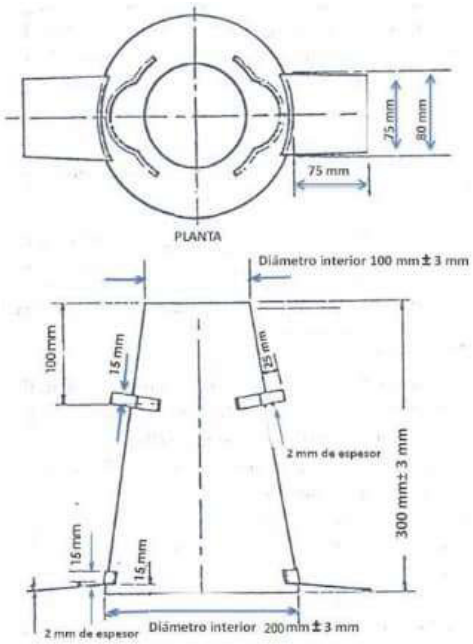
2.3.2.10. Exudación. La exudación es el fenómeno mediante el cual el agua de la mezcla asciende a la superficie del concreto fresco. Este proceso puede generar debilidad en la zona superficial y afectar la adherencia con refuerzos o capas posteriores (Cerdán, 2023).

2.3.2.11. Slump. El asentamiento del concreto, determinado mediante el ensayo del cono de Abrams, constituye un indicador que permite medir la consistencia y la facilidad de manejo de la mezcla cuando aún se encuentra en estado plástico. Este resultado refleja el grado de trabajabilidad del concreto fresco y representa un criterio esencial para verificar y controlar su calidad durante el proceso constructivo (Cerdán, 2023).

Se trata de un análisis llevado a cabo en el concreto en estado fresco utilizando un molde de forma tronco-cónica, con el objetivo de cuantificar la disminución o descenso que experimenta la mezcla después de ser retirada del molde (Cabrera y Mayo, 2020).

Figura 1

Dimensiones del cono de Abrams

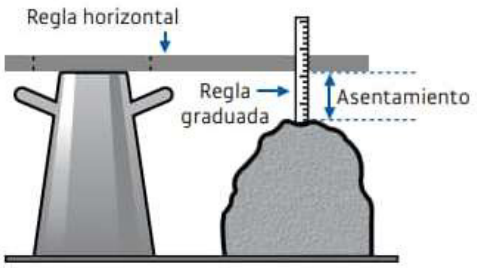


Nota. En la ilustración, Se observa las medidas del cono de Abrams, tomada de la (NTP 339.035, 2015).

El procedimiento de la prueba del cono Abrams implica el vertido del material en tres estratos distintos, seguido por la compactación uniforme de cada capa mediante el uso de una varilla de acero de 16 mm de diámetro, aplicando 25 golpes en cada una de ellas.

Figura 2

Medición del slump



Nota. En la ilustración, se nota la forma correcta de llevar a cabo la medición del asentamiento, donde se sugiere que el slump debe ser medido desde un punto intermedio de su altura para evaluar su nivel de asentamiento. Obtenido de la plataforma en línea de Aceros Arequipa.

2.3.2.12. Homogeneidad. La homogeneidad del concreto es la distribución uniforme de sus componentes. Un concreto homogéneo asegura propiedades mecánicas constantes en toda la estructura, evitando zonas débiles o defectuosas (Gómez et al., 2019).

2.3.2.13. Dosificación. Se define como el procedimiento mediante el cual se establecen las cantidades apropiadas de cada uno de los componentes del concreto, con el fin de obtener una mezcla que cumpla con las características de resistencia, durabilidad y trabajabilidad requeridas. Una correcta dosificación permite cumplir con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad establecidos en el diseño (Cerdán, 2023).

2.3.2.14. Segregación. Se refiere a la separación de los componentes de la mezcla, especialmente cuando los agregados gruesos se separan de la pasta cementante. Este fenómeno suele presentarse por una inadecuada dosificación, exceso de agua o manipulación incorrecta, y puede generar zonas débiles en el concreto endurecido (Cerdán, 2023).

2.3.2.15. Tiempo de fraguado. El tiempo de fraguado corresponde al intervalo durante el cual el concreto pasa de un estado plástico a uno rígido. Comprende dos etapas principales: el fraguado inicial y el fraguado final. Este fenómeno está condicionado por diversos factores, entre los que destacan la temperatura del entorno, las características del cemento empleado y la incorporación de aditivos químicos. Mantener un control adecuado de este proceso resulta fundamental para garantizar que la mezcla pueda colocarse, compactarse y terminarse de manera correcta, asegurando así la calidad y el desempeño esperado del concreto endurecido (Espinoza, 2019).

2.3.2.16. Cohesión. Es la capacidad del concreto fresco para mantenerse uniforme y evitar la disgregación de sus componentes. Un concreto con buena cohesión presenta una mezcla estable, sin separación de materiales, lo que facilita su manipulación y asegura una adecuada calidad final (Espinoza, 2019).

2.3.2.17. Plasticidad. La plasticidad se define como la facilidad con la que el concreto puede ser moldeado o deformado sin que se produzcan fisuras o pérdida de continuidad. Esta propiedad permite que el concreto se adapte a las formas del encofrado y rodee adecuadamente las armaduras, garantizando una correcta consolidación del elemento estructural (Quispe, 2021).

2.3.3 Componentes del concreto

2.3.3.1. Cemento.

A. Definición. Es uno de los materiales fundamentales en la construcción, especialmente en la elaboración del concreto, donde actúa como el principal agente aglomerante. Su comportamiento químico frente al agua permite la formación de una matriz resistente que une los agregados, otorgando al concreto sus propiedades mecánicas y de durabilidad. La calidad del cemento, su tipo y sus características influyen directamente en el

comportamiento y propiedades del concreto en sus etapas plástica y solidificada (Espinoza, 2019).

Asimismo, el cemento es un material inorgánico finamente molido que, al combinarse con agua, genera una pasta con la capacidad de fraguar y adquirir resistencia mecánica, incluso cuando permanece sumergida. Este comportamiento se debe a una serie de reacciones químicas denominadas procesos de hidratación. Debido a esta característica, se clasifica como un material hidráulico. Entre los distintos tipos de cemento, el cemento Portland es el de mayor utilización en la industria de la construcción, gracias a su amplia versatilidad y a sus adecuadas propiedades para aplicaciones estructurales (Espinoza, 2019).

Rodríguez (2016), menciona que es una sustancia pulverizada contiene óxido de calcio, sílice, alúmina y óxido de hierro. Al combinarse con agua, se transforma en una pasta aglutinante que puede endurecer tanto en contacto con el agua como en aire. Cabe destacar que no se incluyen las cales hidráulicas.

B. Requisitos que debe cumplir los cementos según las normas. Los cementos deben cumplir con una serie de requisitos establecidos en normas técnicas internacionales y nacionales, con el fin de garantizar su calidad, uniformidad y adecuado desempeño en obras de ingeniería civil. Entre los principales requisitos se encuentran la finura, que influye en la velocidad de hidratación; el tiempo de fraguado inicial y final, que debe ubicarse dentro de rangos normados; la resistencia mecánica mínima a diferentes edades; la estabilidad de volumen, para evitar expansiones perjudiciales; y la composición química controlada, limitando compuestos que puedan generar reacciones adversas (Espinoza Romero, 2019).

Estos requisitos están regulados por diversas normativas técnicas, entre las cuales destacan:

- Normas ASTM (American Society for Testing and Materials): Como la ASTM C150 para cemento Portland, ASTM C595 para cementos adicionados y ASTM C1157

para cementos hidráulicos por desempeño, además de normas complementarias como ASTM C109 (resistencia a la compresión), ASTM C191 (tiempo de fraguado) y ASTM C151 (expansión en autoclave).

- Normas ACI (American Concrete Institute): Especialmente el ACI 318, que establece requisitos para el uso del cemento dentro del diseño y construcción de estructuras de concreto, así como recomendaciones sobre durabilidad y desempeño.
- Normas Técnicas Peruanas (NTP): Como la NTP 334.009 (cemento Portland – especificaciones), NTP 334.082 (cementos adicionados) y otras relacionadas con ensayos de laboratorio y control de calidad del cemento.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE – Perú): Particularmente la norma E.060 Concreto Armado, que establece criterios para el uso de materiales, incluyendo el cemento, en obras estructurales.

Del mismo modo, estas disposiciones normativas contemplan pruebas de aseguramiento de la calidad, entre las que se incluyen la evaluación de la resistencia a la compresión, la consistencia normal, el tiempo de fraguado, el grado de finura, la expansión y otros indicadores técnicos que permiten comprobar que el material cumple con los requisitos y especificaciones establecidos. El cumplimiento de dichas normativas asegura que el cemento sea apto para su uso en condiciones reales de obra, garantizando la seguridad, durabilidad y desempeño de las estructuras.

C. Tipos de cementos. Existen diversos tipos de cemento, clasificados según su composición y propiedades, los cuales se encuentran regulados por normas internacionales como ASTM. Entre los principales se tienen:

- Cemento Portland (ASTM C150): El cemento es el principal conglomerante hidráulico utilizado en la elaboración del concreto. Su selección adecuada influye directamente en el desarrollo de propiedades mecánicas como la resistencia a la

compresión, la durabilidad, la velocidad de fraguado y el comportamiento frente a agentes agresivos del entorno. Según la Norma Técnica Peruana NTP 334.090:2020 - Cemento Portland. Requisitos, el cemento Portland se clasifica en función de sus propiedades y adiciones, lo cual permite adaptarlo a diversas condiciones de exposición y requerimientos estructurales.

Corresponde al cemento de mayor uso en las obras de construcción. Su fabricación se realiza a través de la molienda del clínker junto con una proporción reducida de yeso, y se presenta en diferentes categorías, las cuales se distinguen de acuerdo con las características y exigencias de cada aplicación constructiva:

- Tipo I (Uso General): Adecuado para estructuras convencionales donde no se requieren características especiales.
- Tipo II (Moderada Resistencia a los Sulfatos): Empleado en ambientes ligeramente agresivos, con presencia moderada de sulfatos.
- Tipo III (Alta Resistencia Inicial): Ideal para trabajos que demandan desencofrado rápido o donde se requiera acelerar el proceso constructivo.
- Tipo IV (Bajo Calor de Hidratación): Usado en estructuras masivas para minimizar fisuras por calor.
- Tipo V (Alta Resistencia a los Sulfatos): Indicado en ambientes altamente agresivos, como plantas de tratamiento o suelos sulfatados.

- Cemento Portland adicionados (ASTM C595): Son cementos que incorporan materiales suplementarios como puzolanas, escorias o cenizas volantes, los cuales mejoran propiedades como la durabilidad, la trabajabilidad y la resistencia a ambientes agresivos. Estos cementos contribuyen además a la sostenibilidad al reducir el contenido de clínker.
- Cementos hidráulicos mezclados (ASTM C1157): Se caracterizan por su desempeño

basado en propiedades específicas más que en su composición. Pueden incluir diversos materiales cementantes y están diseñados para cumplir requisitos particulares como alta resistencia inicial, bajo calor de hidratación o alta durabilidad frente a agentes agresivos.

En conjunto, la selección adecuada del tipo de cemento es fundamental para asegurar el correcto comportamiento del concreto según las condiciones de servicio y los requerimientos estructurales del proyecto.

De carácter granular, natural o fabricados, que, al unirse al cemento Portland y agua, crean una masa compacta denominada mortero o concreto, esencialmente una piedra artificial. Para formar combinaciones de mortero o hormigón, se consideran como agregados los elementos que cuenten con una resistencia buena por sí mismos y que no alteren negativamente las cualidades de las mezclas, asegurando una unión adecuada con la pasta de cemento. En el mayor de los casos, estos elementos son inertes, no generan reacciones con otros elementos de las mezclas. No obstante, algunos agregados tienen actividad en su fracción más fina debido a propiedades hidráulicas, contribuyendo al avance de la fortaleza estructural, como los residuos de alto horno de plantas siderúrgicas, compuestos volcánicos que poseen sílice activa, entre otros (Rodríguez, 2016).

2.3.3.2. Agregado fino y grueso.

A. Definición. Los áridos son materiales granulares inertes, de origen natural, artificial o reciclado, compuestos principalmente por fragmentos de roca, grava, arena o partículas minerales, que se emplean como componentes esenciales en la fabricación de concretos, morteros y mezclas asfálticas, así como en diversas aplicaciones constructivas. Su función principal es aportar resistencia, estabilidad volumétrica y durabilidad a las mezclas, además de optimizar el uso de aglomerantes. Según su tamaño, se clasifican en agregados finos material que pasa el tamiz de 4,75 mm y agregados gruesos material retenido en dicho tamiz, conforme

a lo establecido en normas como ASTM C33 o NTP 400.037. La calidad de estos materiales depende de sus propiedades físicas, mecánicas y químicas, las cuales deben cumplir con las especificaciones técnicas vigentes para asegurar el óptimo desempeño de la mezcla y prolongar la vida útil de la estructura (Cabrera y Mayo, 2020).

B. Agregado fino. Corresponde al material de naturaleza granular cuyas partículas atraviesan la malla N.° 4, con una abertura de 4.75 mm, y son retenidas en la malla N.° 200, equivalente a 0.075 mm, siendo comúnmente la arena natural o manufacturada. Su función principal es llenar los vacíos entre las partículas del agregado grueso, mejorar la cohesión de la mezcla y contribuir a la trabajabilidad del concreto. Un adecuado agregado fino permite obtener mezclas más homogéneas y reduce el riesgo de segregación (Gómez et al., 2019).

C. Agregado grueso. Está constituido por partículas retenidas en el tamiz N.° 4, como grava, piedra triturada o canto rodado. Su función principal consiste en aportar resistencia mecánica y rigidez a la mezcla de concreto, contribuyendo a disminuir el volumen de pasta de cemento requerido en su elaboración. Asimismo, sus características tales como su calidad, geometría y tamaño máximo, ejercen una influencia significativa sobre el comportamiento y las propiedades estructurales del concreto en estado endurecido (Gómez et al., 2019).

D. Requisitos que debe cumplir los agregados según las normas. Los agregados utilizados en la elaboración de concreto deben cumplir con una serie de requisitos establecidos en normas técnicas internacionales y nacionales, las cuales garantizan su calidad, uniformidad y adecuado desempeño en el concreto (Gómez et al., 2019). A continuación, se indican las principales normativas aplicables:

- ASTM International (American Society for Testing and Materials): ASTM C33/C33M: Especificación estándar para agregados para concreto. Establece requisitos de granulometría, limpieza, resistencia, contenido de sustancias perjudiciales y calidad general. ASTM C136: Método de ensayo para análisis

granulométrico de agregados. ASTM C127 y ASTM C128: Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso y fino, respectivamente. ASTM C131/C535: Ensayo de resistencia al desgaste mediante la máquina de Los Ángeles. ASTM C88: Evaluación de la resistencia a la desintegración por acción de sulfatos.

- ACI (American Concrete Institute): ACI 221R: Guía para el uso de agregados en concreto, donde se detallan criterios de selección, propiedades y comportamiento. ACI 318: Código estructural que incluye requisitos generales relacionados con la calidad de los materiales, incluyendo agregados.
- Normas Técnicas Peruanas (NTP) – INACAL: NTP 400.037: Especificaciones para agregados utilizados en concreto, equivalente a ASTM C33. NTP 400.012: Determinación del análisis granulométrico de agregados. NTP 400.021: Determinación del peso específico y absorción. NTP 400.019: Determinación del contenido de materiales finos.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS] - Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): Norma E.060 - Concreto Armado: Establece requisitos generales sobre los materiales del concreto, incluyendo criterios de calidad para agregados, control de obra y cumplimiento de normas técnicas.

En conjunto, estas normativas establecen los parámetros que deben cumplir los agregados, tales como estar libres de materiales nocivos (arcillas, materia orgánica, sales), contar con una adecuada distribución granulométrica, presentar resistencia al desgaste, baja reactividad química y adecuada durabilidad. El cumplimiento de estas normas es esencial para garantizar la calidad, seguridad y vida útil de las estructuras de concreto.

E. Propiedades físicas. Son determinantes en el diseño y comportamiento del concreto. Entre las principales se encuentran:

- Contenido de humedad (% humedad): Cantidad de agua presente en los agregados

en condiciones naturales, la cual influye en la dosificación del concreto (MVCS, 2019).

- Absorción (% absorción): Propiedad del agregado que indica su aptitud para incorporar y retener agua en función de la cantidad y tamaño de sus poros internos. Se define como el volumen de agua que permanece dentro de dichos poros una vez que el material ha alcanzado la condición de saturación. Este parámetro resulta fundamental en el diseño de mezclas de concreto, ya que permite corregir la relación agua/cemento y asegurar un comportamiento uniforme en términos de resistencia mecánica y durabilidad de la mezcla endurecida (MVCS, 2019).
- Peso específico aparente: Corresponde a la relación existente entre la masa del agregado en estado seco y el volumen total que este ocupa, considerando los espacios vacíos presentes entre sus partículas. El peso específico expresa la proporción entre la masa del material y su volumen, pudiendo incluir o no los vacíos internos de acuerdo con el procedimiento de ensayo utilizado. Por su parte, la densidad aparente toma en cuenta el volumen global del agregado, incluidos los poros permeables, constituyendo un parámetro que permite evaluar de manera indirecta el grado de compactación y la calidad del material (MVCS, 2019).
- Peso específico saturado superficialmente seco (SSS): Considera el agregado con los poros llenos de agua pero sin humedad superficial (MVCS, 2019).
- Peso unitario compactado seco (PUCS): Indica la densidad del agregado en estado compactado, incluyendo los vacíos entre partículas (MVCS, 2019).
- Contenido de vacíos: Porcentaje del volumen total del agregado que corresponde a los vacíos existentes entre sus partículas constituyentes (MVCS, 2019).
- Contenido de finos y módulo de finura: Indican la proporción de partículas finas y la distribución granulométrica del agregado fino (MVCS, 2019).

- Granulometría: La gradación de los agregados corresponde a la proporción en que se encuentran distribuidos los distintos tamaños de partículas que los componen. Esta característica se evalúa mediante el ensayo de tamizado y resulta esencial para obtener una mezcla compacta, uniforme y con adecuada estabilidad. Una distribución granulométrica bien diseñada favorece la trabajabilidad del concreto, incrementa su resistencia mecánica y mejora su densificación. Además, al optimizar el acomodo de las partículas, se disminuyen los vacíos internos, lo que reduce la cantidad de pasta de cemento requerida y contribuye a una mejor cohesión y desempeño del concreto (MVCS, 2019).
- Tamaño máximo nominal (TMN): Tamaño de la malla por la cual pasa la mayor parte del agregado (MVCS, 2019).
- Tamaño nominal (TN): Tamaño de partícula mayor presente en el agregado (MVCS, 2019).
- Contenido de impurezas: Comprende la presencia de materiales indeseables como arcillas, limos, materia orgánica o sales, que pueden afectar la adherencia y provocar reacciones deletéreas en el concreto. Su control es esencial para garantizar la durabilidad de la obra (MVCS, 2019).

F. Propiedades químicas. Las características químicas de los agregados están relacionadas con su comportamiento frente a agentes agresivos. Entre las más importantes se encuentran:

- Contenido de cloruros: Debe ser limitado, ya que puede provocar corrosión en el acero de refuerzo (Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2020).
- Durabilidad al sulfato: Capacidad del agregado para resistir la acción de soluciones sulfatadas sin deteriorarse, evitando expansiones o desintegración (INACAL, 2020).

G. Propiedades mecánicas. Las propiedades mecánicas evalúan la resistencia del agregado frente a acciones físicas. La más representativa es:

- Desgaste por abrasión (%): Determinado comúnmente mediante el ensayo de Los Ángeles, mide la resistencia del agregado al desgaste y fragmentación. Un menor porcentaje indica mayor resistencia y mejor calidad del agregado. Evalúa la capacidad del agregado para resistir la abrasión y el impacto, simulando las condiciones de desgaste durante la mezcla, colocación y uso de la estructura. Un bajo porcentaje de desgaste indica un material más resistente y duradero (Quispe, 2021).

H. Características físico-mecánicas. Estas características comprenden el conjunto de propiedades físicas y mecánicas que determinan su desempeño integral dentro del concreto, tanto en estado fresco como endurecido. Estas propiedades influyen directamente en la resistencia, trabajabilidad, durabilidad y comportamiento estructural del material, siendo un factor clave en el diseño de mezclas y en la calidad final del concreto (Quispe, 2021).

En primer lugar, la resistencia del agregado es fundamental, ya que este debe ser capaz de soportar esfuerzos sin fracturarse ni desintegrarse. Agregados con baja resistencia pueden fallar antes que la pasta cementante, generando debilidad en la estructura. Asociada a esta propiedad se encuentra la dureza, que es la capacidad del agregado para resistir el desgaste, abrasión y pulimiento, especialmente importante en pavimentos y estructuras sometidas a tráfico o fricción constante (Quispe, 2021).

Asimismo, la forma de las partículas influye en la trabajabilidad y en la resistencia del concreto. Los agregados de forma angular presentan mejor adherencia con la pasta de cemento, lo que incrementa la resistencia mecánica; sin embargo, pueden reducir la trabajabilidad. En contraste, los agregados redondeados mejoran la fluidez de la mezcla, pero disminuyen la adherencia. Complementariamente, la textura superficial juega un rol importante, ya que

superficies rugosas favorecen una mejor unión mecánica con la pasta cementante, mientras que superficies lisas reducen dicha adherencia (Santa, 2019).

Otra propiedad relevante es la densidad, la cual está relacionada con el peso específico del agregado. Agregados más densos generalmente proporcionan mayor resistencia y estabilidad al concreto. Por su parte, la porosidad está asociada a la cantidad de vacíos internos del agregado; un alto grado de porosidad incrementa la absorción de agua, lo que puede afectar la relación agua-cemento y, en consecuencia, la resistencia y durabilidad del concreto (Santa Cruz, 2019).

Adicionalmente, estas características están estrechamente vinculadas con otras propiedades como la absorción, el contenido de humedad y la resistencia al desgaste, las cuales deben ser cuidadosamente controladas durante el proceso de selección de materiales. En conjunto, un agregado que presenta adecuadas características físico-mecánicas contribuye a mejorar la calidad del concreto, optimizando su comportamiento estructural, reduciendo patologías como fisuración o segregación, y garantizando un adecuado desempeño frente a condiciones de servicio y agentes ambientales (Tejada y Pérez, 2020).

2.3.3.3. Agua

A. Definición. El agua constituye un material fundamental en la producción del concreto, debido a que interviene directamente en el proceso de hidratación del cemento y facilita la consistencia y manejabilidad de la mezcla. Las características de pureza, la dosificación empleada y las condiciones en las que se incorpora tienen una incidencia determinante en el comportamiento del concreto en su fase plástica y una vez endurecido. Una adecuada regulación de este componente permite alcanzar niveles satisfactorios de resistencia mecánica, durabilidad y control de las variaciones volumétricas del material (Vásquez, 2019).

Asimismo, se considera como el componente líquido encargado de iniciar la hidratación del cemento y de otorgar la trabajabilidad requerida a la mezcla. Puede emplearse

agua potable o cualquier otra que cumpla con las especificaciones de las normas técnicas vigentes, siempre que se encuentre libre de sustancias o contaminantes que puedan alterar las propiedades físicas y mecánicas del concreto. Además de participar en la reacción química, el agua facilita la colocación, compactación y acabado del material (Vásquez, 2019).

Sus funciones son facilita la reacción de humedad del cemento y proporciona la controlabilidad necesaria a la combinación. De la totalidad del agua utilizada en la elaboración de mortero o hormigón, una porción se asigna a la humedad del cemento, la restante no experimenta cambios y se evapora. Al evaporarse, crea huecos dentro de la mezcla, disminuyendo así la fortaleza y la longevidad del mortero o concreto. La cantidad de agua necesaria para asegurar la hidratación del cemento se encuentra generalmente entre el 25 % y el 30 % del peso del cemento. Sin embargo, con este contenido la mezcla presenta una consistencia poco manejable. Para obtener una trabajabilidad adecuada que facilite su colocación y compactación, es necesario incorporar al menos una cantidad de agua equivalente al 40 % del peso del cemento. Por ende, como una guía general para el curado tradicional, se recomienda utilizar un mínimo de agua en la mezcla, asegurándose que el mortero o concreto conserve su trabajabilidad (Rodríguez Torres, 2016).

El agua es un compuesto químico de naturaleza inorgánica cuya estructura molecular está constituida por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, representados mediante la fórmula H_2O, cuya estructura molecular polar le confiere propiedades fisicoquímicas únicas que la hacen esencial para la vida y diversos procesos industriales, incluida la producción de concreto. Presenta una temperatura de congelación de 0 °C y alcanza la ebullición a 100 °C cuando se encuentra bajo una presión atmosférica estándar de 1 atm. Asimismo, a 4 °C registra una densidad cercana a 1 g/cm^3, valor que corresponde a la condición en la que alcanza su máxima densidad. Físicamente, presenta alta capacidad calorífica, elevada tensión superficial y gran poder disolvente, características que influyen en la hidratación del cemento, la

trabajabilidad de las mezclas y el control térmico durante el fraguado. En ingeniería civil, el agua utilizada en la elaboración de concreto debe ser potable o cumplir con normas como ASTM C1602 y NTP 334.074, que establecen límites de impurezas para evitar efectos adversos en la resistencia, durabilidad y estética. Por su función como reactivo químico y medio físico, su selección, control y dosificación adecuados son determinantes para garantizar el óptimo desempeño y la vida útil del concreto (Vásquez, 2019).

B. Requisitos que debe cumplir según las normas. El agua empleada en la preparación del concreto debe reunir las condiciones de calidad establecidos en normas técnicas nacionales e internacionales, las cuales garantizan que no afecte negativamente las propiedades del material. En el ámbito normativo del Perú, la Instituto Nacional de Calidad establece la NTP 339.088, la cual define las condiciones que debe reunir el agua utilizada en la elaboración del concreto. Esta norma señala que el agua debe encontrarse exenta de concentraciones nocivas de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y demás contaminantes que puedan interferir en la hidratación del cemento o afectar negativamente la resistencia mecánica y la durabilidad del material (Rodríguez, 2016).

A nivel internacional, se emplea la norma ASTM C1602, la cual regula la calidad del agua utilizada en concreto, incluyendo límites permisibles de sustancias químicas, requisitos de ensayo y criterios de aceptación. Asimismo, el ACI 318 establece que el agua de mezclado debe ser limpia y, en la práctica, considera que el agua potable es generalmente apta para la producción de concreto.

Complementariamente, la norma ASTM C94 también incluye disposiciones sobre la calidad del agua empleada en concreto premezclado, reforzando la necesidad de cumplir con requisitos químicos y físicos adecuados. En términos generales, todas estas normativas coinciden en que el agua no debe contener sustancias que afecten el fraguado, la resistencia ni la durabilidad del concreto. Además, establecen que, en caso de utilizar agua no potable, esta

debe ser previamente evaluada mediante ensayos comparativos que verifiquen su idoneidad para su uso en mezclas de concreto (Rodríguez, 2016).

C. Influencia del agua sobre el cemento. El agua tiene una influencia directa sobre el comportamiento del cemento, ya que es el elemento que inicia y permite la reacción de hidratación, mediante la cual se forman los compuestos responsables de la resistencia del concreto. La relación agua-cemento constituye uno de los factores más influyentes en el comportamiento del concreto. Cuando se incorpora una cantidad excesiva de agua, la mezcla adquiere mayor fluidez y facilidad de colocación; sin embargo, se incrementa la porosidad interna, lo que ocasiona una disminución de la resistencia mecánica y de la durabilidad. Por el contrario, si el contenido de agua es insuficiente, se limita la adecuada hidratación del cemento y se dificulta la trabajabilidad del material. En consecuencia, resulta indispensable controlar esta proporción de manera precisa para lograr un concreto que presente un desempeño estructural satisfactorio y una mayor vida útil (Espinoza, 2019).

El agua constituye uno de los componentes fundamentales en la elaboración del concreto, ya que interviene directamente en el proceso de hidratación del cemento y en la trabajabilidad de la mezcla. Según la teoría de la hidratación de Powers y Brownyard (1948), durante el proceso de hidratación, el agua interactúa con el cemento y origina compuestos como el silicato de calcio hidratado (C-S-H), que constituye el principal responsable del desarrollo de la resistencia mecánica del concreto, así como el hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$].

El contenido de agua debe ser cuidadosamente controlado, dado que su exceso incrementa la relación a/c, generando una estructura porosa que disminuye la resistencia y durabilidad del concreto. Por el contrario, una cantidad insuficiente puede impedir la hidratación completa del cemento, afectando la resistencia final. Normas como la ASTM C94 y la NTP 334.009 establecen parámetros para el control de la relación a/c en función a las condiciones de exposición y la resistencia requerida (Espinoza, 2019).

Desde una perspectiva física, el agua desempeña un papel fundamental en las propiedades del concreto en estado fresco, ya que afecta su trabajabilidad al regular la consistencia, la cohesión entre sus componentes y la aptitud para ser compactado, aspectos que condicionan la facilidad con la que la mezcla puede ser colocada y adaptada al encofrado. Del mismo modo, durante el proceso de fraguado y curado, el agua asegura la continuidad de las reacciones químicas, evitando fisuras por retracción plástica y favoreciendo el desarrollo de resistencias a largo plazo (INACAL, 2020).

D. Temperatura según altitud donde se ubica el proyecto. La temperatura del agua y del ambiente, influenciada por la altitud del proyecto, tiene efecto significativo en el comportamiento del concreto. En zonas de alta altitud, donde las temperaturas suelen ser más bajas, el proceso de hidratación del cemento se ralentiza, prolongando el tiempo de fraguado y el desarrollo de resistencia inicial. En contraste, en zonas de baja altitud o climas cálidos, las altas temperaturas aceleran la evaporación del agua y el proceso de fraguado, lo que puede generar fisuración y pérdida de trabajabilidad (INACAL, 2020).

Por ello, es necesario controlar la temperatura del agua de mezclado y adoptar medidas como el uso de agua fría o caliente, protección térmica del concreto y técnicas adecuadas de curado, con el fin de asegurar condiciones óptimas para el desarrollo del concreto según la ubicación geográfica del proyecto (INACAL, 2020).

2.3.3.4. Aditivos

***A. Definición*.** Son materiales de naturaleza química o mineral que se incorporan al concreto en pequeñas cantidades durante el proceso de mezclado, con el propósito de mejorar sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Su uso permite optimizar características como la trabajabilidad, el tiempo de fraguado, la resistencia mecánica, la durabilidad y la impermeabilidad, contribuyendo a un mejor desempeño del concreto en diversas condiciones ambientales y constructivas (Espinoza, 2019).

Los aditivos se definen como sustancias distintas al cemento, agregados y agua, que se añaden al concreto antes o durante su mezclado para alterar sus propiedades de manera controlada. Estos pueden ser de origen químico o mineral, y su incorporación responde a necesidades específicas del diseño o condiciones de obra, permitiendo mejorar el comportamiento del concreto sin modificar significativamente su composición básica (Espinoza, 2019).

B. Requisitos que debe cumplir el aditivo según las normas. Los aditivos para concreto deben cumplir con requisitos establecidos en diversas normas técnicas internacionales y nacionales que garantizan su calidad, compatibilidad y desempeño. A continuación, se presentan las principales normativas aplicables:

- ASTM International (American Society for Testing and Materials): ASTM C494/C494M: Constituye la principal norma técnica aplicable a los aditivos químicos utilizados en el concreto. Esta especificación agrupa los aditivos en las categorías A, B, C, D, E, F y G de acuerdo con la función que desempeñan, tales como reductores de agua, retardantes de fraguado, acelerantes y otras aplicaciones, además de definir los criterios y exigencias de desempeño como resistencia, tiempo de fraguado y contenido de aire. ASTM C260: Especifica los requisitos para aditivos inclusores de aire. ASTM C1017: Establece los lineamientos y requisitos aplicables a los aditivos superplastificantes, también conocidos como reductores de agua de alto poder de dispersión.
- American Concrete Institute (ACI): ACI 212.3R: Proporciona recomendaciones para el uso de aditivos químicos en el concreto, incluyendo su clasificación, funciones, efectos y criterios de selección. ACI 318: Aunque es un reglamento de diseño estructural, incluye disposiciones relacionadas con la durabilidad del concreto y el uso de materiales, incluyendo aditivos.

- Instituto Nacional de Calidad (INACAL – Perú): NTP 339.086: Basada en ASTM C494, establece los requisitos para aditivos químicos en concreto en el contexto peruano. NTP 339.088: Relacionada con aditivos inclusores de aire.
- International Organization for Standardization (ISO): ISO 1920 (serie): Incluye métodos de ensayo del concreto, que indirectamente permiten evaluar el efecto de los aditivos en sus propiedades.

En conjunto, estas normativas establecen que los aditivos deben ser compatibles con los materiales del concreto, no afectar negativamente sus propiedades mecánicas ni su durabilidad, garantizar uniformidad en su composición y proporcionar resultados reproducibles. Asimismo, deben ser seguros en su manipulación y cumplir con los requisitos de desempeño establecidos mediante ensayos normalizados, lo que asegura su adecuada aplicación en obras de ingeniería civil.

C. Tipos de aditivo y su función principal. Se tienen los siguientes tipos:

- Aditivo impermeabilizante de concreto: El aditivo impermeabilizante es aquel que se incorpora a la mezcla de concreto con el objetivo de reducir su permeabilidad, limitando la penetración de agua y agentes agresivos. Su función principal es mejorar la durabilidad del concreto, protegiéndolo frente a procesos de deterioro como la corrosión del acero de refuerzo, ataques químicos o ciclos de humedad. Estos aditivos actúan generalmente disminuyendo la porosidad capilar o formando compuestos que bloquean los poros internos del concreto (Cabrera y Mayo, 2020).
- Aditivo curador de concreto: El aditivo curador de concreto es un producto aplicado generalmente sobre la superficie del concreto recién colocado, formando una película que reduce la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento. Su función principal es asegurar un curado adecuado, especialmente en condiciones ambientales adversas como altas temperaturas o baja humedad relativa.

Esto favorece un mejor incremento de la resistencia mecánica, disminuye la aparición de fisuras ocasionadas por la retracción y prolonga la vida útil del concreto al incrementar su durabilidad (Cabrera y Mayo, 2020).

2.3.4 Concreto en el post vaciado

2.3.4.1. Definición. El concreto en el post vaciado corresponde a la etapa posterior a su colocación en obra, en la cual la mezcla inicia su etapa de fraguado y posterior desarrollo de resistencia como resultado de las reacciones químicas de hidratación que experimenta el cemento al entrar en contacto con el agua. En esta fase, el concreto adquiere progresivamente sus propiedades mecánicas y de durabilidad, siendo fundamental el control de factores como el curado, la temperatura, la humedad y las condiciones de exposición. Un manejo adecuado en esta etapa garantiza el cumplimiento de las especificaciones estructurales y el desempeño a largo plazo del elemento construido (Vásquez, 2019).

El concreto en estado post vaciado, también denominado concreto endurecido, es aquel que ha sido colocado, compactado y ha iniciado su proceso de fraguado, desarrollando gradualmente resistencia y rigidez. En esta etapa, el concreto pasa de un estado plástico a un material sólido capaz de soportar cargas, producto de la formación de compuestos hidratados que generan una estructura interna resistente (Vásquez, 2019).

2.3.4.2. Curado. El curado consiste en conservar condiciones apropiadas de humedad y temperatura en el concreto durante sus primeras etapas después de la colocación, con el propósito de asegurar el desarrollo adecuado de la hidratación del cemento y favorecer el logro de sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Este proceso es esencial para evitar la pérdida prematura de agua, lo cual podría generar fisuración, disminución de resistencia y pérdida de durabilidad. El curado puede realizarse mediante métodos como el riego continuo, el uso de membranas de curado o el recubrimiento con materiales húmedos (Zambrano et al., 2022).

Según Quispe (2021), involucra la regulación de la temperatura y la humedad adecuada

una vez que se ha completado el vertido. Después de un periodo determinado desde la colocación del concreto, se inicia el proceso de acabado para promover el crecimiento de las características deseadas en el material. Un correcto curado contribuye a mejorar varias cualidades del concreto. Es esencial llevar a cabo el curado cuando el hormigón ha logrado un grado de endurecimiento suficiente para prevenir erosiones en la superficie. Para lograr resultados óptimos, se recomienda mantener el curado a temperaturas superiores a 10°C durante los primeros 7 días posteriores a la colocación del concreto. Además, el proceso de curado puede interrumpirse si las muestras alcanzan un valor de resistencia superior al 70% de lo especificado en el diseño.

2.3.4.3. Ensayo de probetas. El ensayo de probetas es el procedimiento mediante el cual se evalúan las propiedades mecánicas del concreto endurecido, principalmente su resistencia a la compresión. Consiste en moldear muestras cilíndricas o cúbicas durante el vaciado, las cuales son curadas bajo condiciones controladas y ensayadas en edades específicas, comúnmente a los 7, 14 y 28 días. Estos ensayos permiten verificar si el concreto cumple con la resistencia de diseño especificada, constituyendo un control de calidad fundamental en obra (Zambrano et al., 2022).

2.3.4.4. Ensayo de resistencia a la compresión. Es la aptitud del concreto para resistir cargas axiales que generan una disminución de su volumen. Esta constituye la propiedad mecánica de mayor relevancia y la más empleada en el diseño estructural, debido a que permite evaluar la calidad del material y su capacidad para soportar esfuerzos compresivos y transmitir adecuadamente las cargas actuantes (Rodríguez, 2016).

El MVCS (2019), menciona que esta propiedad hace referencia a la habilidad de un material para resistir las fuerzas que buscan comprimirlo o reducir su volumen. En el contexto específico del concreto, se evalúa esta propiedad mediante pruebas de compresión, sometiendo muestras cilíndricas o cúbicas a cargas gradualmente crecientes hasta alcanzar el punto de fallo.

La f´c se cuantifica en relación de la presión máxima que el material puede soportar antes de experimentar un fallo estructural. Las unidades de medida comúnmente utilizadas son los megapascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (psi).

2.3.4.5. Ensayo de resistencia a la flexión. Es la aptitud del concreto para soportar simultáneamente esfuerzos de tracción y compresión cuando está expuesto a cargas que inducen deformaciones por curvatura, como ocurre en vigas y losas. Esta característica resulta fundamental en el desempeño de los elementos estructurales que trabajan bajo la acción de cargas transversales. El comportamiento del concreto frente a la flexión depende de múltiples variables, entre las que destacan la proporción agua/cemento, las características físicas y granulométricas de los agregados, la naturaleza del cemento empleado, el grado de compactación alcanzado y las condiciones bajo las cuales se realiza el curado. El control adecuado de estos factores permite optimizar la respuesta mecánica del material ante esfuerzos flexionantes, favoreciendo una mayor durabilidad y un desempeño estructural más confiable y eficiente durante su período de servicio (Tejada y Pérez, 2020).

2.3.4.6. Durabilidad. Es la capacidad del concreto para mantener sus propiedades físicas y mecánicas a lo largo del tiempo, resistiendo la acción de agentes ambientales como humedad, cambios de temperatura, ataques químicos o abrasión. Una alta durabilidad garantiza mayor vida útil de la estructura. La capacidad del concreto para resistir el deterioro depende en gran medida de diversos aspectos, entre ellos la calidad de sus componentes, el diseño de la mezcla, la proporción entre agua y cemento, el grado de compactación y el tratamiento de curado realizado en las etapas iniciales. Un control adecuado de estos parámetros permite desarrollar una estructura interna más compacta y con menor permeabilidad, lo que limita la penetración de agentes agresivos y reduce los procesos de degradación. Como resultado, se incrementa la vida útil de la estructura y se asegura su desempeño eficiente, estabilidad y permanencia en condiciones de servicio durante un periodo prolongado (Santa, 2019).

2.3.4.7. Permeabilidad. Se refiere a la facilidad con la que líquidos, gases u otras sustancias pueden penetrar en el concreto a través de sus poros. Un concreto con alta permeabilidad es más vulnerable al ingreso de agentes agresivos, lo que puede afectar su durabilidad y provocar deterioro. La permeabilidad del concreto depende de diversos aspectos, entre los que destacan la relación agua/cemento, la eficiencia de la compactación, el procedimiento de curado y las características de los materiales utilizados en la dosificación. Cuando se emplea una relación a/c reducida y se garantiza un curado apropiado, se obtiene una estructura interna más compacta y con menor cantidad de poros, lo que limita considerablemente la penetración de agentes perjudiciales. El control de esta propiedad adquiere especial relevancia en estructuras sometidas a condiciones ambientales agresivas, como ambientes marinos, industriales o con elevada presencia de humedad. Un concreto con baja permeabilidad brinda mayor protección al acero de refuerzo frente a la corrosión y disminuye la acción de otros mecanismos de deterioro, contribuyendo de esta manera a extender la vida útil de la estructura y a reducir las necesidades de mantenimiento y rehabilitación (Santa, 2019).

2.3.4.8. Módulo de elasticidad. Es una medida de la rigidez del concreto, que expresa la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación producida dentro del rango elástico. Esta propiedad permite evaluar cómo se deforma el concreto bajo cargas y es fundamental para el análisis estructural (Santa, 2019).

Según el MVCS (2019), menciona que es la conexión entre la fuerza normal aplicada y la correspondiente deformación unitaria, aplicable a tensiones o compresiones que no superan el límite de proporcionalidad del material.

2.3.4.9. Encofrado en el concreto. El encofrado es una estructura temporal, generalmente fabricada con madera, metal, plástico u otros materiales resistentes, diseñada para contener, dar forma y soportar el concreto fresco hasta que este alcance la resistencia suficiente

para sostenerse por sí mismo. Según la teoría constructiva, el encofrado no solo define la geometría y dimensiones precisas del elemento estructural, sino que también influye en la calidad superficial, la compactación y el curado inicial del concreto. Su diseño debe garantizar rigidez, estabilidad y estanqueidad, evitando deformaciones, filtraciones o pérdidas de agua que alteren la relación a/c. Normas como la ACI 347R-14 establecen criterios para el cálculo de la presión ejercida por el concreto fresco, así como recomendaciones para su montaje, mantenimiento y desmontaje, asegurando así que cumpla su función sin comprometer la seguridad ni la calidad final de la obra (Cabrera y Mayo, 2020).

2.3.4.10. Influencia del encofrado en el curado de elementos estructurales. El encofrado influye de manera significativa en el proceso de curado del concreto en elementos estructurales como vigas, columnas y cimentaciones, debido a que funciona como una protección física que limita la evaporación del agua necesaria para la hidratación del cemento. Durante las primeras edades del concreto, el mantenimiento de la humedad es esencial para el adecuado desarrollo de la resistencia y la reducción de retracciones plásticas. En este sentido, el encofrado contribuye a conservar condiciones térmicas y de humedad más estables, especialmente en superficies laterales que no están directamente expuestas al ambiente.

En elementos verticales como columnas, el encofrado permite una mayor retención de humedad, favoreciendo un curado más uniforme; mientras que, en vigas y losas, su influencia se complementa con métodos adicionales de curado superficial, debido a la exposición directa de sus caras superiores. En el caso de cimentaciones, el contacto con el suelo también ayuda a conservar la humedad, aunque el encofrado sigue siendo importante en las superficies expuestas (Matallana, 2019).

No obstante, un aspecto crítico es el momento del desencofrado, ya que un retiro prematuro puede provocar la pérdida acelerada de humedad, fisuración superficial y disminución de la resistencia mecánica. Por ello, es indispensable respetar los tiempos de

desencofrado establecidos en normas técnicas y especificaciones del proyecto, considerando factores como el tipo de cemento, condiciones climáticas y la geometría del elemento, con el fin de asegurar un adecuado desempeño estructural y durabilidad del concreto (Betancourth, 2017).

El encofrado es el sistema temporal utilizado para contener y moldear el concreto fresco hasta que este adquiera suficiente resistencia para sostenerse por sí mismo. Según la teoría de la transmisión de cargas de Murdock y Brook (1991), el encofrado no solo actúa como un molde, sino también como un elemento que influye en la compactación, textura superficial y geometría final del concreto.

Las características del encofrado material, rigidez, estanqueidad y acabado tienen un impacto directo en el desempeño del concreto. Un encofrado bien sellado evita la pérdida prematura de agua por filtración, lo que contribuye a mantener la relación a/c diseñada y favorece el desarrollo de resistencias. Además, la absorción superficial del material del encofrado (por ejemplo, en maderas no tratadas) puede reducir la humedad superficial del concreto, afectando la adherencia y el acabado.

La presión ejercida por el concreto fresco sobre el encofrado, descrita por la teoría de presión hidrostática de ACI 347R-14, depende de factores como la altura de vaciado, velocidad de colocación, temperatura, consistencia de la mezcla y tiempo de fraguado inicial. Un diseño inadecuado del encofrado puede provocar deformaciones, filtraciones o fallas estructurales durante el colado (Cerdán, 2023).

Consiguientemente, la elección del encofrado influye en el acabado superficial y en la resistencia a la compresión en la zona perimetral de los elementos estructurales, especialmente cuando se emplean moldes metálicos o fenólicos que reducen la absorción de humedad y favorecen un curado más uniforme en las primeras horas.

2.4 Conceptos generales de estructuras

2.4.1 Método de diseño y carga

El método de diseño estructural se basa en criterios normativos que buscan asegurar la seguridad y servicio de las edificaciones. Entre los enfoques más utilizados se encuentran el diseño por esfuerzos admisibles y el diseño por estados límite, siendo este último el más empleado en la actualidad. Este método considera factores de carga y reducción de resistencia para evaluar condiciones críticas de falla (estado límite último) y de servicio (deformaciones, fisuración, vibraciones) (Cabrera y Mayo, 2020).

Las cargas que actúan sobre una estructura se clasifican en cargas muertas (peso propio), cargas vivas (uso y ocupación), cargas sísmicas, cargas de viento y otras acciones especiales. El adecuado análisis y combinación de estas cargas permite dimensionar los elementos estructurales de forma segura (Gómez et al., 2019).

2.4.2 Propiedades mecánicas

2.4.2.1. Resistencia a la compresión. Es la capacidad del concreto para soportar cargas axiales que generan esfuerzos de compresión sobre su sección transversal. Este esfuerzo se calcula como la relación entre la carga aplicada y el área del elemento ($\sigma = P/A$), y está directamente relacionado con la rigidez axial del material, es decir, su capacidad de oponerse a deformaciones longitudinales (Gómez et al., 2019).

Esta propiedad es fundamental en elementos como columnas y cimentaciones, ya que determina la capacidad portante de la estructura. Su importancia radica en que el concreto es altamente eficiente para resistir esfuerzos de compresión, siendo este su principal campo de aplicación (Santa, 2019).

Además, este ensayo se realiza en laboratorio utilizando probetas cilíndricas estandarizadas (generalmente de 15 centímetros de diámetro y 30 centímetros de altura). Estas probetas se elaboran durante el vaciado del concreto y se curan en condiciones controladas.

Las edades más comunes de ensayo son 7, 14 y 28 días, siendo esta última la referencia para el diseño estructural. Como criterio general, el concreto debe alcanzar aproximadamente el 65–70 % de su resistencia a los 7 días y cerca del 85–90 % a los 14 días (Santa, 2019).

Se recomienda un mínimo de tres probetas por edad de ensayo para garantizar resultados representativos. Durante la rotura, pueden observarse distintos tipos de fisuras, como fallas cónicas, verticales o por corte. Las fallas uniformes indican buena calidad del concreto, mientras que fisuras irregulares o fallas prematuras pueden evidenciar problemas de dosificación, curado o compactación (Santa, 2019).

2.4.2.2. Resistencia a la flexión. Es la capacidad del concreto para resistir esfuerzos generados por momentos flectores, los cuales producen compresión en una cara del elemento y tracción en la opuesta. Este comportamiento está asociado a la rigidez a la flexión, que depende del módulo de elasticidad y del momento de inercia de la sección (Quispe, 2021).

El esfuerzo a la flexión se determina mediante ensayos en vigas prismáticas, donde se aplica una carga hasta provocar la falla. Esta propiedad es importante en elementos como vigas y losas, ya que están sometidos a cargas transversales que inducen flexión (Quispe, 2021).

El ensayo de flexión se realiza comúnmente a edades de 7 y 28 días, utilizando al menos tres especímenes por ensayo. Los resultados permiten calcular el módulo de rotura, que representa la resistencia máxima del concreto en flexión antes de fracturarse. Este parámetro es clave en el diseño de pavimentos y elementos estructurales sometidos a cargas distribuidas (Quispe, 2021).

Las fisuras observadas durante el ensayo suelen iniciarse en la zona traccionada. Fisuras verticales en el centro indican una falla típica por flexión, mientras que fisuras inclinadas pueden evidenciar la influencia de esfuerzos cortantes.

2.4.2.3. Resistencia a la torsión. Es la capacidad de un elemento estructural para resistir esfuerzos producidos por momentos torsores que tienden a hacerlo girar alrededor de

su eje longitudinal. Este tipo de esfuerzo genera tensiones cortantes en la sección transversal y es relevante en vigas perimetrales, elementos curvos o estructuras sometidas a cargas excéntricas. Aunque el concreto tiene limitada capacidad a la torsión, esta es reforzada mediante el uso de acero, especialmente estribos cerrados y refuerzos longitudinales (Vásquez, 2019).

2.4.3 Elementos estructurales

Los elementos estructurales constituyen las partes fundamentales que integran la estructura resistente de una edificación y tienen la función de soportar las cargas actuantes, así como distribuirlas y transferirlas de manera segura y eficiente hacia los demás componentes y, finalmente, al terreno de cimentación.

2.4.3.1. Cimentaciones. Las cimentaciones son elementos estructurales encargados de transmitir las cargas de la superestructura al suelo de manera segura, evitando asentamientos excesivos o fallas del terreno. Pueden ser superficiales (zapatas, losas de cimentación) o profundas (pilotes), dependiendo de la capacidad portante del suelo (Vásquez, 2019).

2.4.3.2. Columnas. Las columnas son elementos verticales diseñados para soportar cargas axiales de compresión, aunque también pueden estar sometidas a flexión debido a cargas excéntricas. Su función principal es transmitir las cargas de las vigas y losas hacia las cimentaciones. Su diseño depende de la resistencia del concreto, el refuerzo de acero y las condiciones de carga (Santa, 2019).

2.4.3.3. Vigas. Las vigas son elementos horizontales que soportan cargas provenientes de losas y otros elementos, transmitiéndolas hacia las columnas. Están principalmente sometidas a esfuerzos de flexión y corte. Su diseño considera la distribución de momentos, el refuerzo longitudinal y transversal, y las condiciones de apoyo (Santa, 2019).

2.4.3.4. Losas. Las losas son elementos planos que conforman los pisos y techos de las edificaciones. Su función es distribuir las cargas hacia las vigas o directamente hacia las columnas. Pueden ser macizas, aligeradas o postensadas, y trabajan principalmente a flexión. Su diseño depende del tipo de apoyo, carga aplicada y sistema estructural adoptado (Rodríguez Torres, 2016).

2.4.4 Concepto de la vivienda multifamiliar según el RNE

De acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) del Perú, la vivienda multifamiliar se define como una edificación diseñada para albergar dos o más unidades de vivienda independientes dentro de un mismo lote. Estas unidades comparten determinados elementos estructurales y servicios comunes, lo que permite un uso más eficiente del espacio urbano y de los recursos constructivos.

Las viviendas multifamiliares se caracterizan por estar conformadas por un conjunto de unidades habitacionales independientes, cada una con sus propios espacios funcionales. Sin embargo, estas edificaciones comparten elementos estructurales como cimientos, columnas y losas, lo que garantiza la estabilidad del conjunto. Asimismo, cuentan con áreas comunes, tales como escaleras, pasillos y accesos, que facilitan la circulación y el uso colectivo. Todo ello debe cumplir estrictamente con las normas establecidas en cuanto a seguridad estructural, habitabilidad y funcionalidad, asegurando condiciones adecuadas para sus ocupantes.

El diseño estructural de las viviendas multifamiliares debe ajustarse a las disposiciones normativas del RNE, entre las que destacan la Norma E.060 de Concreto Armado y la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente. Estas normas establecen criterios técnicos para el análisis, diseño y construcción de estructuras seguras y eficientes, especialmente frente a eventos sísmicos.

En este marco, el concreto utilizado en este tipo de edificaciones debe cumplir con requisitos fundamentales como una resistencia adecuada para soportar las cargas previstas, una

alta durabilidad frente a agentes ambientales y un adecuado control de fisuración, a fin de garantizar la integridad estructural a lo largo del tiempo.

El uso de concreto con curado interno en viviendas representa una alternativa técnica que aporta múltiples beneficios. Entre ellos, se destaca la mejora de la resistencia mecánica del material, la reducción de fisuras ocasionadas por la retracción y el incremento de la durabilidad estructural. Estas ventajas contribuyen, además, a optimizar los costos de mantenimiento a largo plazo.

Por otro lado, el curado interno permite un mayor control de calidad del concreto, especialmente en situaciones donde el curado convencional resulta difícil de aplicar, como en zonas con condiciones climáticas variables o en áreas de acceso limitado. De esta manera, se asegura un mejor desempeño del material y una mayor confiabilidad en la construcción.

III. MÉTODO

3.1 Tipo de investigación

Según Sampieri et al. (2014), la investigación aplicada tiene como finalidad emplear los conocimientos científicos ya existentes para dar solución a problemas específicos y situaciones concretas del entorno real. En ese sentido, el presente estudio se clasifica como una investigación de tipo aplicada, ya que utiliza los principios y fundamentos previamente establecidos sobre la tecnología del concreto para implementar una alternativa innovadora de curado. Esta propuesta busca aportar soluciones prácticas orientadas a optimizar el comportamiento del concreto y reducir los costos asociados a su aplicación en proyectos constructivos reales.

El enfoque de la investigación fue cuantitativo, ya que se recolectaron datos obtenidos de ensayos de laboratorio relacionados con la resistencia del concreto; dichos datos fueron posteriormente analizados para elaborar un informe comparativo entre el curado interno y los métodos convencionales de curado.

El diseño metodológico de la investigación corresponde a un enfoque experimental, ya que implica la modificación deliberada de las variables independientes con el propósito de evaluar y cuantificar su efecto sobre las variables dependientes (relación causal). En este estudio se elaboraron especímenes representativos de elementos estructurales como cimentaciones, columnas y vigas, y se evaluaron cuatro métodos de curado aplicados al concreto: por inmersión, por rociado, químico y el propuesto con curado interno mediante saturación del agregado grueso. Además, se empleó el método analítico para evaluar de manera individual las propiedades mecánicas y los costos del concreto.

El alcance del estudio fue explicativo, ya que se buscó determinar la relación de causa–efecto entre las variables de estudio, determinando la influencia de una sobre otra. En ese sentido, se analizó la influencia del curado interno del concreto en sus propiedades mecánicas

y en los costos asociados.

3.2 Ámbito temporal y espacial

3.2.1 Ámbito espacial

El estudio se realizó en el Jirón Porvenir ubicado en el distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho, Perú. Esta localidad, situada en la región altoandina del país, presenta características climáticas particulares que afectan significativamente los procesos de fraguado y curado del concreto. La zona se caracteriza tener baja humedad relativa y una disponibilidad limitada de agua para procesos constructivos, condiciones que motivaron la exploración de nuevas alternativas como el curado interno. Todos los ensayos experimentales, incluyendo la dosificación, mezclado y curado, se ejecutaron bajo condiciones controladas en ambientes que simularon fielmente el contexto constructivo de la edificación el cual es parte de la investigación.

3.2.2 Ámbito temporal

El estudio se desarrolló durante el un período comprendido entre mayo y agosto de 2025. Durante este intervalo de tiempo, se ejecutó todas las actividades previstas, que incluyeron la elaboración de diseños de mezcla según el método ACI, la fabricación de los especímenes de concreto, su exposición a diferentes métodos de curado (interno mediante saturación del agregado grueso, por rociado, curado químico y por inmersión), y la ejecución de ensayos de resistencia en los laboratorios a los 7, 14 y 28 días, de acuerdo con las especificaciones de la norma ACI 318 y los estándares establecidos por la NTP, ASTM y el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Este periodo temporal permitió evaluar los procesos de curado durante la época seca, evitando que las precipitaciones pluviales influyeran en el análisis de los datos obtenidos.

3.3 Variables

3.3.1 Variable independiente

Tipos de curado.

3.3.2 Variable dependiente

Resistencia a compresión, resistencia a flexión y costos.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

Según Sampieri et al. (2014), la población se define como el conjunto total de elementos o casos que comparten características específicas previamente determinadas y que cumplen con los criterios establecidos para un estudio. En ese sentido, la población de la presente investigación estuvo conformada por los elementos estructurales de concreto (columnas, vigas y cimentaciones) elaborados con una resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm², empleados en viviendas del distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, región Ayacucho.

Se seleccionó esta población debido a que el distrito presenta limitaciones en el abastecimiento de agua potable, condición relevante para el estudio de métodos alternativos de curado del concreto. Asimismo, se consideró como muestra el Jr. Porvenir, por constituir un sector representativo de la problemática descrita. Esta delimitación poblacional no solo permite contextualizar adecuadamente la investigación, posibilitando la extrapolación de los resultados a edificaciones con características similares, consolidando el estudio como un referente técnico para futuras intervenciones orientadas a la construcción sostenible.

3.4.2 Muestra

Según Sampieri et al. (2014), la muestra corresponde a una parte representativa del conjunto total de elementos que integran la población, los cuales comparten características previamente definidas. En el presente estudio, se consideraron como muestra especímenes de concreto con una resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm², seleccionados a través de un muestreo

no probabilístico. En este tipo de muestreo, la selección de las unidades de análisis no se realiza mediante procedimientos probabilísticos; por el contrario, responde a criterios específicos vinculados con las características del estudio y con los objetivos planteados por el investigador.

La muestra de este estudio fue sometidos a diferentes métodos de curado con el fin de evaluar comparativamente sus propiedades mecánicas y sus costos relacionados. Se consideraron cuatro tipos de curado: curado interno, curado químico, curado por riego y curado por inmersión.

El número de especímenes se determinó considerando el diseño experimental y las recomendaciones de normas técnicas para ensayos de concreto, que establecen un mínimo de tres especímenes por edad y condición de evaluación. Esto permitió obtener resultados representativos y comparables entre los diferentes métodos de curado.

En conjunto, se obtuvo 156 especímenes de concreto (120 cilíndricas y 36 vigas), lo que permitió una caracterización robusta y representativa del comportamiento mecánico del concreto bajo diferentes métodos de curado. Esta muestra es suficiente para obtener resultados estadísticamente significativos que respalden las conclusiones técnicas del estudio.

Tabla 3

Muestra del estudio

Tipo de espécimen	Representación estructural	Método de curado	Ensayo aplicado	Cantidad de probetas	Edad de ensayo (días)	Total, por método	Total, general
Cilíndrica	Columnas	Curado por inmersión (patrón)	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	**60**
Cilíndrica	Columnas	Curado por riego	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
Cilíndrica	Columnas	Curado químico	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
Cilíndrica	Columnas	Curado interno	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
Prismática	Vigas	Curado por inmersión (patrón)	Flexión	3	7, 14, 28	9	**36**
Prismática	Vigas	Curado por riego	Flexión	3	7, 14, 28	9	
Prismática	Vigas	Curado químico	Flexión	3	7, 14, 28	9	
Prismática	Vigas	Curado interno	Flexión	3	7, 14, 28	9	
Cilíndrica	Cimentación	Curado por inmersión (patrón)	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	**60**
Cilíndrica	Cimentación	Curado por riego	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
Cilíndrica	Cimentación	Curado químico	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
Cilíndrica	Cimentación	Curado interno	Compresión simple	5	7, 14, 28	15	
			TOTAL				**156**

3.5 Instrumentos

Según Sampieri et al. (2014), todo instrumento utilizado para la obtención y medición de datos debe cumplir con tres criterios fundamentales que garantizan la calidad de la información recolectada: la confiabilidad, la validez y la objetividad. En este estudio se realizó ensayos en los laboratorios de concreto donde se utilizó una ficha de registro diseñada para documentar de manera sistemática los datos obtenidos durante las roturas de especímenes con la prensa hidráulica, en el análisis de los agregados y el diseño de la mezcla de concreto. Los instrumentos de recolección de datos estuvieron constituidos por equipos del laboratorio y formatos de registro, tales como la prensa hidráulica, moldes normalizados para probetas, balanza digital y fichas técnicas de control. Los materiales y equipos empleados cumplen con los requisitos establecidos por la norma ASTM C-172 y la NTP 339.036, las cuales regulan el procedimiento estándar para la toma de muestras de concreto en estado fresco.

3.6 Procedimientos

El procedimiento de esta investigación se estructuró en cuatro etapas secuenciales y en orden cronológico las cuales son: evaluación preliminar del área de estudio, suministro de materiales y elaboración del diseño de mezcla, ejecución de ensayos y finalmente el procesamiento y análisis de la información.

3.6.1 Evaluación preliminar del área de estudio (1 semana)

- En esta primera etapa se inició con la inspección del terreno donde se proyectó la construcción de la vivienda multifamiliar en el distrito de Carmen Alto - Huamanga, Ayacucho
- Se realizó una calicata de exploración geotécnica a cielo abierto en el área donde se ubicaría la cimentación.
- Se realizó el estudio de mecánica de suelos para fines de cimentación, con la finalidad de determinar y analizar las propiedades físico-mecánicas del terreno, a

fin de sustentar la selección del tipo de cemento y de los aditivos a emplear en el diseño de mezcla para elementos de cimentación. Los análisis se llevaron a cabo conforme la Norma E-50 de suelos y cimentaciones en el Laboratorio INGEOMAX.

3.6.2 Suministro de materiales y elaboración del diseño de mezcla (2 semana)

- Se gestionó la adquisición de moldes normalizados para la elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos. Debido a la cantidad de muestras programadas, se fabricaron moldes prismáticos adicionales utilizando material fenólico, cumpliendo con las dimensiones según Norma ASTM C-78/C-31. Adicionalmente, se adquirieron herramientas destinadas al control de calidad del concreto en estado fresco.
- Se realizó la selección y compra de materiales para la experimentación tales como el agregado grueso y fino, cemento portland tipo 1, cemento hidráulico, aditivo curador de concreto y aditivo impermeabilizante. En caso del árido grueso fueron extraídos de la cantera ubicada en Chillicopampa, en la provincia de Huanta, departamento de Ayacucho. Este yacimiento se caracteriza por ofrecer materiales pétreos de origen ígneo con propiedades mecánicas favorables, tales como alta resistencia a la abrasión y adecuada forma angular, lo que contribuye a una mejor adherencia con la pasta de cemento. Por su parte, el agregado fino provino del centro poblado de Ccayarpachi, ubicado en el distrito de Santiago de Pischa, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho. Esta cantera ha sido seleccionada por ofrecer arenas naturales con granulometría adecuada, bajo contenido de materia orgánica y una composición mineralógica compatible con los requerimientos de diseño del concreto.
- En este procedimiento se realizó el análisis granulométrico de los áridos el cual nos permitió conocer las propiedades físicas de los agregados gruesos y finos, para ello

se realizó el tamizado del material a través de una serie de mallas normalizadas y seguidamente se procedió con el pesaje del material retenido en cada tamiz con la finalidad de determinar la distribución de partículas según su tamaño, ademas en este procedimiento se obtuvo el tamaño máximo, el tamaño máximo nominal y módulo de fineza de los agregados, de acuerdo con lo estipulado en la NTP 400.037:2021.

- Se determinó el peso unitario de los agregados, tanto en condiciones sueltas como ompactadas, con el fin de estimar su densidad aparente y el volumen de vacíos inter particulares. Para ello se utilizó un recipiente de volumen conocido, en el que el material fue introducido mediante técnicas normadas de llenado, nivelando la superficie sin aplicar sobre compactación adicional. Posteriormente, se procedió al pesaje y al cálculo correspondiente siguiendo los lineamientos de la NTP 400.017:2021.
- Se evaluó el contenido de humedad de los áridos, para ello las muestras representativas fueron introducida en un horno con circulación de aire caliente, regulada entre 105 y 110 °C, por un tiempo de 24 horas. La diferencia de pesos registrada se atribuyó a la evaporación del agua, lo que permitió calcular el contenido de humedad como porcentaje de dicha variación respecto al peso húmedo inicial, de acuerdo con la NTP 339.185: 2021. Este resultado fue trascendental para efectuar las correcciones en la dosificación de agua de mezclado, evitando desviaciones en la relación a/c, lo cual repercute directamente en la resistencia y durabilidad del concreto.
- Se determinaron el peso específico y la capacidad de absorción de agua de los agregados. En el caso del agregado grueso, el procedimiento inició con el pesaje y posterior introducción de la muestra al horno por 24 horas, para luego saturar la

muestra por otras 24 horas más hasta obtener una condición de saturación superficialmente seco, luego se realizó el pesaje de la muestra en estado sumergido con ayuda de una mesa hidrostática y finalmente la determinación del volumen desplazado, lo cual permitió calcular tanto la densidad relativa aparente como la saturada conforme a la norma NTP 400.021:2020 . Para el árido fino, se aplicó un procedimiento análogo hasta obtener la muestra en condición de saturado superficialmente seco, por consiguiente, se realizó el pesaje de 500 gr de muestra para luego introducirlos a la fiola y a su vez añadirle agua destilada, una vez realizado este procedimiento se le dejó reposando por 24 horas, pasado este tiempo se realizó el pesaje de la fiola llenado con la muestra más el agua hasta la marca de calibración y finalmente se calculó el volumen desplazado mediante comparación con el peso de la fiola más el agua hasta la marca de calibración, de acuerdo con lo establecido con la NTP 400.022:2024 . El porcentaje de absorción se calcula con la relación del peso de la muestra saturada superficialmente seca con respecto a su peso seco mediante el horno, este parámetro influye de manera directa en la dosificación efectiva de agua en la mezcla.

- Con todos los parámetros de diseño definidos, se procedió a elaborar dos diseños de mezcla empleando áridos finos y gruesos. El primero se diseñó con cemento Portland Tipo I, con una resistencia de diseño f'c = 210 kg/cm², orientado a representar elementos estructurales como columnas y vigas. El segundo se diseñó con cemento Tipo MH (R), con un diseño f'c de diseño de 210 kg/cm² e incorporando un aditivo impermeabilizante, orientado a representar elementos de cimentación.

3.6.3 Ejecución de ensayos (2 semanas)

- Esta etapa se considera la más importante, ya que en ella se aplicaron todos los conocimientos y procedimientos desarrollados previamente; en base a ello, se realizó la mezcla de concreto conforme a la dosificación establecida en el diseño de mezcla. Para la primera fase se usó el diseño de mezcla que fue orientada a elementos estructurales como columnas y vigas, en caso de la segunda fase se usó el diseño de mezcla que fue orientada a cimentaciones; para ambas fases el concreto se elaboró durante cuatro días consecutivos, con la finalidad de diferenciar los tipos de curado según el día que le corresponda.
- Se realizó el control de calidad a la mezcla de concreto en conformidad con la NTP 339.035:2022, se evaluó la trabajabilidad del concreto fresco mediante el ensayo de asentamiento o slump test, el cual determinó la consistencia. El procedimiento consistió en llenar un cono truncado normalizado en tres capas sucesivas, aplicando compactación intermedia con varilla metálica. Al retirar verticalmente el molde, se midió la reducción en altura experimentada por la masa, valor que se expresó en pulgadas.
- Bajo las directrices de la NTP 339.034:2021, se efectuó la determinación de la temperatura del concreto fresco, parámetro determinante en el control del proceso de hidratación del cemento. Se utilizó un termómetro previamente calibrado, el cual se introdujo en el núcleo de la muestra sin que el bulbo mantuviera contacto con las paredes del recipiente.
- Una vez efectuados los controles de calidad antes del moldeo, se procedió con el vaciado de la mezcla de concreto en 15 moldes cilíndricos de 4”x8”, para ello se aplicaron los procedimientos de control de calidad conforme a la norma ASTM C31. Previamente, se aplicó un desmoldante en la superficie interna de los moldes

cilíndricos. El llenado se realizó en dos capas, compactando cada una mediante 25 penetraciones con la varilla apisonadora. Posteriormente, se aplicaron 10 golpes con martillo de goma distribuidos uniformemente sobre la superficie externa del molde, con el fin de eliminar vacíos. Luego, se procedió al enrase del concreto utilizando un badilejo y, finalmente, se realizó la identificación de las probetas. En caso del vaciado de concreto en los 09 moldes prismáticos de 15cm x 15cm x 54cm, se aplicó previamente un desmoldante en la superficie interna de los moldes prismáticos. El llenado se realizó en dos capas de igual volumen, conforme a la norma ASTM C31. Cada capa fue compactada mediante 25 penetraciones con la varilla apisonadora, distribuidas uniformemente sobre la sección transversal del molde, procurando que la varilla atraviese la capa inferior en la segunda etapa de compactación. Posteriormente, se aplicaron golpes con un martillo de goma sobre las superficies externas del molde, con el fin de eliminar vacíos y mejorar la consolidación del concreto. Luego, se procedió al enrase de la superficie utilizando un badilejo y, finalmente, se realizó la identificación de los especímenes. Estos procedimientos por cada día de elaboración de la mezcla de concreto en la fase 1 y 2, según corresponda.

- Posteriormente al vaciado del concreto en los moldes, se procedió a realizar el curado, según el tipo que le corresponde:

  Para el procedimiento de curado sumergido en agua inició con el endurecimiento inicial del concreto, permitiendo que fragüe completamente durante un periodo aproximado de 24 horas posteriores al vaciado. Una vez alcanzado este punto, se procedió al desencofrado, retirando cuidadosamente el molde para evitar dañar la integridad del elemento. Luego, el elemento se introdujo completamente en una piscina con agua potable limpia, asegurando su total inmersión. Esta

condición se mantuvo durante un período de 6, 13 y 27 días, según los objetivos del ensayo. Durante todo el proceso, fue fundamental controlar la temperatura del agua entre los 20 y 25 °C, a fin de evitar choques térmicos que pudieran comprometer el adecuado desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto.

Para el procedimiento del curado por rociado, una vez que el concreto fraguó completamente durante un periodo aproximado de 24 horas posteriores al vaciado, se aplicó agua en forma de lluvia mediante mangueras con boquillas de aspersión manual, durante 10 minutos en cada uno de los cinco ciclos diarios de curado. El rociado se efectuó de manera continua, manteniendo un caudal constante que garantizara que la superficie del concreto permaneciera permanentemente húmeda durante siete días. Para el registro de estos datos se utilizó un formato de control de caudales y tiempo que posteriormente se usó para calcular el volumen de agua que se aplicó en cada curado.

Para el procedimiento del curado químico, se empleó un aditivo impermeabilizante de la marca SikaCem, utilizado conforme a las especificaciones del fabricante El producto se aplicó sobre la superficie del concreto en estado fresco, una vez que este adquirió un tono opaco, es decir, tras la evaporación del exceso de agua de la mezcla; este momento se presentó aproximadamente dos horas después de su colocación en el molde. La aplicación se realizó en tres capas, mediante brocha, sobre las superficies expuestas de la viga y de las probetas, procurando simular, en la medida de lo posible, las condiciones de las construcciones reales, finalmente el rendimiento aplicado fue de 0,2 L/m2, con ello se calculó el consumo de aditivo.

Para el procedimiento del curado interno con saturación del agregado grueso, se consideró este como un aspecto fundamental, dado que constituye el

objeto de estudio de la presente investigación. Durante su ejecución, se llevó un registro de datos, estableciéndose dos casos de análisis según lo requerido por los objetivos planteados: para el primer caso, correspondiente a la mezcla de concreto que empleó el primer diseño, orientado a elementos estructurales como vigas y columnas; se procedió con ejecutar actividades preliminares a la preparación de la mezcla de concreto debido a que los agregados gruesos previamente fueron sumergidos en agua durante 72 horas, con el objetivo de conseguir su saturación. Posteriormente, se procedió a retirar el agua y se dejó escurrir sobre un costal hasta que este dejara de filtrar, una vez escurridos, los agregados se colocaron en un recipiente limpio para su pesaje y proceder con la dosificación de acuerdo con las proporciones establecidas en el diseño de mezcla. Seguidamente, se realizó el mezclado manual de todos los componentes conforme al diseño previamente establecido, con la mezcla elaborada, se procedió a la confección de los especímenes, para ello, se lubricaron los moldes con petróleo a fin de evitar la adherencia del concreto, una vez vertido el concreto en los moldes se procedió con el compactado mediante golpes ligeros con un combo de goma, asegurando su adecuada distribución en el interior del molde, finalmente los especímenes que fueron fabricados con agregados gruesos saturados fueron sometidos a condiciones de intemperie. Para el segundo caso, correspondiente a la mezcla de concreto que empleó el segundo diseño, orientado a cimentaciones, se siguió un procedimiento análogo al del primer caso.

3.6.4 Procesamiento y análisis de la información (12 semanas)

- Pasado los 7,14 y 28 días de edad del concreto, se realizó el registró de los datos físicos de cada muestra (peso y dimensiones), donde se aseguró que los especímenes estuvieran en condiciones homogéneas y por consiguiente se realizó los ensayos de

resistencia de los especímenes según corresponda: En el ensayo de compresión, las probetas cilíndricas de concreto fueron sometidas a una carga axial progresiva mediante el uso de una máquina de compresión, hasta alcanzar su ruptura. A lo largo del procedimiento se midió la carga máxima soportada por el espécimen, la cual permite calcular la resistencia a la compresión del concreto, obtenida al relacionar dicha carga con el área de la sección transversal de la muestra. Para el ensayo de resistencia a la flexión se utilizó vigas prismáticas de 150 × 150 × 480 mm apoyadas en sus extremos. El método consistió en aplicar dos cargas verticales concentrada en el primer tercio y en el tercer tercio de la luz de la viga, incrementándola gradualmente hasta inducir la fisuración y la posterior falla por tracción en el segundo tercio de la viga. El esfuerzo de flexión se calculó en función de la carga máxima aplicada, la longitud de apoyo y las dimensiones de la sección.

- Una vez realizado los ensayos, el laboratorio remitió el informe con los esfuerzos de compresión y flexión de cada muestra.
- Se realizó el análisis e inspección visual de la textura interna del concreto endurecido, evaluando su heterogeneidad, compacidad, presencia de fisuraciones y conformación general, en los especímenes tras su rotura a los 56 días de edad.
- Se comparó y analizó los datos mediante una hoja Excel.

3.7 Análisis de datos

3.7.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva cumplió un papel decisivo en la investigación, al posibilitar que los resultados experimentales se transformaran en parámetros comprensibles que reflejan de manera más ordenada la dinámica de las variables evaluadas. Este procedimiento permitió que un conjunto de datos inicialmente disperso adquiriera coherencia y se tradujera en un panorama cuantitativo donde se distinguieron tendencias dominantes y grados de variabilidad.

En el caso particular de este estudio, su aplicación estuvo orientada a caracterizar los valores de resistencia a la compresión, a la flexión y los costos unitarios de producción, con la finalidad de perfilar un diagnóstico preliminar de su comportamiento y de su consistencia relativa.

Al mismo tiempo, esta técnica condujo al cálculo de medidas de centralidad, como la media aritmética, y de dispersión, como la desviación estándar y el coeficiente de variación, que se configuraron como indicadores indispensables para estimar la estabilidad de los ensayos y la confiabilidad de los resultados. Más allá de resumir información, la estadística descriptiva se convirtió en un mecanismo interpretativo que facilitó la comparación crítica entre los métodos de curado aplicados, ofreciendo un fundamento cuantitativo que orientó la discusión de resultados y permitió la verificación de las hipótesis. De esta forma, se consolidó como un componente metodológico clave, imprescindible para dar rigor y solidez al análisis de la investigación.

El software Microsoft Excel fue usado para analizar los datos, evaluar la confiabilidad y validez de los instrumentos de medición, asimismo en este programa se realizó las tablas, las gráficas y mapas conceptuales.

IV. RESULTADOS

4.1 Evaluación preliminar del área de estudio

4.1.1 Inspección del terreno

Se observó que el terreno donde se desarrolló el estudio presenta una topografía en pendiente y un área aproximada de 280 m². Asimismo, se identificó que el terreno colindante superior cuenta con cultivos sometidos a riego intermitente, lo cual podría influir en las condiciones de humedad del suelo y, potencialmente, afectar las cimentaciones de la futura construcción. Adicionalmente, el terreno en estudio presentaba indicios de un suelo de naturaleza rocosa, condición que fue posteriormente confirmada mediante el estudio de mecánica de suelos.

4.1.2 Ejecución de calicatas

Las dimensiones de la calicata fueron de 1 m de largo por un 1 m de ancho y 1.5 m de profundidad, así mismo se aclara que; la excavación no pudo llegar a más altura por la presencia de roca constante desde un punto determinado. Asimismo, días posteriores se presentó filtración a nivel de las paredes de la calicata en estudio, agua que provenía del terreno colindante. Por otro lado, en las paredes de la calicata se observó la presencia de material rocoso de color oscuro, con vetas de tonalidad blanca. Estas podrían corresponder a depósitos minerales secundarios (posibles sulfatos); no obstante, su identificación requirió la correspondiente verificación mediante ensayos de laboratorio.

Tabla 4

Resumen de tipos de suelos encontrados en campo.

Calicata	Estrato	Muestra	Profundidad	Espesor	Tipo de suelo
C-01	E-01		0.00-0.50	0.5 m	Cobertura orgánica
	E-01	M-0110S-25	0.50-1.50	1.00 m	Basalto (Roca Ígnea Volcánica)

4.1.3 Ensayos de laboratorio

4.1.3.1. Ensayos estándares.

A. Propiedades físicas del suelo. El contenido de humedad, densidad natural y densidad seca se obtuvo de acuerdo con la (NTP 339.127, ASTM S-2216).

Tabla 5

Resumen de la densidad de la roca.

Calicata	Código de muestra	Estrato	Profundidad	Cont. de Humedad (%)	Densidad Natural (gr/cm³)	Densidad Seca (gr/cm³)
C-01	M-0110S-25	E-02	0.50 – 1.50 m	1,0	2,221	2,200

B. Identificación de tipo de roca. El suelo donde se emplazará el proyecto ha sido clasificado como roca ígnea de origen volcánico, específicamente basalto, conforme la Norma ASTM C-294.

Tabla 6

Resumen de la identificación de tipo de roca.

Calicata	Código de muestra	Estrato	Profundidad	Nombre de Grupo (ASTM 2016) D-2487
C-01	M-0110S-25	E-02	0.50 – 1.50 m	Basalto (Roca ígnea volcánica)

4.1.3.2. Ensayos especiales.

***C. Ensayo de corte directo*.** Mediante este ensayo se determinaron los parámetros geotécnicos correspondientes al ángulo de fricción interna y la cohesión efectiva de la roca, de acuerdo con la norma ASTM D 5607.

Tabla 7

Resumen de los ensayos de corte directo en roca.

Calicata	Código de muestra	Estrato	Ángulo de fricción interna φ (°)	Cohesión C' (kg/cm²)
C-01	M-0110S-25	E-02	25,50	1,35

D. Ensayo de resistencia a la compresión simple. Mediante este ensayo se pudo obtener el coeficiente geotécnico en Mpa o Kg/cm², conforme la norma NTP 339.186, ASTM D 2938.

Tabla 8

Resumen de los ensayos de resistencia a la compresión simple de la roca.

Calicata	Código de muestra	Estrato	Resistencia a la compresión uniaxial (kg/cm²)	Resistencia a la compresión uniaxial (MPa)
C-01	M-0110S-25	E-02	277,80	27,25

***E. Ensayo de análisis químico*.** Este ensayo se obtuvo los valores de ion cloruros, ion sulfatos, sales solubles y PH del suelo, de acuerdo con lo establecido en el MTC E129, E720, E719, E219.

Tabla 9

Resumen de los ensayos químicos del suelo.

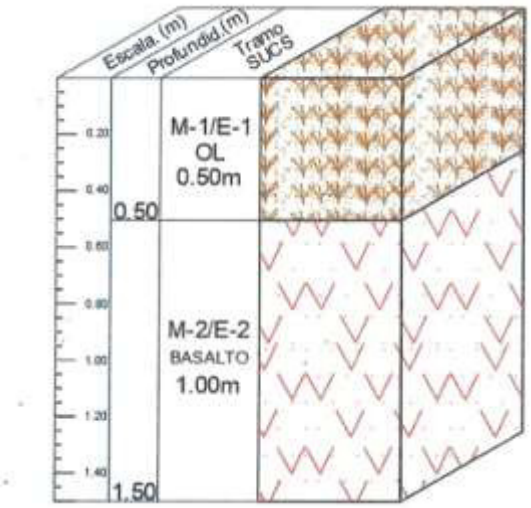
Muestra	Código de muestra	Sales solubles totales (ppm)	Cloruros (ppm)	Sulfatos (ppm)	pH
C-01	M-0110S-25	4248,7	2889,7	1358,5	7,66

4.1.4 Perfil estratigráfico

Con base en las exploraciones de campo y la data obtenida en laboratorio, se determinó que el suelo presente en el nivel de desplante de la construcción corresponde a basalto.

Figura 3

Perfil estratigráfico de la zona de estudio.



4.1.5 Análisis de la información

4.1.5.1. Profundidad de cimentación. A partir de los resultados previamente obtenidos se determinó que la profundidad mínima de cimentación es Df= 1m a por debajo del terreno natural, siempre en cuando el estrato recomendado tenga menor profundidad que el desplante.

4.1.5.2. Cálculo de capacidad de carga admisible. Se determinó la capacidad portante admisible de las cimentaciones apoyadas sobre roca empleando el criterio de falla no lineal propuesto por Evert Hoek y Edwin T. Brown. Como resultado del análisis geotécnico, se obtuvo una capacidad de carga admisible de 3.29 kg/cm², valor que representa la presión máxima que el terreno rocoso puede soportar de manera segura sin comprometer la estabilidad de la cimentación.

Tabla 10

Resumen de capacidad admisible para cimentaciones.

Prof. cimentación Df (m)	Peso específico (gr/cm³)	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (C') Kg/cm²	Resistencia compresión (UCS) Kg/cm²	Coef. de seguridad (FS)	Carga admisible qadm (Kg/cm²)
1	2.221	25.5	1.35	277.8	1.67	3.29

4.1.6 Problemas especiales de cimentación

4.1.6.1. Filtración de agua. En días posteriores a la ejecución de la calicata, se evidenció la presencia de filtraciones en la zona media de la pared lateral de la calicata, atribuibles al riego de cultivos en el terreno superior adyacente. En función de esta condición, se decidió incorporar un aditivo impermeabilizante en el diseño de mezcla para las cimentaciones, con el propósito de reducir la permeabilidad del concreto y mitigar posibles efectos de humedad por capilaridad, tales como procesos de deterioro superficial o afectaciones en los acabados de la edificación.

4.1.6.2. Agresión del suelo al concreto de la cimentación. La acción de diversos compuestos químicos presentes en el suelo puede generar efectos perjudiciales e incluso severamente deteriorantes tanto en el concreto como en el acero de refuerzo de las estructuras, siendo los sulfatos y los cloruros los agentes más representativos por su capacidad de inducir procesos de corrosión y degradación. En la tabla que se muestra a continuación se detallan los valores máximos admisibles de agresividad química de los componentes presentes en suelos que se encuentran en contacto con elementos de concreto, conforme a los rangos de referencia establecidos por el Comité 318-83 del ACI.

Tabla 11

Limites permisibles de los valores químicos.

Presencia en el suelo	ppm	Grado de alteración	Observaciones
Sulfatos	0 - 1000	Despreciable	
Sulfatos	1000 - 2000	Moderado	Provoca una reacción química perjudicial en el concreto de la cimentación, afectando su integridad y desempeño estructural.
Sulfatos	2000 - 20000	Severo	
Sulfatos	> 20000	Muy severo	
Cloruros	> 6000	Perjudicial	Provoca la aparición de procesos de corrosión en las armaduras o componentes metálicos incorporados en la estructura.
Sales solubles totales	> 15000	Perjudicial	Provoca una disminución de la resistencia mecánica debido al proceso de lixiviación, en el cual se disuelven y arrastran componentes del material.

Conforme a los resultados obtenidos del análisis químico, se puede concluir los siguientes resultados; la presencia de sales solubles totales y cloruros están por debajo de los límites permisibles por lo cual no representó una amenaza para el concreto armado, sin embargo, la presencia de sulfatos es de 1,358.5 ppm, el cual se encuentra en el rango moderado por que representaba un problema para un posible ataque químico al concreto de cimentación.

En consecuencia, para el concreto de las cimentaciones se optó por emplear cemento Portland Tipo MH (R), debido a que estos elementos se encuentran en contacto directo con un suelo con presencia moderada de sulfatos. Por otro lado, en las estructuras no enterradas se utilizó cemento Portland Tipo I, al no estar expuestas a dicho agente agresivo.

4.2 Diseño de mezcla para cimentaciones

En referencia a los requerimientos metodológicos, se implementó un conjunto de operaciones técnicas orientadas a definir la dosificación idónea de la mezcla, atendiendo rigurosamente a las directrices prescritas en la norma ACI 211.

4.2.1 Ensayo de granulometría de los agregados

A partir del análisis granulométrico realizado al agregado grueso, se logró identificar que el tamaño máximo corresponde a 1” y que el tamaño máximo nominal es de 1/2”, respectivamente. En cuanto al Huso granulométrico que cumple es el 6 (3/4” - 3/8”)

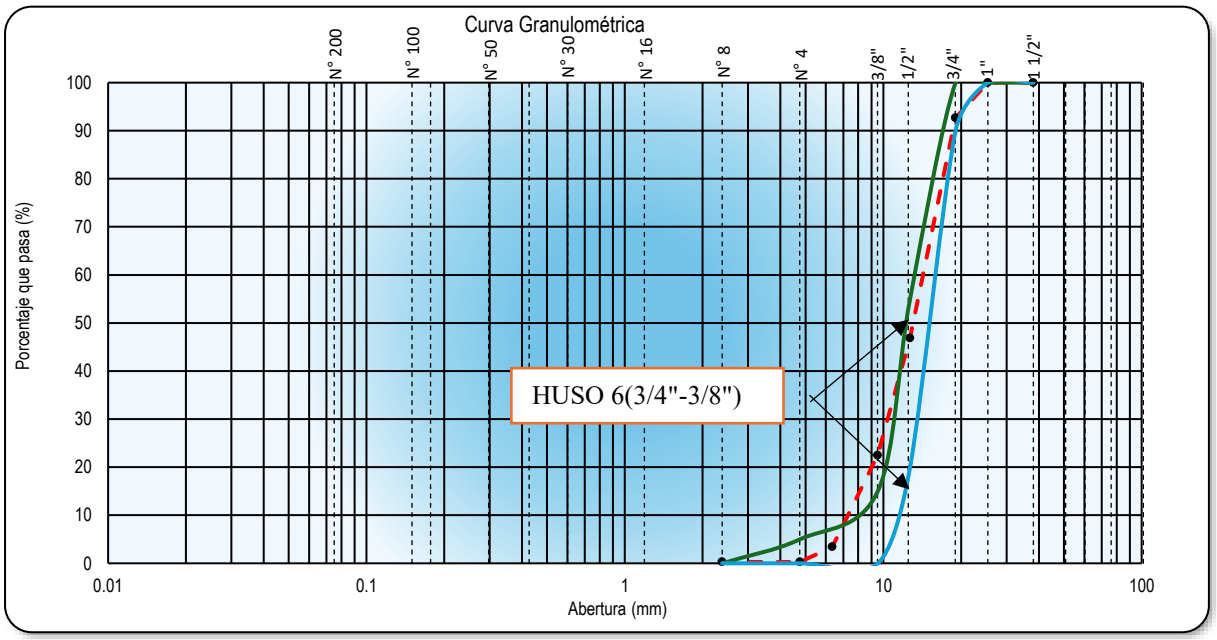
Tabla 12

Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2016).

Tamiz	AASHTO T-27 (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	Huso 6 (3/4" - 3/8")
1 1/2"	38,100	-	-	-	-	100
1"	25,400	-	-	-	100,00	100
3/4"	19,050	97,9	7,38	7,38	92,62	90 - 100
1/2"	12,700	607,4	45,79	53,17	46,83	20 - 55
3/8"	9,500	323,2	24,36	77,53	22,47	0 - 15
1/4"	6,350	253,0	19,07	96,61	3,39	-
N° 4	4,760	41,3	3,11	99,72	0,28	0 - 5
N° 8	2,380	-	-	99,72	0,28	-
N° 10	2,000	-	-	99,72	0,28	-
N° 16	1,190	-	-	99,72	0,28	-
N° 20	0,840	-	-	99,72	0,28	-
N° 100	0,149	-	-	99,72	0,28	-
N° 200	0,074	-	-	99,72	0,28	-
< N° 200	Fondo	3,7	0,28	100,00	-	-

Figura 4

Curva granulométrica del agregado grueso



A partir del estudio de la distribución de tamaños de partículas del agregado fino, se observó que este no cumple en su totalidad con la gradación establecida por la norma, siendo el huso C el recomendado para la elaboración de concreto. No obstante, conforme a lo indicado en la NTP 400.037 (Requisitos para los agregados para concreto), se permite el uso de agregados que no se ajusten estrictamente a la granulometría especificada, siempre que se demuestre que las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido son aceptables. En el presente caso, los resultados del ensayo de resistencia a la compresión a los 7 días evidenciaron valores satisfactorios, lo que permitió continuar con el desarrollo de los ensayos.

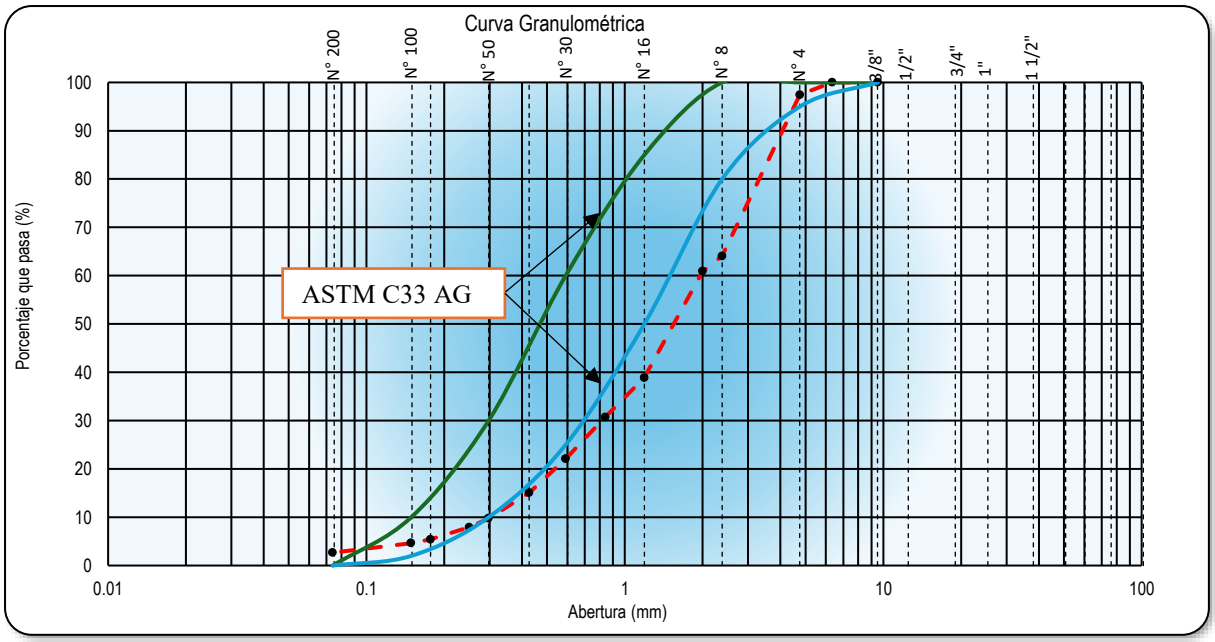
Tabla 13

Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 339.128, 2019).

Tamiz	AASHTO T-27 (Mm)	Peso Retenido (G)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Que Pasa	ASTM C33
1/2"	12,700	-	-	-	-	-
3/8"	9,525	-	-	-	100,00	100
1/4"	6,350	-	-	-	100,00	-
N° 4	4,760	12,4	2,55	2,55	97,45	95 - 100
N° 8	2,380	162,7	33,42	35,96	64,04	80 - 100
N° 10	2,000	15,3	3,14	39,10	60,90	-
N° 16	1,190	107,3	22,04	61,14	38,86	50 - 85
N° 20	0,840	39,7	8,15	69,30	30,70	-
N° 30	0,590	42,1	8,65	77,94	22,06	25 - 60
N° 40	0,426	34,2	7,02	84,97	15,03	-
N° 50	0,297	25,7	5,28	90,24	9,76	10 - 30
N° 60	0,250	8,9	1,83	92,07	7,93	-
N° 80	0,177	12,3	2,53	94,60	5,40	-
N° 100	0,149	3,6	0,74	95,34	4,66	2 - 10
N° 200	0,074	9,7	1,99	97,33	2,67	-
< N° 200	Fondo	13,0	2,67	100,00	-	-

Figura 5

Curva granulométrica del agregado fino



Del estudio granulométrico global realizado mediante la combinación de 50 % de agregado fino y 50 % de agregado grueso, se estableció que el tamaño máximo del agregado corresponde a 1” y el tamaño máximo nominal es de 1/2”. De igual manera, se verificó que la curva de gradación del agregado combinado se ubica dentro del rango granulométrico correspondiente a 3/4”, conforme a lo indicado en la NTP 400.037.

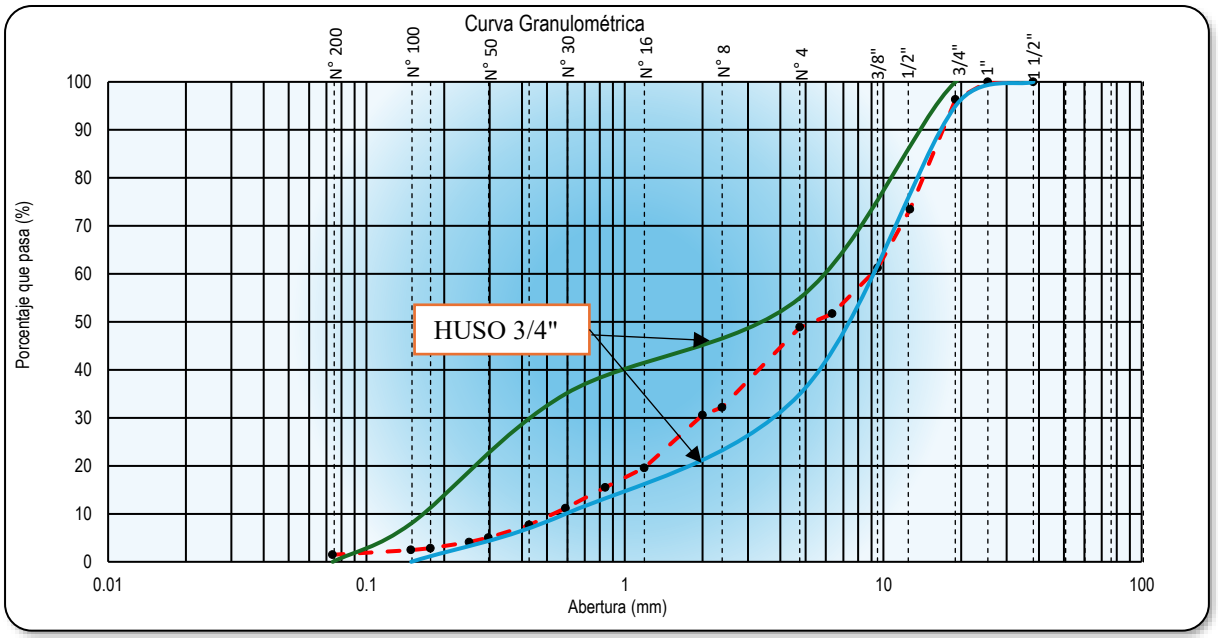
Tabla 14

Análisis granulométrico del agregado global (NTP 339.128, 2019).

Tamiz	AASHTO T-27 (Mm)	% Pasa (Ag)	% Pasa (Af)	Retenido Acumulado (%)	% Que Pasa	Especificación ASTM C33
2"	50,800	-	-	-	-	-
1 1/2"	38,100	-	-	-	100,00	100
1"	25,400	100,00	100,00	-	100,00	-
3/4"	19,050	92,62	100,00	3,7	96,31	95-100
1/2"	12,700	46,83	100,00	26,6	73,42	-
3/8"	9,525	22,47	100,00	38,8	61,23	-
1/4"	6,350	3,39	100,00	48,3	51,70	-
N° 4	4,760	0,28	97,45	51,1	48,87	35-55
N° 8	2,380	0,28	64,04	67,8	32,16	-
N° 10	2,000	0,28	60,90	69,4	30,59	-
N° 16	1,190	0,28	38,86	80,4	19,57	-
N° 20	0,840	0,28	30,70	84,5	15,49	-
N° 30	0,590	0,28	22,06	88,8	11,17	10-35
N° 40	0,426	0,28	15,03	92,3	7,66	-
N° 50	0,297	0,28	9,76	95,0	5,02	-
N° 60	0,250	0,28	7,93	95,9	4,10	-
N° 80	0,177	0,28	5,40	97,2	2,84	-
N° 100	0,149	0,28	4,66	97,5	2,47	0-8
N° 200	0,074	0,28	2,67	98,5	1,47	-
< N° 200	Fondo	-	-	100,00	-	-

Figura 6

Curva granulométrica de los agregados global



Por ello, en el siguiente cuadro se puede mostrar el resumen de las pruebas realizadas al agregado grueso y fino.

Tabla 15

Resumen del ensayo granulométrico a los agregados gruesos y finos.

Agregado	Tamaño Máximo TM	Tamaño Máximo Nominal TMN	Módulo de Fineza	Superficie específica (cm²/g)	Porcentaje > N° 4 (%)	Porcentaje N° 4 > (%) > N° 200	Porcentaje de Finos (%)
Agregado Grueso	1"	1/2"	6,83	1,91	99,7	0,0	0,28
Agregado Fino	--	--	3,63	47,52	2,5	94,8	2,67
Agregado Global	1"	1/2"	5,2	--	51,1	47,4	1,47

4.2.2 Ensayo de peso unitario de los agregados

En relación con el peso unitario suelto seco (PUSS) y el peso unitario compactado seco (PUCS) del agregado fino, tenemos los siguientes resultados, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el MTC E 203-2016.

Tabla 16

Resumen de los pesos unitarios del agregado fino.

Agregado Fino – Peso Unitario Suelto Seco (PUSS)				
Nº de ensayo	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**
A	Peso Molde (gr)	1834,0	1834,0	1834,0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	6392,0	6401,0	6410,0
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B) - (A)	4558,0	4567,0	4576,0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2831,7	2831,7	2831,7
E	Peso Unitario Suelto Seco (kg/m^3) = (C)/(D)	1610	1613	1616
PROMEDIO PUSS (kg/m^3):			1613	
Peso Unitario Compactado Seco (PUCS) – Método Del Apisonado				
Nº de ensayo	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**
A	Peso Molde (gr)	1834,0	1834,0	1834,0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	6613,0	6622,0	6605,0
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B) - (A)	4779,0	4788,0	4771,0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2831,7	2831,7	2831,7
E	Peso Unitario Compactado Seco (kg/m^3) = (C)/(D)	1688	1691	1685
PROMEDIO PUCS (kg/m^3):			1688	

En caso del PUSS y el PUCS del agregado grueso, tenemos los siguientes resultados, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el MTC E 203-2016.

Tabla 17

Resumen de los pesos unitarios del agregado grueso.

Agregado Fino – Peso Unitario Suelto Seco (PUSS)				
Nº de ensayo	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**
A	Peso Molde (gr)	1834,0	1834,0	1834,0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	5873,0	5881,0	5885,0
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B) - (A)	4039,0	4047,0	4051,0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2831,7	2831,7	2831,7
E	Peso Unitario Suelto Seco (kg/m^3) = (C)/(D)	1426	1429	1431
Promedio PUSS (kg/m^3):			1429	
Peso Unitario Compactado Seco (PUCS) – Método Del Apisonado				
Nº de ensayo	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**
A	Peso Molde (gr)	1834,0	1834,0	1834,0
B	Peso Agregado + Molde (gr)	6106,0	6116,0	6125,0
C	Peso Agregado Suelto (gr) = (B) - (A)	4272,0	4282,0	4291,0
D	Volumen del Molde (cm^3)	2831,7	2831,7	2831,7
E	Peso Unitario Compactado Seco (kg/m^3) = (C)/(D)	1509	1512	1515
Promedio PUCS (kg/m^3):			1512	

4.2.3 Ensayo de peso específico y absorción de agregados

El ensayo de peso específico y porcentaje de absorción, fueron realizados en base a la NTP 400.021, donde los agregados fueron sumergidos en agua durante 24 horas, para medir su capacidad de absorción y el peso específico nominal.

Tabla 18

Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso.

Identificación					
Ítem	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**	**Promedio**

A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	1630,10	1833,10	—	—
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	1667,80	1883,50	—	—
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	1011,00	1138,00	—	—
—	Peso Específico Aparente = A / (B - C)	2,48	2,46	—	2,47
—	Peso Específico Aparente SSS = B / (B - C)	2,54	2,53	—	2,53
—	Peso Específico Nominal = A / (A - C)	2,63	2,64	—	2,64
—	% de Absorción = ((B - A) / A) × 100	2,31	2,75	—	2,53

Tabla 19

Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino.

Agregado Fino (MTC E 205 - 2016) – Identificación					
Ítem	**Descripción**	**Ensayo N° 01**	**Ensayo N° 02**	**Ensayo N° 03**	**Promedio**
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	278,40	284,70	—	—
B	Peso del picnómetro aforado lleno de agua (gr)	656,50	654,70	—	—
C	Peso del picnómetro con la muestra y agua (gr)	831,00	833,10	—	—
D (S)	Peso de la muestra en SSS (gr)	285,80	292,40	—	—
—	Peso Específico Aparente = A / (B - C + S)	2,50	2,50	—	2,50
—	Peso Específico Aparente SSS = S / (B - C + S)	2,57	2,56	—	2,57
—	Peso Específico Nominal = A / (A - C + B)	2,68	2,68	—	2,68

—	% de Absorción = ((S - A) / A) × 100	2,66	2,70	—	2,68

4.2.4 Ensayo de contenido de humedad

Los parámetros correspondientes al contenido de humedad, la absorción efectiva y la humedad superficial están condicionados por diversos factores, entre los que destacan las condiciones de almacenamiento de los agregados, las variaciones climáticas y otros aspectos que inciden en la cantidad de agua retenida en sus partículas. Para el desarrollo del presente diseño de mezcla, se empleó la misma muestra de agregados que fue utilizada previamente en la realización de los ensayos de laboratorio, garantizando un adecuado almacenamiento con el fin de no alterar su contenido de humedad y mantener condiciones representativas y consistentes de las muestras ensayadas.

Tabla 20

Resumen contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial del agregado grueso.

	Identificación	**Agregado grueso**	
A	Peso Húmedo de la muestra (gr)	1821,90	2019,20
B	Peso Seco de la muestra (gr)	1805,30	2000,94
C	Peso del agua en la muestra (gr)	16,60	18,26
D	% de absorción	—	2,53
—	Contenido de Humedad (%)	0,9	0,9
—	Contenido de Humedad (%) (Prom.)	—	0,9
—	Absorción Efectiva (%)	—	1,62
—	Humedad Superficial (%)	—	—

Tabla 21

Resumen contenido de humedad, absorción efectiva y humedad superficial del agregado fino.

	Identificación	**Agregado fino**	
A	Peso Húmedo de la muestra (gr)	589,80	615,67

B	Peso Seco de la muestra (gr)	564,90	590,15
C	Peso del agua en la muestra (gr)	24,90	25,52
D	% de absorción	—	2,68
—	Contenido de Humedad (%)	4,4	4,3
—	Contenido de Humedad (%) (Prom.)	—	4,4
—	Absorción Efectiva (%)	—	—
—	Humedad Superficial (%)	—	1,68

4.2.5 Porcentaje de vacíos

Tabla 22

Resumen porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino.

	Identificación	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso unitario suelto seco (g/cm³)	1429	1613
B	Peso unitario compactado seco (g/cm³)	1512	1688
C	Gravedad específica de masa	2,47	2,5
D	Peso de los sólidos (g)	2470	2499
	Porcentaje de vacíos (%) – estado suelto	42,2	35,5
	Porcentaje de vacíos (%) – estado varillado	38,8	32,5

4.2.6 Parámetros de diseño del concreto

Resistencia promedio requerida (f'cr)

- Resistencia de diseño: 210 kg/cm²
- Factor de seguridad: 84
- Resistencia requerida: 294 kg/cm²

Tipo de cemento

- Marca: Andino Forte
- Tipo: MH (R)
- Densidad: 2.95 g/cm3

Agregados

Tabla 23

Resumen de las propiedades físicas de los agregados.

Propiedad	A. Fino	A. Grueso
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	1/2”
Módulo de Fineza	3.63	6.83
Peso unitario suelto seco	1613 kg/m³	1429 kg/m³
Peso unitario compactado seco	1688 kg/m³	1512 kg/m³
Peso específico	2.68 g/cm³	2.64 g/cm³
Contenido de humedad	4.37%	0.92%
Absorción	2.68%	2.53%
PUSH	1683 kg/m³	1442 kg/m³

Slump

- Mezcla plástica: 3” – 4”

Cantidad de aire

- Aire total atrapado: 2.5%

Cantidad de agua

- Volumen unitario de agua: 216 Lt/m^3

Cálculo de relación a/c

- Relación de agua/cemento: 0.57

Factor cemento

- Factor cemento: 377.84 kg/m^3 o 8.89 bls/m^3

Aditivos

- Aditivo impermeabilizante líquido SikaCem (dosificación al 1%)

4.2.7 Proporción por m3 de concreto para cimentaciones

A continuación, se muestra el diseño de mezcla obtenido mediante cálculo. Las proporciones fueron ajustadas teniendo en cuenta la humedad presente en los agregados al momento de la toma de muestras, con el fin de garantizar una dosificación más precisa.

Asimismo, se muestran las proporciones del diseño de mezcla dosificadas en peso para 1 m³ de concreto, incluyendo la incorporación de un aditivo impermeabilizante con una dosificación del 1%.

Tabla 24

Proporción en peso, por m3 de concreto para mezclas plásticas.

Resistencia de diseño (kg/cm²)	Cemento (kg/m3)	Agua (Lt/m³)	Agregado grueso (kg/m³)	Agregado fino (kg/m³)	Aditivo Impermeab. (kg/m³)
210	377.84	207.17	710.77	1017.22	3.78

4.3 Diseño de mezcla para columnas y vigas

Considerando que el estudio de mecánica de suelos determinó condiciones particulares para el diseño de las cimentaciones, también se incluyeron lineamientos aplicables a elementos estructurales que no están en contacto directo con el terreno. A partir de ello, se elaboró un segundo diseño de mezcla orientado específicamente a componentes como columnas y vigas.

4.3.1 Ensayo de granulometría de los agregados

Del análisis granulométrico se pudo determinar el TM y el TMN del agregado grueso es de 1” y 1/2” respectivamente. En cuanto al Huso granulométrico que cumple es el 6 (3/4” - 3/8”).

Tabla 25

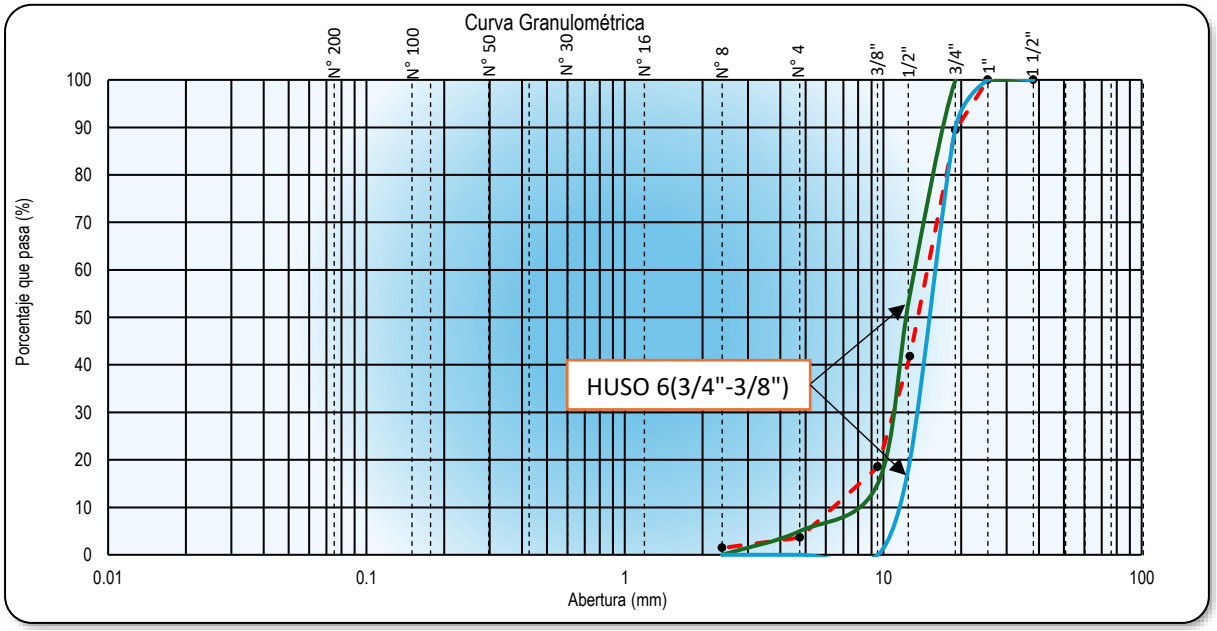
Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2016).

Malla	Abertura (mm)	Material retenido (g)		Porcentajes acumulados		Especificaciones	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C33, HUSO 6	
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,00	4933,00	10,58	10,58	89,42	90	100
1/2"	12,50	22220,00	47,65	58,23	41,77	20	55
3/8"	9,50	10871,00	23,31	81,54	18,46	0	15
Nº 4	4,75	6922,00	14,84	96,38	3,62	0	5

Nº 8	2,36	1016,00	2,18	98,56	1,44	0	0
Fondo	0,00	321,00	0,69	99,25	0,75	-	
Lavado	-	350,00	0,75	100,00	0,00	-	

Figura 7

Curva granulométrica del agregado grueso



A partir del análisis granulométrico del agregado fino, se determinó que este presenta una distribución de partículas que, en su mayor parte, se ajusta a los rangos establecidos por la normativa vigente, identificándose al huso C como el más adecuado para su empleo en la elaboración de concreto.

Tabla 26

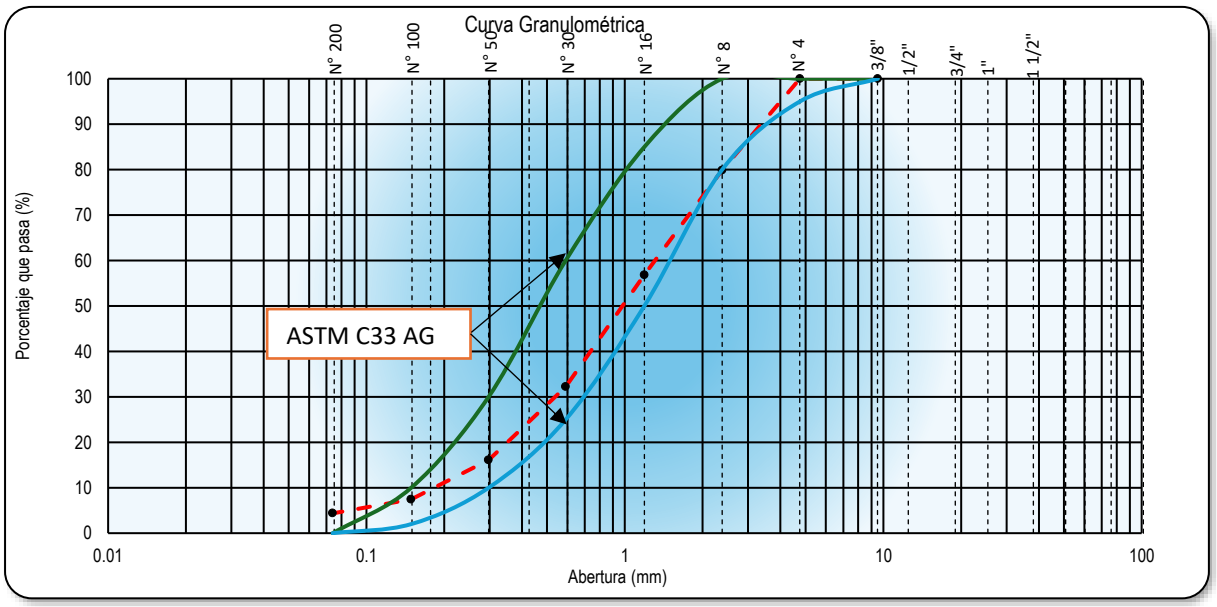
Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 339.128, 2019).

Malla	Abertura (mm)	Material retenido (g)		Porcentajes acumulados		Especificaciones	
		(gr)	(%)	Retenido	Pasa	ASTM C33	
3"	75,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1 1/2"	38,10	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
1/2"	12,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100

Nº 4	4,75	0,00	0,00	0,00	100,00	95	100
Nº 8	2,34	5631,93	20,16	20,16	79,84	80	100
Nº 16	1,18	6432,81	23,03	43,19	56,81	50	85
Nº 30	0,60	6874,87	24,61	67,80	32,21	25	60
Nº 50	0,30	4500,64	16,11	83,91	16,10	10	30
Nº 100	0,15	2425,86	8,68	92,59	7,41	2	10
Nº 200	0,07	852,50	3,05	95,64	4,36	0	0
Fondo	-	46,46	0,17	95,81	4,19	0	0
Lavado	-	1171,95	4,19	100,00	0,00	-	-

Figura 8

Curva granulométrica del agregado fino



A partir del análisis granulométrico total, al emplear una mezcla compuesta por 48 % de agregado fino y 52 % de agregado grueso, se estableció que el tamaño máximo del agregado corresponde a 1 pulgada, mientras que el tamaño máximo nominal es de 1/2 pulgada.

Tabla 27

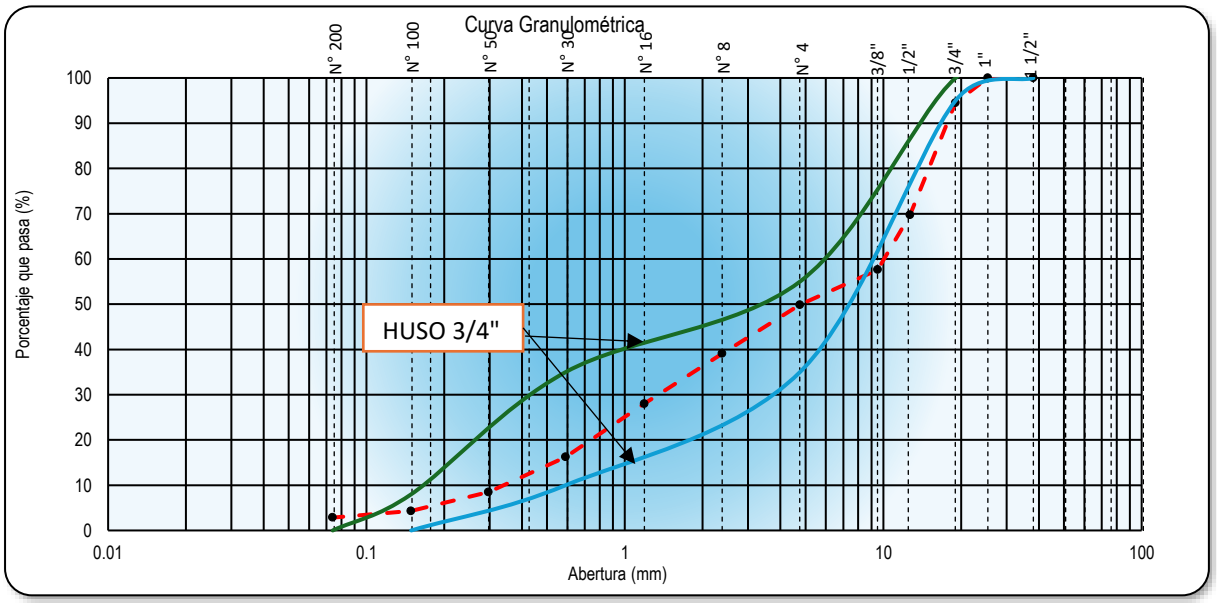
Análisis granulométrico del agregado global (NTP 339.128, 2019).

Malla	Abertura (mm)	% pasa (AG)	% pasa (AF)	% Retenido Acumul.	% pasa	Huso 3/4"
1 1/2"	38.1	100.00	100.00	0.0	100.00	100
1"	25	100.00	100.00	0.0	100.00	
3/4"	19	89.42	100.00	5.5	94.50	95-100
1/2"	12.5	41.77	100.00	30.3	69.72	

3/8"	9.5	18.46	100.00	42.4	57.60	
N°4	4.75	3.62	100.00	50.1	49.88	35-55
N°8	2.34	1.44	79.84	60.9	39.07	
N°16	1.18	1.44	56.81	72.0	28.02	
N°30	0.6	1.44	32.21	83.8	16.21	10-35
N°50	0.3	1.44	16.10	91.5	8.47	
N°100	0.15	1.44	7.41	95.7	4.31	0-8
N°200	0.074	1.44	4.36	97.2	2.84	
< N°200	Fondo	0.75	4.19	97.6	2.40	
	Lavado	0.0	0.00	100.0	-	

Figura 9

Curva granulométrica del agregado global



4.3.2 Ensayo de peso unitario de los agregados

En caso del PUSS y el PUCS del agregado fino, tenemos los siguientes resultados, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el MTC E 203-2016.

Tabla 28

Resumen de los pesos unitarios del agregado fino.

Agregado Fino	
Peso Unitario Suelto Seco (PUSS)	
Promedio PUSS (kg/m3)	1521.54
Peso Unitario Compactado Seco (PUSS)	
Promedio PUCS (kg/m3)	1648.24

En caso del PUSS y el PUCS del agregado grueso, tenemos los siguientes resultados, de acuerdo con los procedimientos establecidos en el MTC E 203-2016.

Tabla 29

Resumen de los pesos unitarios del agregado grueso.

Agregado Grueso	
Peso Unitario Suelto Seco (PUSS)	
Promedio PUSS (kg/m3)	1430.67
Peso Unitario Compactado Seco (PUSS)	
Promedio PUCS (kg/m3)	1551.59

4.3.3 Ensayo de peso específico y absorción de agregados

El ensayo de peso específico y porcentaje de absorción, fueron realizados en base a la NTP 400.021, donde los agregados fueron sumergidos en agua durante 24 horas, para medir su capacidad de absorción y el peso específico nominal.

Tabla 30

Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado grueso.

Estructura	**Diseño 22/05/2025**	**Diseño 22/05/2025**
Fecha de Ensayo	22/05/2025	22/05/2025
Peso de la muestra superficialmente seca (Wmsss)	1121,24	1022,50
Peso canastilla en agua	144,30	143,50
Peso de canastilla en agua + Wmsss	828,70	767,80
Peso muestra seca en horno	1097,83	1001,19
Peso Específico de Masa	2,513	2,514
Peso Específico Saturado	2,57	2,57
Peso de vacíos	23,41	21,31
Peso Específico Aparente	2,655	2,656
% de absorción	2,13	2,13
Promedio Específico		2,514
Promedio Absorción		2,130

Tabla 31

Resumen de los pesos específicos y porcentaje de absorción del agregado fino.

N° de ensayos	**1**	**2**
Estructura	Concreto	Concreto
Fecha de Ensayo	22/05/2025	22/05/2025
Wmuestra SSS (S)	500	500
WFiola + 500 ml. de Agua (B)	1454,9	1457,33
WFiola + W muestra + WAgua	1954,9	1957,33
Wmuestra SSS + Fiola + Agua (C)	1759,8	1762,12
Wmuestra seco horno a 105 °C (A)	486,2	486,3
Vmuestra + Aire	195,1	195,21
Vaire	13,8	13,72
V. masa	181,26	181,49
P.E. masa	2,493	2,491
P.E. SSS	2,563	2,561
P.E. aparente	2,682	2,679
% Absorción	2,838	2,821
Promedio Específico		2,492
Promedio Absorción		2,830

4.3.4 Ensayo de contenido de humedad

Para el presente diseño de mezcla, se utilizó la misma muestra empleada en la ejecución de los ensayos, garantizando un adecuado almacenamiento con el fin de no alterar su contenido de humedad y mantener condiciones representativas y consistentes de las muestras ensayadas.

Tabla 32

Resumen contenido de humedad de los agregados

Contenido De Humedad	
Agregado grueso	
Promedio contenido de humedad	0.83 %
Agregado fino	
Promedio contenido de humedad	4.33 %

4.3.5 Porcentaje de vacíos

Tabla 33

Resumen porcentaje de vacíos del agregado grueso y fino.

	Identificación	Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso unitario suelto seco (g/cm³)	1431	1522
B	Peso unitario compactado seco (g/cm³)	1552	1648
C	Gravedad específica de masa	2,51	2,49
D	Peso de los sólidos (g)	2514	2492
	Porcentaje de vacíos (%) – estado suelto	43.08	38,92
	Porcentaje de vacíos (%) – estado varillado	38,27	33,87

4.3.6 Parámetros de diseño del concreto

Resistencia promedio requerida (f'cr)

- Resistencia de diseño: 210 kg/cm²
- Factor de seguridad: 54
- Resistencia requerida: 264 kg/cm²

Tipo de cemento

- Marca: Andino Premium
- Tipo: I
- Densidad: 3.18 g/cm3

Agregados

Tabla 34

Resumen de las propiedades físicas de los agregados.

Propiedad	A. Fino	A. Grueso
Tamaño Máximo Nominal (TMN)	-	1/2"
Módulo de Fineza	3.08	0.75
Peso unitario suelto seco	1522 kg/m³	1431 kg/m³

Peso unitario compactado seco	1648 kg/m³	1552 kg/m³
Peso específico	2.49 g/cm³	2.51 g/cm³
Contenido de humedad	4.33%	0.83%
Absorción	2.83%	2.13%

Slump

- Mezcla plástica: 3" – 4"

Cantidad de aire

- Aire total atrapado: 2.0%

Cantidad de agua

- Volumen unitario de agua: 237 Lt/m^3

Cálculo de relación a/c

- Relación de agua/cemento: 0.64

Factor cemento

- Factor cemento: 372 kg/m^3 o 8.75 bls/m^3

Aditivos

- Sin aditivo

4.3.7 Proporción por m3 de concreto para columnas y vigas

A continuación, se expone el diseño de mezcla obtenido, en el cual las proporciones han sido ajustadas en función del contenido de humedad presente en los agregados al momento de la toma de muestras. De igual manera, se detallan las dosificaciones finales expresadas en peso para la elaboración de 1 m³ de concreto.

Tabla 35

Proporción en peso, por m3 de concreto para mezclas plásticas.

Resistencia de diseño (kg/cm²)	Cemento (kg/ m^3)	Agua (Lt/m^3)	Agregado grueso (kg/m^3)	Agregado fino (kg/m^3)	Aditivo Impermeab. (kg/m^3)
210	372	237.20	905.05	873.54	No aplica

4.4 Producción del concreto

En esta etapa de resultados se presenta la dosificación de los materiales empleados en la elaboración de la mezcla de concreto para cada día y para cada tipo de curado.

4.4.1 Dosificación en campo para ensayo en columnas

En el caso de las columnas, se fabricaron 15 probetas por día durante cuatro días consecutivos; los moldes utilizados fueron de tipo cilíndrico de 4" × 8". Para esta dosificación en campo, se usó el diseño de mezcla correspondiente a columnas y vigas, descrito ítem 4.3.

Tabla 36

Metrado del volumen de especímenes del ensayo.

Especímenes Cilíndricos de 4¨x 8¨						
Muestra	**Radio (m)**	**Alto (m)**	**Cantidad (und)**	**Volumen (m3)**	**Volumen con 4% de desperdicio**	**Tipo de curado**
A -1 al A -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0257	Inmersión en agua
B -1 al B -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0257	Rociado con agua
C -1 al C -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0257	Curado químico
D -1 al D -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0257	Curado interno
				Total	**0.1028**	

Tabla 37

Proporción en peso, para 0.0257 m3 de concreto.

Resistencia de diseño (kg/cm²)	**Cemento (kg)**	**Agua (Lt)**	**Agregado grueso (kg)**	**Agregado fino (kg)**
210	9.56	6.09	23.26	22.47

4.4.2 Dosificación en campo para ensayo en vigas

En el caso de las vigas, se fabricaron 9 especímenes por día durante cuatro días consecutivos; los moldes utilizados fueron de tipo prismáticos de 15cm x 15cm x 54cm. Para esta dosificación en campo, se usó el diseño de mezcla correspondiente a columnas y vigas, descrito ítem 4.3.

Tabla 38

Metrado del volumen de especímenes del ensayo.

Especímenes Prismáticos de 15 cm x 15cm x 54 cm							
Muestra	**Ancho (m)**	**Alto (m)**	**Largo (m)**	**Cantidad (und)**	**Volumen (m3)**	**Volumen con 4% de desperdicio**	**Tipo de curado**
E -1 al E -9	0.15	0.15	0.54	9	0.1094	0.1137	Inmersión en agua
F -1 al F -9	0.15	0.15	0.54	9	0.1094	0.1137	Rociado con agua
G -1 al G -9	0.15	0.15	0.54	9	0.1094	0.1137	Curado químico
H -1 al H -9	0.15	0.15	0.54	9	0.1094	0.1137	Curado interno
					Total (m3)	**0.4549**	

Tabla 39

Proporción en peso, para 0.1137 m3 de concreto.

Resistencia de diseño (kg/cm²)	**Cemento (kg)**	**Agua (Lt)**	**Agregado grueso (kg)**	**Agregado fino (kg)**
210	42.31	26.95	102.92	99.39

4.4.3 Dosificación en campo para ensayo en cimentaciones

En el caso de las cimentaciones, se fabricaron 15 probetas por día durante cuatro días consecutivos; los moldes utilizados fueron de tipo cilíndrico de 4” × 8”. Para esta dosificación en campo, se usó el diseño de mezcla correspondiente a cimentaciones, descrito ítem 4.2.

Tabla 40

Metrado del volumen de especímenes del ensayo.

Especímenes Cilíndricos de 4¨x 8¨						
Muestra	**Radio (m)**	**Alto (m)**	**Cantidad (und)**	**Volumen (m3)**	**Volumen con 5% de desperdicio**	**Tipo de curado**
A' -1 al A' -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0259	Inmersión en agua
B' -1 al B' -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0259	Rociado con agua
C' -1 al C' -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0259	Curado químico
D' -1 al D' -15	0.0508	0.2032	15	0.0247	0.0259	Curado interno
				Total	**0.1036**	

Tabla 41

Proporción en peso, para 0.0259 m3 de concreto.

Resistencia de diseño (kg/cm²)	**Cemento (kg)**	**Agua (Lt)**	**Agregado grueso (kg)**	**Agregado fino (kg)**	**Aditivo Impermeab. (kg)**
210	9.80	5.38	18.44	26.39	0.098

4.4.4 Cronograma de elaboración del concreto y edades de rotura.

En la primera fase de producción, se fabricó los especímenes orientados a los elementos estructurales de columnas y vigas, de acuerdo con las dosificaciones establecidas en los ítems 4.4.1 y 4.4.2, según corresponda.

Tabla 42

Cronograma de elaboración de especímenes en la primera fase.

2025		**Mayo**	
Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
27	**28**	**29**	**30**
Fabricación: 15 probetas y 9 Vigas	Fabricación: 15 probetas y 9 Vigas	Fabricación: 15 probetas y 9 Vigas	Fabricación: 15 probetas y 9 Vigas

Tabla 43

Cronograma de ensayos a edades 7,14 y 28 días en la primera fase.

2025		**Junio**	
Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
03	**04**	**05**	**06**
Rotura a los 7 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 7 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 7 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 7 días: 5 probetas y 3 vigas
10	**11**	**12**	**13**
Rotura a los 14 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 14 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 14 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 14 días: 5 probetas y 3 vigas
24	**25**	**26**	**27**
Rotura a los 28 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 28 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 28 días: 5 probetas y 3 vigas	Rotura a los 28 días: 5 probetas y 3 vigas

En la segunda fase de producción, se fabricó los especímenes orientados a los elementos estructurales de cimentaciones, de acuerdo con la dosificación establecida en el ítem 4.4.3.

Tabla 44

Cronograma de elaboración de especímenes en la segunda fase.

2025		**Julio**	
Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
01	**02**	**03**	**04**
Elaboración de: 15 probetas	Elaboración de: 15 probetas	Elaboración de: 15 probetas	Elaboración de: 15 probetas

Tabla 45

Cronograma de ensayos a edades 7,14 y 28 días en la segunda fase.

2025		**Julio- Agosto**	
Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
08	**09**	**10**	**11**
Rotura a los 7 días: 5 probetas	Rotura a los 7 días: 5 probetas	Rotura a los 7 días: 5 probetas	Rotura a los 7 días: 5 probetas
15	**16**	**17**	**18**

Rotura a los 14 días: 5 probetas	Rotura a los 14 días: 5 probetas	Rotura a los 14 días: 5 probetas	Rotura a los 14 días: 5 probetas
29	**30**	**31**	**01**
Rotura a los 28 días: 5 probetas	Rotura a los 28 días: 5 probetas	Rotura a los 28 días: 5 probetas	Rotura a los 28 días: 5 probetas

4.4.5 Control de calidad del concreto fresco

Previo al vaciado del concreto en los moldes, se realizaron ensayos de control de calidad en estado fresco, tales como la medición del asentamiento (slump), control de temperatura y verificación visual de la homogeneidad, con el fin de garantizar que la mezcla cumpla con las condiciones establecidas en el diseño. En caso del slump se obtuvo un promedio de 3.4 pulgadas en los ensayos con el cono de abrams y en la temperatura en un promedio 17 °C, completado todo este control se procedió con el vaciado de concreto en los moldes cilíndricos y prismáticos.

4.4.6 Control de curado de especímenes de concreto

Tabla 46

Resumen de tipos de curados aplicado a las muestras en la primera fase.

Tipos de curado aplicados a las muestras – Primera fase				
Fecha de elaboración del concreto	27-May	28-May	29-May	30-May
Muestras cilíndricas	A -1 al A -15	B -1 al B -15	C -1 al C -15	D -1 al D -15
Muestras prismáticas	E -1 al E -9	F -1 al F -9	G -1 al G -9	H -1 al H -9
Tipo de curado	Inmersión en agua	Rociado con agua	Curado químico	Curado interno

Tabla 47

Resumen de tipos de curados aplicado a las muestras en la segunda fase.

Tipos de curado aplicados a las muestras – Segunda fase				
Fecha de elaboración del concreto	01-Jul	02-Jul	03-Jul	04-Jul
Muestras cilíndricas	A' -1 al A' -15	B' -1 al B' -15	C'-1 al C' -15	D' -1 al D' -15
Tipo de curado	Inmersión en agua	Rociado con agua	Curado químico	Curado interno

4.4.6.1. Curado sumergido en agua

Primera fase

Las muestras cilíndricas fueron desmoldadas a las 24 horas de ser elaboradas y por consiguiente se sumergió en dos tinas, asegurando su inmersión total.

Tabla 48

Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
A -1 al A -5	27-May	28-May	28-May	03-Jun	6 días
A -6 al A -10	27-May	28-May	28-May	10-Jun	13 días
A -11 al A -15	27-May	28-May	28-May	24-Jun	27 días

El volumen de agua requerido para la ejecución de este tipo de curado se determinó de la siguiente manera.

Tabla 49

Cálculo del volumen total de las probetas.

Pozo de curado	Cantidad de muestras en el pozo (und)	Volumen parcial de muestra (m3)	Volumen Total (m3)
Tina 1	10	0.0016	0.0165
Tina 2	5	0.0016	0.0082
		Total	**0.0247**

Se calculó la equivalencia del volumen total de las probetas en un volumen cilíndrico adaptado a la tina, con ello se obtuvo la altura del volumen ocupado únicamente por las muestras. Posteriormente, este valor se restó de la altura total del nivel de agua (espejo de agua), con el fin de determinar la altura efectiva correspondiente únicamente al volumen de agua.

Tabla 50

Cálculo del volumen de agua empleado.

Dimensiones	**Tina 1**	**Tina 2**	
Diámetro Interior	0.50m	0.35m	
Alto solo Agua	**0.15m**	**0.14m**	
Alto solo Muestra	0.08m	0.09m	
Espejo de Agua	0.23m	0.23m	
Volumen Agua Empleado	0.02945m3	0.01347m3	**0.043m3**

Las muestras prismáticas fueron desmoldadas a las 24 horas de ser elaboradas y por consiguiente se sumergió una piscina, asegurando su inmersión total.

Tabla 51

Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra.

Muestras	**Fecha de elaboración**	**Desmoldado**	**Inicio de curado**	**Fin de curado**	**Tiempo de curado**
E -1 al E-3	27-May	28-May	28-May	03-Jun	6 días
E -4 al E-6	27-May	28-May	28-May	10-Jun	13 días
E -7 al E-9	27-May	28-May	28-May	24-Jun	27 días

La cantidad de agua necesaria para llevar a cabo este tipo de curado fue calculada mediante el procedimiento que se detalla a continuación.

Tabla 52

Cálculo del volumen total de las probetas.

Pozo de curado	**Cantidad de muestras en el pozo (und)**	**Volumen parcial de muestra (m3)**	**Volumen Total (m3)**

Piscina	9	0.0122	0.1094
		Total	**0.1094**

Tabla 53

Cálculo del volumen de agua empleado.

Dimensiones	**Piscina**
Diámetro Interior	1.68
Alto solo Agua	**0.13**
Alto solo Muestra	0.05
Espejo de Agua	0.18
Volumen Agua Empleado	**0.288m3**

Segunda fase

Las muestras cilíndricas fueron desmoldadas a las 24 horas de ser elaboradas y por consiguiente se sumergió en dos tinas, asegurando su inmersión total.

Tabla 54

Control del tiempo de curado que permaneció cada muestra.

Muestras	**Fecha de elaboración**	**Desmoldado**	**Inicio de curado**	**Fin de curado**	**Tiempo de curado**
A' -1 al A' -5	01-Jul	02-Jul	02-Jul	08-Jul	6 días
A' -6 al A' -10	01-Jul	02-Jul	02-Jul	15-Jul	13 días
A' -11 al A' -15	01-Jul	02-Jul	02-Jul	29-Jul	27 días

La cantidad de agua necesaria para realizar este tipo de curado fue calculada conforme al procedimiento que se detalla a continuación.

Tabla 55

Cálculo del volumen total de las probetas.

Pozo de curado	**Cantidad de muestras en el pozo (und)**	**Volumen parcial de muestra (m3)**	**Volumen Total (m3)**
Tina 1	10	0.0016	0.0165
Tina 2	5	0.0016	0.0082
		Total	**0.0247**

Tabla 56

Cálculo del volumen de agua empleado.

Dimensiones	Tina 1	Tina 2	
Diámetro Interior	0.50m	0.35m	
Alto solo Agua	**0.15m**	**0.14m**	
Alto solo Muestra	0.08m	0.09m	
Espejo de Agua	0.23m	0.23m	
Volumen Agua Empleado	0.02945m3	0.01347m3	**0.043m3**

4.4.6.2. Curado por rociado con agua.

Primera fase

Las muestras cilíndricas fueron desmoldadas a las 24 horas de su elaboración; posteriormente, se sometieron a un curado por rociado, aplicando agua cinco veces al día durante un período de siete días, con el fin de garantizar una hidratación continua del concreto.

Tabla 57

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
B -1 al B -5	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días
B -6 al B -10	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días
B -11 al B -15	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días

Para este tipo de curado por rociado, se hizo un control de caudal por cada vez que se aplicó el agua sobre la superficie de la muestra, el tiempo de riego en forma de lluvia fue de 10 minutos por cada aplicación.

Tabla 58

Cálculo del volumen de agua empleado.

Muestras Cilíndricas I - Columnas									
Fechas	**Caudal (lt/s)**	**Tiempo (s)**	**7:00 a. m.**	**10:00 a. m.**	**1:00 p. m.**	**4:00 p. m.**	**7:00 p. m.**	**Consumo (lt)**	**Consumo (m3)**
29/05/2025	0.08	600.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	225.00	**0.2250**
30/05/2025	0.07	600.00	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	212.50	**0.2125**
31/05/2025	0.07	600.00	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	212.50	**0.2125**

01/06/2025	0.07	600.00	43.50	43.50	43.50	43.50	43.50	217.50	**0.2175**
02/06/2025	0.07	600.00	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	220.00	**0.2200**
03/06/2025	0.07	600.00	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	222.50	**0.2225**
04/06/2025	0.06	600.00	34.50	34.50	34.50	34.50	34.50	172.50	**0.1725**
									1.4825

Las muestras prismáticas fueron desmoldadas a las 24 horas de ser elaboradas y por consiguiente se procedió con el curado por rociado con agua.

Tabla 59

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
F -1 al F -3	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días
F -4 al F -6	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días
F -7 al F -9	28-May	29-May	29-May	04-Jun	7 días

El volumen de agua requerido para la ejecución de este tipo de curado se determinó de la siguiente manera.

Tabla 60

Cálculo del volumen de agua empleado.

Muestras Prismáticas I - Vigas									
Fechas	**Caudal (lt/s)**	**Tiempo (s)**	**7:00 a. m.**	**10:00 a. m.**	**1:00 p. m.**	**4:00 p. m.**	**7:00 p. m.**	**Consumo (lt)**	**Consumo (m3)**
29/05/2025	0.19	600.00	115	115	115	115	115	575.00	0.58
30/05/2025	0.18	600.00	110	110	110	110	110	550.00	0.55
31/05/2025	0.20	600.00	120	120	120	120	120	600.00	0.60
01/06/2025	0.19	600.00	115	115	115	115	115	575.00	0.58
02/06/2025	0.20	600.00	120	120	120	120	120	600.00	0.60
03/06/2025	0.18	600.00	110	110	110	110	110	550.00	0.55
04/06/2025	0.19	600.00	116	116	116	116	116	580.00	0.58
									4.03

Segunda fase

Las muestras cilíndricas fueron desmoldadas a las 24 horas de su elaboración; posteriormente, se sometieron a un curado por rociado

Tabla 61

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
B’ -1 al B’ -5	02-Jul	03-Jul	03-Jul	09-Jul	7 días
B’ -6 al B’ -10	02-Jul	03-Jul	03-Jul	09-Jul	7 días
B’ -11 al B’ -15	02-Jul	03-Jul	03-Jul	09-Jul	7 días

El volumen de agua requerido para la ejecución de este tipo de curado se determinó de la siguiente manera.

Tabla 62

Cálculo del volumen de agua empleado.

Muestras Cilíndricas II - Cimentaciones									
Fechas	**Caudal (lt/s)**	**Tiempo (s)**	**7:00 a. m.**	**10:00 a. m.**	**1:00 p. m.**	**4:00 p. m.**	**7:00 p. m.**	**Consumo (lt)**	**Consumo (m3)**
03/07/2025	0.07	600.00	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	222.50	**0.2225**
04/07/2025	0.07	600.00	43.00	43.00	43.00	43.00	43.00	215.00	**0.215**
05/07/2025	0.07	600.00	42.50	42.50	42.50	42.50	42.50	212.50	**0.2125**
06/07/2025	0.07	600.00	43.50	43.50	43.50	43.50	43.50	217.50	**0.2175**
07/07/2025	0.07	600.00	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	222.50	**0.2225**
08/07/2025	0.07	600.00	44.50	44.50	44.50	44.50	44.50	222.50	**0.2225**
09/07/2025	0.06	600.00	35.00	35.00	35.00	35.00	35.00	175.00	**0.175**
									1.4875

4.4.6.3. Curado químico

Primera fase

Las muestras cilíndricas se sometieron a un curado químico con sikacem, conforme sus especificaciones técnicas.

Tabla 63

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
C -1 al C -5	29-May	30-May	29-May	30-May	10 min
C -6 al C -10	29-May	30-May	29-May	30-May	10 min
C -11 al C -15	29-May	30-May	29-May	30-May	10 min

Para este tipo de curado químico, se aplicó un rendimiento de 0,2 L/m², conforme a las especificaciones del fabricante. Para ello, se determinó el área superficial de los especímenes, a fin de calcular la cantidad adecuada de producto a aplicar.

Tabla 64

Cálculo del área total de las probetas.

Dimensiones			Área Total de Probetas Cilíndricas (m2)				
Diámetro (cm)	Radio (cm)	Alto (cm)	Área Circulo (m2)	Área Lateral (m2)	Área Parcial (m2)	Cantidad (und)	Área Total (m2)
10.16	5.08	20.32	0.0081	0.0649	0.0811	15	1.216

Tabla 65

Cálculo del volumen de aditivo empleado.

Aditivo	Área total	Rendimiento (lt/m2)	Consumo (lt)	Densidad (kg/lt)	Consumo (kg)
Curador	1.216m2	0.20	0.24Lt	1.11	0.27kg

Las muestras prismáticas se sometieron a un curado químico con sikacem, conforme sus especificaciones técnicas.

Tabla 66

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
G -1 al G -3	29-May	30-May	29-May	30-May	15 min
G -4 al G -6	29-May	30-May	29-May	30-May	15 min
G -7 al G -9	29-May	30-May	29-May	30-May	15 min

Tabla 67

Cálculo del área total de las probetas.

Dimensiones			Área Total de Viga (m2)				
Largo (cm)	**Ancho (cm)**	**Alto (cm)**	**Área Transversal (m2)**	**Área Lateral (m2)**	**Área Parcial (m2)**	**Cantidad (und)**	**Área Total (m2)**
54	15	15	0.081	0.0225	0.369	9	3.321

Tabla 68

Cálculo del volumen de aditivo empleado.

Aditivo	Área total	Rendimiento (lt/m2)	Consumo (lt)	Densidad (kg/lt)	Consumo (kg)
Curador	3.321m2	0.20	0.66Lt	1.11	0.74kg

Segunda fase

Las muestras cilíndricas se sometieron a un curado químico con sikacem, conforme sus especificaciones técnicas.

Tabla 69

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de curado	Fin de curado	Tiempo de curado
C’ -1 al C’ -5	03-Jul	04-Jul	04-Jul	04-Jul	10 min
C’ -6 al C’ -10	03-Jul	04-Jul	04-Jul	04-Jul	10 min
C’-11 al C’ -15	03-Jul	04-Jul	04-Jul	04-Jul	10 min

Tabla 70

Cálculo del área total de las probetas.

Dimensiones			Área Total de Probetas Cilíndricas (m2)				
Diámetro (cm)	**Radio (cm)**	**Alto (cm)**	**Área Circulo (m2)**	**Área Lateral (m2)**	**Área Parcial (m2)**	**Cantidad (und)**	**Área Total (m2)**
10.16	5.08	20.32	0.0081	0.0649	0.0811	15	1.216

Tabla 71

Cálculo del volumen de aditivo empleado.

Aditivo	Área total	Rendimiento (lt/m2)	Consumo (lt)	Densidad (kg/lt)	Consumo (kg)
Curador	1.216m2	0.20	0.24Lt	1.11	0.27kg

4.4.6.4. Curado interno con agregado grueso saturado.

Primera fase

Las muestras cilíndricas se sometieron a un curado interno mediante la saturación del agregado grueso, de acuerdo con lo descrito en los procedimientos del ítem 3.6.

Tabla 72

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de saturación del agregado	Fin de saturación del agregado	Tiempo de curado
D -1 al D -5	30-May	31-May	27-May	30-May	3 días
D -6 al D -10	30-May	31-May	29-May	30-May	3 días
D -11 al D -15	30-May	31-May	29-May	30-May	3 días

Las muestras prismáticas se sometieron a un curado interno mediante la saturación del agregado grueso, de acuerdo con lo descrito en los procedimientos del ítem 3.6.

Tabla 73

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de saturación del agregado	Fin de saturación del agregado	Tiempo de curado
H -1 al H -3	30-May	31-May	27-May	30-May	3 días
H -4 al H -6	30-May	31-May	29-May	30-May	3 días
H -7 al H -9	30-May	31-May	29-May	30-May	3 días

Segunda fase

Las muestras cilíndricas se sometieron a un curado interno mediante la saturación del agregado grueso, de acuerdo con lo descrito en los procedimientos del ítem 3.6.

Tabla 74

Control del tiempo de curado de cada muestra.

Muestras	Fecha de elaboración	Desmoldado	Inicio de saturación del agregado	Fin de saturación del agregado	Tiempo de curado
D'-1 al D'-5	4-Jul	5-Jul	1-Jul	4-Jul	3 días
D'-6 al D'-10	4-Jul	5-Jul	1-Jul	4-Jul	3 días
D'-11 al D'-15	4-Jul	5-Jul	1-Jul	4-Jul	3 días

Para el curado mediante la saturación del agregado grueso, se realizaron cálculos con el fin de determinar la cantidad de agua requerida en función del peso de la muestra y el porcentaje de absorción del agregado en condiciones reales de obra. Para ello, se llevaron a cabo 10 ensayos de saturación, con el propósito de establecer valores representativos del comportamiento del agregado.

Tabla 75

Cálculo de promedio de agua empleado por peso de muestra.

Código	Envase	Saturación	Peso inicial de muestra (A)	Volumen de agua empleado (B)	Agua empleada por Peso de muestra C=(B/A)
Ensayo 1	Tina 1	3 días	47.32 kg	0.02356 lt	0.498 lt/kg
Ensayo 2	Tina 2	3 días	42.66 kg	0.01828 lt	0.429 lt/kg
Ensayo 3	Tina 3	3 días	41.33 kg	0.01767 lt	0.428 lt/kg
Ensayo 4	Tina 4	3 días	40.00 kg	0.01495 lt	0.374 lt/kg
Ensayo 5	Tina 5	3 días	2.90 kg	0.00149 lt	0.514 lt/kg
Ensayo 6	Tina 6	3 días	2.90 kg	0.00149 lt	0.514 lt/kg
Ensayo 7	Tina 7	3 días	2.90 kg	0.00149 lt	0.514 lt/kg
Ensayo 8	Tina 8	3 días	2.90 kg	0.00145 lt	0.500 lt/kg
Ensayo 9	Tina 9	3 días	2.90 kg	0.00145 lt	0.500 lt/kg
Ensayo 10	Tina 10	3 días	2.90 kg	0.00145 lt	0.500 lt/kg

	Promedio final	**0.477 lt/kg**

Tabla 76

Determinación del porcentaje de absorción de agua del agregado grueso en condiciones de obra.

Código	Envase	Saturación	Peso Inicial de muestra (A)	Peso Inicial de muestra (B)	Contenido de agua C=(B-A)	Absorción del agregado D=C/A
Ensayo 1	Tina 1	3 días	47.32 kg	48.84 kg	1.52 kg	3.21%
Ensayo 2	Tina 2	3 días	42.66 kg	44.03 kg	1.37 kg	3.21%
Ensayo 3	Tina 3	3 días	41.33 kg	42.65 kg	1.32 kg	3.19%
Ensayo 4	Tina 4	3 días	40.00 kg	41.17 kg	1.17 kg	2.93%
Ensayo 5	Tina 5	3 días	2.90 kg	2.98 kg	0.08 kg	2.76%
Ensayo 6	Tina 6	3 días	2.90 kg	2.96 kg	0.06 kg	2.07%
Ensayo 7	Tina 7	3 días	2.90 kg	2.97 kg	0.07 kg	2.41%
Ensayo 8	Tina 8	3 días	2.90 kg	2.97 kg	0.07 kg	2.41%
Ensayo 9	Tina 9	3 días	2.90 kg	2.97 kg	0.07 kg	2.41%
Ensayo 10	Tina 10	3 días	2.90 kg	2.97 kg	0.07 kg	2.41%
					Promedio final	**2.70%**

La cantidad de agua necesaria para llevar a cabo este método de curado fue establecida mediante el siguiente procedimiento de cálculo.

Tabla 77

Cálculo del volumen de agua empleado.

Fase	Tipo Espécimen	Peso Agr. Grueso	Absorción del agregado	Agua empleada por Peso de muestra	Consumo por %Absorción	Consumo por Saturación
Primera fase	Cilíndrico	23.26 kg	2.70%	0.477 lt/kg	0.63 lt	11.10 lt
	Prismático	102.9 kg	2.70%	0.477 lt/kg	2.78 lt	49.09 lt
Segunda fase	Cilíndrico	18.44 kg	2.70%	0.477 lt/kg	0.50 lt	8.80 lt
					Total	**68.98 lt**

4.5 Ensayos de laboratorio

4.5.1 Resistencia a la compresión en columnas

En esta etapa de la investigación se llevaron a cabo los ensayos de rotura de los especímenes, conforme al cronograma establecido en el ítem 4.4.4.

4.5.1.1. Resistencia a compresión a los 7 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 3 de junio de 2025.

Tabla 78

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia Kg/Cm²	Resistencia %
1	Testigos A1	210	81.07	7	11690	11659.63	143.82	68%
2	Testigos A2	210	81.07	7	12630	12606.40	155.49	74%
3	Testigos A3	210	81.07	7	12260	12233.73	150.90	72%
4	Testigos A4	210	81.07	7	10770	10733.00	132.39	63%
5	Testigos A5	210	81.07	7	11160	11125.81	137.23	65%
						Promedio	**143.97**	
						Varianza	**90.10**	
						Desviación Estándar	**9.49**	
						Coeficiente de Variación	**6.59%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 4 de junio de 2025.

Tabla 79

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia Kg/Cm²	Resistencia %
1	Testigos B1	210	81.07	7	11160	11125.81	137.23	65%
2	Testigos B2	210	81.07	7	11290	11256.75	138.85	66%
3	Testigos B3	210	81.07	7	12130	12102.80	149.28	71%
4	Testigos B4	210	81.07	7	10570	10531.56	129.90	62%
5	Testigos B5	210	81.07	7	10100	10058.18	124.06	59%
						Promedio	**135.87**	
						Varianza	**91.41**	
						Desviación Estándar	**9.56**	

						Coeficiente de Variación	**7.04%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 5 de junio de 2025.

Tabla 80

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
1	Testigos C1	210	81.07	7	8890	8839.47	109.03	52%
2	Testigos C2	210	81.07	7	8070	8013.56	98.84	47%
3	Testigos C3	210	81.07	7	7840	7781.91	95.99	46%
4	Testigos C4	210	81.07	7	8860	8809.25	108.66	52%
5	Testigos C5	210	81.07	7	9780	9735.88	120.09	57%
						Promedio	**106.52**	
						Varianza	**91.21**	
						Desviación Estándar	**9.55**	
						Coeficiente de Variación	**8.97%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 6 de junio de 2025.

Tabla 81

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
1	Testigos D1	210	81.07	7	6320	6250.96	77.10	37%
2	Testigos D2	210	81.07	7	8290	8235.15	Se descarta	
3	Testigos D3	210	81.07	7	6990	6925.79	85.43	41%
4	Testigos D4	210	81.07	7	8820	8768.96	Se descarta	
5	Testigos D5	210	81.07	7	7050	6986.22	86.17	41%
						Promedio	**82.90**	
						Varianza	**25.35**	
						Desviación Estándar	**5.03**	
						Coeficiente de Variación	**6.07%**	

4.5.1.2. Resistencia a compresión a los 14 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 10 de junio de 2025.

Tabla 82

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
6	Testigos A6	210	81.07	14	16270	16272.60	200.71	96%
7	Testigos A7	210	81.07	14	17160	17169.01	211.77	101%
8	Testigos A8	210	81.07	14	16950	16957.50	209.16	100%
9	Testigos A9	210	81.07	14	18170	18186.28	224.32	107%
10	Testigos A10	210	81.07	14	16670	16675.48	205.68	98%
						Promedio	**210.33**	
						Varianza	**78.29**	
						Desviación Estándar	**8.85**	
						Coeficiente de Variación	**4.21%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 11 de junio de 2025.

Tabla 83

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
6	Testigos B6	210	81.07	14	12650	12626.54	Se descarta	
7	Testigos B7	210	81.07	14	16260	16262.53	200.59	96%
8	Testigos B8	210	81.07	14	14920	14912.88	183.94	88%
9	Testigos B9	210	81.07	14	13790	13774.75	169.91	81%
10	Testigos B10	210	81.07	14	16555	16559.66	204.26	97%
						Promedio	**189.67**	
						Varianza	**251.82**	
						Desviación Estándar	**15.87**	
						Coeficiente de Variación	**8.37%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 12 de junio de 2025.

Tabla 84

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
6	Testigos C6	210	81.07	14	11160	11125.81	137.23	65%
7	Testigos C7	210	81.07	14	8310	8255.29	Se descarta	
8	Testigos C8	210	81.07	14	8480	8426.52	Se descarta	
9	Testigos C9	210	81.07	14	12654	12630.57	155.79	74%
10	Testigos C10	210	81.07	14	12440	12415.03	153.13	73%
						Promedio	**148.72**	
						Varianza	**100.74**	
						Desviación Estándar	**10.04**	
						Coeficiente de Variación	**6.75%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 13 de junio de 2025.

Tabla 85

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
6	Testigos D6	210	81.07	14	6340	6271.11	77.35	37%
7	Testigos D7	210	81.07	14	7510	7449.53	91.89	44%
8	Testigos D8	210	81.07	14	8560	8507.09	Se descarta	
9	Testigos D9	210	81.07	14	6760	6694.13	82.57	39%
10	Testigos D10	210	81.07	14	6500	6432.26	79.34	38%
						Promedio	**82.79**	
						Varianza	**41.43**	
						Desviación Estándar	**6.44**	
						Coeficiente de Variación	**7.77%**	

4.5.1.3. Resistencia a compresión a los 28 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 24 de junio de 2025.

Tabla 86

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 28 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
11	Testigos A11	210	81.07	28	20610	20643.85	254.63	121%
12	Testigos A12	210	81.07	28	23550	23605.02	291.16	139%
13	Testigos A13	210	81.07	28	23580	23635.24	291.53	139%
14	Testigos A14	210	81.07	28	21260	21298.53	262.71	125%
15	Testigos A15	210	81.07	28	21110	21147.45	260.84	124%
						Promedio	**272.17**	
						Varianza	**315.17**	
						Desviación Estándar	**17.75**	
						Coeficiente de Variación	**6.52%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 25 de junio de 2025.

Tabla 87

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 28 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia	
							Kg/Cm²	%
11	Testigos B11	210	81.07	28	18280	18297.08	225.69	107%
12	Testigos B12	210	81.07	28	17960	17974.77	221.71	106%
13	Testigos B13	210	81.07	28	18560	18579.09	229.16	109%
14	Testigos B14	210	81.07	28	16490	16494.19	203.45	97%
15	Testigos B15	210	81.07	28	18730	18750.32	231.28	110%
						Promedio	**222.26**	
						Varianza	**123.72**	
						Desviación Estándar	**11.12**	
						Coeficiente de Variación	**5.00%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 26 de junio de 2025.

Tabla 88

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia Kg/Cm²	Resistencia %
11	Testigos C11	210	81.07	28	15860	15859.65	Se descarta	
12	Testigos C12	210	81.07	28	11910	11881.21	146.55	70%
13	Testigos C13	210	81.07	28	11110	11075.45	136.61	65%
14	Testigos C14	210	81.07	28	11050	11015.02	135.87	65%
15	Testigos C15	210	81.07	28	11090	11055.31	136.36	65%
						Promedio	**138.85**	
						Varianza	**26.46**	
						Desviación Estándar	**5.14**	
						Coeficiente de Variación	**3.71%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 27 de junio de 2025.

Tabla 89

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Resistencia Kg/Cm²	Resistencia %
11	Testigos D11	210	81.07	28	8350	8295.58	102.32	49%
12	Testigos D12	210	81.07	28	7710	7650.97	94.37	45%
13	Testigos D13	210	81.07	28	8070	8013.56	98.84	47%
14	Testigos D14	210	81.07	28	8240	8184.79	100.96	48%
15	Testigos D15	210	81.07	28	11200	11166.10	Se descarta	
						Promedio	**99.12**	
						Varianza	**12.08**	
						Desviación Estándar	**3.48**	
						Coeficiente de Variación	**3.51%**	

4.5.1.4. Análisis de la Resistencia a compresión. A partir de los registros consignados en la Tabla 90, se evidencia que, a los 28 días, el régimen de curado sumergido en agua manifiesta la mayor resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 272.17 kg/cm², lo que representa un 22.5 % por encima del curado rociado con agua, un 96.0% superior al curado químico con Sikacem y un 174.6 % más elevado que el obtenido con agregado grueso saturado. Esta pauta de comportamiento se aprecia con nitidez en la siguiente tabla, en la que se plasma visualmente la diferencia sustancial en el desarrollo final de esta propiedad mecánica conforme al tipo de curado aplicado y la edad de la probeta.

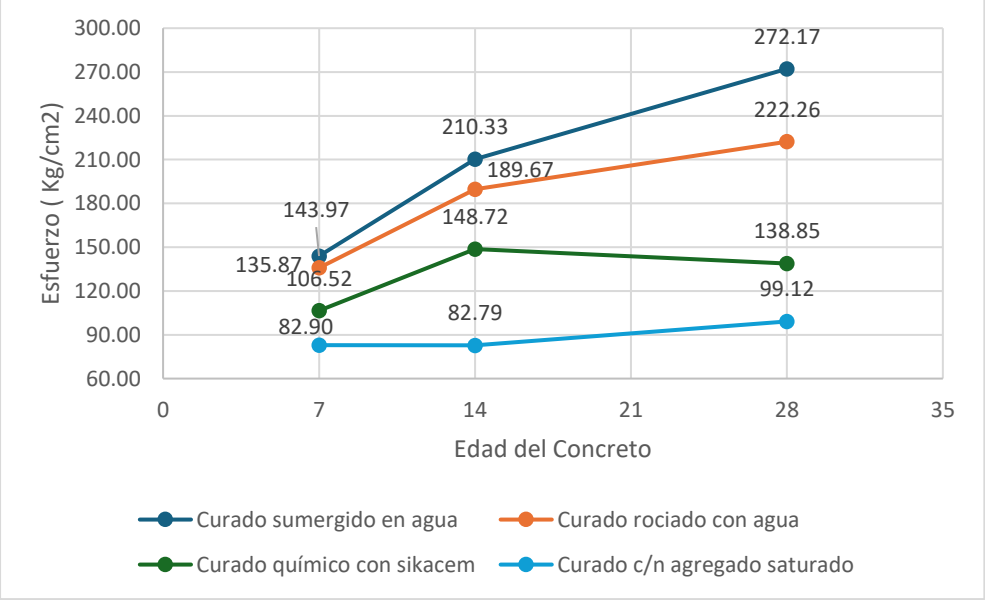
Tabla 90

Resumen de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.

Muestra	R.C. 7 días	R.C. 14 días	R.C. 28 días
Curado sumergido en agua	143.97	210.33	272.17
Curado rociado con agua	135.87	189.67	222.26
Curado químico con sikacem	106.52	148.72	138.85
Curado c/n agregado grueso saturado	82.90	82.79	99.12

Figura 10

Resistencia a compresión con diferentes curados y edades.



Con base en los valores consignados en la Tabla 91, se constata que, a los 28 días, el régimen de curado sumergido en agua evidencia el coeficiente de variación más elevado en la resistencia a compresión, con un 6.52 %, seguido por el curado rociado con agua con 5.00 %, el curado químico con Sikacem con 3.71 % y, en última posición, el curado con agregado grueso saturado con 3.51 %. Tal disposición de resultados sugiere que coeficientes superiores revelan una mayor dispersión de los datos obtenidos, mientras que valores reducidos indican una respuesta más uniforme del concreto. Esta tendencia queda plasmada de manera gráfica en la Figura 11, donde se aprecia la magnitud de la variabilidad según el método de curado y el tiempo de evaluación.

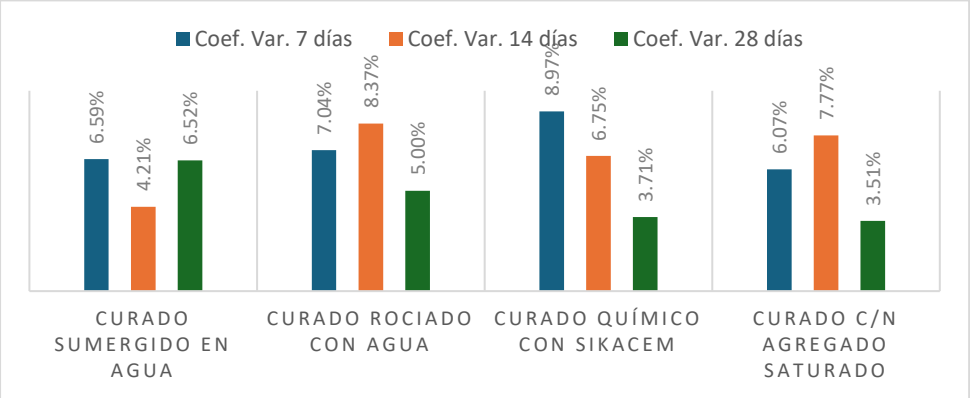
Tabla 91

Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.

Muestra	Coef. Var. 7 días	Coef. Var. 14 días	Coef. Var. 28 días
Curado sumergido en agua	6.59%	4.21%	6.52%
Curado rociado con agua	7.04%	8.37%	5.00%
Curado químico con sikacem	8.97%	6.75%	3.71%
Curado c/n agregado grueso saturado	6.07%	7.77%	3.51%

Figura 11

Coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.



4.5.2 Resistencia a la flexión en vigas

4.5.2.1. Resistencia a flexión a los 7 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 03 de junio de 2025.

Tabla 92

Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 7 días.

N°	Espécimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos E1	48	15	15	7	2050	1950.22	27.74
2	Testigos E2	48	15	15	7	2100	2000.58	28.45
3	Testigos E3	48	15	15	7	2100	2000.58	28.45
							Promedio	**28.21**
							Varianza	**0.17**
							Desviación Estándar	**0.41**
							Coeficiente de Variación	**1.47%**

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 04 de junio de 2025.

Tabla 93

Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 7 días.

N°	Espécimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos F1	48	15	15	7	1900	1799.14	25.59
2	Testigos F2	48	15	15	7	1750	1648.06	23.44
3	Testigos F3	48	15	15	7	1920	1819.284	25.87
							Promedio	**24.97**
							Varianza	**1.77**
							Desviación Estándar	**1.33**
							Coeficiente de Variación	**5.33%**

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 05 de junio de 2025.

Tabla 94

Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 7 días.

N°	Espécimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos G1	48	15	15	7	1440	1335.828	19.00
2	Testigos G2	48	15	15	7	1330	1225.036	17.42
3	Testigos G3	48	15	15	7	1450	1345.9	19.14
							Promedio	**18.52**
							Varianza	**0.91**
							Desviación Estándar	**0.95**
							Coeficiente de Variación	**5.15%**

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 06 de junio de 2025.

Tabla 95

Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos H1	48	15	15	7	930	822.156	Se descarta
2	Testigos H2	48	15	15	7	1240	1134.388	16.13
3	Testigos H3	48	15	15	7	1280	1174.676	16.71
							Promedio	**16.42**
							Varianza	**0.16**
							Desviación Estándar	**0.41**
							Coeficiente de Variación	**2.47%**

4.5.2.2. Resistencia a flexión a los 14 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 10 de junio de 2025.

Tabla 96

Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 14 días.

N°	Espécimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos E4	48	15	15	14	2420	2322.884	33.04
2	Testigos E5	48	15	15	14	2310	2212.092	31.46
3	Testigos E6	48	15	15	14	2570	2473.964	35.19
							Promedio	**33.23**
							Varianza	**3.50**
							Desviación Estándar	**1.87**
							Coeficiente De Variación	**5.63%**

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 11 de junio de 2025.

Tabla 97

Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 14 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos F4	48	15	15	14	2120	2020.724	28.74
2	Testigos F5	48	15	15	14	2130	2030.796	28.88
3	Testigos F6	48	15	15	14	2040	1940.148	27.59
							Promedio	**28.40**
							Varianza	**0.50**
							Desviación Estándar	**0.71**
							Coeficiente de Variación	**2.49%**

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 12 de junio de 2025.

Tabla 98

Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 14 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos G4	48	15	15	14	1910	1809.212	25.73
2	Testigos G4	48	15	15	14	1880	1778.996	25.30
3	Testigos G4	48	15	15	14	1890	1789.068	25.44
							Promedio	**25.49**
							Varianza	**0.05**
							Desviación Estándar	**0.22**
							Coeficiente de Variación	**0.86%**

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 13 de junio de 2025.

Tabla 99

Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos H4	48	15	15	14	1610	1507.052	21.43
2	Testigos H5	48	15	15	14	1720	1617.844	23.01
3	Testigos H6	48	15	15	14	1680	1577.556	22.44
							Promedio	**22.29**
							Varianza	**0.64**
							Desviación Estándar	**0.80**
							Coeficiente de Variación	**3.58%**

4.5.2.3. Resistencia a flexión a los 28 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 24 de junio de 2025.

Tabla 100

Resistencia a flexión - curado sumergido en agua a los 28 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos E7	48	15	15	28	2750	2655.26	37.76
2	Testigos E8	48	15	15	28	3010	2917.132	41.49
3	Testigos E9	48	15	15	28	2910	2816.412	40.06
							Promedio	**39.77**
							Varianza	**3.53**
							Desviación Estándar	**1.88**
							Coeficiente de Variación	**4.72%**

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 25 de junio de 2025.

Tabla 101

Resistencia a flexión - curado rociado con agua a los 28 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos F7	48	15	15	28	1970	1869.644	26.59
2	Testigos F8	48	15	15	28	2180	2081.156	29.60
3	Testigos F9	48	15	15	28	2180	2081.156	29.60
							Promedio	**28.60**
							Varianza	**3.02**
							Desviación Estándar	**1.74**
							Coeficiente de Variación	**6.07%**

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 26 de junio de 2025.

Tabla 102

Resistencia a flexión - curado químico con sikacem a los 28 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos G7	48	15	15	28	1990	1889.788	26.88
2	Testigos G8	48	15	15	28	2770	2675.404	Se Descarta
3	Testigos G9	48	15	15	28	1870	1768.924	25.16
							Promedio	**26.02**
							Varianza	**1.48**
							Desviación Estándar	**1.22**
							Coeficiente de Variación	**4.67%**

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 27 de junio de 2025.

Tabla 103

Resistencia a flexión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días.

N°	Especimen	Dimensiones de Viga			Edad	Lectura Dial	Lectura Corregida	Esfuerzo de Flexión (Kg/Cm²)
		Largo (L)	Ancho (W)	Espesor (H)				
1	Testigos H7	48	15	15	28	1650	1547.34	22.01
2	Testigos H8	48	15	15	28	1650	1547.34	22.01
3	Testigos H9	48	15	15	28	1580	1476.836	21.00
							Promedio	**21.67**
							Varianza	**0.34**
							Desviación Estándar	**0.58**
							Coeficiente de Variación	**2.67%**

4.5.2.4. Análisis de la Resistencia a flexión. Con base en los valores consignados en la Tabla 104, a los 28 días se constata que el curado sumergido en agua exhibe la mayor capacidad resistente a la flexión, alcanzando 39.77 kg/cm², equivalente a un 39.1 % más que el curado rociado con agua, un 52.9 % por encima del curado químico con Sikacem y un 83.5 % superior al obtenido con agregado grueso saturado. Esta tendencia se representa de manera visual en la siguiente tabla, donde se distingue con claridad la marcada diferencia en el desarrollo final de la propiedad antes mencionada según el régimen de curado empleado.

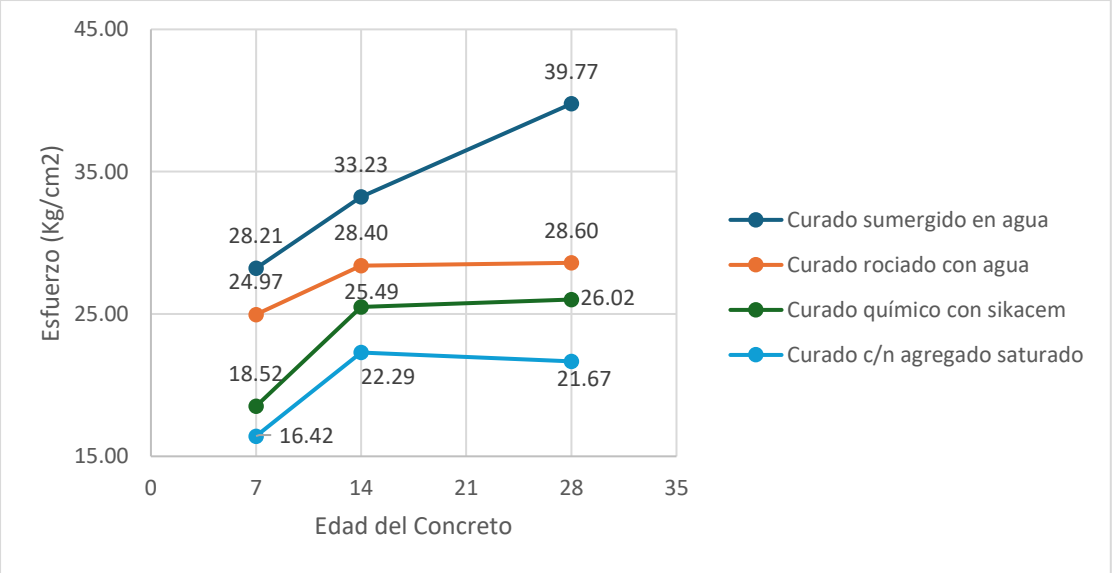
Tabla 104

Resumen de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades.

Muestra	R.F. 7 días	R.F. 14 días	R.F. 28 días
Curado sumergido en agua	28.21	33.23	39.77
Curado rociado con agua	24.97	28.40	28.60
Curado químico con sikacem	18.52	25.49	26.02
Curado c/n agregado grueso saturado	16.42	22.29	21.67

Figura 12

Resistencia a flexión con diferentes curados y edades.



A partir de la información registrada en la Tabla 105, a los 28 días se observa que el curado rociado con agua presenta el mayor coeficiente de variación de la resistencia a flexión,

con un 6.07 %, seguido por el curado sumergido en agua con 4.72 %, el curado químico con Sikacem con 4.67 % y, finalmente, el curado con agregado grueso saturado con 2.67 %. Esta diferencia evidencia que valores más altos reflejan una mayor dispersión de los resultados, mientras que coeficientes menores denotan una mayor uniformidad en el comportamiento del concreto. La siguiente tabla ilustra de forma gráfica esta variación en función del tipo de curado aplicado.

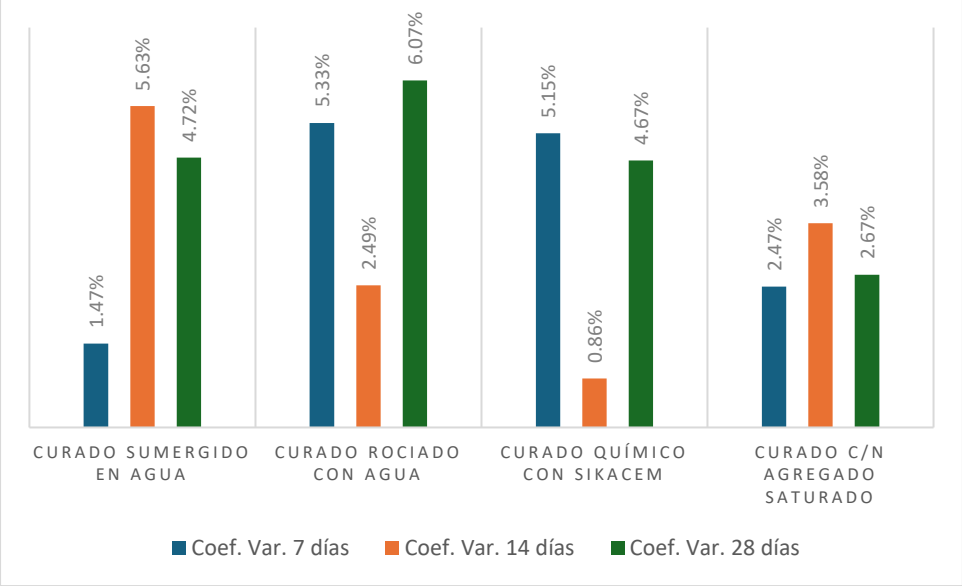
Tabla 105

Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades.

Muestra	Coef. Var. 7 días	Coef. Var. 14 días	Coef. Var. 28 días
Curado sumergido en agua	1.47%	5.63%	4.72%
Curado rociado con agua	5.33%	2.49%	6.07%
Curado químico con sikacem	5.15%	0.86%	4.67%
Curado c/n agregado grueso saturado	2.47%	3.58%	2.67%

Figura 13

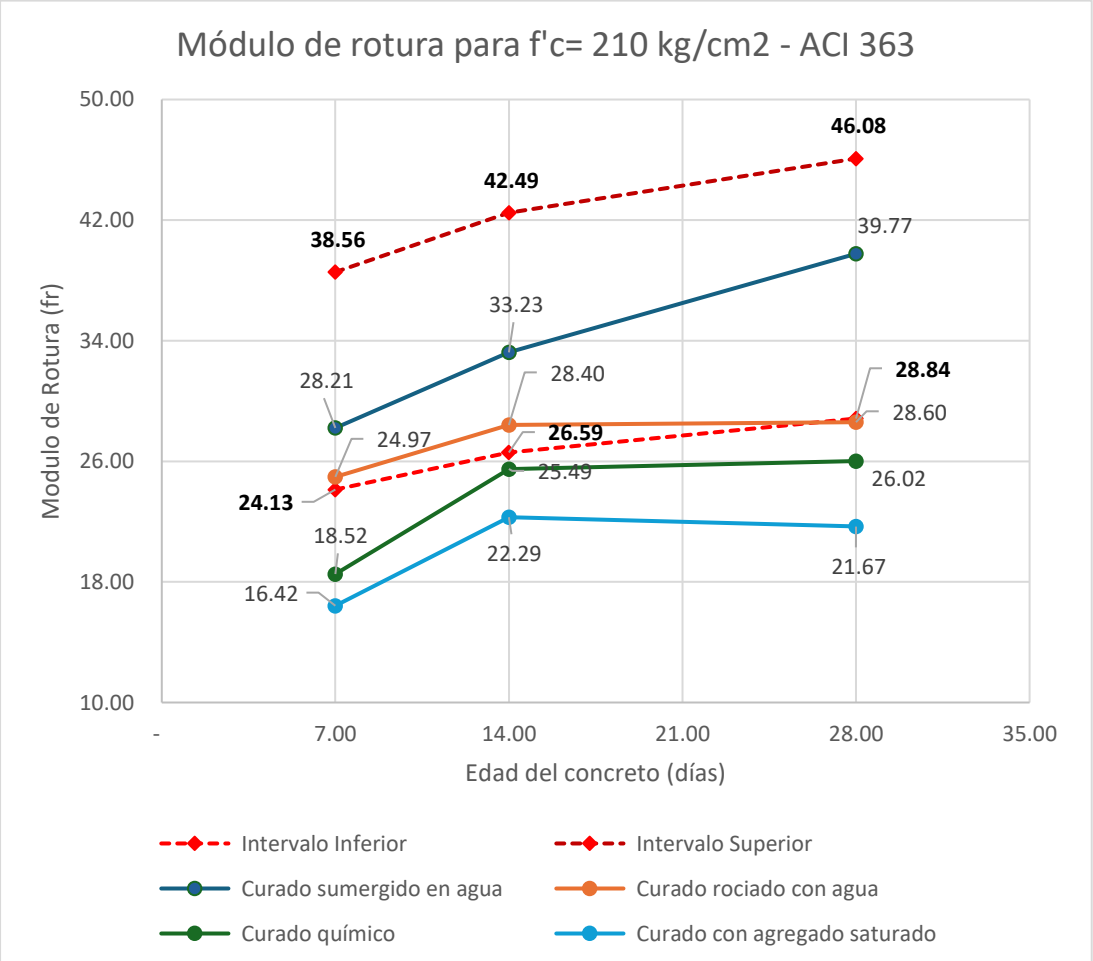
Coeficiente de variación de la resistencia a flexión con diferentes curados y edades.



4.5.2.5. Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia de diseño. El módulo de rotura puede estimarse mediante relaciones empíricas en función de la resistencia a la compresión. En el sistema de unidades kg/cm², se emplea comúnmente la expresión $fr = 1.99\sqrt{f'c}$ como valor referencial para concretos convencionales. Asimismo, pueden considerarse valores superiores, como $fr = 3.18\sqrt{f'c}$, asociados a concretos de mayor desempeño, en concordancia con las formulaciones propuestas por el ACI 363. En este sentido, dichos valores permiten establecer un rango estimado para evaluar la correlación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto.

Figura 14

Intervalos inferior y superior del módulo de rotura en relación con la resistencia de diseño.



En la práctica se empleó valores referenciales para el control del desarrollo de resistencia del concreto, considerándose que a los 7 días se alcanza aproximadamente entre el

65% y 75% de la resistencia de diseño, a los 14 días entre el 80% y 90%, y a los 28 días el 100% del f'c de diseño. La figura anterior presenta de forma gráfica la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia de diseño del concreto a los 28 días. En caso de las edades intermedias, se consideraron resistencias referenciales obtenidas a partir de los porcentajes de desarrollo correspondientes a cada edad, descrito líneas arriba.

Con base en los valores presentados en la figura anterior, se observa que, a los 28 días de edad, el curado por inmersión en agua registra el mayor valor experimental del módulo de rotura, alcanzando 39.77 kg/cm², lo que representa el 137.9% del valor teórico estimado (28.8 kg/cm²) para un concreto con f'c = 210 kg/cm². Por su parte, el curado por rociado de agua alcanzó un valor de 28.60 kg/cm², equivalente al 99.2% del valor teórico, evidenciando un comportamiento acorde a lo esperado. En el caso del curado químico, se obtuvo un valor de 26.02 kg/cm², correspondiente al 90.2% del valor teórico. Finalmente, el curado interno mediante la saturación del agregado grueso presentó el menor valor experimental, con 21.67 kg/cm², equivalente al 75.1% del valor teórico.

4.5.3 Resistencia a la compresión en cimentaciones

En esta etapa de la investigación se llevaron a cabo los ensayos de rotura de los especímenes, conforme al cronograma establecido en el ítem 4.4.4.

4.5.3.1. Resistencia a compresión a los 7 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 8 de julio de 2025.

Tabla 106

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
1	Testigos A'1	210	81.23	7	14986.4	184.50	88%
2	Testigos A'2	210	81.45	7	15579.24	191.30	91%
3	Testigos A'3	210	81.45	7	15583.32	191.30	91%
4	Testigos A'4	210	81.29	7	15938.42	196.10	93%
5	Testigos A'5	210	81.34	7	16077.19	197.70	94%
					Promedio	**192.18**	
					Varianza	**26.59**	
					Desviación Estándar	**5.16**	
					Coeficiente de Variación	**2.68%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 9 de julio de 2025.

Tabla 107

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
1	Testigos B'1	210	81.71	7	10782.4	132.00	63%
2	Testigos B'2	210	81.71	7	11484.43	140.60	67%
3	Testigos B'3	210	81.71	7	11225.25	137.40	65%
4	Testigos B'4	210	81.71	7	10671.18	130.60	62%
5	Testigos B'5	210	81.65	7	11920.13	146.00	70%
					Promedio	**137.32**	
					Varianza	**39.89**	
					Desviación Estándar	**6.32**	
					Coeficiente de Variación	**4.60%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 10 de julio de 2025.

Tabla 108

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
1	Testigos C'1	210	81.56	7	6002.91	73.60	35%
2	Testigos C'2	210	81.58	7	5991.68	73.40	35%
3	Testigos C'3	210	81.71	7	6551.87	80.20	38%
4	Testigos C'4	210	81.81	7	6104.95	74.60	36%
5	Testigos C'5	210	81.55	7	6659.02	81.70	39%
					Promedio	**76.70**	
					Varianza	**15.54**	
					Desviación Estándar	**3.94**	
					Coeficiente de Variación	**5.14%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 11 de julio de 2025.

Tabla 109

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 7 días.

N°	Espécimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
1	Testigos D'1	210	81.41	7	7033.5	86.40	41%
2	Testigos D'2	210	81.50	7	7529.41	92.40	44%
3	Testigos D'3	210	81.29	7	7580.43	93.30	44%
4	Testigos D'4	210	81.45	7	6276.37	77.10	37%
5	Testigos D'5	210	81.39	7	7502.88	92.20	44%
					Promedio	**88.28**	
					Varianza	**46.52**	
					Desviación Estándar	**6.82**	
					Coeficiente de Variación	**7.73%**	

4.5.3.2. Resistencia a compresión a los 14 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 15 de julio de 2025.

Tabla 110

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
6	Testigos A'6	210	81.39	14	17961.85	220.70	105%
7	Testigos A'7	210	81.50	14	19483.24	239.10	114%
8	Testigos A'8	210	81.31	14	16832.28	207.00	99%
9	Testigos A'9	210	81.42	14	18725.1	230.00	110%
10	Testigos A'10	210	81.45	14	17136.35	210.40	100%
					Promedio	**221.44**	
					Varianza	**179.02**	
					Desviación Estándar	**13.38**	
					Coeficiente de Variación	**6.04%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 16 de julio de 2025.

Tabla 111

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
6	Testigos B'6	210	81.54	14	14253.76	174.80	83%
7	Testigos B'7	210	81.48	14	14130.29	173.40	83%
8	Testigos B'8	210	81.61	14	14541.51	178.20	85%
9	Testigos B'9	210	81.55	14	13782.34	169.00	80%
10	Testigos B'10	210	81.45	14	14587.43	179.10	85%
					Promedio	**174.90**	
					Varianza	**16.40**	
					Desviación Estándar	**4.05**	
					Coeficiente de Variación	**2.32%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 17 de julio de 2025.

Tabla 112

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
6	Testigos C'6	210	81.56	14	6615.14	81.10	39%
7	Testigos C'7	210	81.48	14	5568.22	68.30	33%
8	Testigos C'8	210	81.42	14	6432.49	79.00	38%
9	Testigos C'9	210	81.29	14	6272.29	77.20	37%
10	Testigos C'10	210	81.55	14	6234.53	76.50	36%
					Promedio	**76.42**	
					Varianza	**23.78**	
					Desviación Estándar	**4.88**	
					Coeficiente de Variación	**6.38%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 13 de junio de 2025.

Tabla 113

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 14 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
6	Testigos D'6	210	81.45	14	8387.55	103.00	49%
7	Testigos D'7	210	80.97	14	8181.43	101.00	48%
8	Testigos D'8	210	81.34	14	8418.16	103.50	49%
9	Testigos D'9	210	81.29	14	9705.89	119.40	57%
10	Testigos D'10	210	81.54	14	8167.15	100.20	48%
					Promedio	**105.42**	
					Varianza	**62.94**	
					Desviación Estándar	**7.93**	
					Coeficiente de Variación	**7.53%**	

4.5.3.3. Resistencia a compresión a los 28 días.

A. Curado sumergido en agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 29 de julio de 2025.

Tabla 114

Resistencia a compresión - curado sumergido en agua a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
11	Testigos A'11	210	80.97	28	25882.09	319.70	152%
12	Testigos A'12	210	79.70	28	24645.38	309.20	147%
13	Testigos A'13	210	79.96	28	25088.23	313.80	149%
14	Testigos A'14	210	82.41	28	24342.33	295.40	141%
15	Testigos A'15	210	80.70	28	24018.87	297.60	142%
					Promedio	**307.14**	
					Varianza	**108.80**	
					Desviación Estándar	**10.43**	
					Coeficiente de Variación	**3.40%**	

B. Curado rociado con agua. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 30 de julio de 2025.

Tabla 115

Resistencia a compresión - curado rociado con agua a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
11	Testigos B'11	210	80.91	28	16815.95	207.80	99%
12	Testigos B'12	210	79.75	28	16893.5	211.80	101%
13	Testigos B'13	210	80.44	28	17802.67	221.30	105%
14	Testigos B'14	210	82.09	28	17644.51	214.90	102%
15	Testigos B'15	210	79.70	28	17644.51	221.40	105%
					Promedio	**215.44**	
					Varianza	**35.44**	
					Desviación Estándar	**5.95**	
					Coeficiente de Variación	**2.76%**	

C. Curado químico con sikacem. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 31 de julio de 2025.

Tabla 116

Resistencia a compresión - curado químico con sikacem a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
11	Testigos C'11	210	80.91	28	4323.35	Se Descarta	
12	Testigos C'12	210	79.43	28	6493.71	81.80	39%
13	Testigos C'13	210	80.60	28	6088.62	75.50	36%
14	Testigos C'14	210	79.33	28	7364.1	92.80	44%
15	Testigos C'15	210	80.86	28	6956.97	86.00	41%
					Promedio	**84.03**	
					Varianza	**52.84**	
					Desviación Estándar	**7.27**	
					Coeficiente de Variación	**8.65%**	

D. Curado c/n agregado grueso saturado. En concordancia con el cronograma, este ensayo se realizó el 01 de agosto de 2025.

Tabla 117

Resistencia a compresión - curado c/n agregado grueso saturado a los 28 días.

N°	Especimen	F'c	Área (Cm²)	Edad	Lectura Dial	Resistencia	
						Kg/Cm²	%
11	Testigos D'11	210	79.33	28	8274.29	104.30	50%
12	Testigos D'12	210	81.87	28	7784.5	95.10	45%
13	Testigos D'13	210	79.80	28	8025.31	100.60	48%
14	Testigos D'14	210	80.49	28	10679.34	Se Descarta	
15	Testigos D'15	210	82.52	28	8284.49	100.40	48%
					Promedio	**100.10**	
					Varianza	**14.33**	
					Desviación Estándar	**3.79**	
					Coeficiente de Variación	**3.78%**	

4.5.3.4. Análisis de la Resistencia a compresión. A partir de los registros consignados en la Tabla 118, se evidencia que, a los 28 días, el régimen de curado sumergido en agua manifiesta la mayor resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 307.14 kg/cm², lo que representa un 42.56 % por encima del curado rociado con agua, un 265.51% superior al curado químico con Sikacem y un 206.83% más elevado que el obtenido con agregado grueso saturado. Esta pauta de comportamiento se aprecia con nitidez en la siguiente tabla, en la que se plasma visualmente la diferencia sustancial en el desarrollo final de esta propiedad mecánica conforme al tipo de curado aplicado y la edad de la probeta.

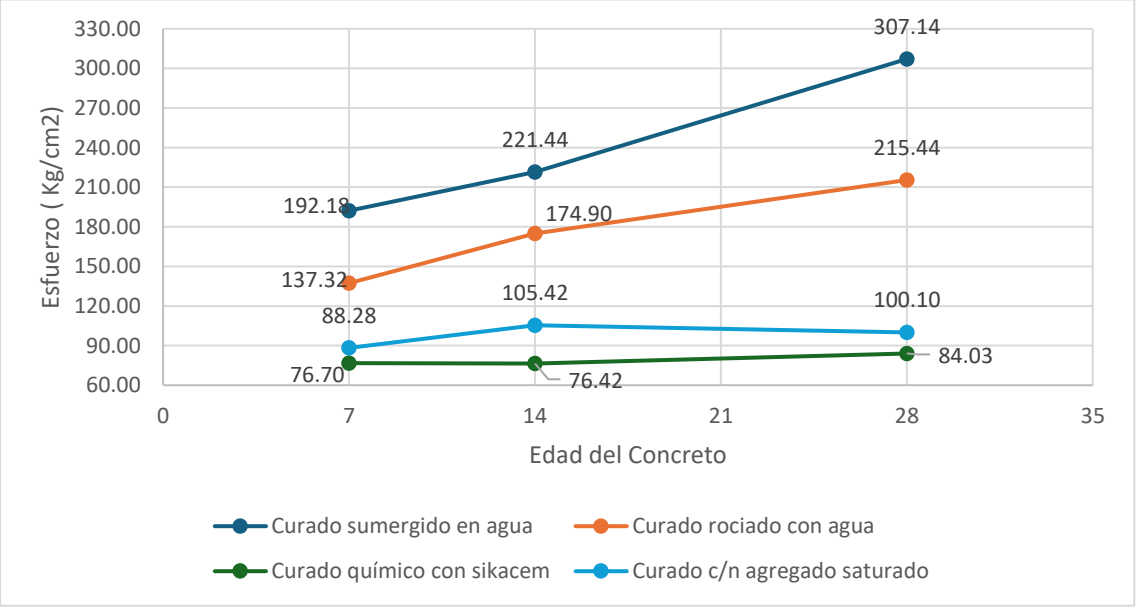
Tabla 118

Resumen de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.

Muestra	R.C. 7 días	R.C. 14 días	R.C. 28 días
Curado sumergido en agua	192.18	221.44	307.14
Curado rociado con agua	137.32	174.90	215.44
Curado químico con sikacem	76.70	76.42	84.03
Curado c/n agregado grueso saturado	88.28	105.42	100.10

Figura 15

Resistencia a compresión con diferentes curados y edades.



Con base en los valores consignados en la Tabla 119, se constata que, a los 28 días, el régimen de curado químico evidencia el coeficiente de variación más elevado en la resistencia a compresión, con un 8.65 %, seguido por el curado interno con 3.78 %, el curado sumergido en agua con 3.40 % y, en última posición, el curado con rociado con agua con 2.76 %. Esta tendencia queda plasmada en la siguiente tabla, donde se aprecia la magnitud de la variabilidad según el método de curado y el tiempo de evaluación.

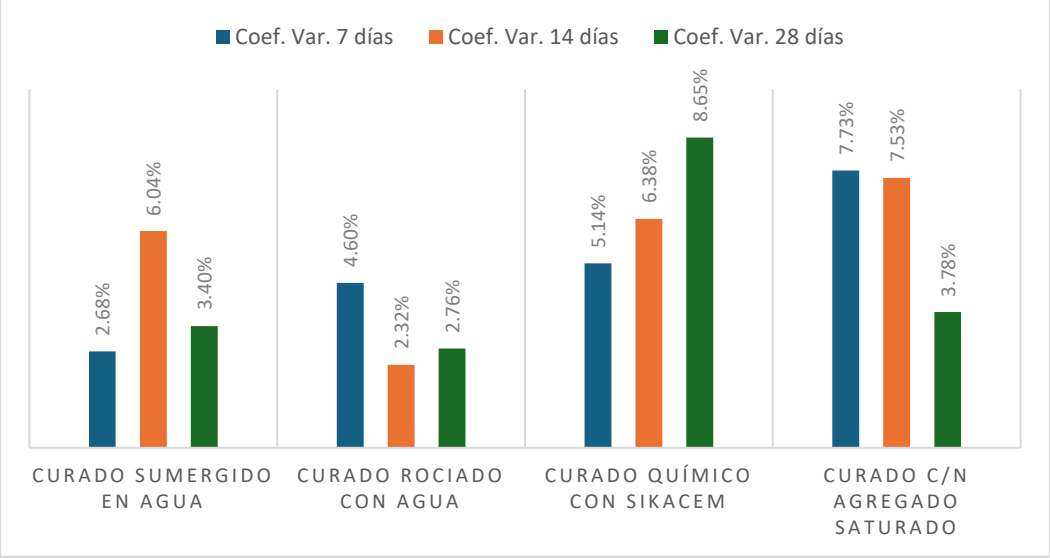
Tabla 119

Resumen del coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.

Muestra	Coef. Var. 7 días	Coef. Var. 14 días	Coef. Var. 28 días
Curado sumergido en agua	2.68%	6.04%	3.40%
Curado rociado con agua	4.60%	2.32%	2.76%
Curado químico con sikacem	5.14%	6.38%	8.65%
Curado c/n agregado grueso saturado	7.73%	7.53%	3.78%

Figura 16

Coeficiente de variación de la resistencia a compresión con diferentes curados y edades.



4.6 Costos unitarios

En concordancia con el análisis económico de los procedimientos de elaboración del concreto, se presenta el desglose de los insumos correspondientes a la fase de producción y al posterior proceso de curado, considerando los métodos de inmersión en agua, rociado con agua, curado químico y curado interno mediante agregado grueso saturado. Los resultados obtenidos se muestran en los cuadros que se presentan a continuación, clasificados según el tipo de elemento estructural al que fueron destinados.

4.6.1 Análisis de costos unitarios en columnas

Tabla 120

Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3.

Descripción de recursos para columnas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	23.26 kg	1430.67 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.14
Agregado fino	m3	22.47 kg	1521.54 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 1.03
Cemento portland tipo 1	bls	9.56 kg	42.50 kg/bls	0.22 bls	S/ 26.70	S/ 6.01
Agua	m3	6.09 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Agua para curado por inmersión	m3	43.00 lt	1000.00 lt/m3	0.04 m3	S/ 1.86	S/ 0.08
Total, para 0.0257 m3						**S/ 8.27**
Total, para 1.00 m3						**S/ 321.76**

Tabla 121

Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3.

Descripción de recursos para columnas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial

Agregado grueso	m3	23.26 kg	1430.67 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.14
Agregado fino	m3	22.46 kg	1521.54 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 1.03
Cemento portland tipo 1	bls	9.56 kg	42.50 kg/bls	0.22 bls	S/ 26.70	S/ 6.01
Agua	m3	6.09 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Agua aplicada por aspersión manual	m3	1482.50 lt	1000.00 lt/m3	1.48 m3	S/ 1.86	S/ 2.76
Total, para 0.0257 m3						**S/ 10.95**
Total, para 1.00 m3						**S/ 425.92**

Tabla 122

Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3.

Descripción de recursos para columnas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	23.26 kg	1430.67 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.14
Agregado fino	m3	22.46 kg	1521.54 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 1.03
Cemento portland tipo 1	bls	9.56 kg	42.50 kg/bls	0.22 bls	S/ 26.70	S/ 6.01
Agua	m3	6.09 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Aditivo curador	gln	0.24 lt	3.79 lt/gln	0.06 gln	S/ 38.14	S/ 2.45
Total, para 0.0257 m3						**S/ 10.64**
Total, para 1.00 m3						**S/ 413.99**

Tabla 123

Costo unitario de los materiales para la producción y curado interno con agregado grueso saturado por m3.

Descripción de recursos para columnas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	23.26 kg	1430.67 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.14
Agregado fino	m3	22.47 kg	1521.54 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 1.03

Cemento portland tipo 1	bls	9.56 kg	42.50 kg/bls	0.22 bls	S/ 26.70	S/ 6.01
Agua	m3	6.09 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Agua para curado interno	m3	11.10 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.02
Total, para 0.0257 m3						**S/ 8.21**
Total, para 1.00 m3						**S/ 319.45**

4.6.2 Análisis de costos unitarios en vigas

Tabla 124

Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3.

Descripción de recursos para vigas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	102.92 kg	1430.67 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 5.04
Agregado fino	m3	99.39 kg	1521.54 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 4.57
Cemento portland tipo 1	bls	42.31 kg	42.50 kg/bls	1.00 bls	S/ 26.70	S/ 26.58
Agua	m3	26.95 lt	1000.00 lt/m3	0.03 m3	S/ 1.86	S/ 0.05
Agua para curado por inmersión	m3	288.00 lt	1000.00 lt/m3	0.29 m3	S/ 1.86	S/ 0.54
Total, para 0.1137 m3						**S/ 36.77**
Total, para 1.00 m3						**S/ 323.37**

Tabla 125

Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3.

Descripción de recursos para vigas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	102.92 kg	1430.67 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 5.04
Agregado fino	m3	99.39 kg	1521.54 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 4.57
Cemento portland tipo 1	bls	42.31 kg	42.50 kg/bls	1.00 bls	S/ 26.70	S/ 26.58
Agua	m3	26.95 lt	1000.00 lt/m3	0.03 m3	S/ 1.86	S/ 0.05

Agua aplicada por aspersión manual	m3	4030.00 lt	1000.00 lt/m3	4.03 m3	S/ 1.86	S/ 7.50
Total, para 0.1137 m3						**S/ 43.73**
Total, para 1.00 m3						**S/ 384.57**

Tabla 126

Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3.

Descripción de recursos para vigas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	102.92 kg	1430.67 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 5.04
Agregado fino	m3	99.39 kg	1521.54 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 4.57
Cemento portland tipo 1	bls	42.31 kg	42.50 kg/bls	1.00 bls	S/ 26.70	S/ 26.58
Agua	m3	26.95 lt	1000.00 lt/m3	0.03 m3	S/ 1.86	S/ 0.05
Aditivo curador	gln	0.66 lt	3.79 lt/gln	0.18 gln	S/ 38.14	S/ 6.69
Total, para 0.1137 m3						**S/ 42.93**
Total, para 1.00 m3						**S/ 377.51**

Tabla 127

Costo unitario de los materiales para la producción y curado interno por m3.

Descripción de recursos para vigas	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	102.92 kg	1430.67 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 5.04
Agregado fino	m3	99.39 kg	1521.54 kg/m3	0.07 m3	S/ 70.00	S/ 4.57
Cemento portland tipo 1	bls	42.31 kg	42.50 kg/bls	1.00 bls	S/ 26.70	S/ 26.58
Agua	m3	26.95 lt	1000.00 lt/m3	0.03 m3	S/ 1.86	S/ 0.05
Agua para curado interno	m3	49.09 lt	1000.00 lt/m3	0.05 m3	S/ 1.86	S/ 0.09
Total, para 0.1137 m3						**S/ 36.33**
Total, para 1.00 m3						**S/ 319.46**

4.6.3 Análisis de costos unitarios en cimentaciones

Tabla 128

Costo unitario de los materiales para la producción y curado sumergido en agua por m3.

Descripción de recursos para cimentaciones	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	18.44 kg	1429.00 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 0.90
Agregado fino	m3	26.39 kg	1613.00 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.15
Cemento portland MH(R)	bls	9.80 kg	42.50 kg/bls	0.23 bls	S/ 25.42	S/ 5.86
Agua	m3	5.38 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Aditivo impermeabilizante	gln	0.098 lt	3.79 lt/gln	0.03 gln	S/ 27.12	S/ 0.70
Agua para curado por inmersión	m3	43.00 lt	1000.00 lt/m3	0.04 m3	S/ 1.86	S/ 0.08
Total, para 0.0257 m3						**S/ 8.71**
Total, para 1.00 m3						**S/ 335.51**

Tabla 129

Costo unitario de los materiales para la producción y curado rociado con agua por m3.

Descripción de recursos para cimentaciones	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	18.44 kg	1429.00 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 0.90
Agregado fino	m3	26.39 kg	1613.00 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.15
Cemento portland MH(R)	bls	9.80 kg	42.50 kg/bls	0.23 bls	S/ 25.42	S/ 5.86
Agua	m3	5.38 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Aditivo impermeabilizante	gln	0.098 lt	3.79 lt/gln	0.03 gln	S/ 27.12	S/ 0.70
Agua aplicada por aspersión manual	m3	1482.50 lt	1000.00 lt/m3	1.48 m3	S/ 1.86	S/ 2.76
Total, para 0.0257 m3						**S/ 11.38**
Total, para 1.00 m3						**S/ 438.70**

Tabla 130

Costo unitario de los materiales para la producción y curado químico por m3.

Descripción de recursos para cimentaciones	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	18.44 kg	1429.00 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 0.90
Agregado fino	m3	26.39 kg	1613.00 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.15
Cemento portland MH(R)	bls	9.80 kg	42.50 kg/bls	0.23 bls	S/ 25.42	S/ 5.86
Agua	m3	5.38 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Aditivo impermeabilizante	gln	0.098 lt	3.79 lt/gln	0.03 gln	S/ 27.12	S/ 0.70
Aditivo curador	gln	0.24 lt	3.79 lt/gln	0.06 gln	S/ 38.14	S/ 2.45
Total, para 0.0257 m3						**S/ 11.08**
Total, para 1.00 m3						**S/ 426.88**

Tabla 131

Costo unitario de los materiales para la producción y curado c/n agregado grueso saturado por m3.

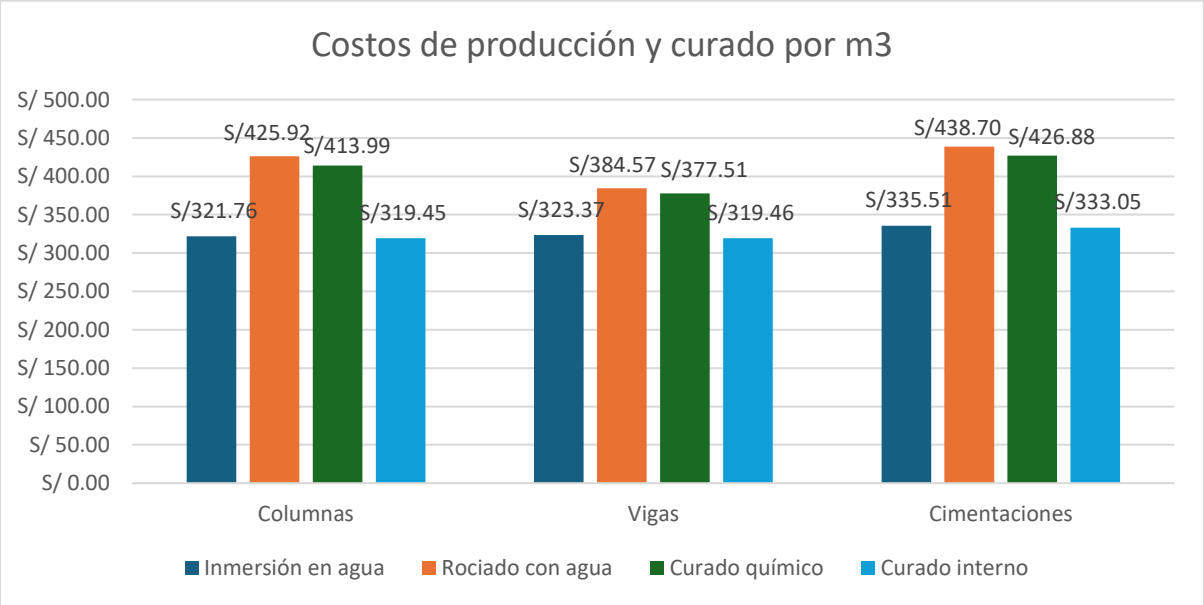
Descripción de recursos para cimentaciones	Unidad	Cantidad en pesos	Conversión de pesos a volumen	Cantidad en volumen	Precio	Parcial
Agregado grueso	m3	18.44 kg	1429.00 kg/m3	0.01 m3	S/ 70.00	S/ 0.90
Agregado fino	m3	26.39 kg	1613.00 kg/m3	0.02 m3	S/ 70.00	S/ 1.15
Cemento portland MH(R)	bls	9.80 kg	42.50 kg/bls	0.23 bls	S/ 25.42	S/ 5.86
Agua	m3	5.38 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.01
Aditivo impermeabilizante	gln	0.098 lt	3.79 lt/gln	0.03 gln	S/ 27.12	S/ 0.70
Agua para curado interno	m3	8.80 lt	1000.00 lt/m3	0.01 m3	S/ 1.86	S/ 0.02
Total, para 0.0257 m3						**S/ 8.64**
Total, para 1.00 m3						**S/ 333.05**

4.6.4 Análisis de costos unitarios

El contraste de los costos unitarios asociados a la producción y a los distintos métodos de curado del concreto evidencia variaciones significativas en la inversión requerida por metro cúbico de mezcla. Tal como se muestra en la figura 17, en elementos representativos de columnas, vigas y cimentaciones, el curado por rociado de agua presenta el mayor costo unitario, alcanzando S/ 425.92, S/ 384.57 y S/ 438.70 respectivamente, esto debido principalmente al consumo de agua requerido para su aplicación mediante aspersión manual en ciclos diarios durante siete días. En contraste, el curado interno mediante agregado grueso saturado registra los costos más bajos, de S/ 319.45, S/ 319.46 y S/ 333.05, respectivamente, posicionándose como las alternativas más económicas.

Figura 17

Análisis de costos unitarios de producción y métodos de curado por m3 de concreto.



4.6.5 Relación de las propiedades mecánicas a los 28 días con el consumo de agua

En esta sección se evaluó la relación entre la resistencia alcanzada y el consumo de agua. Para los elementos representativos de columnas y cimentaciones, se consideró la

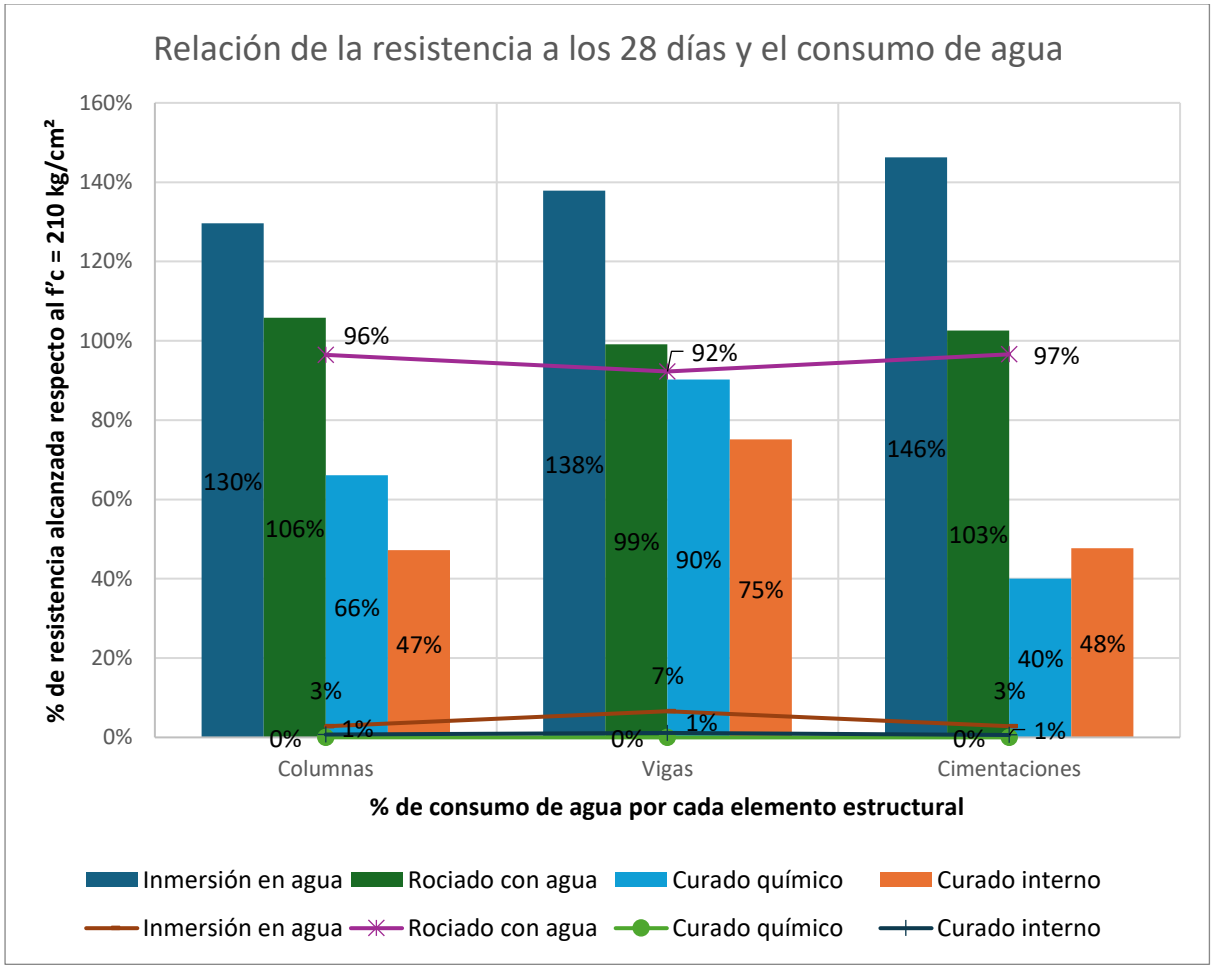
resistencia a la compresión a los 28 días, expresada como porcentaje respecto a la resistencia de diseño (f'c = 210 kg/cm²).

En el caso de los elementos representativos de vigas, se evaluó la resistencia a la flexión a los 28 días, también expresada en porcentaje respecto al módulo de rotura correspondiente a dicha resistencia de diseño, equivalente a 28.84 kg/cm², valor empleado en la práctica.

En cuanto al consumo de agua, se consideró el volumen utilizado durante el proceso de curado de columnas, vigas y cimentaciones, en los tres casos de forma independiente. A partir de ello, se determinó el porcentaje de consumo de agua para cada tipo de curado en cada elemento estructural. Los resultados se presentan en la figura 18.

Figura 18

Relación de la resistencia a los 28 días y el consumo de agua.



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Para objetivo específico 01

Los ensayos de resistencia a la compresión evidenciaron que el curado por inmersión en agua fue el método que alcanzó los valores más elevados en todas las edades evaluadas (7, 14 y 28 días). En el caso de los especímenes representativos de columnas, se obtuvo una resistencia de 272.17 kg/cm² a los 28 días, equivalente al 130 % de la resistencia de diseño, por su parte, los especímenes representativos de cimentaciones alcanzaron un valor máximo de 307.14 kg/cm² a la misma edad, lo que representa el 146 % del valor de diseño.

Este comportamiento confirma que la disponibilidad continua de agua durante el proceso de curado favorece una hidratación más completa del cemento, lo que se traduce en una mayor densificación de la microestructura del concreto endurecido y, en consecuencia, en un incremento significativo de sus propiedades mecánicas. Asimismo, en el caso de las cimentaciones, la presencia permanente de agua permitió compensar parcialmente la baja permeabilidad inducida por el aditivo impermeabilizante y la hidratación más lenta del cemento tipo MH (R), favoreciendo el desarrollo de la resistencia. No obstante, su aplicación en obra presenta limitaciones prácticas, ya que este tipo de curado se emplea principalmente en especímenes de laboratorio bajo condiciones controladas. En ese sentido, los valores de los ensayos obtenidos podrían representar una sobreestimación respecto a la resistencia que alcanzan los elementos en condiciones reales de campo, donde el control de la humedad es menos riguroso.

En comparación, el curado por rociado presentó un desempeño aceptable, ya que las resistencias obtenidas a las diferentes edades se ubicaron dentro de los rangos empleados en la práctica. En el caso de los especímenes representativos de columnas, se alcanzó una resistencia de 222.26 kg/cm², equivalente al 106 % de la resistencia de diseño; mientras que, para las cimentaciones, se obtuvo un valor de 215.44 kg/cm², correspondiente al 103 % del diseño.

No obstante, estos resultados son inferiores a los obtenidos mediante el curado por inmersión, lo cual puede atribuirse a la aplicación intermitente del agua, que favorece la pérdida de humedad por evaporación y limita el grado de hidratación del cemento. Consiguientemente, en el caso de las cimentaciones, la presencia del aditivo impermeabilizante reduce la absorción superficial, restringiendo la penetración del agua aplicada por rociado; en consecuencia, estos valores son ligeramente inferiores en comparación con los elementos representativos de las columnas. Por ello, este método refleja de manera más precisa las condiciones reales de obra, por lo que los valores obtenidos resultan más representativos y confiables para su aplicación práctica.

El curado químico con Sikacem, en contraste, no logró alcanzar los niveles de resistencia requeridos en la práctica para las edades evaluadas. En los especímenes representativos de columnas se registró una resistencia de 138.85 kg/cm², equivalente al 66 % del valor de diseño; mientras que, en el caso de las cimentaciones, se obtuvo el valor más bajo de 84.03 kg/cm², correspondiente al 40 % del diseño.

Estos resultados sugieren que la formación de una membrana superficial no garantiza un proceso de hidratación uniforme en todo el volumen del concreto, limitando el adecuado desarrollo de su resistencia a la compresión. Asimismo, el bajo desempeño observado puede estar influenciado por las condiciones propias de los elementos estructurales ensayados, particularmente el tipo de encofrado, ya que en algunos casos solo se dispone de una cara expuesta para la aplicación del producto y adicionalmente, en los especímenes representativos de cimentaciones, la presencia del aditivo impermeabilizante, que reduce la permeabilidad y limita el movimiento interno del agua, junto con el calor de hidratación más lenta del cemento tipo MH (R), generó condiciones desfavorables para la acción del curador químico. En estas circunstancias, el concreto requería un suministro adicional y continuo de agua para sostener adecuadamente el proceso de hidratación; sin embargo, la aplicación de una película superficial

de curador no solo resultó insuficiente, sino que limitó el intercambio de humedad necesario, en este contexto, el curador actuó únicamente a nivel superficial, lo que derivó en una hidratación incompleta y, en consecuencia, en una reducción significativa de la resistencia.

En ese sentido, el uso de este tipo de curado podría ser más adecuado en elementos como losas de gran área superficial y reducido espesor, donde se facilita una aplicación más uniforme. Sin embargo, en elementos como columnas y vigas, el desencofrado posterior dificulta el cumplimiento de las condiciones óptimas de aplicación recomendadas por el fabricante, lo que afecta negativamente su eficacia.

En el caso del curado interno, los especímenes representativos de columnas evidenciaron una disminución significativa en la resistencia a la compresión, registrándose el valor más bajo de 99.12 kg/cm², equivalente al 47 % de la resistencia de diseño. De manera similar, los especímenes representativos de cimentaciones alcanzaron una resistencia de 100.10 kg/cm², correspondiente al 48 % del valor de diseño.

Este comportamiento puede explicarse por el mecanismo propio del curado interno, en el cual el agua retenida en los agregados es liberada de manera progresiva, favoreciendo la hidratación del cemento principalmente en edades tempranas. Sin embargo, este aporte hídrico es limitado en el tiempo; una vez consumida el agua disponible, el proceso de hidratación se restringe, afectando el desarrollo continuo de la resistencia, en el caso de las cimentaciones, la presencia del aditivo impermeabilizante contribuye a reducir la pérdida de humedad interna, lo que permite una mayor permanencia del agua liberada por los agregados, lo que explica el ligero incremento de resistencia respecto a los especímenes de columnas.

Por otro lado, los resultados obtenidos en la presente investigación difieren de los reportados por Vásquez (2019) y Espinoza (2019), quienes identificaron mejoras en el comportamiento mecánico del concreto mediante la incorporación de agregados previamente saturados. Esta discrepancia podría estar relacionada con las diferencias metodológicas y las

características físicas de los materiales empleados. En particular, mientras que los autores mencionados evaluaron porcentajes de sustitución parcial del agregado grueso, en la presente investigación se utilizó el 100 % del agregado grueso previamente saturado.

Asimismo, otro factor que podría haber influido en los resultados es la morfología predominantemente redondeada y la textura superficial lisa del agregado utilizado, características que pueden condicionar la adherencia entre el cemento y el agregado, esta condición fue evidenciada durante la evaluación visual de los especímenes después de la rotura, donde se observaron fragmentos con partículas sueltas y una textura menos compacta, lo que indica una estructura interna menos densa. De igual manera, su capacidad de absorción y almacenamiento de agua podría haber limitado la disponibilidad de humedad interna necesaria para favorecer el proceso de hidratación del cemento. En consecuencia, las menores resistencias a compresión obtenidas podrían estar asociadas a la combinación de estos factores; sin embargo, su influencia específica requiere investigaciones complementarias que permitan determinar las causas de las diferencias observadas.

Finalmente, los resultados no respaldan la hipótesis planteada, dado que el curado interno presentó una menor resistencia a la compresión frente a los métodos convencionales evaluados, evidenciando que, bajo las condiciones de la investigación, la saturación total del agregado grueso no garantizó un mejor desempeño mecánico.

5.2 Para objetivo específico 02

Los ensayos de resistencia a la flexión en elementos representativos de vigas evidenciaron que el curado por inmersión en agua alcanzó los valores más altos de módulo de rotura en todas las edades evaluadas (7, 14 y 28 días), situándose dentro de los rangos recomendados en la práctica. El valor máximo registrado fue de 39.77 kg/cm² a los 28 días, el cual representa el 138 % del módulo de rotura mínimo exigido para dicha edad, correspondiente al curado por inmersión, este comportamiento favorece un adecuado desarrollo de la resistencia

a la flexión, al garantizar una hidratación más completa del cemento y una mejor cohesión interna del material.

En cuanto al curado mediante rociado con agua en especímenes representativos de vigas, se alcanzó un módulo de rotura de 28.6 kg/cm², el cual representa el 99% del módulo de rotura mínimo. Si bien este valor es inferior al obtenido con el curado por inmersión, se mantiene dentro de los rangos recomendados en la práctica. Esta diferencia puede atribuirse a la pérdida de humedad durante los intervalos en los que no se aplica el agua, lo que limita el proceso continuo de hidratación del cemento y, en consecuencia, el desarrollo óptimo de la resistencia a la flexión, sin embargo, la variación de 1% respecto al valor referencial no representa un riesgo estructural.

El curado químico alcanzó un módulo de rotura de 26.02 kg/cm² a los 28 días de edad, representando un 90% del módulo de rotura mínimo, valor que no se encuentra dentro de los rangos de resistencia recomendados en la práctica. Este resultado sugiere que la formación de una película superficial no garantiza una hidratación uniforme del concreto, lo que limita el adecuado desarrollo de su resistencia a la flexión. Asimismo, su eficacia se ve condicionada por las características del elemento estructural representado y las condiciones de aplicación, ya que el encofrado en vigas restringe la superficie expuesta a una sola cara, dificultando una aplicación uniforme del producto en el resto del elemento. En ese sentido, este tipo de curado podría ser más adecuado en elementos de gran área superficial y reducido espesor, como losas, mientras que en elementos como columnas, cimentaciones y vigas su efectividad se ve limitada.

Los especímenes representativos de vigas con curado interno registraron los valores más bajos de módulo de rotura en los ensayos de resistencia a la flexión, alcanzando un valor de 21.67 kg/cm². Este resultado representa el 75 % del valor mínimo recomendado en la práctica para un concreto con resistencia de diseño de 210 kg/cm² a los 28 días. Este comportamiento puede atribuirse a una menor homogeneidad y adherencia entre la pasta de

cemento y los agregados. Dicha condición fue corroborada mediante la observación visual de los especímenes posteriores a la rotura, donde se identificaron partículas sueltas y una estructura interna menos compacta, factores que inciden directamente en la disminución de la resistencia a la flexión del concreto.

En ese sentido, los ensayos de flexión mostraron que el curado por inmersión en agua alcanzó los mejores resultados en todas las edades, superando al curado por rociado y, con mayor diferencia, a los métodos químico e interno. El curado por rociado, aunque cercano al de inmersión, no logró igualar sus valores debido a la falta de uniformidad en la humedad suministrada, mientras que el curado químico y el interno ofrecieron desempeños considerablemente más bajos. Este último contradijo lo indicado por Tejada y Pérez (2020), quienes habían atribuido ventajas a la liberación progresiva de agua desde agregados saturados.

Los resultados obtenidos sugieren que la liberación de humedad del agregado grueso saturado pudo ser insuficiente para favorecer el desarrollo de la resistencia a la flexión, posiblemente debido a sus características de absorción y retención de agua. Estos hallazgos guardan relación con lo señalado por Gómez et al. (2019), quienes destacan la importancia del suministro de humedad en el comportamiento del concreto y reportaron que el curado con agua alcanzó la mayor resistencia, superando en un 23,9 % el valor esperado.

Por otro lado, los resultados obtenidos no respaldan la hipótesis planteada, la cual proponía que el curado interno sería el método más eficaz para el desarrollo de la resistencia a la flexión del concreto. Por el contrario, se evidenció un desempeño inferior frente a los métodos convencionales.

5.3 Para objetivo específico 03

El análisis económico de la producción y el curado de especímenes representativos de columnas evidenció que el curado por inmersión en agua no solo presentó el mejor desempeño en términos mecánicos, sino que también se posicionó como una alternativa económicamente

competitiva, con un costo de S/. 321.76 por metro cúbico de concreto. Este resultado se relaciona directamente con su bajo consumo de agua, el cual representó solo el 3 % del total asignado para este tipo de elemento. Por otro lado, el curado por rociado resultó ser el método más costoso, debido a su alta demanda de agua y mano de obra, alcanzando un valor de S/. 425.92 por metro cúbico; en este caso, el consumo de agua representó el 96 % del total. De manera similar, el curado químico presentó un costo elevado de S/. 413.99 por metro cúbico, principalmente asociado al precio del producto empleado. Finalmente, el curado interno registró el menor costo, con S/. 319.45 por metro cúbico, debido a su condición de autocurado, que implicó un consumo de agua de apenas el 1 % del total. No obstante, esta aparente ventaja económica no se traduce en un beneficio integral, ya que su desempeño mecánico fue significativamente inferior.

En el caso de los especímenes representativos de vigas, se obtuvieron resultados análogos a los observados en columnas. El curado por inmersión en agua presentó un costo de producción de S/. 323.37 por metro cúbico, con un consumo de agua equivalente al 7 % del total asignado para este elemento. Por su parte, el curado por rociado registró el mayor costo, alcanzando S/. 384.57 por metro cúbico, debido a su elevada demanda de agua, que representó el 92 % del total. En cuanto al curado químico, este presentó un costo intermedio de S/. 377.51 por metro cúbico, principalmente asociado al precio del producto utilizado. Finalmente, el curado interno registró el menor costo, con un valor de S/. 319.46 por metro cúbico, debido a su bajo consumo de agua, que representó al 1 % del total. No obstante, esta ventaja económica no compensa su bajo desempeño mecánico, ya que presentó los valores más desfavorables en los ensayos de resistencia a la flexión.

En el caso de los elementos representativos de cimentaciones, los costos de producción incluyen un aditivo impermeabilizante, un tipo de cemento hidráulico específico y una dosificación para concreto f’c=210 kg/cm2 distinta a la empleada en los elementos de columnas

y vigas, sin embargo, la relación de costos mantiene una tendencia análoga a la observada en los otros elementos. En el caso del curado por inmersión en agua, se obtuvo un costo de S/. 335.51 por metro cúbico, con un consumo de agua equivalente al 3 % del total asignado. Por su parte, el curado por rociado alcanzó el mayor costo, con S/. 438.70 por metro cúbico, debido tanto al uso de aditivo impermeabilizante como a su elevada demanda de agua, la cual representó el 96 % del total. En cuanto al curado químico, este presentó un costo intermedio de S/. 426.88 por metro cúbico, asociado principalmente al precio del producto utilizado.

Finalmente, el curado interno registró el menor costo, con S/. 333.05 por metro cúbico, debido a su bajo consumo de agua con el 1 % del total. No obstante, si bien este método reduce significativamente el consumo de agua, dicha ventaja económica no compensa su bajo desempeño en resistencia a la compresión, cuyos valores se ubicaron por debajo de los niveles esperados con respecto a los métodos convencionales, lo que contradice lo planteado por Betancourth (2017) y Zambrano et al. (2022), quienes habían defendido su rentabilidad. Este hallazgo refuerza lo expuesto por Mehta y Monteiro (2014), quienes advierten que los métodos químicos tienden a incrementar los costos sin garantizar mejoras proporcionales en la calidad del concreto.

Por otro lado, los resultados obtenidos confirman la hipótesis planteada, evidenciando que los costos asociados al curado interno son inferiores en comparación con los métodos convencionales evaluados.

VI. CONCLUSIONES

- En consecuencia, respecto al objetivo específico 1, los resultados permiten establecer que, si bien el curado por inmersión proporciona las condiciones más favorables para el desarrollo de la resistencia del concreto, su aplicación en obra presenta limitaciones prácticas. En este contexto, el curado por rociado se establece como la alternativa más viable para su implementación en viviendas, como la considerada en el presente estudio. De igual manera, este método evidenció un mejor desempeño en los elementos estructurales representativos (columna y cimentaciones) en comparación con el curado químico con Sikacem y el curado interno con agregados saturados, cuyos resultados no alcanzaron niveles de resistencia equivalentes. En ese sentido, los hallazgos obtenidos difieren parcialmente de algunos antecedentes que atribuían ventajas significativas a métodos alternativos. De este modo, se concluye que el curado por rociado constituye la técnica más adecuada para garantizar un equilibrio entre desempeño mecánico, viabilidad constructiva y aplicabilidad en condiciones reales.
- Con respecto a los ensayos de flexión que corresponden al objetivo específico 2, el curado por inmersión también evidenció la superioridad en valores resistentes, ubicándose por encima del rociado y con mayor diferencia respecto a los métodos químico e interno. Este resultado demuestra que la inmersión proporciona una mejor consolidación interna del cemento con el agregado, no obstante, este método presenta limitaciones prácticas para su aplicación en campo. En ese contexto, el curado por rociado se posiciona como una alternativa más viable en obra, al permitir una adecuada aplicación en vigas y garantizar niveles de resistencia acordes con las exigencias de la práctica, lo que asegura un comportamiento estructural más confiable frente a esfuerzos de flexión.
- En términos económicos, respecto al objetivo específico 3, el curado interno presenta el menor costo; sin embargo, desde un enfoque técnico-económico, este método evidencia los

valores más bajos de resistencia a la compresión y flexión, lo que limita su confiabilidad frente a los métodos convencionales. Por otro lado, el curado por inmersión ofrece el mejor desempeño mecánico en condiciones ideales. En este contexto, el curado por rociado se presenta como la alternativa más viable en campo, ya que, si bien implica un mayor costo, permite garantizar resistencias de compresión y flexión dentro de los rangos requeridos en la práctica. En consecuencia, considerando de manera integral el costo, el desempeño mecánico y la viabilidad constructiva, se determina que el curado por rociado con agua constituye la opción más conveniente, priorizando el comportamiento estructural del concreto como criterio fundamental de seguridad.

- Los especímenes provenientes de obra y ensayados en laboratorio, bajo condiciones controladas y mediante curado por inmersión en agua, pueden presentar valores sobreestimados tanto en la resistencia a la compresión como en el módulo de rotura. En consecuencia, estos resultados no necesariamente reflejan el comportamiento real de las propiedades mecánicas del concreto en elementos estructurales ejecutados en campo, donde las condiciones de curado son menos controladas.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los responsables de la ejecución de proyectos de edificaciones en zonas con características similares al distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, emplear el curado por rociado con agua, debido a su adecuada viabilidad de aplicación en obra y asimismo que garantiza niveles de resistencia a la compresión superiores a la resistencia de diseño (f'c = 210 kg/cm²) en columnas y cimentaciones, bajo condiciones reales.
- Se recomienda a los responsables de obra implementar un control continuo del curado por rociado, a fin de minimizar la pérdida de humedad por evaporación y asegurar el desarrollo adecuado de la resistencia a la flexión, garantizando el cumplimiento del módulo de rotura mínimo (fr = 28.84 kg/cm²) correspondiente a una resistencia de diseño de f'c = 210 kg/cm² en vigas.
- Se recomienda que la selección del método de curado no se base únicamente en el costo, sino en un análisis integral que considere el desempeño mecánico, la viabilidad constructiva y la seguridad estructural del elemento.
- Se recomienda desarrollar investigaciones orientadas a evaluar la eficiencia del curado químico en elementos estructurales de gran área superficial y reducido espesor, como losas, donde su aplicación puede ser más uniforme. Asimismo, se sugiere evitar su uso en elementos confinados (columnas y vigas), en los cuales su efectividad tiende a disminuir. Para futuras investigaciones, se recomienda emplear métodos destructivos de extracción de probetas mediante perforación con diamantina, ya que el uso de moldes comerciales no permite reproducir adecuadamente las condiciones reales de una losa, lo que podría afectar la representatividad de los resultados.
- Para la aplicación del curado por rociado con agua, se recomienda realizar la humectación de la superficie del elemento estructural cinco veces al día, con una duración aproximada de 10 minutos por cada aplicación, durante un periodo mínimo de siete días de curado.

- Se recomienda a los laboratorios y a los profesionales del control de calidad realizar los ensayos de especímenes provenientes de obra bajo condiciones que reproduzcan, en la medida de lo posible, el entorno real de ejecución, a fin de evitar la sobreestimación de las propiedades mecánicas del concreto.
- En zonas aledañas al área de estudio y, en general, en el distrito de Carmen Alto, provincia de Huamanga, se recomienda realizar inspecciones visuales periódicas para identificar posibles filtraciones de agua a nivel de las cimentaciones, originadas principalmente por riegos en áreas colindantes. La detección oportuna de estas condiciones permite prevenir efectos adversos en el concreto de cimentación, así como problemas de capilaridad que pueden generar humedad en los muros y, consecuentemente, el desprendimiento de la pintura.
- Se recomienda evaluar experimentalmente la influencia de la sustitución parcial del agregado grueso convencional por agregado grueso previamente saturado, considerando porcentajes de reemplazo del 30 %, 50 % y 70 %, así como una sustitución total del 100 %, manteniendo constantes las demás condiciones del diseño de mezcla. Asimismo, se sugiere comparar agregados de distinta morfología y capacidad de absorción, a fin de determinar la influencia de estos factores en la eficacia del curado interno y en el desarrollo de las propiedades mecánicas del concreto.

VIII. REFERENCIAS

Betancourth, J. (2017). *Evaluación del efecto del curado interno mejorado en las propiedades físico-mecánicas y de durabilidad de grouts de tendones de preesfuerzo*. [Tesis de posgrado, Universidad Autónoma de Nuevo León]. Repositorio Institucional UANL. http://eprints.uanl.mx/id/eprint/18673

Cabrera, D., y Mayo, M. (2020). *Incidencia de adición de partículas de aluminio en las propiedades físico-mecánicas del concreto Lima 2021*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. https://hdl.handle.net/20.500.12692/106894

Cango, A., y Saca, S. (2023). *Influencia de la adición de polvo de PVC reciclado para disminuir la capilaridad y el efecto de eflorescencia en el concreto f'c= 210 y 280 kg/cm² en proporciones de 1%, 2.5% y 5% del peso del cemento, Lima, 2022.* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional UPN. https://hdl.handle.net/11537/34165

Cerdán, H. (2023). *Influencia de la adición de viruta de aluminio en la resistencia mecánica de un concreto de f'c=210 kg/cm², en la ciudad de Cajamarca.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. http://hdl.handle.net/20.500.14074/5981

Espinoza, K. (2019). *Evaluación del curado interno del concreto, empleando material cerámico en la mezcla del concreto.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. Repositorio Institucional UNHV. https://hdl.handle.net/20.500.13080/5490

Gómez, S., Hoyos, M., Ospina, T, y Revilla, V. (2019). *Afectación de la resistencia a la compresión de probetas en concreto hidráulico ante diferentes métodos de curado.* [Tesis de pregrado, Universidad Libre]. Repositorio Institucional UNILIBRE. https://hdl.handle.net/10901/20184

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2020a). NTP 400.017:2020. *Agregados. Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados.* https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas.

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2020b). NTP 400.021:2020. *Agregados. Densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. Método de ensayo.* https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2021a). NTP 339.034:2021 *Concreto. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. Método de ensayo.* (5ª ed.). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2021b). NTP 400.012:2021. *Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino y grueso. Método de ensayo.* (4ª ed.). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2022). NTP 339.035:2022. *Concreto. Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico. Método de ensayo.* (5ª ed.). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2023). NTP 339.079:2023. *Concreto. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas en el centro del tramo.* (4ª ed.). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2024). NTP 400.022:2024. *Agregados. Determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. Método de ensayo.* (5ª ed.). https://www.inacal.gob.pe/cid/categoria/normas-tecnicas-peruanas

Matallana, R. (2019). *El concreto Fundamentos y nuevas tecnologías.* https://conconcreto.com/wp-content/uploads/2023/02/EL-CONCRETO-Fundamentos-y-nuevas-tecnologias..pdf

Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado.* DS 010-2009-Vivienda, 201.

Norma Técnica Peruana NTP 339.035. (2015). *Concreto. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de Cemento Portland. 14.*

Quispe, R. (2021). *Influencia del curado en las propiedades mecánicas del concreto en la ciudad de Puno, 2021.* [Tesis de pregrado]. Universidad César Vallejo.

Rodríguez, S. (2016). *Evaluación de los efectos del curado interno en el concreto.* [Tesis de posgrado]. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Sampieri, R., Collado, C., y Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6ª ed., vol. 6). Mc Graw Hill Education.

Santa Cruz, J. (2019). *Método de curado interno de elementos de concreto usando agregados en su condición de saturados con humedad superficial para alcanzar su resistencia a compresión de diseño - Cajamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. http://hdl.handle.net/20.500.14074/3296

Tejada, L., y Pérez, H. (2020). *Efectividad del curado interno del concreto mediante la saturación del agregado grueso en comparación a otros tipos de curado.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. http://hdl.handle.net/20.500.14074/1295

Vásquez, A. (2019). *Concreto autocurable f'c=210 kg/cm², reemplazando un porcentaje de agregado grueso con traquita.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional UNC. http://hdl.handle.net/20.500.14074/3205

Zambrano, L., Alava, R., Ruíz, W., y Menéndez, E. (2022). Application of curing methods and their influence on the compression strength of concrete. *Gaceta Técnica, 23*(1), 35–47. https://doi.org/10.51372/gacetatecnica231.4

IX. ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADOR	METODOLOGÍA
General: ¿Cómo influye el curado interno mediante la saturación del agregado grueso en las propiedades mecánicas y costos del concreto f´c 210 kg/cm², frente a métodos convencionales de curado en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho? Específico 1: ¿Cómo se desempeña el curado interno mediante la saturación del agregado grueso en la resistencia a la compresión del concreto f´c 210 kg/cm², frente a los métodos convencionales de curado (rociado, curado químico y curado por inmersión), a edades de 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como columnas y cimentación? Específico 2: ¿Qué diferencias se presentan en la resistencia a la flexión del concreto f´c 210 kg/cm² con curado interno mediante la saturación del agregado grueso, frente a los métodos convencionales de curado (rociado, curado químico y curado por inmersión) a edades de 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como vigas? Específico 3: ¿Qué variación existe en los costos asociados a la implementación del curado interno del concreto f´c 210 kg/cm² frente a los métodos convencionales de curado en elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación en viviendas?	General: Evaluar la influencia del curado interno mediante la saturación del agregado grueso en las propiedades mecánicas y costos del concreto f´c 210 kg/cm², frente a métodos convencionales de curado en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho, 2025. Específico 1: Comparar la resistencia a la compresión del concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante saturación del agregado grueso, frente a los métodos de curado por rociado con agua, curado químico y curado por inmersión, a los 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como columnas y cimentación. Específico 2: Analizar la resistencia a la flexión del concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante saturación del agregado grueso, frente a los métodos convencionales mencionados, a los 7, 14 y 28 días en elementos estructurales como vigas. Específico 3: Determinar variación de los costos unitarios asociados al curado interno del concreto f´c 210 kg/cm² por saturación del agregado grueso con los costos de los métodos convencionales de curado: rociado con agua, aplicación de compuesto químico y curado por inmersión en elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación.	General: El concreto f´c 210 kg/cm² curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta un desempeño superior en sus propiedades mecánicas y representa la alternativa de menor costo en comparación con los métodos convencionales de curado, en elementos estructurales representativos de viviendas del distrito de Carmen Alto, Huamanga – Ayacucho, 2025. Específica 1: El concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como columnas y cimentación, curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta una mayor resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, en comparación con los concretos curados por rociado con agua, membrana líquida y por inmersión. Específica 2: El concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como vigas, curado internamente mediante la saturación del agregado grueso presenta una mayor resistencia a la flexión a los 7, 14 y 28 días, en comparación con los concretos curados por rociado, con membrana líquida y por inmersión. Específica 3: El curado interno mediante saturación del agregado grueso reduce los costos unitarios de curado del concreto f´c 210 kg/cm² para elementos estructurales como vigas, columnas y cimentación, en comparación con los métodos convencionales de curado.	**Variable. Independiente**: -Tipos de curado **Variable. Dependiente**: Propiedades mecánicas del concreto y costos	Curado sumergido en agua Curado rociado con agua Curado químico con sikacem Curado interno con agregado grueso saturado Resistencia a la compresión Resistencia a la flexión Costos unitarios	Resistencia mecánica y costo unitario Resistencia mecánica y costo unitario Resistencia mecánica y costo unitario Resistencia mecánica y costo unitario Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días y coeficiente de variación Módulo de rotura a los 7,14 y 28 días y coeficiente de variación Costo de producción y curado de 1m3 de concreto	Tipo: Aplicada Enfoque: Cuantitativo Diseño: Experimental Alcance: Explicativo Población: Elementos estructurales de concreto (columnas, vigas y cimentaciones) de resistencia f´c 210 kg/cm² Muestra:156 especímenes de concreto (120 cilíndricas y 36 vigas).

Anexo B. Certificados de ensayos del laboratorio LEMSAC S.R.L.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETOS Y ASFALTO
Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGOS "A", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XB, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25
FECHA : 03-jun-25

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c Kg/cm2	EDAD DIAS	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA CORREGIDA	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	A-1	TESTIGOS "A1", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	7	03-jun-25	11660	11660	144	69
2	A-2	TESTIGOS "A2", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	7	03-jun-25	12630	12606	155	74
3	A-3	TESTIGOS "A3", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	7	03-jun-25	12260	12234	150	72
4	A-4	TESTIGOS "A4", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	7	03-jun-25	10770	10733	133	63
5	A-5	TESTIGOS "A5", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	7	03-jun-25	11160	11126	137	65
									Promedio	143,83	
									Varianza	82,65	
									Deviación estándar σ	9,09	
									Coeficiente de variacion	6,32%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arones
CIP N° 95458
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasaelly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "S", CURADO ROCIADO CON AGUA.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 04 de junio 2025

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c Kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	RESISTENCIA %
1	B-1	TESTIGO "B1", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	7	04-jun-25	11160	11126	138	65
2	B-2	TESTIGO "B2", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	7	04-jun-25	11290	11257	139	66
3	B-3	TESTIGO "B3", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	7	04-jun-25	12130	12103	149	71
4	B-4	TESTIGO "B4", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	7	04-jun-25	10570	10532	130	62
5	B-5	TESTIGO "B5", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	7	04-jun-25	10100	10068	124	59
									Promedio	135,82	
									Varianza	93,41	
									Deviación estándar σ	9,66	
									Coeficiente de variacion	7,12%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arones
CIP N° 86446
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "C", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HWEIGH
Modelo : XII, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kgidiv.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 05 de junio 2025

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c Kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA Kg/cm2	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	C-1	TESTIGO "C1", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	7	05-jun-25	8890	8839	109	52
2	C-2	TESTIGO "C2", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	7	05-jun-25	8070	8014	99	47
3	C-3	TESTIGO "C3", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	7	05-jun-25	7840	7782	97	46
4	C-4	TESTIGO "C4", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	7	05-jun-25	8860	8809	108	52
5	C-5	TESTIGO "C5", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	7	05-jun-25	9780	9736	120	57
									Promedio	106,49	
									Varianza	85,66	
									Deviación estándar σ	9,26	
									Coeficiente de variacion	8,69%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Walter Gutierrez Aronés
CIP N° 86488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasaelly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "D", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HWEIGH
Modelo : XB, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 06 de junio 2025

N°	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c. kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida kg	RESISTENCIA kg/cm2	RESISTENCIA %
1	D-1	TESTIGO "D1", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	7	06-jun-25	6320	6251	77	37
2	D-2	TESTIGO "D2", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	7	06-jun-25	8290	8235	102	48
3	D-3	TESTIGO "D3", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	7	06-jun-25	6990	6926	85	41
4	D-4	TESTIGO "D4", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	7	06-jun-25	8820	8769	108	51
5	D-5	TESTIGO "D5", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	7	06-jun-25	7050	6986	86	41
									Promedio	91,58	
									Varianza	162,14	
									Deviación estándar σ	12,73	
									Coeficiente de variacion	13,90%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Walter Gutierrez Arauco
CIP N° 84469
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, gudi_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGOS "A", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 10-jun-25

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida	RESISTENCIA kg/cm2	%
1	A-6	TESTIGOS "A6", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	14	10-jun-25	16270	16273	200	95
2	A-7	TESTIGOS "A7", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	14	10-jun-25	17160	17169	212	101
3	A-8	TESTIGOS "A8", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	14	10-jun-25	16950	16958	210	100
4	A-9	TESTIGOS "A9", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	14	10-jun-25	18170	18186	224	107
5	A-10	TESTIGOS "A10", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	14	10-jun-25	16670	16675	205	98
									Promedio	209,99	
									Varianza	80,30	
									Deviación estándar σ	8,96	
									Coeficiente de variacion	4,27%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con mortero de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Arones
CIP Nº 98468
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto Nº 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "B", CURADO ROCIADO CON AGUA.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kgdiv.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 11 de junio 2025

N°	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c Kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaceado	EDAD Dias	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	B-6	TESTIGO "B6", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	14	11-jun-25	12650	12627	155	74
2	B-7	TESTIGO "B7", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	14	11-jun-25	16260	16283	201	96
3	B-8	TESTIGO "B8", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	14	11-jun-25	14920	14913	183	87
4	B-9	TESTIGO "B9", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	14	11-jun-25	13790	13775	170	81
5	B-10	TESTIGO "B10", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	28-may-25	14	11-jun-25	16550	16555	203	97
									Promedio	182,59	
									Varianza	419,51	
									Deviación estándar σ	20,48	
									Coeficiente de variacion	11,22%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping (AASHTO T 231) y ensayados a la compresión axial.

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Arones
CIP N° 95888
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETO Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "C", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XB, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 12 de junio 2025

Nº	codigo	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA COREGIDA kg	RESISTENCIA kg/cm2	%
1	C-6	TESTIGO "C6", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	14	12-jun-25	11160	11126	137	65
2	C-7	TESTIGO "C7", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	14	12-jun-25	8310	8255	102	49
3	C-8	TESTIGO "C8", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	14	12-jun-25	8480	8427	104	49
4	C-9	TESTIGO "C9", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	14	12-jun-25	12654	12631	155	74
5	C-10	TESTIGO "C10", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	14	12-jun-25	12440	12415	153	73
									Promedio	136,13	
									Varianza	665,48	
									Deviación estándar σ	25,80	
									Coeficiente de variacion	19,82%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Walter Gutiérrez Arauco
CIP N° 96448
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "D", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XS, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 13 de junio 2025

N°	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	D-6	TESTIGO "D6", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	14	13-jun-25	6340	6271	77	37
2	D-7	TESTIGO "D7", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	14	13-jun-25	7510	7450	92	44
3	D-8	TESTIGO "D8", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	14	13-jun-25	8560	8507	105	50
4	D-9	TESTIGO "D9", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	14	13-jun-25	6760	6694	83	39
5	D-10	TESTIGO "D10", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	14	13-jun-25	6500	6432	79	38
									Promedio	87,84	
									Varianza	127,90	
									Deviación estándar σ	11,31	
									Coeficiente de variacion	12,99%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con [illegible] moldes y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arones
JEFE DE ÁREA
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com

LABORATORIO DE SUELOS

LEMSAC S.R.L

CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGOS "A", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XB, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kgrdiv.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 24 de junio 2025

N°	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida kg	RESISTENCIA kg/cm2	%
1	A-11	TESTIGOS "A11", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	28	24-jun-25	20610	20644	255	121
2	A-12	TESTIGOS "A12", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	28	24-jun-25	23550	23605	290	138
3	A-13	TESTIGOS "A13", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	28	24-jun-25	23580	23635	293	139
4	A-14	TESTIGOS "A14", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	28	24-jun-25	21260	21299	262	125
5	A-15	TESTIGOS "A15", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	210	81	27-may-25	28	24-jun-25	21110	21147	260	124
									Promedio	271,97	
									Varianza	319,85	
									Deviación estándar σ	17,88	
									Coeficiente de variacion	6,58%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con [illegible] ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L. Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Walter Gutiérrez Arones
CIP N° 95585
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

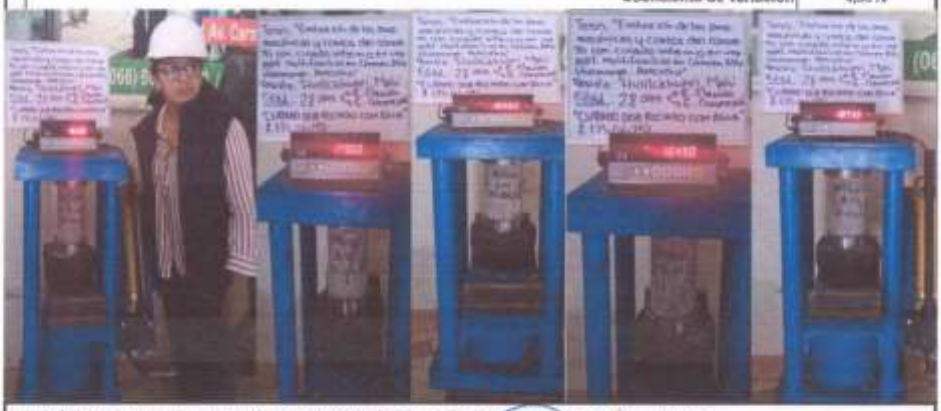
INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "B", CURADO ROCIADO CON AGUA.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 25 de junio 2025

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c. Kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	B-11	TESTIGO "B11", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	26-may-25	28	25-jun-25	18280	18297	226	108
2	B-12	TESTIGO "B12", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	26-may-25	28	25-jun-25	17960	17975	221	105
3	B-13	TESTIGO "B13", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	26-may-25	28	25-jun-25	18560	18579	229	109
4	B-14	TESTIGO "B14", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	26-may-25	28	25-jun-25	16490	16494	204	97
5	B-15	TESTIGO "B15", CURADO ROCIADO CON AGUA	210	81	26-may-25	28	25-jun-25	18730	18750	230	110
									Promedio	222,07	
									Varianza	117,38	
									Deviación estándar σ	10,83	
									Coeficiente de variacion	4,88%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con neopreno y de acuerdo a procedimiento a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arones
CIP N° 90485
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "C", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XB, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 26 de junio 2025

N°	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c Kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	C-11	TESTIGO "C11", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	28	26-jun-25	15860	15860	185	93
2	C-12	TESTIGO "C12", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	28	26-jun-25	11910	11881	146	70
3	C-13	TESTIGO "C13", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	28	26-jun-25	11110	11075	137	65
4	C-14	TESTIGO "C14", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	28	26-jun-25	11050	11015	136	64
5	C-15	TESTIGO "C15", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	210	81	29-may-25	28	26-jun-25	11090	11055	136	65
									Promedio	149,93	
									Varianza	650,16	
									Deviación estándar σ	25,50	
									Coeficiente de variacion	17,01%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arones
CIP N° 303403
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, gut_geot@hotmail.com

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE

NORMA ASTM C 39 - NTP 339.034

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

INFORME DE ENSAYO

MUESTRA : TESTIGO "D", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTES : Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : XII, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 27 de junio 2025

Nº	CODIGO	ESPECIMEN ESTRUCTURA	F'c kg/cm2	AREA Cm2	Fecha Vaciado	EDAD DIAS	Fecha de Rotura	LECTURA Dial	FUERZA corregida Kg	RESISTENCIA Kg/cm2	%
1	D-11	TESTIGO "D11", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	28	27-jun-25	8350	8296	102	49
2	D-12	TESTIGO "D12", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	28	27-jun-25	7710	7651	94	45
3	D-13	TESTIGO "D13", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	28	27-jun-25	8070	8014	99	47
4	D-14	TESTIGO "D14", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	28	27-jun-25	8240	8185	101	48
5	D-15	TESTIGO "D15", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	210	81	30-may-25	28	27-jun-25	11200	11166	137	65
									Promedio	106,62	
									Varianza	300,76	
									Deviación estándar σ	17,34	
									Coeficiente de variacion	16,27%	



OBSERVACIONES: Los testigos de concreto son entregados por el solicitante al LABORATORIO, luego son refrentados con capping de azufre y ensayados a la compresión simple.

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Aronés
CIP N° 94444
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LABORATORIO DE SUELOS

LEMSAC S.R.L.

CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339.078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGOS "E", CURADO SUMERGIDO EN AGUA
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 03-jun-25

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida f'm (Kg/cm2)	σflexión Kg/cm2
1	TESTIGOS "E1", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	48	15	15	27-may-25	7	03-jun-25	2050	1950	27,74
2	TESTIGOS "E2", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.	48	15	15	27-may-25	7	03-jun-25	2100	2001	28,45
3	TESTIGOS "E3", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.	48	15	15	27-may-25	7	03-jun-25	2100	2001	28,45
									Promedio	28,21
									Varianza	0,17
									Deviación estándar σ	0,41
									Coeficiente de variacion	1,47%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Arzapalo
CIP N° 164888
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.
TESIS : TESTIGO "F", CURADO ROCIADO CON AGUA.
TESIS : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 04 de junio 2025

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm (Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGO "F1", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	7	04-jun-25	1900	1799	25,59
2	TESTIGO "F-2", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	7	04-jun-25	1750	1648	23,44
3	TESTIGO "F3", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	7	04-jun-25	1920	1819	25,87
									Promedio	24,97
									Varianza	1,77
									Deviación estándar σ	1,33
									Coeficiente de variacion	5,33%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Aronés
CIP Nº 85488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "G", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 05 de junio 2025

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida f'm (Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
1	TESTIGO "G1", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	7	05-jun-25	1440	1336	19,00
2	TESTIGO "G2", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	7	05-jun-25	1330	1225	17,42
3	TESTIGO "G3", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	7	05-jun-25	1450	1346	19,14
									Promedio	18,52
									Varianza	0,91
									Deviación estándar σ	0,95
									Coeficiente de variacion	5,15%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Arauco
CIP N° 86488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "H", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 06 de junio 2025

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DÍA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm.(Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGO "H1", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	7	06-jun-25	930	822	11,69
2	TESTIGO "H2", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	7	06-jun-25	1240	1134	16,13
3	TESTIGO "H3", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	7	06-jun-25	1280	1175	16,71
									Promedio	14,84
									Varianza	7,53
									Deviación estándar σ	2,74
									Coeficiente de variacion	18,49%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Aronés
CIP Nº 96488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto Nº 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339.078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGOS "E", CURADO SUMERGIDO EN AGUA
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kgdiv.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 10-jun-25

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DÍA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm (Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGOS "E4", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.	48	15	15	27-may-25	14	10-jun-25	2420	2323	33,04
2	TESTIGOS "E5", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.	48	15	15	27-may-25	14	10-jun-25	2310	2212	31,46
3	TESTIGOS "E6", CURADO SUMERGIDO EN AGUA.	48	15	15	27-may-25	14	10-jun-25	2570	2474	35,19
									Promedio	33,23
									Varianza	3,50
									Deviación estándar σ	1,87
									Coeficiente de variacion	5,63%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Aronés
CIP N° 86488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, gutl_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "F", CURADO ROCIADO CON AGUA.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 11 de junio 2025

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DÍA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm (Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGO "F-4", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	14	11-jun-25	2120	2021	28,74
2	TESTIGO "F-5", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	14	11-jun-25	2130	2031	28,88
3	TESTIGO "F6", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	14	11-jun-25	2040	1940	27,59
								Promedio		28,40
								Varianza		0,50
								Deviación estándar σ		0,71
								Coeficiente de variacion		2,49%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayados en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Weber Gutiérrez Arones
CIP N° 82220
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339.078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "G", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 12 de junio 2025

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS: LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DÍA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida f'm,(Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
1	TESTIGO "G4", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	14	12-jun-25	1910	1809	25,73
2	TESTIGO "G5", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	14	12-jun-25	1880	1779	25,30
3	TESTIGO "G6", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	14	12-jun-25	1890	1789	25,44
								Promedio		25,49
								Varianza		0,05
								Deviación estándar σ		0,22
								Coeficiente de variacion		0,86%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Arondo
CIP N° 85665
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LABORATORIO DE SUELOS
LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "H", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 13 de junio 2025

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm.(Kg/cm2)	σflexión Kg/cm2
1	TESTIGO "H4", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	14	13-jun-25	1610	1507	21,43
2	TESTIGO "H5", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	14	13-jun-25	1720	1618	23,01
3	TESTIGO "H6", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	14	13-jun-25	1680	1578	22,44
									Promedio	22,29
									Varianza	0,64
									Deviación estándar σ	0,80
									Coeficiente de variacion	3,58%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Aronés
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839640
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LABORATORIO DE SUELOS
LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339.078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGOS "E", CURADO SUMERGIDO EN AGUA
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 24 de junio 2025

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fm (Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGOS "ET", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	48	15	15	27-may-25	28	24-jun-25	2750	2655	37,76
2	TESTIGOS "ET", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	48	15	15	27-may-25	28	24-jun-25	3010	2917	41,49
3	TESTIGOS "ET", CURADO SUMERGIDO EN AGUA	48	15	15	27-may-25	28	24-jun-25	2910	2816	40,06
									Promedio	39,77
									Varianza	3,53
									Deviación estándar σ	1,88
									Coeficiente de variacion	4,72%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Contreras Arones
CIP N° 86488
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "F", CURADO ROCIADO CON AGUA.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 25 de junio 2025

N°	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS			Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida F'm (Kg/cm2)	Resistencia a la flexión Kg/cm2
		LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)						
1	TESTIGO "F7", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	28	25-jun-25	1970	1870	26,59
2	TESTIGO "F-8", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	28	25-jun-25	2180	2081	29,60
3	TESTIGO "F9", CURADO ROCIADO CON AGUA	48	15	15	28-may-25	28	25-jun-25	2180	2081	29,60
									Promedio	28,60
									Varianza	3,02
									Deviación estándar σ	1,74
									Coeficiente de variacion	6,07%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL

LEMSAC S.R.L
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutiérrez Aronés
CIP N° 98680
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto N° 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, gu6_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L.
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "G", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114.54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 26 de junio 2025

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DÍA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida Fre.(Kg/cm2)	Flexión Kg/cm2
1	TESTIGO "G7", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	28	26-jun-25	1990	1890	26,88
2	TESTIGO "G8", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	28	26-jun-25	2770	2675	38,05
3	TESTIGO "G9", CURADO QUÍMICO CON SIKACEM.	48	15	15	29-may-25	28	26-jun-25	1870	1769	25,16
									Promedio	30,03
									Varianza	49,00
									Deviación estándar σ	7,00
									Coeficiente de variacion	23,31%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Arousés
CIP Nº 89455
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto Nº 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040.
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

LEMSAC S.R.L
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETOS Y ASFALTO

Elaboración y Asesoramiento de Expedientes Geotécnicos, Ensayos y Control de Calidad en Mecánica de Suelos, Asfalto y Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE VIGAS - ASTM C78, NTP 339,078

CERTIFICA : LEMSAC SRL.
SOLICITANTE : Rasselly Malu HUILLCAHUARI PACHECO.
TESIS : EVALUACIÓN DE PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO.

MUESTRA : TESTIGO "H", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.
CONCRETO f'c. : (210) Kg/cm2.
RECTA DE AJUSTE Y= 1.0072*X-114,54
X= LECTURA DEL DIAL
y= FUERZA COREGIDA

Equipo : Prensa Hidráulica, Manual.
Marca : CONTENCO de 120 Ton, Indicador: Digital-HIWEIGH
Modelo : X8, Value Each Gram, 120 000 Kg, 10Kg/div.
Calibración: PUCP-Lab. de Estructuras Antisísmicas - LEDI, INF-LE 032-25

FECHA : 27 de junio 2025

Nº	ESPECIMEN	DIMENSIONES DE VIGAS LARGO (L)	ANCHO (W)	ESPESOR (h)	Fecha de Vaciado	DIA	Fecha de Rotura	LECTURA DIAL	Corregida F'cc(Kg/cm2)	offlexión Kg/cm2
1	TESTIGO "H7", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	28	27-jun-25	1650	1547	22,01
2	TESTIGO "H8", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	28	27-jun-25	1650	1547	22,01
3	TESTIGO "H9", CURADO C/N AGREGADO SATURADO.	48	15	15	30-may-25	28	27-jun-25	1580	1477	21,00
									Promedio	21,67
									Varianza	0,34
									Deviación estándar σ	0,58
									Coeficiente de variacion	2,67%



OBSERVACIONES : Los testigos de viga de concreto son elaborados por el solicitante y ensayos en laboratorio de LEMSAC SRL.

LEMSAC S.R.L.
Laboratorio de Suelos, Concreto y Asfalto
Ing. Walter Gutierrez Aronés
CIP Nº 91465
RESPONSABLE DE LABORATORIO

Av. Carmen Alto Nº 154 /Carmen Alto / Ayacucho (066) 468324 966839040
E-Mail : lemsac_s.r.l@hotmail.com, guti_geot@hotmail.com.

Laboratorio de Estructuras
Antisísmicas - LEDI

PUCP

INFORME TECNICO

EXPEDIENTE	:	**INF-LE 032-25**
SOLICITANTE	:	**LEMSAC S.R.L.** Av. Carmen Alto N°154 (Altura Instituto Pontifice), Carmen Alto, Huamanga - Ayacucho Control de Calidad Att.: Ing° Walter Gutierrez
TITULO	:	VERIFICACION DE PRENSA DE ENSAYOS CONTENCO, S/N°, 120000 KG, Bomba manual, ENERPAC, 700 bar. Indicador Digital, HI WEIGH, X8, S/N°, 100000 Kg, Transductor de presión, ZEMIC
FECHA	:	San Miguel, 20 de febrero del 2025

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Laboratorio de Estructuras Antisísmicas

.....
Ing°. Daniel Torrealva Dávila
Jefe del Laboratorio de Estructuras
Antisismicas, PUCP

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
Av. Universitaria 1801, San Miguel
T: 51-1 626-2000 anexo 4640
ledi@pucp.pe
www.pucp.edu.pe

Laboratorio de Estructuras
Antisísmicas - LEDI

PUCP

VERIFICACION DE PRENSA DE ENSAYOS

GENERALIDADES.

LEMSAC SRL solicitó al Laboratorio de Estructuras Antisísmicas de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), efectuar la verificación del comportamiento bajo carga de una prensa hidráulica para ensayos de compresión, con accionamiento por bomba manual, con su Indicador Digital para la lectura de la carga.

La verificación se realizó en el Laboratorio de Estructuras, ubicado dentro del campus de la PUCP, el día lunes 17 de febrero del 2025, siendo la temperatura ambiental promedio de 27.7 °C.

2. EQUIPO VERIFICADO.

Prensa hidráulica:

-Marca	:	CONTENCO
-Serie N°	:	No tiene
-Capacidad	:	120 TON. (Nominal)
-Indicador	:	Digital, HI WEIGH, Model X8, S/N°, 100000 Kg. Con Transductor de presión ZEMIC.
-Bomba manual	:	ENERPAC, manual, 10000 PSI

3. EQUIPO EMPLEADO.

-Celda de carga, HBM, C3H, N° 87747, 1000 KN, calibrada el 2024-11-12 con celdas PATRON, en el Laboratorio de Estructuras Antisísmicas.
-Celdas PATRON HBM: G80084, C3H3,100 TON y 3007, C3H, 200 KN, calibradas el 2023-09-08 y el 2023-08-24 respectivamente en el Laboratorio de Hottingor Brüel & Kjaer GmbH, Alemania.
-Amplificador HBM MGC plus 1, ch 6.
-Termohigrómetro EXTECH INSTRUMENTS, HT200, SN°230301224.

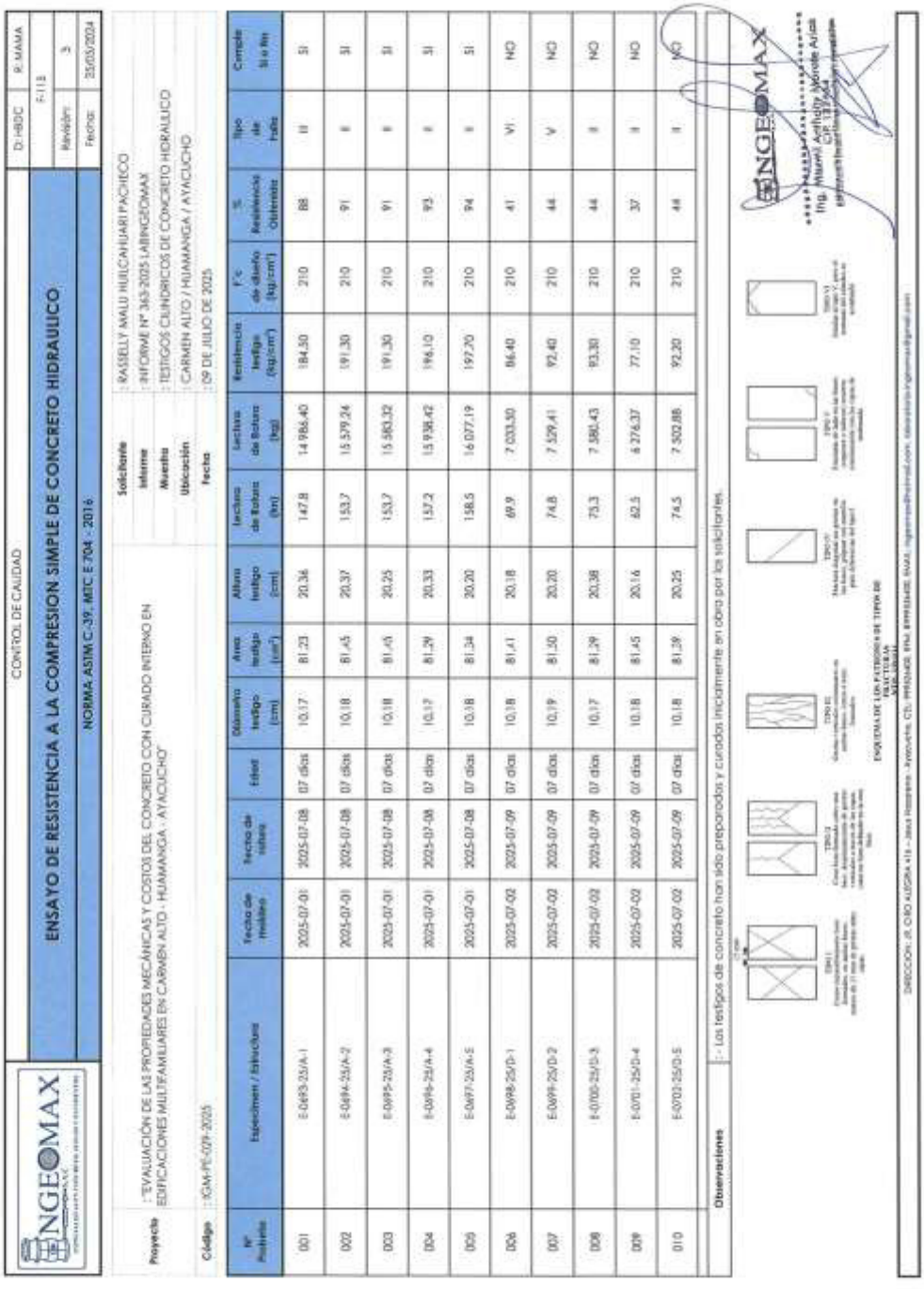
4. PROCEDIMIENTO.

La verificación se hizo según el Método C de la Norma ASTM E4-15. El procedimiento consistió, inicialmente, en la aplicación de cargas referenciales a efectos de conocer el estado actual del equipo. Dadas las diferencias encontradas, no fue necesario corregir el cero del indicador. Luego, se procedió con la aplicación de las tres series de verificación de la prensa. En cada serie, para los diferentes valores leídos en el indicador digital, se registraron las lecturas de las cargas en el amplificador MGC Plus.

5. RESULTADOS.

En la TABLA N° 1 se presentan las tres series de lecturas obtenidas, la serie promedio corregido (PATRON), el error absoluto y la repetitividad.

Anexo C. Certificados de ensayos del laboratorio INGEOMAX S.A.C.



INGEOMAX

CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO

NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016

D-HRDC	R-MAMA
F-118	
Revisión	5
Fecha	25/05/2024

Proyecto : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Código : XGM-IPE-029-2025

Solicitante : RASSELLY MAUI HUILCAHUARI PACHECO

Informe : INFORME N° 363-2025 LAB INGEOMAX

Muestra : TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO

Ubicación : CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO

Fecha : 09 DE JULIO DE 2025

N° Protesta	Especimen / Estructura	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diámetro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (kn)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F'c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de falla	Cumple Si o No
001	E-0693-25/A-1	2025-07-01	2025-07-08	07 días	10.17	81.23	20.36	147.8	14 986.40	184.50	210	88	II	SI
002	E-0694-25/A-2	2025-07-01	2025-07-08	07 días	10.18	81.45	20.37	153.7	15 579.24	191.30	210	91	II	SI
003	E-0695-25/A-3	2025-07-01	2025-07-08	07 días	10.18	81.45	20.25	153.7	15 583.32	191.30	210	91	II	SI
004	E-0696-25/A-4	2025-07-01	2025-07-08	07 días	10.17	81.29	20.33	157.2	15 938.42	196.10	210	93	II	SI
005	E-0697-25/A-5	2025-07-01	2025-07-08	07 días	10.18	81.34	20.20	158.5	16 077.19	197.70	210	94	II	SI
006	E-0698-25/D-1	2025-07-02	2025-07-09	07 días	10.18	81.41	20.18	69.9	7 033.50	86.40	210	41	VI	NO
007	E-0699-25/D-2	2025-07-02	2025-07-09	07 días	10.19	81.50	20.20	74.8	7 529.41	92.40	210	44	V	NO
008	E-0700-25/D-3	2025-07-02	2025-07-09	07 días	10.17	81.29	20.38	75.3	7 580.43	93.30	210	44	I	NO
009	E-0701-25/D-4	2025-07-02	2025-07-09	07 días	10.18	81.45	20.16	62.5	6 276.37	77.10	210	37	I	NO
010	E-0702-25/D-5	2025-07-02	2025-07-09	07 días	10.18	81.39	20.25	74.5	7 502.88	92.20	210	44	I	NO

Observaciones : - Los testigos de concreto han sido preparados y curados íntegramente en obra por los solicitantes.

ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS

DIRECCION: JR. OLIO ALTURA #18 - 20da Hornero - AYACUCHO, CEL. 999 668 894 RPM: #999 668 894, ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

INGEOMAX

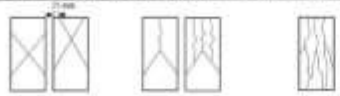
Ing. Mauri Anthony Morales Arias
CIP. 181944

	CONTROL DE CALIDAD	D: HBDC	R: MAMA
INGEOMAX	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO	F-115	
		Revisión:	3
	NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016	Fecha:	25/05/2024

Proyecto	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"	**Solicitante**	: RASSELLY MALU HUILCAHUARI PACHECO
		Informe	: INFORME N° 364-2025 LABINGEOMAX
		Muestra	: TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO
		Ubicación	: CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO
Código	: IGM-PE-029-2025	**Fecha**	: 11 DE JULIO DE 2025

N° Probeta	Especimen / Estructura	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diámetro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (kn)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F´c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de Falla	Cumple SI o No
001	E-0714-25/B-1	2025-07-03	2025-07-10	07 días	10,20	81,71	20,32	106,6	10 782,40	132,00	210	63	II	NO
002	E-0715-25/B-2	2025-07-03	2025-07-10	07 días	10,20	81,71	20,25	113,5	11 484,43	140,50	210	67	II	NO
003	E-0716-25/B-3	2025-07-03	2025-07-10	07 días	10,20	81,71	20,17	111,0	11 225,25	137,40	210	65	II	NO
004	E-0717-25/B-4	2025-07-03	2025-07-10	07 días	10,20	81,71	20,29	105,6	10 671,18	130,60	210	62	II	NO
005	E-0718-25/B-5	2025-07-03	2025-07-10	07 días	10,20	81,65	20,30	117,8	11 920,13	146,00	210	70	II	NO
006	E-0719-25/C-1	2025-07-04	2025-07-11	07 días	10,19	81,56	20,17	59,8	6 002,91	73,60	210	35	II	NO
007	E-0720-25/C-2	2025-07-04	2025-07-11	07 días	10,19	81,58	20,10	59,7	5 991,68	73,40	210	35	V	NO
008	E-0721-25/C-3	2025-07-04	2025-07-11	07 días	10,20	81,71	20,16	65,2	6 551,87	80,20	210	38	V	NO
009	E-0722-25/C-4	2025-07-04	2025-07-11	07 días	10,21	81,81	20,16	60,8	6 104,95	74,60	210	36	II	NO
010	E-0723-25/C-5	2025-07-04	2025-07-11	07 días	10,19	81,55	20,02	66,2	6 659,02	81,70	210	39	II	NO

Observaciones : - Los testigos de concreto han sido preparadas y curadas inicialmente en obra por los solicitantes.



ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS.

INGEOMAX

Ing. Maxwil Anthony Medina Arias
CIP. 133...

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRIA 416 - Jesus Nazareno - Ayacucho, CEL: 999626400, RPM: #999626400, EMAIL: ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

	CONTROL DE CALIDAD	D: HSDC	R: MAMA
INGEOMAX	**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO**	F-118	
		Revisión:	3
	NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016	Fecha:	25/05/2024

Proyecto : "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Código : IGAI-PE-029-2025

Solicitante : RASSELLY MALU HUILCAHUARI PACHECO
Informe : INFORME N° 365-2025 LABINGEOMAX
Muestra : TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO
Ubicación : CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO
Fecha : 18 DE JULIO DE 2025

N° Probeta	Especimen / Estructura	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diametro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (kn)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F´c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de Falla	Cumple SI o No
001	E-0726-25/A-6	2025-07-01	2025-07-15	14 días	10,18	81,39	20,27	177,0	17 961,85	220,70	210	105	III	SI
002	E-0727-25/A-7	2025-07-01	2025-07-15	14 días	10,19	81,50	20,05	191,9	19 483,24	239,10	210	114	II	SI
003	E-0728-25/A-8	2025-07-01	2025-07-15	14 días	10,17	81,31	20,41	165,9	16 832,28	207,00	210	99	II	SI
004	E-0729-25/A-9	2025-07-01	2025-07-15	14 días	10,18	81,42	20,27	184,5	18 725,10	230,00	210	110	III	SI
005	E-0730-25/A-10	2025-07-01	2025-07-15	14 días	10,18	81,45	20,37	168,9	17 136,35	210,40	210	100	II	SI
006	E-0731-25/O-6	2025-07-02	2025-07-16	14 días	10,18	81,45	20,05	83,2	8 387,55	103,00	210	49	II	NO
007	E-0732-25/O-7	2025-07-02	2025-07-16	14 días	10,15	80,97	20,00	81,2	8 181,43	101,00	210	48	II	NO
008	E-0733-25/O-8	2025-07-02	2025-07-16	14 días	10,18	81,34	20,13	83,5	8 418,16	103,50	210	49	II	NO
009	E-0734-25/O-9	2025-07-02	2025-07-16	14 días	10,17	81,29	20,15	96,1	9 705,89	119,40	210	57	II	NO
010	E-0735-25/O-10	2025-07-02	2025-07-16	14 días	10,19	81,34	20,10	81,0	8 167,15	100,20	210	48	II	NO

Observaciones : - Los testigos de concreto han sido preparados y curados inicialmente en obra por los solicitantes.



ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS

Ing. Mawil Anthony Morato Arias
CIP. 252484

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRIA 416 – Jesus Nazareno - Ayacucho, CEL: 999826480, RPM: #999826480, RPC: ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

INGEOMAX	CONTROL DE CALIDAD	D: HBDC	R: MAMA
	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO	F-115	
		Revisión:	3
	NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016	Fecha:	25/05/2024

Proyecto	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"	**Solicitante**	: RASSELLY MALU HUILCAHUARI PACHECO
		Informe	: INFORME N° 365-2025 LABINGEOMAX
		Muestra	: TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO
		Ubicación	: CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO
Código	: IGM-PE-029-2025	**Fecha**	: 18 DE JULIO DE 2025

N° Probeta	Especimen / Edificio	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diámetro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (kn)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F´c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de Falla	Cumple Si o No
011	E-0736-25/B-6	2025-07-03	2025-07-17	14 días	10,19	81,54	20,29	140,7	14 253,76	174,80	210	83	III	NO
012	E-0737-25/B-7	2025-07-03	2025-07-17	14 días	10,19	81,48	20,21	139,5	14 130,29	173,40	210	83	II	NO
013	E-0738-25/B-8	2025-07-03	2025-07-17	14 días	10,19	81,61	20,19	143,5	14 541,51	178,20	210	85	II	NO
014	E-0739-25/B-9	2025-07-03	2025-07-17	14 días	10,19	81,35	20,10	136,0	13 780,34	169,00	210	81	II	NO
015	E-0740-25/B-10	2025-07-03	2025-07-17	14 días	10,18	81,45	20,30	143,9	14 587,43	179,10	210	85	II	SI
016	E-0741-25/C-6	2025-07-04	2025-07-18	14 días	10,19	81,56	19,97	65,8	6 615,14	81,10	210	39	V	NO
017	E-0742-25/C-7	2025-07-04	2025-07-18	14 días	10,19	81,48	20,06	55,5	5 568,22	68,30	210	33	II	NO
018	E-0743-25/C-8	2025-07-04	2025-07-18	14 días	10,18	81,42	19,99	64,0	6 432,49	79,00	210	38	V	NO
019	E-0744-25/C-9	2025-07-04	2025-07-18	14 días	10,17	81,29	20,14	62,4	6 272,29	77,20	210	37	II	NO
020	E-0745-25/C-10	2025-07-04	2025-07-18	14 días	10,19	81,55	20,02	62,1	6 234,53	76,40	210	36	V	NO

Observaciones :- Los testigos de concreto han sido preparados y curados inicialmente en obra por los solicitantes.



ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS.
NTP 339.034



DIRECCION: JR. CHIO ALTORA 416 - Jesus Nazareno - Ayacucho, CEL: #991564430, RPM: #991564430, EMAIL: ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

	CONTROL DE CALIDAD	D: HBDC	R: MAMA
NGEOMAX	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO	F-115	
		Revisión:	3
	NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016	Fecha:	25/05/2024

Proyecto	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"	**Solicitante**	: RASSELLY MALU HUILCAHUARI PACHECO
		Informe	: INFORME N° 614-2025 LABINGEOMAX
		Muestra	: TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO
		Ubicación	: CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO
Código	: IGM-PE-029-2025	**Fecha**	: 01 DE AGOSTO DE 2025

N° Probeta	Especimen / Edades	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diámetro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (lbs)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F´c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de Falla	Cumple SI o No
001	E-0979-25/A-11	2025-07-01	2025-07-29	28 días	10,15	80,97	20,05	254,6	25 862,09	319,70	210	152	I	SI
002	E-0980-25/A-12	2025-07-01	2025-07-29	28 días	10,07	79,70	20,07	242,5	24 645,38	309,20	210	147	II	SI
003	E-0981-25/A-13	2025-07-01	2025-07-29	28 días	10,09	79,56	20,11	246,8	25 088,23	313,80	210	149	III	SI
004	E-0982-25/A-14	2025-07-01	2025-07-29	28 días	10,24	82,41	20,07	239,5	24 342,33	295,40	210	141	III	SI
005	E-0983-25/A-15	2025-07-01	2025-07-29	28 días	10,14	80,70	20,08	236,4	24 018,87	297,60	210	142	III	SI
006	E-0984-25/D-11	2025-07-02	2025-07-30	28 días	10,05	79,33	20,17	82,1	8 274,29	104,30	210	50	II	NO
007	E-0985-25/D-12	2025-07-02	2025-07-30	28 días	10,21	81,87	20,00	77,3	7 784,50	95,10	210	45	II	NO
008	E-0986-25/D-13	2025-07-02	2025-07-30	28 días	10,08	79,80	20,16	79,6	8 025,31	100,60	210	48	II	NO
009	E-0987-25/D-14	2025-07-02	2025-07-30	28 días	10,12	80,49	20,23	105,6	10 679,34	132,70	210	63	II	NO
010	E-0988-25/D-15	2025-07-02	2025-07-30	28 días	10,25	82,52	20,09	82,2	8 284,49	100,40	210	48	II	NO

Observaciones	- Los testigos de concreto han sido preparados y curados inicialmente en obra por los solicitantes.



ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS

NGEOMAX

Ing. Manell Arhcer Mendo Arias
CIP. 132484
ESPECIALISTA EN GEOTECNIA, CONCRETO Y PAVIMENTOS

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRIA 416 - Jesus Nazareno - Ayacucho. CEL: 999826400. RPM: #999826400. EMAIL: ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

	CONTROL DE CALIDAD	D: HBDC	R: MAMA
INGEOMAX	**ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE DE CONCRETO HIDRAULICO**	F-115	
		Revisión:	3
	NORMA ASTM C-39, MTC E 704 - 2016	Fecha:	25/05/2024

Proyecto	: "EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y COSTOS DEL CONCRETO CON CURADO INTERNO EN EDIFICACIONES MULTIFAMILIARES EN CARMEN ALTO - HUAMANGA - AYACUCHO"	**Solicitante**	: RASSELLY MALLI HUILCAHUARI PACHECO
		Informe	: INFORME N° 364-2025 LABINGEOMAX
		Muestra	: TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO HIDRAULICO
		Ubicación	: CARMEN ALTO / HUAMANGA / AYACUCHO
Código	: IGM-PE-029-2025	**Fecha**	: 01 DE AGOSTO DE 2025

N° Probeta	Especimen / Estructura	Fecha de moldeo	Fecha de rotura	Edad	Diámetro testigo (cm)	Area testigo (cm^2)	Altura testigo (cm)	Lectura de Rotura (kn)	Lectura de Rotura (kg)	Resistencia testigo (kg/cm^2)	F´c de diseño (kg/cm^2)	% Resistencia Obtenida	Tipo de Falla	Cumple SI o No
011	E-0989-25/B-11	2025-07-03	2025-07-31	28 días	10,15	80,91	20,12	165,8	16 815,95	207,80	210	99	II	NO
012	E-0990-25/B-12	2025-07-03	2025-07-31	28 días	10,08	79,75	20,31	166,5	16 893,50	211,80	210	101	II	SI
013	E-0991-25/B-13	2025-07-03	2025-07-31	28 días	10,12	80,44	20,11	175,4	17 802,67	221,30	210	105	II	SI
014	E-0992-25/B-14	2025-07-03	2025-07-31	28 días	10,22	82,09	20,05	173,9	17 644,51	214,90	210	102	II	SI
015	E-0993-25/B-15	2025-07-03	2025-07-31	28 días	10,07	79,70	20,39	173,9	17 644,51	221,40	210	105	II	SI
016	E-0994-25/C-11	2025-07-04	2025-08-01	28 días	10,15	80,91	20,11	43,3	4 323,35	53,40	210	25	II	NO
017	E-0995-25/C-12	2025-07-04	2025-08-01	28 días	10,06	79,43	20,18	64,6	6 493,71	81,80	210	39	II	NO
018	E-0996-25/C-13	2025-07-04	2025-08-01	28 días	10,13	80,60	20,20	60,6	6 088,62	75,50	210	36	II	NO
019	E-0997-25/C-14	2025-07-04	2025-08-01	28 días	10,05	79,33	20,17	73,1	7 364,10	92,80	210	44	VI	NO
020	E-0998-25/C-15	2025-07-04	2025-08-01	28 días	10,15	80,86	20,11	69,2	6 956,97	86,00	210	41	II	NO

Observaciones : - Los testigos de concreto han sido preparados y curados inicialmente en obra por los solicitantes.



ESQUEMA DE LOS PATRONES DE TIPOS DE FRACTURAS

INGEOMAX
Ing. Marwil Anthony Morote Arias
CIP. 137484

DIRECCION: JR. CIRO ALEGRIA #16 – Jesus Nazareno - Ayacucho. CEL: 999526400, RPM: #999526400, EMAIL: ingeomax@hotmail.com, laboratorio.ingeomax@gmail.com

PINZUAR
LABORATORIO DE METROLOGÍA

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO No LC-079

INACAL
DA - Perú

Certificado de Calibración - Laboratorio de Fuerza

Calibration Certificate - Laboratory of Force

F-00862-002 R0

Equipo *Instrument*	MÁQUINA PARA ENSAYOS DE COMPRESIÓN DE CILINDROS, RESISTENCIA A LA FLEXIÓN Y MÓDULO DE ELASTICIDAD
Fabricante / Año *Manufacturer / Year*	PINZUAR (2019)
Modelo *Model*	PC-42D/INO PRESENTA/PC-42-D
Número de Serie *Serial Number*	286
Identificación Interna *Internal Identification*	E-ACI-001
Capacidad Máxima *Maximum Capacity*	1000 kN
Solicitante *Customer*	INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO SAC
Dirección *Address*	JR. CIRO ALEGRIA NRO. 416 SEC. LAS NAZARENAS (AL COSTADO DE COMISARIA NAZARENAS
Ciudad *City*	AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO
Fecha de Calibración *Date of calibration*	2025 – 04 – 10
Fecha de Emisión *Date of issue*	2025 – 04 – 14
Número de páginas del certificado, incluyendo anexos *Number of pages of the certificate and documents attached*	04

Los resultados emitidos en este Certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones. Dichos resultados solo corresponden al ítem que se relaciona en esta página. El laboratorio que lo emite no se responsabiliza de los perjuicios que puedan derivarse del uso inadecuado de los instrumentos y/o de la información suministrada por el solicitante.

Este Certificado de Calibración documenta y asegura la trazabilidad de los resultados a patrones nacionales e internacionales, que reproducen las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

El usuario es responsable de la Calibración de los instrumentos en apropiados intervalos de tiempo.

The results issued in this Certificate relates to the time and conditions under which the measurements. These results correspond to the item that relates on page number one. The laboratory, which will not be liable for any damages that may arise from the improper use of the instruments and/or the information provided by the customer.

This Calibration Certificate documents and ensures the traceability of the reported results to national and internationals standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI).

The user is responsable for Calibration the measuring instruments at appropriate time intervals.

Sin la aprobación del Laboratorio de Metrología Pinzuar no se puede reproducir el Certificado, excepto cuando se reproduce en su totalidad, ya que proporciona la seguridad que las partes del Certificado no se sacan de contexto. Los certificados de calibración sin firma no son válidos.

Without the approval of the Pinzuar Metrology Laboratory, the report can not be reproduced, except when it is reproduced in its entirety, since it provides the security that the parts of the Certificate are not taken out of context. Unsigned calibration certificates are not valid.

Firmas que Autorizan el Certificado

Signatures Authorizing the Certificate

Ing. Sergio Iván Martínez
Director Laboratorio de Metrología

Br. Félix Jaramillo Castillo
Metrólogo Laboratorio de Metrología

ELICROM

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
ISO/IEC 17025:2017
Acredited Calibration Laboratory ISO/IEC 17025:2017

ACCREDITED

Escanee este QR para descargar informe original con firma electrónica en pdf

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
Certificate of Calibration
N° CLC-0434-002-25

Cliente: *Customer*	INGENIERIA GEOTECNICA AL MAXIMO - INGEOMAX S.A.C.
Dirección: *Address*	JR. CIRO ALEGRIA NRO. 416 SEC. LAS NAZARENAS- AYACUCHO - HUAMANGA - JESUS NAZARENO
Teléfono: *Phone Number*	999 526 400
Persona de Contacto: *Contact Person*	R. Rosmery Laura Coras
Objeto: *Item*	PIE DE REY

Escanee este QR y encuentre
Etiqueta electrónica
Certificados originales en pdf
Histórico de intervenciones
Documentos relevantes, manuales, fotografías

Marca: *Manufacturer*	INSIZE
Modelo: *Model*	STAINLESS HARDENED
No. de Serie: *Serial Number*	0514210065
Identificación: *Identification*	H-PDR-002
Ubicación del Objeto[1]: *Item Location*	ZONA DE CONCRETO
Fecha de Recepción: *Date of Receipt*	2025-03-07
Fecha de Calibración: *Calibration Date*	2025-03-10
Próxima Fecha de Calibración: *Due Date*	-
Técnico Responsable: *Responsible Technician*	Valeria Albarracin

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los estándares nacionales o internacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones, el cliente y/o usuario es responsable de definir el periodo de calibración según la recomendación del fabricante, uso, análisis de deriva o exactitud de medición.

This calibration certificate documents the traceability to national or international standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI)

In order to ensure measurements, the customer and/or user is responsible for defining the calibration period according to the manufacturer's recommendation, use, drift analysis or measurement accuracy.

Persona que Autoriza / Fecha de Emisión: *Person authorizing / Date of Issue* — Ing. Savino Pineda / 2025-03-12

Gerente General

Autorizado y firmado electrónicamente por SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ
Nombre de reconocimiento (DN): cn=SAVINO ENRIQUE PINEDA GONZALEZ, serialNumber=09523155159, ou=ENTIDAD DE CERTIFICACION DE INFORMACION, o=SECURITY DATA S.A. 2, c=EC
Fecha: 2025-03-12 11:09:23

Anexo D. Panel fotográfico



Imagen 1. Inspección inicial del terreno y excavación para calicata.



Imagen 2. Extracción de muestras para el estudio de mecánica de suelos.



Imagen 3. Inspección visual de la calicata donde se evidenció filtraciones de agua.



Imagen 4. Ensayo de resistencia simple del suelo rocoso.



Imagen 5. Encofrado de moldes prismáticos con fenólicos y adquisición de moldes cilíndricos.



Imagen 6. Gestión de compra de agregados.



Imagen 7. Selección de material para el diseño de mezcla.



Imagen 8. Ensayo de granulometría y de peso unitario de los agregados.



Imagen 9. Elaboración de especímenes cilíndricos y prismáticos.



Imagen 10. Controles de calidad del concreto en estado fresco -Slump.



Imagen 11. Vaciado de concreto en los moldes cilíndricos y su golpe con el martillo de goma.



Imagen 12. Vaciado de concreto en los moldes prismáticos y su golpe con el martillo de goma.



Imagen 13. Curado por inmersión en agua e identificación de los especímenes.



Imagen 14. Elaboración de especímenes para aplicar el curado por rociado con agua.



Imagen 15. Control de pesos y la identificación de cada espécimen.



Imagen 16. Aplicación de producto para el curado químico.



Imagen 17. Saturación del agregado grueso para el curado interno.



Imagen 18. Especímenes prismáticos con agregados saturados para su curado interno.



Imagen 19. Curado por rociado con agua en vigas.



Imagen 20. Acopio de muestras, en condiciones reales a obra.



Imagen 21. Ensayo a flexión de vigas, a los 7 días de edad.



Imagen 22. Ensayos de compresión simple en especímenes cilíndricos.



Imagen 23. Vigas post rotura, concentración de agrietamiento en el medio.



Imagen 24. Evaluación visual de la estructura interna de las probetas posterior a su rotura, la 1era imagen representa al curado por inmersión y la 2da representa el curado interno.



Imagen 25. Cemento MH(R) y aditivo impermeabilizante para especímenes 2da fase.



Imagen 26. Desencofrado de probetas y curado por riego con agua.



Imagen 27. Ensayo a compresión simple de especímenes de la segunda fase.



Imagen 28. Evaluación de la estructura interna de las probetas después de su rotura.



Imagen 29. Ensayo de compresión simple a los 28 días de edad