



UNIVERSIDAD ANDINA
NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO
CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO
INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE
CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025**

TESIS PRESENTADA POR:
Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

JULIACA – PERÚ
2026



UNIVERSIDAD ANDINA

NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO
CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO
INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE
CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025**

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR EL JURADO REVISOR:

PRESIDENTE

:

Dr. RONALD MADERA TERÁN

PRIMER MIEMBRO

:

Dr. ARNALDO YANA TORRES

SEGUNDO MIEMBRO

:

Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ASESOR DE TESIS

:

Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN : TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

UNIVERSIDAD ANDINA
"NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"RESOLUCIÓN DECANAL N° 0065-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 22 de enero del 2026

VISTO: El expediente N° 2026-CU-000560 presentado por el (la) Bachiller: **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA** estudiante de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN**.

CONSIDERANDO:

Que, el (la) Bach. **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA**, quien solicita **NOMINACIÓN DE JURADOS Y PROGRAMACIÓN DE FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN** de la Tesis Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025**, la misma que pertenece a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en concordancia con el dictamen de similitud.

De conformidad al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en merito al Art. 24, Art. 28 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **NOMINACIÓN DE JURADOS** integrado por los siguientes docentes:

- * **Presidente** : Dr. RONALD MADERA TERÁN
- * **1er Miembro** : Dr. ARNALDO YANA TORRES
- * **2do Miembro** : Dr. FRITZ WILLY MAMANI APAZA

ARTICULO SEGUNDO.- RECONOCER como asesor de la investigación (tesis) de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras al (a la) docente, **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTICULO TERCERO.- APROBAR, la **FECHA Y HORA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS** de él (la) bachiller: **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA**; del informe final de la investigación (tesis) titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025** para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**. de acuerdo al siguiente detalle:

- * **FECHA** : miércoles 28 de enero del 2026
- * **HORA** : 15:30 horas
- * **LUGAR** : Aula 306 - FICP

ARTÍCULO CUARTO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.

Archivado 2026



RESOLUCIÓN DECANAL N° 0031-2026-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 08 de enero del 2026

VISTO: El expediente N° 2025-CU-13160 por el señor (a): **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA** quien solicita **REVISIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (borrador de tesis)**, el **PROVEIDO - N° 1195-2025-UI-FICP-UANCV/J**, y la **FICHA DE OPINIÓN DEL INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)** formato N° 03 - 2026 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA**, ha presentado su informe final de la investigación (borrador de tesis) Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Mgtr. Wilfredo David Supo Pacori** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión del informe final de la investigación (borrador de tesis) formato N° 03 - 2026 **aprobando** el informe final de la investigación (borrador de tesis) titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025**, correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el reglamento interno de trabajos de investigación conducentes a grados y títulos mediante Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y estando a la opinión favorable del comité de investigación respecto al informe final de la investigación (borrador de tesis).

Estando, con la opinión favorable del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 27 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, el **INFORME FINAL DE LA INVESTIGACIÓN (BORRADOR DE TESIS)**, para la **REVISIÓN DE SIMILITUD TURNITIN**, presentado por el señor (a): **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**, en virtud a los considerandos expuestos.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RATIFICAR como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** al (a) la), **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Ronald Madera Terán
DECANO (e)
CIP: 66975



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Wilfrido Maman Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"

RESOLUCIÓN DECANAL N° 1313-2025-D-UI-FICP-UANCV

Juliaca, 20 de octubre del 2025

VISTO: El expediente N° 2025-C-2511, presentado por el señor (a) **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA** solicitando **APROBACIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** el PROVEIDO - N° 972-2025-UI-FICP-UANCV/J, y la **FICHA DE OPINIÓN DE LA PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN** formato N° 145 - 2025 del integrante del comité de investigación **EPIC** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, según al reglamento interno de trabajos de investigación conducente a grados y títulos.

CONSIDERANDO:

Que, el señor (a): **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA** ha presentado su propuesta de investigación Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025**, para optar el Título Profesional de **Ingeniero Civil**.

Que, al haberse cumplido con los requisitos exigidos por el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales; el integrante del comité de investigación **Dr. Arnaldo Yana Torres** de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras, emitió la ficha de opinión de la propuesta de investigación formato N° 145 - 2025- aprobando la propuesta de investigación titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025**.

Que, es requisito indispensable contar con un asesor docente ordinario y/o contratado de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras con un mínimo de cinco años de docencia, grado de doctor o magister y experiencia en la línea a investigar, o deberá estar acreditado por Resolución 0989-2022-UANCV-CU-R, quien asumirá como asesor de la propuesta de investigación, según el área o grado.

Estando, con la opinión favorable de la propuesta de investigación del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y en concordancia al Reglamento Interno de Trabajos de Investigación Conducente a Grados y Títulos aprobado con Resolución N° 0294-2023 UANCV-CU-R. y en mérito al Art. 25 del reglamento, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales, y en uso a las atribuciones, que le concede la ley Universitaria N° 30220, ley de creación de la UANCV N° 23738 y modificatoria N° 24661, y el Estatuto de la UANCV, el Decano y el Director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras.

RESUELVE:

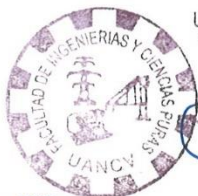
ARTÍCULO PRIMERO.- APROBAR, la **PROPUESTA DE INVESTIGACIÓN**, presentado por el señor (a): **JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA**, para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con el Tema Titulada: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO - 2025** correspondiente a la línea de investigación **TECNOLOGÍA DE MATERIALES**.

La misma que deberá proceder con la ejecución de la propuesta de Investigación aprobado de acuerdo a lo establecido en el Reglamento Interno de Trabajo de Investigación Conducente a Grados y Títulos, con fines de obtención de Grados Académicos y Títulos Profesionales.

ARTÍCULO SEGUNDO.- RECONOCER como **ASESOR DE INVESTIGACIÓN** de al (a la) docente **Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES**.

ARTÍCULO TERCERO.- DISPONER que, la Unidad de Investigación, Responsables del Comité de Investigación de la Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras y el Director de la Escuela Profesional de **Ingeniería Civil** quedan encargados del cumplimiento de la presente Resolución.

Regístrese, Comuníquese, Archívese.



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. OSCAR V. VIAMONTE CALLA
DECANO (e)
CIP: 34770



UNIVERSIDAD ANDINA "NÉSTOR CÁCERES VELÁSQUEZ"
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Dr. Fritz Willy Mamani Apaza
DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

cc.
Archivo 2025



EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

23%

INDICE DE SIMILITUD

23%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.ucp.edu.pe

Fuente de Internet

4%

2

repositorio.unap.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.continental.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.unc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

1%

7

Submitted to uncedu

Trabajo del estudiante

1%

8

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

<1%

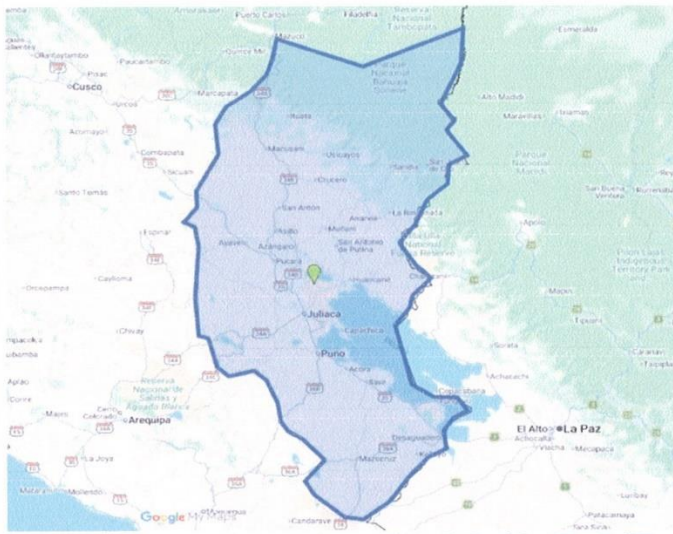


Metadatos Complementarios UANCV



Título de la tesis	
EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025	
Datos de autor	
Nombres y apellidos	JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	46647555
URL de ORCID	https://orcid.org/0009-0006-6404-352X
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	02442876
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-8509-7224
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	RONALD MADERA TERÁN
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02429150
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	ARNALDO YANA TORRES
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	41414676
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	FRITZ WILLY MAMANI APAZA
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	02306659



Datos de investigación	
Línea de investigación	Tecnología de materiales – P17
Grupo de investigación	No aplica.
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Puno - Latitud: S 15° 12' 08" - Longitud: O 69° 45' 41"  https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1DoPdKMqlPxt_IG7xnmlkIWfsKcY&usp=sharing
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Octubre 2025 – Enero 2026
URL de disciplinas OCDE https://concytec-pe.github.io/Peru-CRIS/vocabularios/ocde_ford.html - Librería	Ingeniería Civil https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.01 Ingeniería del la Construcción https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.01.03



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS

Dr. Fritz Willy Manamoni Apaza

DIRECTOR
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN



DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA, identificado con DNI
Nro. 46647555, en mi condición de egresado de:

- ☒ **Escuela Profesional**
☐ **Programa de Segunda Especialidad,**
☐ **Programa de Maestría o Doctorado**

INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la ☒ **Tesis** o ☐ **Trabajo de Investigación**, ☐ **Trabajo Académico**
denominada:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS
DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE
CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

Asesorado por: Mgtr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Juliaca 05 de mayo del 2026


Firma del Asesor
(obligatoria)


Firma del Estudiante
(obligatoria)



Huella



DEDICATORIA

Doy gracias a Dios por haberme permitido llegar hasta aquí y por haberme proporcionado los medios para hacer realidad mis sueños.

A mis padres, que siempre han creído en mí, me han apoyado pase lo que pase, me han dado un buen ejemplo de perseverancia, me han inculcado valores sólidos y me han proporcionado la inspiración y el impulso que necesitaba para triunfar en los estudios y en mi carrera profesional.

Gracias a mis hermanas por estar siempre ahí para mí y por sus palabras de ánimo.

Dios, te estoy eternamente agradecido por haberme bendecido con mis hijos, Ivana y Maximiliano. Vos hacéis que mi vida valga la pena y la completáis.

Gracias a mi esposa por estar siempre ahí para mí y por ser tan amable y paciente.

Quisiera expresar mi más profunda gratitud a todos mis educadores y modelos a seguir por la inestimable orientación y apoyo que me han brindado a lo largo de mi carrera.



AGRADECIMIENTO

A mis padres, por heredarme la riqueza más grande: la cultura del esfuerzo y el amor por el conocimiento. Esta tesis representa el fruto de sus años de entrega y la culminación de un sueño que compartimos. Gracias por enseñarme que con trabajo y estudio no hay meta inalcanzable.

.



CONTENIDO GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO GENERAL	iii
CONTENIDO DE TABLAS.....	vii
CONTENIDO DE FIGURAS	ix
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii
INTRODUCCIÓN	xiii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática.....	15
1.2. Formulación del problema.....	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos	17
1.3. Justificación de la investigación	18
1.4. Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo general:	18
1.4.2. Objetivos específicos:	19
1.5. Hipótesis	19
1.5.1. Hipótesis general:.....	19



1.5.2. Hipótesis específicas:.....	19
1.6. Variables.....	20
1.6.1. Variable independiente.....	20
1.6.2. Variable dependiente	20
1.6.3. Operacionalización de variables	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1. internacionales	22
2.1.2. Nacionales.....	25
2.1.3. Locales	29
2.2. Marco teórico	32
2.2.1. El concreto convencional	32
2.2.2. Componentes del concreto convencional	34
2.2.3. Exposición a temperaturas de congelamiento	48
2.2.4. Fibras de polipropileno	50
2.2.5. Incorporador de aire	56
2.2.6. Propiedades del concreto.....	61
2.3. Bases teóricas	63

CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación	66
-------------------------------------	----



3.2. Nivel de investigación.....	66
3.3. Tipo de investigación.....	67
3.4. Diseño de investigación.....	67
3.5. Población y muestra	67
3.5.1. Población.....	67
3.5.2. Muestra.....	68
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	69
3.6.1. Técnicas	69
3.6.2. Instrumentos.....	69
3.6.3. Caracterización de los componentes del concreto	69
3.6.4. Diseño de Mezcla.....	79
3.6.5. Asentamiento del concreto.....	82
3.6.6. Elaboración de probetas (NTP 339.034)	85
3.6.7. Proceso de congelamiento y deshielo	90
3.6.8. Ensayo a la resistencia a la compresión (NTP 339.034).....	92
3.7. Aspectos éticos.....	93

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de la información.....	94
4.2. Resultados de los ensayos.....	95
4.2.1. Diseño de mezclas	104
4.2.2. Resistencia a compresión del concreto normal	120



4.2.3. Resistencia a compresión del concreto con incorporador de aire ..	121
4.2.4. Resistencia a compresión del concreto con fibra de polipropileno.	122
4.2.5. Resumen de resistencia a compresión del concreto normal	122
4.2.6. Resistencia a compresión con incorporador de aire	125
4.2.7. Resumen de resistencia a compresión con fibras de polipropileno	128
4.2.8. Comparativa de la resistencia a la compresión con la adición de fibras de polipropileno e incorporador de aire	131
4.3. Discusión de resultados	134
CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFÍA	139
ANEXOS	143



CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1	Operacionalización de variables	21
Tabla 2	Granulometría de arena	41
Tabla 3	Requisitos granulométricos del agregado grueso.....	42
Tabla 4	Especificaciones técnicas del producto Sikafiber	56
Tabla 5	Porcentaje de aire requerido en ambientes de congelamiento	59
Tabla 6	Calificación del slump.....	61
Tabla 7	Cantidad de especímenes por edad de ensayo para determinación de resistencia a compresión	68
Tabla 8	Estado de humedad del agregado fino	97
Tabla 9	Estado de humedad del agregado grueso	97
Tabla 10	Ensayo de peso unitario en estado suelto	98
Tabla 11	Ensayo de peso unitario en estado compactado	99
Tabla 12	Ensayo de peso unitario en estado suelto	100
Tabla 13	Ensayo de peso unitario en estado compactado	101
Tabla 14	Granulometría agregado fino	101
Tabla 15	Granulometría del agregado grueso	103
Tabla 16	Resistencia promedio de diseño requerida.....	104
Tabla 17	Selección de asentamiento	104
Tabla 18	Relación agua / cemento.....	105
Tabla 19	Cantidad de volumen unitario de agua en Lt/m ³	106
Tabla 20	Contenido de aire atrapado.....	107
Tabla 21	Determinación del volumen de agregado grueso seco compactado	108
Tabla 22	Diseño de mezcla sin aire incorporado	111



Tabla 23 Resistencia promedio requerida.....	112
Tabla 24 Selección de asentamiento	112
Tabla 25 Relación agua/cemento.....	113
Tabla 26 Cantidad de volumen unitario en Lt/m ³	114
Tabla 27 Contenido de aire total	115
Tabla 28 Volumen de agregado grueso, seco y compactado.....	116
Tabla 29 Diseño de mezcla con aire incorporado.....	119
Tabla 30 Diseño de mezcla según grupo de estudio	119
Tabla 31 Resistencia a la compresión de concreto convencional bajo exposición a ciclos de congelamiento	120
Tabla 32 Resistencia a la compresión de concreto con aditivo incorporador de aire sometido a condiciones de congelamiento.....	121
Tabla 33 Resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno expuesto a ciclos de congelamiento.....	122
Tabla 34 Resistencia promedio a la compresión de concreto de peso normal sometido a condiciones de congelamiento.....	123
Tabla 35 Resistencia promedio del concreto con aire incorporado expuesto a ciclos de congelamiento.....	126
Tabla 36 Resistencia promedio del con fibras de polipropileno expuesto a ciclos de congelamiento.....	128
Tabla 37 Comparativa de resultados obtenidos de fibra de polipropileno	134
Tabla 38 Comparativa de resultados obtenidos de incorporador de aire	135



CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1 Descripción general de los componentes del concreto.....	33
Figura 2 Cemento Portland.....	37
Figura 3 Tipos de cemento Portland.....	38
Figura 4 Agua para el concreto.....	44
Figura 5 Tipos de aditivos.....	47
Figura 6 Deterioro del concreto por solicitudes de hielo-deshielo.....	50
Figura 7 Fibras sintéticas de polipropileno	51
Figura 8 Incorporación de fibras de polipropileno en concreto.....	53
Figura 9 Esquema de orientación de fibras ante la rotura.....	53
Figura 10 Clasificación de fibras de polipropileno: microfibras y macrofibras..	54
Figura 11 Imagen microscópica del contenido de aire	58
Figura 12 Distribución típica de vacíos en muestras de concreto	60
Figura 13 Tipos de rotura de los especímenes del concreto.....	63
Figura 14 Análisis granulométrico del agregado fino.....	70
Figura 15 Zarandeo del agregado grueso	72
Figura 16 Ensayo de peso específico del agregado fino.....	74
Figura 17 Secado del agregado superficialmente	76
Figura 18 Prueba de peso suelto en agregado fino.....	77
Figura 19 Prueba de peso compactado en agregado fino	78
Figura 20 Agregados en el horno	79
Figura 21 Cono de abrams	85
Figura 22 Preparación de los materiales	86
Figura 23 Uso del aditivo Incorporador de Aire	87



Figura 24 incorporación de fibras de polipropileno.....	87
Figura 25 Asentamiento del concreto	89
Figura 26 Elaboración de probetas.....	90
Figura 27 Procedimiento para simular puntos de congelación.....	91
Figura 28 Ensayo de resistencia a compresión.....	93
Figura 29 Distribución granulométrica del agregado fino	102
Figura 30 Distribución granulométrica del agregado grueso	103
Figura 31 Resistencia promedio a compresión del concreto normal	124
Figura 32 Variación porcentual de la resistencia del concreto normal	125
Figura 33 Resistencia promedio a compresión de testigos con incorporador de aire	126
Figura 34 Variación porcentual de la resistencia a la compresión de concreto con aditivo incorporador de aire	127
Figura 35 Resistencia promedio a compresión de testigos con fibras de polipropileno	129
Figura 36 Variación porcentual de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno	130
Figura 37 Comparativa de resistencias a la compresión con adición de fibras de polipropileno e incorporador de aire	131
Figura 38 Análisis comparativo de la variación porcentual de resistencia a la compresión entre concreto con fibras de polipropileno y concreto con aire incorporado	133



RESUMEN

Las condiciones de congelamiento representan un factor crítico que deteriora significativamente las propiedades mecánicas del concreto, requiriendo la incorporación de aditivos especializados para mitigar estos efectos adversos. La presente investigación tuvo como objetivo principal evaluar las propiedades mecánicas del concreto modificado con fibras de polipropileno y aditivo incorporador de aire sometido a condiciones de congelamiento en la región de Puno durante el año 2025. Se implementó una metodología de tipo aplicada con alcance explicativo, enfoque cuantitativo y diseño cuasiexperimental. La obtención de datos se realizó mediante ensayos de resistencia a la compresión en tres grupos experimentales, cada uno compuesto por 15 especímenes cilíndricos de 150 mm × 300 mm, evaluados a edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados evidenciaron mejoras sustanciales en la resistencia a la compresión: el concreto con aditivo incorporador de aire alcanzó el 99.89% de la resistencia de diseño, mientras que el concreto con fibras de polipropileno logró el 95.96%, en contraste con el concreto sin adiciones que únicamente alcanzó el 66.59% a los 28 días. Se concluye que la utilización de aditivos en concretos expuestos a temperaturas de congelamiento es fundamental para garantizar un desempeño mecánico adecuado y mayor durabilidad en comparación con el concreto convencional.

Palabras claves: Concreto, fibras de polipropileno, incorporador de aire, resistencia al congelamiento.



ABSTRACT

Freezing conditions are a critical factor that significantly degrades the mechanical properties of concrete, requiring the addition of specialized admixtures to mitigate these adverse effects. The primary objective of this study was to evaluate the mechanical properties of concrete modified with polypropylene fibers and an air-entraining admixture subjected to freezing conditions in the Puno region during the year 2025. An applied methodology with an explanatory scope, quantitative approach, and quasi-experimental design was implemented. Data were obtained through compressive strength tests on three experimental groups, each consisting of 15 cylindrical specimens measuring 150 mm × 300 mm, evaluated at ages of 7, 14, and 28 days. The results showed substantial improvements in compressive strength: concrete with an air-entraining additive reached 99.89% of the design strength, while concrete with polypropylene fibers achieved 95.96%, in contrast to concrete without additives, which reached only 66.59% at 28 days. It is concluded that the use of additives in concrete exposed to freezing temperatures is essential to ensure adequate mechanical performance and greater durability compared to conventional concrete.

Keywords: Concrete, polypropylene fibers, air-entraining agent, freeze-thaw resistance.



INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas caracterizadas por temperaturas de congelamiento se presentan predominantemente en la zona alto andina, a altitudes comprendidas entre los 3,000 y 5,000 m.s.n.m., donde se registran ciclos térmicos marcados por descensos bruscos durante la noche y ascensos considerables durante el día. Este fenómeno es particularmente representativo de la región de Puno, específicamente en la ciudad de Juliaca (Dionicio, 2019). El concreto, material de mayor demanda en la construcción civil, se ve significativamente afectado por estas condiciones, comprometiendo su durabilidad. Los efectos perjudiciales de las heladas sobre el concreto han sido objeto de investigación desde décadas atrás, siendo la teoría de presión osmótica de Powers (1975) uno de los referentes más reconocidos, la cual describe manifestaciones desfavorables como la microfisuración, roturas internas y descamación superficial (Pigeon & Pleau, 1995). Los ciclos de hielo y deshielo inducen un proceso de endurecimiento deficiente, generando fuerzas de tensión internas que deterioran progresivamente las propiedades mecánicas del material, derivando en una reducción notable de su durabilidad y calidad estructural.

Diversas investigaciones han explorado alternativas para mitigar los efectos del congelamiento en el concreto. La incorporación de fibras ha demostrado reducir significativamente el fisuramiento por retracción plástica (Javier, 2011), así como mejorar el comportamiento frente a fisuras originadas por corrosión en concreto armado. Paralelamente, el uso de aire incorporado intencionalmente mediante aditivos específicos ha sido respaldado por evidencia



científica como una de las soluciones más eficaces para contrarrestar el deterioro provocado por temperaturas de congelamiento.

Dada la gravedad de la situación, el objetivo de esta investigación es determinar el impacto en las características mecánicas tras 28 días de la incorporación de fibra sintética de polipropileno y agentes incorporadores de aire al concreto, utilizando probetas que han sido sometidas a congelación en condiciones controladas. Al mismo tiempo, sopesamos las ventajas y los inconvenientes del uso de cada uno de estos aditivos en relación con los demás, teniendo en cuenta factores como el comportamiento estructural y el coste. La investigación recopila y analiza datos de forma sistemática para determinar el efecto de cada aditivo sobre el comportamiento mecánico del concreto. Este método cuantitativo ayuda al estudio a alcanzar sus objetivos declarados.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Exposición de la realidad problemática

A nivel mundial, se han registrado condiciones climáticas extremas caracterizadas por bajas temperaturas, especialmente en América del Norte, donde la influencia de las masas de aire ártico ha generado descensos térmicos significativos que se han extendido a diversos países del continente americano, según información publicada por el diario La República. Estos factores climáticos se han consolidado como uno de los desafíos más relevantes en el ámbito de la construcción civil, siendo de especial atención en regiones expuestas a cambios térmicos abruptos, caracterizados por períodos alternados de congelamiento y descongelación que comprometen la integridad de las estructuras. En el caso particular del Perú, los registros del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) indican que durante los meses de mayo, junio y julio se produce un descenso considerable de las temperaturas nocturnas en diversos



departamentos de la zona alto andina, entre los que destaca el departamento de Puno. En las zonas ubicadas por encima de los 3,800 m.s.n.m., las temperaturas pueden alcanzar valores aproximados entre 0°C y -8°C, mientras que en altitudes superiores a los 4,200 m.s.n.m. se han registrado temperaturas inferiores a -14°C, según datos correspondientes al año 2020.

En la región de Puno, el análisis de los registros históricos de SENAMHI durante un período de veinte años, comprendido entre 2001 y 2024, revela que las temperaturas máximas alcanzaron los 20.1°C, en tanto que la temperatura mínima registrada fue de -16.1°C, valor presentado en el año 2005 durante la temporada invernal más crítica del período evaluado. Esta amplia variación térmica, que oscila entre puntos de congelamiento durante la noche y temperaturas elevadas al mediodía, somete al concreto a ciclos continuos de helada y descongelación que afectan directamente su comportamiento estructural.

El concreto es especialmente susceptible de sufrir daños causados por las inclemencias meteorológicas cuando se deja sin protección; la formación de hielo en el interior del material compromete todo el proceso de fraguado y endurecimiento, lo que provoca agrietamientos, degradación parcial o total y una disminución de la resistencia mecánica, entre otros problemas. Para que el concreto alcance su máxima resistencia durante el proceso de endurecimiento, es fundamental tomar medidas para reducir los efectos de las condiciones meteorológicas adversas.

Durante muchos años se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre el uso de fibras sintéticas de polipropileno en el hormigón. Los resultados



muestran mejoras significativas en las propiedades mecánicas y una amplia variedad de aplicaciones estructurales. El aditivo incorporador de aire mejora la resistencia del material a los ciclos de congelación-descongelación al crear microesferas dentro de la matriz del hormigón. Estas microesferas limitan las tensiones de tracción causadas por la expansión volumétrica. Teniendo en cuenta la cuestión que nos ocupa, esta investigación tiene como objetivo analizar los efectos de estos aditivos sobre las propiedades mecánicas del hormigón cuando se expone a temperaturas bajo cero. El objetivo es encontrar aquel que permita que el diseño mantenga la resistencia especificada incluso cuando se expone a bajas temperaturas.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera la adición de Fibra de Polipropileno e Incorporador de Aire modifica las propiedades mecánicas del concreto expuesto a ciclos de congelamiento en la región de Puno?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿En qué proporción varía la resistencia a la compresión del concreto al incorporar fibras de polipropileno bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno?
- ¿En qué medida el aditivo incorporador de aire modifica la resistencia a la compresión del concreto sometido a condiciones de congelamiento en la región de Puno?

- ¿Cómo es la comparativa de la resistencia a la compresión con el uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire en el concreto bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno?

1.3. Justificación de la investigación

El distrito de Juliaca se encuentra a una altitud de 3.825 metros sobre el nivel del mar. La temperatura en la zona presenta un marcado ciclo de 24 horas, con máximas durante el día y mínimas durante la noche. Esto hace que la región no sea apta para la producción de hormigón, el material más utilizado debido a sus características constructivas favorables, pero también a su susceptibilidad a las tensiones ambientales, como el ciclo de congelación-descongelación. Por lo tanto, resulta muy conveniente encontrar formas de reducir el impacto de este fenómeno sin sacrificar la resistencia y la durabilidad del material.

Es necesario investigar formas de proteger el hormigón de los efectos perjudiciales de las temperaturas bajo cero. Una posible solución es utilizar agentes incorporadores de aire o fibras sintéticas (polipropileno), pero también es importante determinar cuál de ellos funciona mejor. El objetivo de este estudio es determinar el aditivo más eficaz para mejorar el comportamiento y la resistencia a los daños causados por las heladas del concreto.

1.4. Objetivos

1.4.1. *Objetivo general:*

Evaluar las propiedades mecánicas del concreto con la adición de fibras de polipropileno y aditivo incorporador de aire bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno – 2025.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto con el uso de fibras de polipropileno bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto con el uso del aditivo incorporador de aire bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno.
- Analizar la comparativa de la resistencia a la compresión con el uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire en el concreto bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general:

En la región de Puno, las características mecánicas del hormigón mejoran cuando se expone a temperaturas de congelamiento mediante el uso de fibras de polipropileno y aditivos incorporadores de aire.

1.5.2. Hipótesis específicas:

- La resistencia a la compresión en la region de Puno mejora cuando el concreto fabricado con fibras de polipropileno se somete a temperaturas de congelamiento.
- En la región de Puno, la resistencia a la compresión mejora cuando el concreto que va a estar expuesto a temperaturas de congelamiento se mezcla con un agente incorporador de aire.



- El aditivo incorporador de aire causará una reducción inicial de la resistencia a la compresión, significativamente mayor que las fibras de polipropileno bajo condiciones de congelamiento en la región de Puno.

1.6. Variables

1.6.1. Variable independiente

- Dosis de fibra de polipropileno y aditivo incorporador de aire

1.6.2. Variable dependiente

- Propiedades Mecánicas del concreto

1.6.3. Operacionalización de variables

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

Variable	Dimensión	Indicador	Escala de medición	Técnica	Instrumento
Dosis de fibra de polipropileno y aditivo incorporador de aire (VI)	Fibras de polipropileno Aditivo incorporador de aire	Características y proporciones Contenido de aire incorporado	g ml	Fichas técnicas	Balanza (precisión de ± 0.1 g)
Propiedades Mecánicas del concreto (VD)	Resistencia a la compresión	Curado, tipo de cemento, calidad de agregados	Kg/cm ²	Rotura de briquetas	Prensa hidráulica



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1. internacionales

El estudio de Kolli Ramujee (2013) sobre las características de resistencia del hormigón reforzado con fibras de polipropileno reveló cómo la incorporación de fibras de polipropileno transforma las características mecánicas del material y fue publicado en la revista International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Este análisis utilizó materiales que cumplieran con ciertos estándares, tales como cemento de $3,02 \text{ g/cm}^3$, árido fino de $2,6 \text{ g/cm}^3$, árido grueso de granito angular de $2,70 \text{ g/cm}^3$ y una densidad aparente de 1450 kg/m^3 . El cemento, además, tenía un fraguado inicial de 50 minutos y un fraguado final de 170 minutos. Los hilos de polipropileno empleados alcanzaban una longitud de 12 milímetros. Con una relación agua-cemento de 0,50 y una resistencia a la compresión de referencia de 54,0 MPa a los 28 días,



el diseño de la mezcla incluyó concentraciones de fibra que oscilaban entre el 0 % y el 2,0 %. Cuando el contenido de fibra del hormigón supera el 1,5 %, el asentamiento, una medida de su trabajabilidad, disminuye. En cuanto a la resistencia a la compresión a los 28 días, se observó un aumento con el incremento de la dosis de fibra hasta un límite determinado: al 0,5 % se produjo un aumento del 40,9 %, al 1,0 %, del 44,12 %, y al 1,5 % se alcanzaron los 45,24 MPa. Sin embargo, la resistencia descendió a 40,5 MPa cuando la concentración de fibra se elevó al 2,0 %. De manera similar, la resistencia a la tracción aumentó al aumentar las concentraciones de fibra, alcanzando 3,22 MPa, 3,40 MPa y 3,52 MPa, respectivamente, para porcentajes de fibra del 0,5 %, 1,0 % y 1,5 %. Esta propiedad, sin embargo, descendió a 2,90 MPa con un contenido del 2,0 %.

Para obtener su título de Ingeniería Civil por la Pontificia Universidad Javeriana, Manzano (2014) presentó una tesis titulada Análisis del efecto de las fibras estructurales de polipropileno en la contracción del hormigón, en la que exploraba cómo estas fibras pueden mitigar la contracción y, por lo tanto, prolongar la vida útil de los cimientos. Según la investigación, las fibras pueden reducir la rigidez del hormigón. Con una relación de 0,58 a 0,58, un contenido de aire del 2 %, una resistencia a la compresión de 210 kg/cm² y una mezcla compuesta por un 44 % de arena, un 31 % de grava gruesa y un 25 % de grava fina, la estructura medía 22,50 centímetros. Se evaluaron cinco combinaciones diferentes para determinar el impacto de las fibras: hormigón convencional (CONV), hormigón mezclado con nailon (N) y hormigón con dosis de 1,8, 2,4, 2,8 y 3,2 kg/m³ de fibras de polipropileno. Los resultados mostraron que el hormigón con malla de alambre soldada no es en absoluto comparable al



hormigón con 2,4 y 2,8 kg/m³ de fibras de polipropileno, lo que reduce el área afectada por fracturas por contracción plástica hasta en un 80 %. Además, con una dosis de 3,2 kg/m³, la anchura media de las fisuras se redujo en más de un 95 %, lo que da lugar a fisuras casi imposibles de detectar y visualmente agradables. La investigación reveló que las fibras de polipropileno no aumentan realmente la resistencia a la compresión, pero su efecto sobre la resistencia a la flexión ayuda a que los elementos estructurales duren más tiempo, ya que pueden seguir soportando cargas incluso después de romperse.

Páez et al. (2009), en el artículo científico titulado "Influencia de los Ciclos Hielo-Deshielo en la Resistencia del Concreto (caso Tunja)", publicado en revista científica, analizaron el efecto de los ciclos de congelación y descongelación sobre las propiedades físicas y mecánicas del concreto, fenómeno particularmente relevante en la ciudad de Tunja durante las épocas de heladas. El objetivo central del estudio fue determinar la influencia de las condiciones climáticas frías sobre el comportamiento cuantitativo y cualitativo del concreto, evaluando tanto su respuesta física como su desempeño mecánico ante este agente de deterioro. La metodología empleada consistió en la elaboración y evaluación de veinticuatro especímenes, considerando como variables de estudio la relación agua/cemento y el tipo de curado aplicado. Con el propósito de acelerar el proceso de deterioro, se simulaban condiciones de temperatura bajo cero grados mediante dos escenarios: el primero mediante simulación artificial en cámara de congelación, y el segundo mediante exposición natural al exterior, sometiendo los especímenes a ciclos alternados de congelamiento nocturno y descongelación diurna de manera ininterrumpida. Los resultados



obtenidos evidenciaron diferencias significativas en función de la relación agua/cemento empleada. Las probetas con Ra/c de 0.7 presentaron fisuración visible y, en los casos más críticos, fractura total, mientras que las elaboradas con Ra/c de 0.5 mostraron únicamente pequeñas grietas y descascaramiento superficial leve. En ambos grupos se registró un incremento progresivo en los valores de absorción y porosidad. En términos de resistencia mecánica, las probetas con Ra/c de 0.7 experimentaron una reducción aproximada del 14% en comparación con las de Ra/c de 0.5, atribuida al mayor contenido de agua en la mezcla, el cual favoreció el debilitamiento de la estructura interna del concreto. Finalmente, el estudio concluyó que el curado continuo bajo ciclos de hielo y descongelación resulta desfavorable para el desarrollo de resistencia, mientras que el curado a la intemperie con escasa presencia de lluvia ofrece mejores resultados en términos de desempeño mecánico.

2.1.2. Nacionales

En su tesis titulada El hormigón en climas fríos: uso de fibras de polipropileno y agentes incorporadores de aire, Rodríguez (2009) analizó un proyecto de mejora de una carretera en el departamento de La Libertad. El proyecto fue llevado a cabo por la empresa constructora ENERGOPROJEKT NISKOGRANDJA y se situaba en una zona donde la temperatura rara vez supera los 10 °C durante más de medio día, lo que perjudica el rendimiento del hormigón convencional. El objetivo principal de la investigación era incorporar fibras de polipropileno y aire introducido intencionadamente en una mezcla de hormigón capaz de soportar temperaturas extremas bajo cero. El material debía ser lo suficientemente resistente como para soportar las fisuras por contracción



y otros factores de deterioro. Los datos procedían de ensayos de laboratorio realizados en las probetas fabricadas como parte del diseño experimental de la investigación. A los 7, 14 y 28 días de edad, se examinó la resistencia a la flexión de las muestras utilizando vigas de 15 x 15 x 50 cm y la resistencia a la compresión utilizando probetas cilíndricas de 15 x 30 cm. En cuanto al método, los parámetros técnicos del producto exigían la adición de 85 gramos de fibra FIBERMESH por cada 42,5 kg de cemento. Los resultados mostraron que la resistencia a la compresión axial era un 4 % mayor con la fibra de 19 mm que con el hormigón sin fibra, y que el agrietamiento se redujo hasta en un 28 %. La adición de fibras mejoró las cualidades del hormigón fresco y curado en condiciones climáticas adversas, como lo demuestra un aumento del 5 % en la resistencia a la flexión y una reducción del sangrado a un rango de entre el 3,18 % y el 3,50 % en comparación con la mezcla tradicional.

Las grietas en los pavimentos de hormigón causadas por la contracción en estado plástico constituyen el tema central de esta investigación, cuyo objetivo es evaluar los efectos de la incorporación de fibra de polipropileno al hormigón (Valero, 2015). En la investigación se utilizó una mezcla de hormigón de control sin fibra para examinar el comportamiento de mezclas de hormigón con distintos niveles de fibra. Por cada metro cúbico de hormigón, se añadieron 400, 900 y 1500 gramos de fibras de 19 mm y 50 mm, respectivamente. Se pudieron obtener siete probetas utilizando diversos diseños. Tras 28 días, la mezcla se diseñó para alcanzar una resistencia a la compresión de 210 kg/cm². Se evaluaron en cada probeta el asentamiento, la temperatura del hormigón y el sangrado, aunque se prestó mayor atención a las fisuras inducidas por la



contracción del hormigón en estado plástico. Era fundamental comprobar la resistencia a la compresión de las probetas para asegurarse de que las fibras no las debilitaran. Como parte de la aplicación en el mundo real, se llevaron a cabo evaluaciones de fisuras tanto en entornos de laboratorio controlados como en ensayos al aire libre. Esta investigación reveló que el hormigón con mayores niveles de fibra presentaba menos fisuras, menos sangrado y menos asentamiento en comparación con el hormigón de control. Además, la fractura inicial se produjo algo más tarde. Ambos tamaños de fibra mostraron este retraso. Sin embargo, se observó que la resistencia a la compresión del hormigón curado no se veía afectada por la inclusión de fibras de polipropileno. Cuando se sometió a ensayo con dosis de 400 g/m^3 y 900 g/m^3 , con una longitud de fibra de 19 mm, los resultados mostraron un ligero aumento a los 28 días de edad. La resistencia a la compresión alcanzó una media del 102,66 % y la resistencia a la tracción, del 105,48 %. Según los resultados, el uso de fibras de 50 mm en una dosis de 900 g/m^3 mejoró las propiedades del hormigón recién mezclado, inhibió la formación de fisuras y aumentó ligeramente la resistencia a la compresión.

Efecto de la temperatura de curado en condiciones de congelación sobre la resistencia del hormigón $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, Juliaca, 2023 fue el título de la investigación de Copa (2024), que se propuso responder a la pregunta de cómo afectaban los ciclos de congelación-descongelación a la resistencia mecánica del hormigón fabricado en Juliaca. El estudio utilizó un enfoque cuantitativo y explicativo mediante una técnica no experimental para caracterizar las propiedades de los áridos de la cantera de Isla y crear un diseño de mezcla para $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se midieron las resistencias a la compresión y a la flexión de



veinticinco vigas de hormigón y probetas cilíndricas fabricadas con este diseño de mezcla a los 0, 3, 7, 21 y 28 días de edad tras la congelación. Para proporcionar una comparación equitativa de los dos procesos de curado, se curó el mismo número de probetas en condiciones normales tanto en marzo como en abril. Los resultados indican que los materiales de la cantera de Isla pueden utilizarse para fabricar hormigón con una resistencia de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Las temperaturas máximas diurnas de 0 a 21 grados Celsius eran habituales, pero también eran habituales temperaturas máximas típicas de -2,2 a 21 grados Celsius y mínimas bajo cero de -10 a -20 grados Celsius. Los valores de resistencia a la compresión a los 0, 3, 7, 21 y 28 días en condiciones normales de curado fueron de 134, 176, 182 y 195 kg/cm^2 , respectivamente, mientras que en condiciones de congelación fueron de 36,5, 44,0, 54,0, 58,8 y 63,9 kg/cm^2 . Si bien es cierto que las resistencias a la compresión y a la flexión del hormigón aumentan con el tiempo de curado, los resultados revelan que estas resistencias son mucho menores en climas fríos en comparación con climas favorables. Una vez finalizado el periodo de curado de 28 días, la resistencia máxima que se puede alcanzar en condiciones de congelación es del 45 % de la resistencia de diseño. Sin embargo, su resistencia puede reducirse hasta en un 7,15 % si el hormigón no se cura durante el primer día.

Como consecuencia del crecimiento demográfico de la ciudad, los proyectos de ingeniería civil en Cajamarca han avanzado considerablemente, lo que ha aumentado la importancia de estudiar y utilizar tecnologías y materiales de construcción. Uno de estos materiales son los aditivos para hormigón, cuyo uso ha experimentado un aumento espectacular en los últimos años, mejorando

en gran medida la calidad de los proyectos de construcción locales (Zamora 2014). El objetivo de este estudio es analizar el efecto de las fibras de polipropileno Fibromac sobre la resistencia a la compresión del hormigón fabricado con áridos de la cantera «La Banda» en Cajamarca, con una clase de resistencia de $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Se realizaron ensayos con muestras de hormigón elaboradas con dosis de fibra de polipropileno Fibromac del 0,3 %, 0,7 % y 1,0 % del peso del cemento entre septiembre y noviembre de 2014 con el fin de recopilar datos. La mejora en la calidad del hormigón se evaluó en función del grado de rotura de las probetas. A los 21 días, la resistencia a la compresión había aumentado un 9,74 % cuando la dosis del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno) era del 0,30 % del peso del cemento. A los 21 días, la resistencia a la compresión había variado en un -1,68 % para una dosis del 0,70 % y en un 1,54 % para una dosis del 1,00 %. Los resultados muestran que el uso de áridos de la cantera «La Banda» en Llacanora, Cajamarca, y del aditivo Fibromac (fibras de polipropileno) no aumentó significativamente la resistencia a la compresión del hormigón ($f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) en ninguna de las dosificaciones probadas. La única dosificación que mostró un pequeño aumento en la resistencia a la compresión fue la de 0,30 %.

2.1.3. Locales

En su tesis de 2018 titulada Evaluación de la eficacia del uso de aditivos en la producción de hormigón a bajas temperaturas en la región de Puno, Gonzales Ayma investigó el comportamiento del hormigón de la región de Puno tratado con aditivos incorporadores de aire cuando se sometía a temperaturas frías. Los objetivos principales de este estudio fueron examinar los efectos de un

aditivo incorporador de aire sobre el hormigón húmedo y seco, y comparar sus costes con los de una mezcla de hormigón normal. En este análisis cuantitativo no experimental, se trataron 45 muestras de hormigón con tres productos químicos incorporadores de aire diferentes que se pueden adquirir comercialmente en Juliaca. Se dejaron sin tratar quince muestras de control. Las variables independientes del experimento fueron el tipo de aditivo y la resistencia a la compresión del hormigón. Durante todo el proceso de curado, las muestras se almacenaron a temperaturas bajo cero durante la noche. Se realizaron ensayos de compresión axial a los 7, 14 y 28 días tras la preparación. Los resultados muestran que el rendimiento final del hormigón a temperaturas bajo cero mejora considerablemente con el uso de aditivos incorporadores de aire. Esto indica que estos aditivos pueden ayudar a que el hormigón dure más tiempo en climas más fríos.

En su estudio titulado Evaluación de la incorporación de aditivos incorporadores de aire para mejorar la resistencia a bajas temperaturas del hormigón en el distrito de Ananea, provincia de Puno, Flores y Quispe (2021) se propusieron determinar la proporción ideal de aditivo incorporador de aire que se debe utilizar al preparar el hormigón, de modo que este pudiera alcanzar su máxima resistencia a la compresión incluso cuando se viera expuesto a condiciones climáticas extremas. La resistencia de diseño del hormigón era de 210 kg/cm². Dado que la localidad de Ananea registra temperaturas que oscilan entre los -10 y los 12 °C durante una parte significativa del año, resulta relevante examinar cómo el clima frío afecta al comportamiento del hormigón. Para llevar a cabo la investigación se utilizó un enfoque experimental. Se utilizó una mezcla



de hormigón estándar ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) para preparar 76 probetas cilíndricas, cada una de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. Un grupo de probetas se sometió a un ensayo de control sin aditivo incorporador de aire, mientras que otro grupo recibió dosis de 15 g, 30 g y 40 g por saco de cemento. Los áridos del río Putina se caracterizaron física y mecánicamente y se sometieron a ensayos de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de acuerdo con las normas ASTM, mientras que el diseño de la mezcla se realizó de conformidad con la norma ACI 211.1. El hormigón que no se mezcló con aditivo incorporador de aire curó durante 28 días y presentó una resistencia a la compresión de $162,05 \text{ kg/cm}^2$, muy por debajo del resultado deseado. Por el contrario, las mezclas que contenían aditivos mostraron una mejora significativa: $209,70 \text{ kg/cm}^2$ con 15 g por saco, $222,50 \text{ kg/cm}^2$ con 30 g por saco y $223,61 \text{ kg/cm}^2$ con 40 g por saco. Estos resultados aportan pruebas importantes a favor del uso de aditivos en las zonas frías de la sierra peruana, ya que demuestran que la resistencia a la compresión del hormigón diseñado para ($f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$) puede mejorarse cuando se añaden aditivos incorporadores de aire al agua y se cura en condiciones de baja temperatura.

La influencia de la nanosílice y los superplastificantes en la durabilidad del hormigón sometido a ciclos de en la ciudad de Puno fue el título del estudio de 2017 realizado por López y Mamani, cuyo objetivo era describir las propiedades mecánicas y de porosidad del material y determinar si la adición de nanosílice y superplastificantes afectaba a la durabilidad del hormigón expuesto a ciclos de congelación-descongelación en las condiciones climáticas frías típicas de la región de Puno. En el estudio se utilizaron mezclas de hormigón con adiciones

de nanosílice en concentraciones del 0,5 %, 1,0 % y 1,5 % en peso del cemento, así como una mezcla de control sin aditivos, y se llevó a cabo mediante una técnica experimental cuantitativa, sincrónica y correlacional. El uso del 1,5 % de nanosílice dio como resultado la mayor resistencia a la compresión tanto en condiciones normales como durante los ciclos de congelación-descongelación. Esta concentración también hizo que el material se densificara más y perdiera menos resistencia al exponerse a fluctuaciones de temperatura. Los experimentos se llevaron a cabo durante 56 días utilizando cemento puzolánico de tipo IP con un superplastificante añadido, con relaciones agua-cemento $< 0,56$ y 12 horas de descongelación natural tras 12 horas de congelación (entre -8°C y -15°C). Además, se observó que el hormigón que contenía un 1,0 % de nanosílice presentaba la menor porosidad. Esto implica que el hormigón es más impermeable y puede soportar congelaciones repetidas en regiones andinas de gran altitud como Puno.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El concreto convencional

El concreto, un producto artificial, se fabrica incorporando agentes aglutinantes (áridos) en un medio aglutinante (pasta) (Rivva, 2014, p. 11). El concreto convencional, considerado el material de construcción ideal, es una mezcla de agua, áridos, cemento y aditivos que, una vez endurecida, se vuelve maleable y moldeable, pero capaz de soportar enormes presiones de compresión (Guyer, 2019).

Figura 1

Descripción general de los componentes del concreto



Nota: Aceros Arequipa (2023).

El concreto convencional se define como aquel elaborado a base de cemento Portland, agregados naturales con tamaño máximo comprendido entre 19 y 30 mm, y sin incorporación de aditivos químicos especiales. Este material presenta un peso unitario que oscila entre 2,200 y 2,400 kg/m³, característica que le permite alcanzar una consistencia variable entre seca y plástica en función del contenido de agua empleado en la mezcla (Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 2003).

Desde el punto de vista de sus propiedades mecánicas y comportamiento estructural, el concreto convencional se distingue por su elevada capacidad para soportar esfuerzos de compresión, en contraste con su limitada resistencia a la tracción. Su respuesta ante cargas sigue un comportamiento elástico no lineal, y está sujeto a deformaciones volumétricas originadas tanto por la contracción durante el proceso de secado como por variaciones térmicas. Si bien presenta una durabilidad aceptable en ambientes moderadamente agresivos, estas

características lo convierten en un material que requiere un manejo técnico cuidadoso durante todas las etapas de su producción y puesta en obra (Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, 2003).

2.2.2. Componentes del concreto convencional

Según Polanco (2022), los agregados utilizados en la elaboración del concreto se clasifican en dos categorías principales: fino y grueso.

- Agregados gruesos: están compuestos por partículas que quedan retenidas en una malla No. 16 y pueden alcanzar tamaños de hasta 152 mm o más. Según (Polanco Rodriguez, 2022).
- Agregados finos: corresponden a arenas con un tamaño de partícula de hasta 10 mm, ya sean de origen natural o producidas artificialmente (Polanco Rodriguez, 2022).

Generalmente, el tamaño máximo del agregado utilizado en concreto estructural es de 19 mm o 25 mm, dependiendo de las especificaciones del diseño.

El cemento Portland tipo I, el agua y una fase gaseosa (ya sean burbujas de aire naturales o introducidas artificialmente) se mezclan para producir la pasta de cemento, el agente aglutinante del hormigón. Esta pasta constituye entre el 25 % y el 40 % del volumen del material compuesto, con la siguiente distribución porcentual:

- Cemento: entre el 7 % y el 15 % del volumen absoluto.
- Agua: entre el 14 % y el 21 %.

- Aire: en concretos con aire incorporado (como los celulares), puede alcanzar hasta el 8 % del volumen total, dependiendo del tamaño del agregado grueso.

Con un porcentaje volumétrico estimado de entre el 60 % y el 75 %, los áridos desempeñan un papel fundamental en el hormigón, ya que influyen directamente en las características de la mezcla cementosa y ponen de relieve la necesidad de aplicar criterios de selección rigurosos. Dado que los contaminantes pueden reducir de forma permanente la capacidad de carga y la vida útil del hormigón, es fundamental que estos áridos estén compuestos por partículas resistentes y duraderas, libres de contaminantes.

2.2.2.1. El Cemento Portland

El cemento, una sustancia aglutinante, se obtiene moliendo una mezcla de piedra caliza molida y arcilla. Su característica principal es que, al entrar en contacto con el agua, se endurece y fragua gradualmente, adquiriendo resistencia mecánica durante el proceso de hidratación (Vargas Salazar, 2021).

Cuando el cemento se mezcla con agua, forma una pasta moldeable altamente flexible que, tras el fraguado y el endurecimiento, adquiere una gran resistencia y durabilidad. Esta característica permite que el material se adapte a diversas formas antes de solidificarse, lo que lo convierte en un componente esencial para múltiples aplicaciones en la construcción (Vargas Salazar, 2021).

Al combinarse con agua y agregados, el cemento da lugar a un material plástico, suave y flexible en su estado fresco, que luego se endurece para formar estructuras resistentes y duraderas (Vargas Salazar, 2021).

En el Perú, el cemento Portland es el tipo de cemento más utilizado, cumpliendo con las normativas internacionales ASTM C150 y NTP 334.009.

a. Propiedades del cemento

Fineza

- La superficie específica se describe como el nivel de acabado del polvo más grueso, expresado en metros cuadrados por kilogramo (m^2/kg).
- El fortalecimiento del cemento se origina al modificar su volumen, lo que mejora la habilidad para reaccionar y eleva la temperatura de hidratación.
- Una hidratación más rápida contribuye al desarrollo de un concreto más resiliente, y un cemento más fino favorece este proceso

Peso específico

- El peso específico del cemento constituye una propiedad física fundamental que cuantifica la masa del material por unidad de volumen, expresándose típicamente en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3).

Figura 2*Cemento Portland*

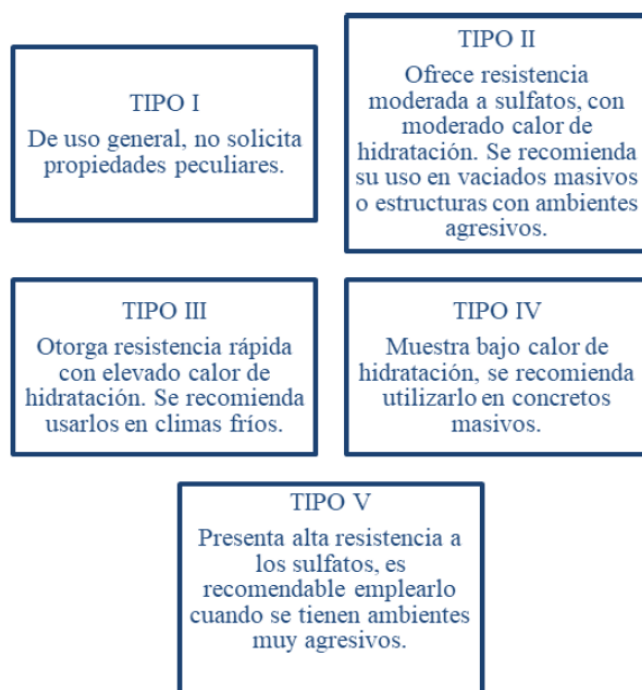
Nota: <https://compraco.com.br/es/blogs/construcao-civil>

La cantidad, el precio y la calidad del cemento tienen un impacto directo en la mezcla final, ya que es el componente más activo y esencial del hormigón (Rivva, 2014, p. 18). Para fabricar cemento Portland, se trituran conjuntamente el clinker que se obtiene mediante la calcinación de ciertas cantidades de elementos silíceos, calcáreos y ferrosos y el yeso (Gutiérrez, 2003, p. 35).

La mayoría de los ingredientes utilizados para fabricar cemento proceden de rocas y minerales como la arcilla, la arenisca, la piedra caliza, el mineral de hierro y la pirita (Pasquel, 1993, pp. 17-18). Los porcentajes de óxido del cemento se muestran, por tanto, en la tabla siguiente.

b. Tipos de cementos

Los múltiples usos del cemento Portland requieren una amplia variedad de formulaciones. En nuestro país se comercializan los siguientes cinco tipos de cemento, de conformidad con las normas ASTM C 150 y NTP 334.009 (Cementos Portland: especificaciones):

Figura 3*Tipos de cemento Portland*

2.2.2.2. Los Agregados

Los agregados son materiales granulares utilizados en la construcción para formar concreto, mortero, asfalto, entre otros. Son esenciales para conferir resistencia y durabilidad a las estructuras (Becerra Goigochea & Olano Quinde, 2022).

Entre el 60 % y el 80 % del volumen total del concreto está compuesto por áridos, que son elementos inertes de origen natural o artificial. Estos mejoran la trabajabilidad, la estabilidad dimensional y la resistencia mecánica del hormigón, tal y como señalan Becerra Goigochea y Olano Quinde (2022).

Los materiales granulares inertes conocidos como áridos pueden proceder de la naturaleza o de fuentes artificiales y tienen un tamaño de partícula



comprendido entre cero y cien milímetros. Gracias a ellos, el hormigón y el mortero son duraderos, económicos y estables. Normas como la ASTM C33 y la NTP 400.037 establecen las propiedades de los áridos.

Según los fundamentos teóricos del hormigón como material compuesto, las características técnicas y el coste del material se ven muy influidos por el tipo, el tamaño y la calidad de los áridos. La pasta de cemento, que es una mezcla de cemento y agua, rellena los espacios entre las partículas de áridos, creando una estructura sólida similar a la de la piedra. También actúa como aglutinante y cemento. Los áridos constituyen aproximadamente tres cuartas partes del volumen del hormigón (entre el 60 % y el 75 % en volumen) y, por lo tanto, influyen en la trabajabilidad, la resistencia mecánica, la estabilidad volumétrica y la rentabilidad del hormigón estructural.

Los áridos mejoran considerablemente la resistencia mecánica, la durabilidad y la resistencia a la contracción, la fluencia y la abrasión del concreto, además de ser un material de relleno más económico que la pasta de cemento. A pesar de su naturaleza inerte, los áridos influyen de manera significativa en las características térmicas, químicas y físicas del concreto.

2.2.2.2.1 Agregado fino

Según la Norma Técnica Peruana (NTP) 400.037, se define agregado fino como cualquier material que pueda pasar a través de una malla de 9,5 mm (3/8") y cumpla con las especificaciones requeridas. Estos agregados deben ser limpios, sustanciales y compactos, con partículas que presenten una forma angular y rugosidad.



Al evaluar las propiedades del concreto, para asegurar que este crezca y se fracture según lo previsto, es esencial considerar la fuente del agregado. Para cumplir con las restricciones de la ASTM C33, el material debe pasar por el tamiz No. 200 y, además, debe cumplir con el requisito de pasar el tamiz No. 4 en al menos el 95% de las veces, además de pasar completamente el tamiz de 3/8".

No debe haber residuos, terrón o sales, compuestos orgánicos ni otros elementos en el material que puedan dañar el concreto. Si la investigación muestra que el uso de agregados fuera de las gradaciones especificadas produce concreto con la resistencia necesaria, se podría permitir su uso, siempre que cumpla con las normativas de la ASTM C33.

A. Granulometría (NTP 400.037)

La granulometría es un proceso que mide el tamaño de las partículas mediante el uso de tamices o mallas bien calibrados en un laboratorio.

Dado que influye de manera tan directa en la trabajabilidad y las propiedades mecánicas del material, el módulo de finura es un parámetro de fabricación esencial para el hormigón de alta resistencia. Se calcula a partir de la distribución del tamaño de las partículas del árido fino mediante un análisis granulométrico; su valor numérico indica el grado de finura o grosor del árido, lo cual resulta útil para ajustar la relación agua-cemento en la mezcla. Las normas de ensayo, como las directrices de la ASTM para áridos de hormigón, especifican criterios de trabajabilidad, resistencia y durabilidad. Este parámetro es fundamental para garantizar que el hormigón construido cumpla dichos requisitos.

Tabla 2

Granulometría de arena

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
9.5 mm (3/8 in.)	100
4.75 mm (Nº. 4)	95 a 100
2.36 mm (Nº 8)	80 a 100
1.18 mm (Nº 16)	50 a 85
600 µm (Nº 30)	25 a 60
300 µm (Nº 50)	05 a 30
150 µm (Nº 100)	0 a 10

Nota: <https://www.yura.com.pe/blog/agregados>

2.2.2.2.2 Agregado grueso

El material que pasa a través del tamiz número 4 y sigue cumpliendo con los límites establecidos en la ASTM C33 se denomina agregado grueso. Este material puede originarse de la descomposición natural de las rocas o mediante procesos mecánicos de trituración.

A. Granulometría (NTP 400.037)

El agregado grueso puede ser triturado o natural, siempre y cuando no supere las especificaciones establecidas en la norma ASTM C33. La distribución granulométrica del árido grueso influye en la compactación y la cohesión de la mezcla, lo que a su vez afecta a la resistencia y la trabajabilidad del concreto.

Tabla 3

Requisitos granulométricos del agregado grueso

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 1/2 in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 1/2 in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: <https://www.yura.com.pe/blog/agregados>

B. Tamaño máximo nominal y criterios geométricos (NTP E.060)

En el agregado grueso (retenido en tamiz N.º 4; 4.75 mm), la selección del tamaño máximo nominal y su distribución deben cumplir límites estrictos para garantizar trabajabilidad, asentamiento y desempeño físico. Los criterios geométricos se formulan de la siguiente manera:

- La dimensión máxima del agregado debe ser menor a un quinto de la menor distancia entre encofrados.
- Debe ser inferior a un tercio del espesor de las losas.

- La distancia máxima permitida es tres cuartas partes de la distancia entre dos barras, alambres o elementos de refuerzo adyacentes, incluidos los conductos y cordones de pretensado.
- En el control por tamices, se indica que no debe retenerse más del 5% en el tamiz de $1\frac{1}{2}$ " ni sobrepasar el 6% en el que pasa por la malla de $\frac{1}{4}$ ".
- Cuando los agregados no cumplen estas condiciones, pueden utilizarse únicamente si se demuestra experimentalmente que el concreto resultante conserva la resistencia y el desempeño físico requeridos por la NTP E.060 y la NTP 400.037.

2.2.2.3. Agua para el concreto

Según (Pipa Palmeira & Reategui Malafaya, 2024)

El agua es el segundo componente esencial del concreto, ya que es necesaria para curar y mezclar el material, además de cumplir funciones adicionales según el uso previsto y otros factores.

Un factor crucial en la mezcla del hormigón es la calidad del agua, que debe estar totalmente libre de impurezas. Las directrices técnicas prohíben expresamente el uso de aguas ácidas, duras o carbonatadas, así como de agua de mar, efluentes de la industria minera, fluidos industriales que contengan minerales, aguas sulfatadas, aguas que contengan compuestos orgánicos en descomposición o sustancias húmicas, o aguas residuales domésticas o industriales.

Para determinar la calidad del agua se requieren análisis de laboratorio exhaustivos y debidamente validados, así como un seguimiento minucioso. Por lo tanto, el agua debe cumplir con estas especificaciones:

- pH superior a 7.
- Contenido de sólidos suspendidos: hasta 1500 ppm como máximo.
- Materia orgánica: máximo 10 ppm.
- Cloruros: máximo 300 ppm.
- Sulfatos: máximo 300 ppm.
- Sales de magnesio: máximo 150 ppm.
- Total de sales solubles: máximo 1500 ppm.

Figura 4

Agua parea el concreto



Nota: <https://www.construyendseguro.com/la-importanci-del-agua>

2.2.2.3.1 Agua para mezcla

En las obras, el agua que se utiliza tanto para el amasado como para el curado del hormigón procede a veces de la misma fuente, pero la calidad del

agua de curado debe ser idéntica a la del agua de amasado. Esto es imprescindible para evitar problemas relacionados con la hidratación del cemento, retrasos en el fraguado y el endurecimiento, una disminución de la resistencia y problemas de durabilidad.

El agua que no produce espumas ni gases cuando se mezcla y que es incolora, insípida e inodora generalmente, es adecuada para el concreto. Por el contrario, el agua que contiene dióxido de carbono, azúcares, materiales orgánicos, aceites, sulfatos, sales alcalinas y productos derivados de residuos industriales no debe utilizarse, ya que puede afectar negativamente las propiedades del concreto. (Pipa Palmeira & Reategui Malafaya, 2024).

2.2.2.4. Los aditivos

En las siguientes normas, cualquier material que se incorpore a la mezcla de hormigón o mortero se denomina «aditivo»: *Terminología estándar para el hormigón y los áridos para hormigón* (ASTM C125) y el Comité de Terminología sobre Cemento y Hormigón de la ACI 116R. En este recipiente no encontrarás agua, áridos, cemento hidráulico ni fibra de refuerzo. Para garantizar la viabilidad constructiva de un proyecto, los aditivos pueden ser la única opción viable en algunas circunstancias. En lo que respecta al uso de aditivos químicos en el concreto, solo cuatro países del mundo los utilizan: Francia, Japón, Canadá y Estados Unidos. Existe una oportunidad considerable para mejorar la utilización de aditivos en el concreto peruano con el fin de modificar su rendimiento, facilitar la construcción in situ y proporcionar otras ventajas, ya que se estima que entre el 15 % y el 17 % del concreto premezclado y entre el 10 % y el 15 % del concreto mezclado in situ lo hacen (Sotomayor, 2020, p. 210)).

Tanto si el hormigón o el mortero se encuentran en fase fresca, en fase de fraguado o ya endurecidos, sus propiedades pueden controlarse mediante la adición de aditivos químicos. Al incorporarlos, se consigue que el material cementoso funcione mejor en cualquier proyecto de construcción, cumpliendo todos los criterios técnicos y las normas aplicables a cada tipo de estructura. El uso de aditivos permite obtener mejoras en el rendimiento que no serían viables o resultarían muy costosas de lograr por otros medios. Entre estas mejoras se incluyen:

- Satisfaga las necesidades estructurales, medioambientales y funcionales específicas del proyecto mejorando las propiedades mecánicas, la durabilidad y la trabajabilidad de la mezcla de concreto.
- La integridad del material debe mantenerse a lo largo de todo el proceso de construcción, desde la dosificación y el batido hasta el transporte y el colado, y finalmente durante el curado y el desarrollo de la resistencia, incluso en condiciones ambientales extremas, como altas temperaturas, fluctuaciones de la humedad relativa y vientos fuertes.

Según Rivva (2014), p. 114, los aditivos para hormigón son sustancias que deben cumplir las especificaciones técnicas establecidas en las normas nacionales (NTP) e internacionales (ASTM), las cuales varían en función de la clasificación del aditivo y del uso previsto. La definición técnica de estos materiales es la siguiente: compuestos químicos, ya sean orgánicos o inorgánicos, añadidos a la pasta de cemento durante o después de la mezcla

con el fin de modificar las reacciones de hidratación, regular el desarrollo dependiente del tiempo del fraguado y el curado, e influir en la estructura interna de la matriz del hormigón (Pasquel, 1993, p. 113).

En la Figura 5 se esquematiza la taxonomía de los aditivos para concreto, organizada según el tipo de modificación que generan en las características del material.

Figura 5

Tipos de aditivos

Aditivos acelerantes	• Permite un desencofrado más rápido. • Reducción del tiempo de curado. • Da la posibilidad de combatir rápidamente las fugas de agua en estructuras hidráulicas.
Aditivos incorporadores de aire	• Este tipo de aditivo viene en dos tipos: líquidos (soluble en agua) y en partículas sólidas. • El aditivo líquido funciona como lubricante entre partículas de cemento, ya que interviene en la trabajabilidad, al mismo tiempo reduce resistencia ya que adiciona vacíos en la estructura. • El aditivo sólido es más estable y son inalterables al vibrado y mezclado.
Aditivos reductores de agua	• Permiten emplear menor agua de la que se usaría en condiciones normales en el concreto.
Aditivos superplastificantes	• Son reductores de agua-plastificante, incrementando el efecto aniónico. • Contribuyen en la adquisición de concreto de muy alta resistencia.
Aditivos impermeabilizantes	• Su uso se centra en obras hidráulicas en donde se necesita optimizar la estanqueidad de las estructuras.
Aditivos retardantes	• Incrementan el endurecimiento normal del concreto. • Su uso se da en vaciados complicados o voluminosos, en donde existe riesgo de aparición de juntas frías.
Aditivos naturales	• Modifican las propiedades del concreto y sugieren una investigación.

Nota: Adaptado de Tópicos del concreto, de Pasquel (1993).

2.2.3. Exposición a temperaturas de congelamiento

La edición de 2002 de la norma ACI 306R–88 detalla:

Para que el hormigón se considere de clima frío, deben cumplirse simultáneamente dos condiciones térmicas, tal y como se establece en las directrices técnicas del Comité 306 de la ACI (2016, p. 2): en primer lugar, la temperatura del aire ambiente debe ser de 4 °C (40 °F) o inferior durante al menos 72 horas seguidas, y en segundo lugar, durante más de la mitad de cualquier periodo de medición de 24 horas, la temperatura del aire debe ser inferior a 10 °C (50 °F).

Como criterio alternativo de clasificación térmica, el Reglamento Nacional de Edificación del Perú (RNE, 2019, p. 443) define un clima frío como «una situación ambiental en la que, durante el vertido y la colocación de hormigón fresco, la temperatura del aire puede alcanzar valores inferiores al límite crítico de 5 °C». Este criterio pone más énfasis en el riesgo potencial durante las operaciones de construcción que en la persistencia temporal de las condiciones térmicas.

El concreto puede sufrir daños debido a cambios bruscos de temperatura, y estos suelen ser más evidentes en los días inmediatamente posteriores al cambio. La zona de Puno presenta días abrasadores y noches frías, con temperaturas que bajan por debajo de los 0 °C. Las zonas andinas altas de nuestro país experimentan fluctuaciones continuas de temperatura, con mínimas que se prolongan durante horas y que a menudo alcanzan niveles de congelación, según Amacifuen (2002) (p. 12).

Temperaturas de congelación en el concreto

Dado que el agua aumenta de volumen durante la cristalización, el concreto sometido a temperaturas bajo cero durante su fase crítica de fraguado sufre alteraciones en su microestructura. Al impedir que los procesos de hidratación se desarrollen con normalidad, este mecanismo genera microfisuras y alteraciones en la matriz cementosa debido a las tensiones de tracción internas. Esto hace que el hormigón resulte técnicamente inadecuado para el uso estructural previsto, ya que no presenta las cualidades esperadas de resistencia, impermeabilidad o durabilidad.

Este tipo de deterioro se produce en lugares donde los inviernos son lo suficientemente fríos como para que el agua se congele en los capilares del hormigón. Por lo general, cuando esto ocurre, el hormigón sufre tensiones internas que pueden provocar grietas repetidas y, con el tiempo, su desmoronamiento (Pasquel, 1998, p.275).

El agua presente en la estructura porosa del concreto endurecido experimenta ciclos de congelamiento y descongelamiento que, según Menéndez (como se citó en Páez et al., 2009), constituyen uno de los mecanismos de degradación más severos del material. Este proceso afecta tanto la pasta de cemento como los agregados, pudiendo actuar de manera independiente sobre cada fase o comprometer simultáneamente la integridad global del sistema.

En este estudio, Páez et al. (2009) demuestran que los cambios bruscos de temperatura deterioran la calidad del hormigón, lo que provoca una disminución de la resistencia a la compresión. Los investigadores confirman que,

de acuerdo con el criterio predominante en la literatura especializada, los ciclos de congelamiento-descongelamiento representan el fenómeno de deterioro más destructivo para el concreto, superando en severidad a otros mecanismos de degradación física o química.

Figura 6

Deterioro del concreto por solicitudes de hielo-deshielo



Nota: (Pigeon-Pleauu, 1995)

a) Efecto de los ciclos de congelamiento-deshielo en el proceso de curado del concreto

En el caso de elementos de 30 cm de espesor, el hormigón debe fraguar a una temperatura mínima de 13 °C, y en el caso de espesores de alrededor de 1,80 m, debe fraguar a 5 °C, para que desarrolle la resistencia adecuada con el paso del tiempo. Por lo tanto, hasta que el hormigón alcance una resistencia de 35 kg/cm², es importante mantenerlo a la temperatura adecuada utilizando materiales aislantes para evitar la pérdida de calor, la evaporación del agua y la congelación (Pasquel, 1998, p.279).

2.2.4. Fibras de polipropileno

Según un estudio de Valero (2015, p. 56), la técnica de extrusión termomecánica se utiliza para fabricar fibras de polipropileno, que están

compuestas por cadenas de hidrocarburos. Este método consiste en calentar el polímero hasta que se funde y, a continuación, hacerlo pasar a presión a través de los orificios de una matriz de extrusión. El resultado final son fibras con características geométricas y mecánicas específicas.

Isidro (2017) afirma que, entre los termoplásticos más avanzados tecnológicamente, el polipropileno ofrece una amplia variedad de aplicaciones industriales. Su inercia química, su total reciclabilidad, su combustión respetuosa con el medio ambiente y un proceso de fabricación que no tiene impacto en el medio ambiente son algunas de sus cualidades más destacadas, lo que lo convierte en una excelente alternativa a otros materiales.

Un material que tendrá un impacto mucho mayor en la ingeniería en el futuro son las fibras de polipropileno. Entre los numerosos usos de los filamentos fibrilados en el hormigón se encuentran los siguientes: suelos industriales de alta resistencia, pavimentos, tableros de puentes, hormigón proyectado para la estabilización de túneles, componentes estructurales prefabricados, bóvedas y otros.

Figura 7

Fibras sintéticas de polipropileno



Nota: (Kosmatk et al. ,2004).

A. Concreto reforzado con fibras

Las fibras de la matriz cementosa evitan que esta se deslice bajo tensión de tracción.

Aguilar & Gonzales (2017) afirman que las fibras de polipropileno actúan como un sistema de refuerzo secundario que mejora el comportamiento mecánico de la matriz de hormigón cuando se incorporan a ella. Las fibras se distribuyen de forma tridimensional en el interior del material, interceptando y regulando la formación de microfisuras, lo que reduce así la aparición de fisuras provocadas por la contracción plástica en estado fresco y por la contracción térmica en estado endurecido.

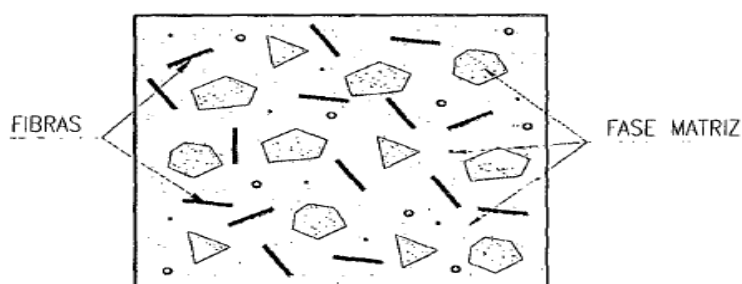
La investigación desarrollada por Rodríguez (2009) evidencia efectos positivos asociados a la incorporación de fibras de polipropileno en el concreto, documentando una disminución aproximada del 28% en la fisuración originada por retracción plástica, así como mejoras significativas en el comportamiento mecánico del material bajo esfuerzos de compresión y flexión. No obstante, resulta conveniente atender la precisión realizada por Zongjin (2011, p. 251), quien señala que el refuerzo con fibras no debe interpretarse como un sustituto del refuerzo estructural convencional mediante barras de acero, sino como un sistema complementario.

No obstante, Zongjin (2011, p. 251) subraya que el refuerzo con fibras no debe entenderse como sustituto del refuerzo estructural convencional con barras de acero, sino como un sistema complementario. Ambos tipos de refuerzo cumplen funciones distintas: las fibras controlan la fisuración temprana y

aumentan la tenacidad, mientras que las barras resisten las cargas de servicio y los momentos flectores predominantes, por lo que se utilizan de manera conjunta en diversas aplicaciones estructurales.

Figura 8

Incorporación de fibras de polipropileno en concreto

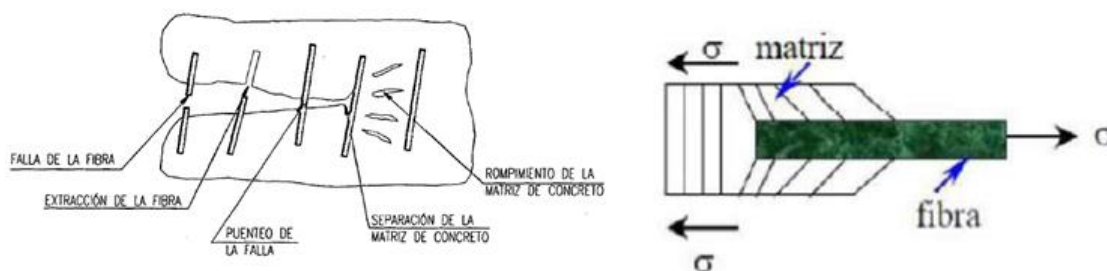


Nota: (Galarzaa ,2015).

Valero (2015), afirma que la alineación de las fibras con respecto al plano de fractura influye significativamente en su capacidad de soportar cargas. El autor señala que una fibra orientada en paralelo al plano de fractura no tiene ningún efecto, mientras que una fibra perpendicular tiene el máximo efecto (p.52), lo que ilustra la correlación directa entre el ángulo de orientación y la eficacia del refuerzo.

Figura 9

Esquema de orientación de fibras ante la rotura



Nota: (Galarza ,2015).

B. Tipos de fibras

Microfibras:

El refuerzo del hormigón con microfibras de polipropileno ayuda a evitar que se agriete mientras se encuentra aún en fase plástica, lo que ocurre durante las primeras veinticuatro horas tras el amasado (Sika, 2014). Las dosis recomendadas oscilan entre 0,3 y 1,2 kg/m³, es decir, entre el 0,03 % y el 0,15 % del volumen total del hormigón. Estos niveles son muy eficaces para evitar las fisuras por contracción plástica, aunque sean bastante reducidos. Las fibras se comercializan tanto en forma fibrilada como monofilamentaria, y sus diámetros varían entre 0,023 y 0,050 mm.

Macrofibras:

De acuerdo con (Sika, 2014), las macrofibras de polipropileno desempeñan funciones específicas en el concreto endurecido: (a) control de la fisuración, (b) limitación del ancho de fisuras cuando estas se desarrollan, y (c) mantenimiento de la integridad estructural del elemento fisurado. Las dosificaciones típicas para estas fibras se encuentran en el rango de 0.2% a 0.8% del volumen de concreto.

Figura 10

Clasificación de fibras de polipropileno: microfibras y macrofibras



Nota: (Kerhoff et al., 2004).

2.2.4.1. Características y proporciones

Las fibras ayudan a reducir la fisuración por contracción y mejoran varios aspectos de las propiedades mecánicas del hormigón. Asimismo, la magnitud de dichas mejoras depende de la cantidad de fibra incorporada en la mezcla, de modo que las propiedades mecánicas resultan altamente sensibles a su dosificación (Zongjin, 2011).

Según Zongjin (2011), la cuantificación de la fracción de refuerzo volumétrica (V_f) constituye la base para caracterizar los compuestos cementosos reforzados con fibras. Se han establecido tres categorías funcionales:

Las fibras se utilizan como agentes de control microestructural en compuestos con un bajo contenido de fibra ($V_f < 1\%$). Su función principal es limitar el desarrollo y la propagación de microfisuras causadas por la contracción plástica, autógena y por secado en las primeras fases del curado del concreto.

Cuando la fracción de volumen se sitúa entre el uno y el dos por ciento, el material compuesto cambia su comportamiento mecánico, pasando de ser frágil a dúctil. El módulo de rotura (MOR) aumenta gracias al refuerzo efectivo a la flexión, la tenacidad a la fractura aumenta gracias a la absorción de energía de las fibras mediante mecanismos de puenteo de grietas, y la resistencia al impacto mejora gracias a la disipación de energía del sistema en condiciones de carga dinámica; todas estas mejoras son resultados cuantificables de la transición.

Tabla 4

Especificaciones técnicas del producto Sikafiber

Propiedad	Descripción
Material	Polipropileno
Absorción de agua	Ninguna
Color	Natural
Densidad real Aprox.	0,91 kg/L.
Módulo de Elasticidad	15,000 kg/cm ²
Resistencia a la Tracción	300 - 350 kg/cm ²
Elongación a la Ruptura	20-30%
Temperatura de fusión	160-170 °C
Resistencia Química y Alcalina	Excelente
Durabilidad	Indefinida
Longitud	19 mm
Norma	Cumplimiento de la normatividad ASTM C 1116
Precauciones	No reemplaza a las armaduras No impide las fisuras procedentes de un mal dimensionamiento No impide las fisuras producto de un incorrecto curado

Nota: Sikafiber® PE 2014.

2.2.5. Incorporador de aire

Durante la fabricación del hormigón, se forman inadvertidamente pequeñas burbujas de aire; sin embargo, debido a su diminuto tamaño, no son capaces de resistir condiciones meteorológicas como la congelación y el deshielo.



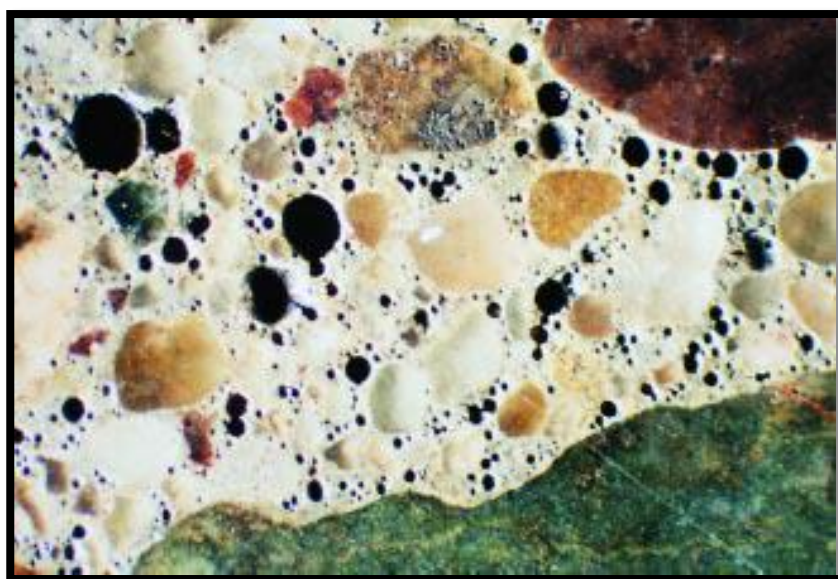
Un avance fundamental en la tecnología del hormigón fue la invención de los aditivos incorporadores de aire, que generan una estructura porosa en el interior de la matriz cementosa. Al analizar los mecanismos que subyacen a la degradación del hormigón provocada por la congelación, resulta evidente que, en todos los casos, se produce un cambio de fase del agua de estado líquido a sólido, lo que da lugar a una expansión volumétrica estimada del 9 %. La expansión dentro de un espacio limitado genera presiones internas que provocan tensiones de tracción y deformaciones en el material. Los aditivos incorporadores de aire actúan creando una red de microburbujas que actúan como cámaras de expansión, lo que facilita la acomodación del aumento volumétrico del agua durante la congelación y, por lo tanto, alivia las tensiones internas (Pasquel, 1998).

Si vives en una zona climática donde la temperatura del aire desciende por debajo del punto de congelación, debes utilizar aditivos incorporadores de aire (Rivva, 2020). El cambio de fase del agua intersticial genera presiones hidráulicas en los poros capilares, lo que hace que el hormigón sea propenso a agrietarse cuando se expone a temperaturas inferiores a 4 °C. Existen tres estrategias principales que se emplean para garantizar que el hormigón permanezca intacto cuando se somete a ciclos de congelación-descongelación: (a) añadir aire de forma intencionada para crear una red de huecos protectores; (b) crear mezclas de alta calidad con relaciones agua-cemento controladas; y (c) elegir áridos con suficiente durabilidad frente a los ciclos térmicos.

El hormigón de composición normal y ligera sometido a ciclos de congelación-descongelación o a agentes de deshielo debe ser aerado (RNE E. 060, 2019, p.437).

Figura 11

Imagen microscópica del contenido de aire



Nota: (Kosmatk et al., 2004)

La identificación de los efectos beneficiosos de la incorporación de aire en la matriz es fruto de un estudio exhaustivo. En 1941, Swayze observó que la incorporación de sustancias naturales como aceites minerales, materiales grasos o resinas al cemento mejora la resistencia y la trabajabilidad del hormigón; sin embargo, no mencionó la adición de aire, posiblemente debido a que, bajo tensión compresiva, se produce una reducción del 5 % en la resistencia por cada 1 % de contenido de aire, a pesar del aumento de la resistencia a los ciclos de congelación-descongelación. Investigaciones posteriores verificaron que el aire incorporado al hormigón lo protege contra los ciclos de congelación-descongelación, pero puede disminuir su calidad general (Rivva, 2020).

2.2.5.1. Determinación del contenido de aire incorporado

La norma RNE E.060 (2019) establece una tolerancia de $\pm 1.5\%$ para el contenido de aire incorporado. Para concretos con $f'c > 35$ MPa, se permite reducir en 1% el valor especificado en la Tabla 5 (p. 437).

Tabla 5

Porcentaje de aire requerido en ambientes de congelamiento

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO* (MM)	CONTENIDO DE AIRE (EN PORCENTAJE)	
	EXPOSICIÓN SEVERA	EXPOSICIÓN MODERADA
9,5	7,5	6
12,5	7	5
19,0	6	5
25,0	6	4,5
37,5	5,5	4,5
50**	5	4
75**	4,5	3,5

Nota: Concreto E-0.60 (RNE)

Según Fernández, recogido por Cruzado y Rivera (2019), el contenido total de aire en el hormigón oscila entre el 3 % y el 10 % del volumen de la mezcla. En general, se considera que los mejores resultados se obtienen con niveles comprendidos entre el 4 % y el 6 %, recomendando no superar este último valor. Asimismo, en la mayoría de especificaciones se establece que no deben emplearse aditivos incorporadores de aire cuando provoquen una reducción de la resistencia a la tracción axial igual o superior al 20 %.

Figura 12

Distribución típica de vacíos en muestras de concreto



Nota: (Pigeon-Pleauu, 1995)

A. Líquidos, o en polvo soluble en agua

Entre ellos se incluyen compuestos solubles, como detergentes, ácidos grasos, jabón y otros muchos. La dosis habitual de estos aditivos oscila entre el 0,02 % y el 0,10 % del peso del cemento, lo que da lugar a un contenido de aire del 3 % al 6 %, dependiendo de los materiales utilizados y de las circunstancias concretas (Pasquel, 1998).

B. En partículas sólidas

Los elementos inorgánicos sólidos utilizados en la mezcla, que presentan importantes huecos internos como ladrillos triturados, arcilla expandida o pizarra y tierra de diatomeas, se pulverizan hasta obtener partículas finas para su aplicación y suelen requerir un contenido de huecos del 30 % en volumen. En la zona de Arequipa, el material volcánico conocido como sillar presenta una porosidad de entre el 25 % y el 30 %, lo que pone de manifiesto su potencial como método económico y eficaz para la incorporación de aire (Pasquel, 1998).

2.2.6. Propiedades del concreto

2.2.6.1. Propiedades del concreto en estado fresco

A. Trabajabilidad

La trabajabilidad del concreto es el resultado de una combinación precisa de materiales y proporciones que aseguran una mezcla homogénea, fácil de manipular y con propiedades óptimas para su colocación y compactación en obra. (Ayunque Gomez, 2019)

Tabla 6

Calificación del slump

Método de Compactación	Trabajabilidad	Consistencia	Slump
Vibración normal	Poca trabajable	Estado seco	0"-2"
Vibración ligera	Trabajable	Estado plástico	3"- 4"
Chuseado	Muy trabajable	Fluida	> 5"

Nota: Chávez & Mendoza (2021).

B. Consistencia

La consistencia del concreto se refiere a la fluidez de la mezcla y a su capacidad para adaptarse a los moldes y espacios en los que se coloca.

En términos simples, cuanto más fluida sea la mezcla, más fácil será su instalación y distribución.

C. Segregación

La segregación es un fenómeno que ocurre cuando los componentes del concreto fresco se separan, afectando su homogeneidad y calidad. Se produce

debido a la diferencia de tamaños y pesos específicos entre el cemento, los agregados finos y los agregados gruesos, lo que genera fuerzas internas en la mezcla antes de su fraguado.

D. Exudación

La gravedad hace que el cemento, los áridos finos y los áridos gruesos, que tienen mayor densidad, se asienten cuando el agua de la mezcla sube hasta la superficie libre. Este proceso se denomina sangrado y se produce en el hormigón recién mezclado. El inicio del proceso de fraguado, el desarrollo de la rigidez inicial de la mezcla o una cohesión adecuada de las partículas son los tres requisitos que deben cumplirse para que este fenómeno pueda cesar (Ayunque Gómez, 2019).

2.2.6.2. Propiedades del concreto en estado endurecido

A. Resistencia a la compresión

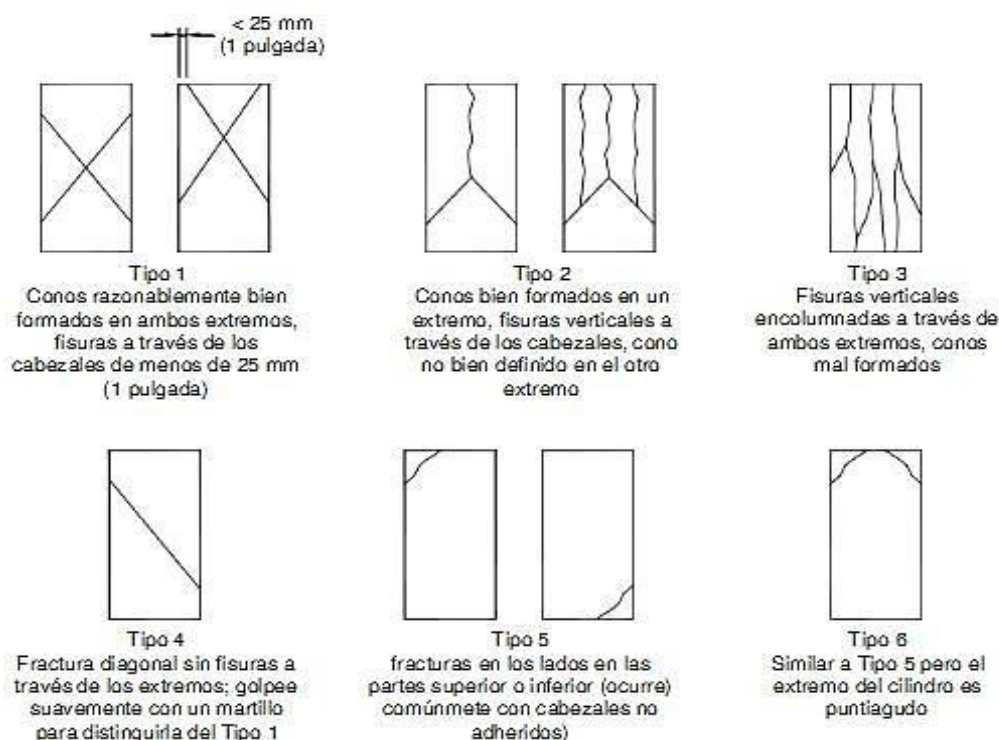
Mediante la aplicación de una fuerza axial a los ensayos cilíndricos de hormigón hasta su rotura, este estudio determina su resistencia a la compresión. Los ensayos se apoyan de manera uniforme en toda su superficie mediante almohadillas de neopreno.

La prueba de la muestra se realiza colocando las pastillas sobre ella. Asegúrese de que no presenten grietas ni desgaste significativo antes de colocarlas. Es fundamental que el soporte de la pastilla se coloque exactamente en la misma posición que en el cilindro. Compruebe que la placa, el soporte y el cabezal de carga de la máquina de ensayo estén perpendiculares al eje central

del cilindro. Siguiendo el protocolo establecido (NTP 339.034), se lleva a cabo el ensayo de compresión.

Figura 13

Tipos de rotura de los especímenes del concreto



Nota: NTP (2015)

2.3. Bases teóricas

- **Clima frío:** Se entiende por clima frío un período durante el cual, durante más de tres días consecutivos, la temperatura media del aire es inferior a 4 °C y se mantiene por debajo de los 10 °C durante más de la mitad de cualquier período de 24 horas». Del mismo modo, «se considera clima frío aquella situación en la que, en cualquier momento durante el proceso de vertido, la temperatura ambiente puede ser inferior a 5 °C» (RNE, 2009, p. 443).

- **Congelación y deshielo:** La transformación del agua en estado sólido a temperaturas inferiores a 0 °C tiene lugar durante los procesos de congelación y descongelación; por el contrario, a medida que las temperaturas aumentan, el agua sufre el proceso inverso de descongelación.
- **Contracción plástica:** El proceso de contracción plástica provoca que en las superficies horizontales se formen pequeñas fisuras que parecen líneas aleatorias o paralelas, ya que el hormigón pierde agua rápidamente antes de fraguar.
- **Agrietamiento:** El proceso de agrietamiento se produce cuando se produce un cambio en el volumen de la matriz del hormigón, ya sea por un aumento o una disminución del volumen, o como consecuencia de reacciones químicas que provocan una expansión. Esto puede dar lugar a grietas superficiales o fisuras en la masa.
- **Fisuras:** El concreto puede presentar grietas como consecuencia de la contracción térmica, la contracción plástica, el asentamiento plástico, la contracción hidráulica o la corrosión de la armadura, fenómenos que ejercen fuerzas de tracción sobre la masa de concreto.
- **Fibras:** El concreto armado no estaría completo sin las fibras, que son filamentos que aportan propiedades adicionales al material. La razón principal de su uso es que, dependiendo del material del que



estén hechas, pueden ayudar a prevenir la propagación de grietas o proporcionar una mayor resistencia.

- **Fibras sintéticas:** Los filamentos químicamente inertes derivados de una amplia gama de materiales entre los que se incluyen, entre otros, el acrílico, la aramida, el carbono, el nailon, el poliéster, el polietileno y el polipropileno se conocen como fibras sintéticas. Se dispersan fácilmente, no se disuelven ni se degradan al entrar en contacto con el hormigón y contribuyen a prevenir las fracturas.
- **Aire incorporado:** El proceso de retención de aire consiste en la formación de microesferas, que son burbujas incorporadas deliberadamente al concreto. Estas burbujas retienen el agua mientras el concreto se seca y fragua.



CAPÍTULO III

MÉTODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Enfoque de investigación

Para identificar tendencias, patrones o correlaciones entre variables, los investigadores cuantitativos recopilan y analizan datos numéricos utilizando métodos estadísticos que garantizan la imparcialidad y el rigor científico. De acuerdo con Hernández Sampieri y Mendoza Torres (2018), este enfoque se basa en la medición precisa y en la aplicación de técnicas estructuradas para analizar fenómenos observables, permitiendo evaluar hipótesis previamente formuladas.

3.2. Nivel de investigación

La investigación explicativa tiene como propósito identificar relaciones de causalidad entre variables, analizando cómo una condición o intervención influye directamente sobre un fenómeno específico. Según Hernández Sampieri y



Mendoza (2018), este nivel busca comprender el porqué y el cómo de los eventos, estableciendo vínculos que permiten explicar los cambios observados.

Esta investigación se clasifica como un estudio explicativo, ya que su objetivo fundamental consiste en analizar la relación existente entre las características mecánicas del hormigón y la dosis de fibras de polipropileno, así como del aditivo incorporador de aire.

3.3. Tipo de investigación

Este tipo de estudio se conoce como investigación aplicada, ya que su objetivo principal es mejorar el tema en cuestión proponiendo soluciones a los problemas o interviniendo en las circunstancias. El hormigón en cuestión se ha solidificado hasta alcanzar su estado final, por lo que ahora podemos examinar su comportamiento en su forma endurecida mediante ensayos de compresión; para mejorar los resultados, utilizaremos los aditivos que se han sugerido.

3.4. Diseño de investigación

En un diseño cuasi-experimental, la variable independiente se manipula deliberadamente para observar cómo afecta a las variables dependientes, pero las condiciones externas se mantienen bajo un estricto control.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

De acuerdo con Arias, Villasís y Miranda (2016), la población o universo de estudio se define como el conjunto de elementos que comparten características específicas, constituyen un grupo definido y accesible, y cumplen

con criterios de inclusión preestablecidos para la selección de la muestra. Este conjunto puede clasificarse como finito o infinito según la posibilidad de enumerar sus elementos (p. 202). Las muestras cilíndricas de hormigón a las que se han añadido determinados aditivos (agentes incorporadores de aire y/o fibras de polipropileno) constituyen la población objeto de este estudio. Se considera que la población es ilimitada, ya que el número de unidades experimentales posibles es indeterminado y estas muestras pueden fabricarse en serie en un entorno controlado.

3.5.2. Muestra

Se elaboraron especímenes cilíndricos de concreto (15 cm x 30 cm) para los ensayos de compresión indirecta. Cada grupo contó con probetas para ser ensayadas a 7, 14 y 28 días de curado, siguiendo lo establecido por la normativa NTP 339.034 y la norma internacional ASTM C39.

Tabla 7

Cantidad de especímenes por edad de ensayo para determinación de resistencia a compresión

Control de testigos de concreto				
Edad de rotura	Características			Cant. de n° de testigos
	Concreto normal	Adición de fibras de polipropileno	Aditivo incorporador de aire	
07 días	05	05	05	15
14 días	05	05	05	15
28 días	05	05	05	15
Número total de testigos a rotura				45

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas

La observación es el principal método de recopilación de datos en este estudio, ya que permite la selección, el registro y el análisis sistemáticos del comportamiento y las características físicas y mecánicas de las muestras. Esto garantiza que el proceso de recopilación de datos sea riguroso y objetivo.

3.6.2. Instrumentos

Dado que esta herramienta metodológica permitirá el registro sistemático y la descripción completa de los comportamientos mostrados por la unidad de análisis, se utilizará como herramienta de recopilación de datos junto con la guía de observación.

3.6.3. Caracterización de los componentes del concreto

A. Análisis Granulométrico del agregado fino

A continuación se describen los procesos que componen el método de ensayo, el cual se lleva a cabo de conformidad con las normas técnicas NTP 400.012 y ASTM C 33:

- Se empleará el tamiz N°4 para efectuar la separación granulométrica de los agregados, considerándose como agregado fino la fracción de material que atraviesa dicha abertura de malla.
- Los tamices a utilizar deberán encontrarse en condiciones óptimas de limpieza, exentos de cualquier partícula o residuo que pudiera haberse adherido en ensayos previos.

- Se puede obtener un peso constante secando 500 g de árido fino en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. A continuación, se retira la muestra y se deja enfriar a temperatura ambiente para su análisis.
- Para cribar el árido, se utilizará un juego de tamices normalizados. Se golpeará suavemente el material y se le aplicarán movimientos oscilantes controlados hasta que la cantidad de material retenida en cada tamiz se mantenga constante.
- Retire con cuidado el árido que haya quedado retenido en el tamiz; a continuación, mida la cantidad de árido retenido en cada tamiz, coloque el peso en un recipiente aparte y anote el peso (utilizando una balanza con una precisión de 0,1 g)

$$MF = \frac{\Sigma\% \text{ retenido acumulados en las mallas } N^{\circ} 4,8,16,30,50,100}{100}$$

Figura 14

Análisis granulométrico del agregado fino





B. Análisis Granulométrico del agregado grueso

Las normas C 33 de la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM) y la Norma Técnica Peruana N.T.P. 400.012 regulan el procedimiento para el análisis granulométrico de los áridos utilizados en la construcción, y este estudio sigue sus directrices.

- Todos los áridos deben separarse utilizando un tamiz N° 4; se considerará árido fino aquel material que se ajuste a las normas establecidas en la normativa vigente en la actualidad.
- Si quieres que los resultados de tus análisis sean precisos y fiables, asegúrate de que los tamices que utilizas estén en perfecto estado y no contengan residuos, partículas extrañas ni material adherido.
- La muestra de 4000 g de árido grueso debe secarse en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C; una vez concluido dicho proceso, la muestra deberá retirarse y dejarse enfriar hasta alcanzar una temperatura ambiente manejable antes de proceder con el ensayo.
- El tamizado del material se realizará haciendo uso del juego de tamices correspondiente, aplicando golpes suaves y controlados sobre cada malla hasta verificar que la masa retenida en cada tamiz permanezca constante, lo que indicará que el proceso de tamizado ha concluido satisfactoriamente.
- Identifique por separado cada bandeja con el material que haya quedado retenido en cada tamiz y, a continuación, registre la masa de dicho material utilizando una balanza de precisión con una

resolución de 0,1 g. Además, para mantener la integridad del tamiz y la precisión de las lecturas, es necesario eliminar meticulosamente cualquier partícula de árido que haya quedado atascada en las mallas.

Figura 15

Zarandeo del agregado grueso



C. Peso específico y capacidad de Absorción del agregado fino

Los procedimientos para calcular la gravedad específica, la densidad, la densidad relativa y la absorción del árido fino se definen en la norma estadounidense ASTM C-128 y en la Norma Técnica Peruana N.T.P. 400.022, respectivamente. El ensayo se lleva a cabo siguiendo estrictamente estas normas:

- El agregado fino se somete a un proceso de secado en horno a una temperatura constante de 110 °C, debiendo estar libre de impurezas que pudieran interferir en el ensayo. Sumergir la

muestra en agua durante 24 horas garantiza que la sustancia permanezca completamente sumergida en el líquido durante ese tiempo.

- Transcurrido el período de inmersión, se elimina el agua excedente y la muestra se seca de manera uniforme mediante una corriente de aire tibio, hasta que las partículas de agregado dejen de cohesionarse entre sí, alcanzando así la condición de Saturado Superficialmente Seco (S.S.S.).
- Utilizando un molde cónico y una varilla de apisonado, se golpea suavemente la muestra 25 veces desde una altura de 1 cm para garantizar que se cumpla la condición S.S.S. Si el árido mantiene su forma cónica al levantar el molde verticalmente, significa que hay humedad libre; si se hunde aproximadamente un tercio de su altura, significa que la muestra está S.S.S. (superficialmente saturada y seca).
- Se introducen 500 g de agregado fino en condición S.S.S. en el picnómetro, registrando su masa en una balanza de precisión de 0,1 g. A continuación, se llena el recipiente con agua hasta el nivel indicado, aplicando ligeras rotaciones para eliminar el aire atrapado en su interior.
- Confirmada la ausencia de burbujas, se registra la masa del conjunto. El agregado fino es extraído del picnómetro e introducido en el horno a 110 °C durante 24 horas. Una vez finalizado el

secado, se deja que la muestra se enfríe hasta alcanzar la temperatura ambiente para poder registrar su peso seco final.

Figura 16

Ensayo de peso específico del agregado fino



D. Peso específico y capacidad de Absorción del agregado grueso

El árido grueso se somete a ensayos de densidad, gravedad específica y densidad relativa (ASTM C-127) de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma estadounidense y en la norma técnica peruana, respectivamente:

- La muestra se prepara con una masa de 3 kg, conforme a la caracterización de un Tamaño Máximo Nominal (T.M.N.) de $\frac{3}{4}$ ", valor obtenido a partir de la Tabla N°7 de la normativa correspondiente. Una vez obtenida la cantidad requerida de agregado, este deberá sumergirse completamente en agua durante un período de 24 horas, garantizando que la muestra alcance un estado de saturación total a lo largo de dicho intervalo.



- Transcurrido el período de saturación, se procederá a eliminar el agua superficial excedente y a trasladar la muestra hacia una bandeja. Seguidamente, el agregado será rodado sobre una franela o paño absorbente con el propósito de remover toda película de agua superficial, hasta obtener la condición de Saturado Superficialmente Seco (S.S.S.), en la cual el material conserva humedad interna pero presenta una superficie exterior seca al tacto.
- Se separa una porción representativa de la muestra en condición Saturada Superficialmente Seca (S.S.S.) con una masa aproximada de 700 g, la cual se introduce en el interior del picnómetro. A continuación, se registra la masa del conjunto mediante una balanza de precisión con resolución de 0,1 g. Posteriormente, se procede a llenar el picnómetro con agua hasta el nivel indicado, aplicando ligeras rotaciones al recipiente con la finalidad de expulsar el aire atrapado en el interior de la muestra.
- La masa del conjunto se registra una vez que se ha comprobado que no hay burbujas de aire en el picnómetro. Seguidamente, el agregado grueso es extraído del picnómetro y colocado en el horno a una temperatura constante de 110 °C durante un período de 24 horas. Concluido el proceso de secado, la muestra deberá retirarse del horno, dejarse enfriar hasta temperatura ambiente y proceder al registro de su masa seca final.

Figura 17

Secado del agregado superficialmente



E. Peso unitario suelto y compacto del agregado fino

Peso unitario suelto

- Una vez separada la muestra, se seca en un horno a una temperatura de 110 ± 5 °C hasta que alcanza un estado de masa constante y totalmente seca.
- Determinamos el tamaño y el peso que debe tener el recipiente para el ensayo. Por lo general, la muestra tarda entre una y tres horas en enfriarse hasta alcanzar la temperatura ambiente tras sacarla del horno.
- Con ayuda de un cucharón metálico, se deposita el material seleccionado en el molde desde una altura no superior a dos pulgadas (5 cm), provocando un ligero desbordamiento del agregado. El material excedente se elimina con una regla metálica, enrasando la superficie de manera uniforme. Finalmente, se

procede a registrar la masa conjunta del agregado más el recipiente en la balanza de precisión correspondiente.

Figura 18

Prueba de peso suelto en agregado fino



Peso unitario compactado

- Lo primero es lo primero: calcula cuál será la masa y el volumen del recipiente de prueba. Sácalo del horno y déjalo enfriar a temperatura ambiente durante al menos una hora, preferiblemente tres.
- Divide el agregado en tres capas de aproximadamente el mismo volumen y utiliza una cuchara de metal para rellenar el molde. Para compactar las capas, golpéalas 25 veces con el pisón, procurando no tocar el fondo del recipiente ni alterar las capas inferiores que ya se han compactado. En la última capa se permite un ligero desbordamiento del material, cuyo excedente se elimina con una regla metálica hasta obtener una superficie enrasada. Finalmente,

se registra la masa conjunta del agregado más el recipiente en la balanza de precisión correspondiente.

Figura 19

Prueba de peso compactado en agregado fino



F. Contenido de humedad del agregado fino y grueso

El ensayo se lleva a cabo en plena conformidad con las normas y reglamentos establecidos por la norma estadounidense ASTM C-566 y la Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.185, que definen y regulan el proceso de cálculo del contenido total de humedad evaporable en los áridos mediante su secado:

- La muestra se obtiene mediante el proceso de cuarteo de forma aleatoria y se deposita en una tara, tomando las precauciones necesarias para evitar cualquier pérdida de humedad o secado prematuro que pueda comprometer la precisión de los resultados. Seguidamente, se registra la masa inicial de la muestra empleando una balanza de precisión con resolución de 0,1 g.

procedimientos necesarios para determinar las proporciones óptimas de los materiales constituyentes del concreto.

Para la correcta determinación de dichas proporciones, resulta indispensable conocer previamente las propiedades y características físicas de cada uno de los materiales que intervienen en la elaboración del concreto, cuyos valores servirán como parámetros de entrada en el proceso de diseño de mezcla.

Paso 1: Selección de Parámetros de Diseño

- Resistencia requerida: Definir la resistencia a la compresión que se desea obtener en el hormigón a los 28 días.
- Asentamiento (Slump): Seleccionar el valor de asentamiento apropiado según el tipo de elemento estructural a construir (por ejemplo, vigas, zapatas o losas).
- Tamaño nominal máximo del árido: Determinar el tamaño nominal máximo de la grava que se utilizará en la mezcla.
- Contenido de aire: Estimar la cantidad de aire atrapado o incorporado en el hormigón, considerando la eventual necesidad de utilizar aditivos inclusores de aire..

Paso 2: Estimación del Contenido de Agua y Relación Agua/Cemento (a/c)

- Contenido de Agua: Usar tablas ACI basadas en el asentamiento y el TMN del agregado para estimar la cantidad de agua necesaria por m³ de concreto.

- Relación a/c: Determinar la relación agua/material cementante a partir de la resistencia requerida, utilizando tablas o datos de laboratorio.

Paso 3: Cálculo del Contenido de Cemento

- Calcular el peso del cemento necesario dividiendo el contenido de agua estimado (Paso 2) por la relación a/c (Paso 2).

Paso 4: Estimación del Contenido de Agregado Grueso

- Consultando las tablas de la ACI, que establecen la relación entre el tamaño máximo nominal del árido grueso y el módulo de finura del árido fino, se puede determinar la cantidad de árido grueso que se debe utilizar en relación con el volumen del hormigón.
- El peso del árido grueso en la mezcla se puede calcular multiplicando su volumen por su peso unitario en seco y compactado.

Paso 5: Estimación del Contenido de Agregado Fino

- Calcular los volúmenes absolutos de todos los demás componentes: cemento, agua, agregado grueso y aire. Esto se hace dividiendo sus pesos entre sus respectivos pesos específicos.
- Para obtener el volumen exacto del árido fino, suma todos estos valores y resta 1 m³.
- Para calcular el peso del árido fino, multiplica su densidad por su volumen absoluto.

Paso 6: Correcciones por Humedad y Absorción

- A partir de los porcentajes reales de humedad y absorción de los áridos en sitio, efectúe las correcciones finales necesarias en la cantidad de agua y en los pesos de los áridos. Al restar del contenido de agua inicial el agua libre presente en los áridos, se determina el contenido de agua efectivo de la mezcla.

Paso 7: Proporcionamiento y Pruebas de Campo

- Presentar las proporciones finales de los materiales (por peso y a menudo por bolsa de cemento).
- Realizar mezclas de prueba en laboratorio o campo y fabricar probetas para verificar que se cumplen las propiedades deseadas (asentamiento, resistencia, etc.). Ajustar la mezcla si es necesario.

3.6.5. Asentamiento del concreto

Normas como la ASTM C143 o la NTP 339.035 (Norma Técnica Peruana) regulan la técnica para determinar la fluidez del hormigón, lo que también se conoce como ensayo de fluidez. Queremos comprobar cómo se comporta el hormigón fresco en cuanto a consistencia y trabajabilidad.

1. Preparación de la Superficie y Equipos:

- Humedecer el interior del molde cónico y la placa base para evitar la adherencia del concreto.
- Colocar el molde sobre la placa base horizontal.



- Pararse sobre las aletas (orejas) del cono para sujetarlo firmemente contra la base durante el llenado.
2. Llenado del Molde (en 3 capas):
- Llenar el molde hasta aproximadamente un tercio de su altura con el concreto fresco.
3. Compactación de la Primera Capa:
- Compactar esta capa con 25 inserciones uniformemente distribuidas usando la varilla compactadora. Asegurarse de que la varilla penetre toda la capa.
4. Llenado y Compactación de la Segunda Capa:
- Vierte concreto en el molde hasta llenarlo aproximadamente dos tercios de su altura.
 - Utiliza 25 pinchazos para compactar esta segunda capa, asegurándote de que el rodillo penetre ligeramente en la primera capa al hacerlo.
5. Llenado y Compactación de la Tercera Capa:
- Llenar el molde completamente, dejando un pequeño exceso en la parte superior.
 - Compactar esta tercera capa con 25 inserciones, penetrando ligeramente en la segunda capa.
6. Enrasado:

- Retirar el exceso de concreto de la parte superior del cono utilizando la varilla compactadora con un movimiento de rodadura y raspado, asegurando una superficie lisa y nivelada con el borde del cono.

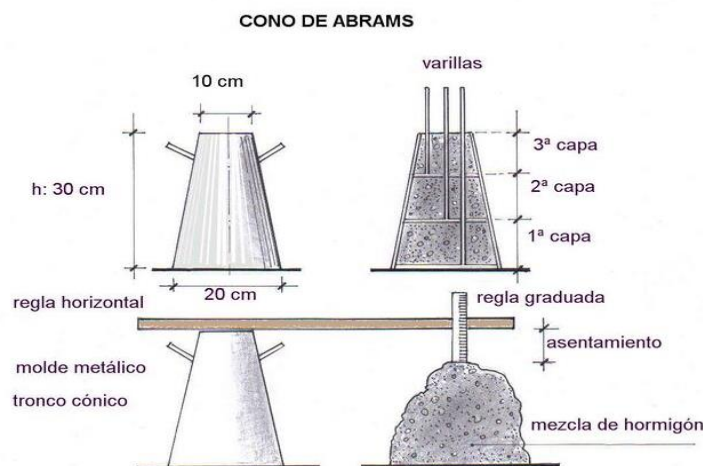
7. Retirada del Molde:

- Limpiar inmediatamente cualquier derrame de concreto alrededor de la base del molde.
- Quitar los pies de las aletas y levantar el molde cónico verticalmente con un movimiento suave y constante, en un tiempo de 3 a 7 segundos. Es crucial no inclinar ni torcer el cono.

8. Medición del Asentamiento:

- Colocar el cono invertido al lado de la muestra de concreta asentada.
- Con el cono invertido en la parte superior (la base original), coloca la varilla de compactación en posición horizontal.
- Toma una medida vertical que comience en la base de la varilla horizontal y termine en el centro desplazado de la superficie superior de la probeta de hormigón.
- La medición se registra en milímetros o pulgadas, con una precisión de 5 mm.

Figura 21

Cono de abrams

Nota. Construmatica.com (2022).

Si el concreto se desmorona lateralmente (asentamiento por corte o colapso), se debe repetir la prueba con una nueva porción de muestra.

3.6.6. Elaboración de probetas (NTP 339.034)

Cemento: Para la fabricación del concreto se utilizará cemento Rumi de tipo IP, con una densidad de $2,85 \text{ g/cm}^3$. Este tipo de cemento cumple con las normas establecidas por la Norma Técnica Peruana N.T.P. 334.090 y la norma estadounidense ASTM C-595, lo que lo hace adecuado para su uso en cualquier tipo de edificio o obra de construcción en general.

Agregados fino y grueso: La selección del lugar de extracción de los agregados se determinó bajo las recomendaciones de investigaciones previas, las cuales han comprobado su eficacia en términos de durabilidad en el concreto. Se realizaron los estudios correspondientes a las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, verificando las características que los hacen aptos

para su uso. A solo diez kilómetros de la zona de Juliaca se encuentra la aldea de Isla, donde se encuentra La Cantera Isla.

Agua de mezcla: Los procedimientos de curado, hidratación y fabricación del hormigón deben cumplir los requisitos de la Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.088, que establece que debe utilizarse agua potable apta para el consumo humano.

Preparación en carretilla: Para obtener una mezcla homogénea, utilice una carretilla para mezclar el árido grueso, el agua según las especificaciones del proyecto, el árido fino y el cemento sobrante. Remueva los ingredientes durante el tiempo necesario para conseguir una consistencia homogénea.

Figura 22

Preparación de los materiales



Aditivo incorporador de aire: Será aplicada en el transcurso de mezcla de los materiales como fase final la duración de mezcla será de 3 a 7min o según la tanda producida, dándole tiempo necesario para el proceso de formación de las micro esferas y una adecuada distribución en la masa.

Figura 23

Uso del aditivo Incorporador de Aire



Fibras de polipropileno: Las fibras de polipropileno serán incorporadas una vez que todos los materiales hayan sido introducidos en la mezcladora. Durante el proceso de mezclado rotatorio, el tiempo de mezcla se extenderá más allá del tiempo convencional establecido, hasta verificar visualmente una distribución uniforme y homogénea de las fibras en la mezcla, conforme a las especificaciones indicadas en la hoja técnica del fabricante.

Figura 24

incorporación de fibras de polipropileno



Control de calidad en estado fresco

- Una vez concluido el tiempo de amasado, se realiza una prueba de asentamiento del hormigón fresco utilizando un cono de Abrams, a fin de verificar su trabajabilidad. El cono tiene una altura de 30 cm, 20 cm de diámetro en la base y 10 cm en la parte superior, y se apoya sobre una placa de acero galvanizado de 1,5 mm de espesor. El equipo incluye una varilla de compactación de 60 cm de longitud y 5/8 de pulgada de diámetro.
- Con una cuchara metálica, se llena el cono en tres capas de volumen aproximadamente igual. Para compactar cada capa, se realiza un total de 25 golpes con la varilla de 1,6 cm de diámetro, asegurando que cada impacto atravesase completamente la sección transversal de la capa depositada.
- En la tercera y última capa, el llenado deberá presentar un ligero desbordamiento del material, el cual será posteriormente enrasado con la varilla compactadora hasta obtener una superficie uniforme. Concluido el enrase, se procede a retirar el Cono de Abrams de manera cuidadosa y en sentido estrictamente vertical, a fin de no perturbar el concreto y obtener una medición representativa del asentamiento.

Figura 25*Asentamiento del concreto***Elaboración de testigos de concreto**

- Las probetas cilíndricas se moldean a partir de los moldes preparados previamente, una vez que el hormigón se ha enfriado. Se utiliza una pala metálica para verter el hormigón en los encofrados en tres capas aproximadamente iguales, de modo que cada una de ellas ocupe un tercio de la altura total del encofrado.
- Cada capa se compacta mediante 25 golpes uniformemente distribuidos con la varilla de acero de 5/8" de diámetro. En la tercera y última capa, el llenado deberá presentar un ligero desbordamiento del material, el cual será enrasado una vez concluida la compactación, sin incorporar material adicional.
- Finalizada la consolidación de las capas, se aplican golpes suaves alrededor del perímetro exterior del molde con un martillo de goma, con la finalidad de eliminar los posibles vacíos o cangrejas que pudieran haberse formado durante el proceso de compactación.

- A continuación, se pule la superficie superior de la muestra hasta obtener una textura homogénea, nivelándola y eliminando el material sobrante con una regla metálica o una paleta hasta que quede lisa, fina y uniforme.

Figura 26*Elaboración de probetas*

3.6.7. Proceso de congelamiento y deshielo

Con la finalidad de someter los especímenes de ensayo a condiciones de congelamiento, se establece un sistema de climatización artificial mediante el uso de una congeladora, la cual simula temperaturas bajas de manera controlada. Para los ciclos de deshielo, los especímenes serán expuestos a temperatura ambiente normal.

Las muestras se congelarán a temperaturas comprendidas entre -5°C y -10°C durante 12 horas y 30 minutos, desde las 19:00 hasta las 7:30.

Es fundamental calcular con precisión el momento de la congelación de la mezcla de concreto para que fragüe a la temperatura adecuada; de lo

contrario, la resistencia final del hormigón podría verse gravemente reducida, ya que el agua utilizada para mezclarlo se congelaría antes de que fraguara.

Por tal motivo, los especímenes serán introducidos a la congeladora una vez transcurridas 8 horas desde el momento de su producción, manteniéndose dentro de sus moldes metálicos durante dicho período. Los moldes serán retirados una vez cumplidas las 24 horas posteriores a la elaboración de los especímenes.

Figura 27

Procedimiento para simular puntos de congelación



Durante el período diurno, los especímenes serán expuestos a temperatura ambiente natural, permitiendo que se lleve a cabo el proceso de descongelamiento de manera gradual y espontánea. Concluido dicho proceso, se procederá al desencofrado de los especímenes para posteriormente incorporarlos a la etapa de curado correspondiente.

3.6.8. Ensayo a la resistencia a la compresión (NTP 339.034)

Se seguirá el siguiente procedimiento:

- Previo al ensayo, los especímenes se retiran de la poza de curado conforme al período de ensayo establecido, dejándolos reposar el tiempo necesario para eliminar el agua superficial de su estructura.
- Se registran las dimensiones de cada espécimen, midiendo el diámetro y la altura mediante el uso de un vernier.
- Cuando hayas terminado de limpiar los bloques de apoyo superior e inferior de la prensa, coloca la pieza de prueba sobre el bloque inferior de manera que su eje coincida con el centro del bloque de empuje del cabezal móvil superior.
- Se verifica que el indicador de carga se encuentre en cero y se desplaza lentamente el bloque inferior hasta lograr el contacto entre el espécimen y los platos de compresión de la prensa.
- La rotura por compresión se produce cuando la probeta se somete a una carga creciente que se aplica de forma continua y sin interrupciones, a una velocidad regulada de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s (equivalente a $2,5 \pm 0,5$ kg/cm²/s).
- Para futuras consultas, registramos la capacidad máxima de resistencia a la carga de la probeta y calculamos su tensión de compresión redondeándola al 0,1 MPa más cercano.

Figura 28*Ensayo de resistencia a compresión*

3.7. Aspectos éticos

La confiabilidad de los resultados obtenidos en la presente investigación se garantiza mediante el empleo de fuentes bibliográficas reconocidas y verificadas, tales como libros especializados, tesis de investigación y artículos científicos vinculados a la temática desarrollada. Asimismo, el proceso de elaboración de los especímenes destinados a los ensayos de resistencia a la compresión y tracción se rige bajo los lineamientos establecidos en la Norma Técnica Peruana N.T.P. 339.034-2008 y la norma americana ASTM C-496-96. Los resultados obtenidos en laboratorio serán presentados de manera clara, ordenada y comprensible, asegurando su correcta interpretación y análisis.



CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de la información

La cantera de Isla, ubicada en la provincia de San Román, región de Puno, constituye la fuente de los áridos empleados en la presente investigación. De esta cantera se obtienen los componentes principales del concreto, arena gruesa y árido grueso cuyas granulometrías nominales resultaron adecuadas para la mezcla. Ambos áridos fueron sometidos a ensayos de control de calidad con el fin de evaluar su idoneidad para el diseño de la mezcla estructural analizada en esta investigación y su conformidad con las Normas Técnicas Peruanas vigentes.

Las evaluaciones de caracterización (granulometría, humedad, absorción, peso específico, peso unitario suelto/compactado, porcentaje de finos y verificación del tamaño nominal) se realizaron en laboratorios acreditados, siguiendo los procedimientos y criterios de la NTP 400.011 (agregados), NTP

400.037 (requisitos granulométricos) y NTP E.060 (criterios geométricos para tamaño máximo nominal), complementadas con lineamientos del MTC y normas ASTM aplicables.

4.2. Resultados de los ensayos

a) Peso específico y absorción de los agregados

Peso Específico del agregado fino

$$\gamma_{arena} = \frac{W_{SSS}}{W_C + W_{SSS} - W}$$

Donde:

W_{SSS} = *Peso de muestra saturada seca (SSS)*

W_C = *Peso del picnómetro con agua*

W = *Peso del Pic. + muestra + agua*

$$\gamma_{arena} = \frac{500}{1318.51 + 500 - 1621.23}$$

$$\gamma_{arena} = 2.53 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción del agregado fino

$$Abs = \frac{W_{SSS} - W_S}{W_S} * 100$$

S

Donde:

W_{SSS} = *Peso de muestra saturada seca (SSS)*

W_S = *Peso de muestra secada al horno*

$$Abs = \frac{500 - 485.98}{485.98} * 100$$

$$Abs = 2.88 \%$$

Peso Específico del agregado grueso

$$\gamma_{\text{piedra}} = \frac{W_{SSS}}{W_C + W_{SSS} - W}$$

Donde:

W_{SSS} = *Peso de muestra saturada seca (SSS)*

W_C = *Peso del picnómetro con agua*

W = *Peso del Pic. + muestra + agua*

$$\gamma_{\text{piedra}} = \frac{700}{1318.51 + 700 - 1726.25}$$

$$\gamma_{\text{piedra}} = 2.40 \text{ gr/cm}^3$$

Absorción del S grueso

$$Abs = \frac{W_{SSS} - W_S}{W_S} * 100$$

Donde:

W_{SSS} = *Peso de muestra saturada seca (SSS)*

W_S = *Peso de muestra secada al horno*

$$Abs = \frac{700 - 680.59}{680.59} * 100$$

$$Abs = 2.85 \%$$



b) Contenido de humedad

Determinación del contenido de humedad en el agregado fino

Tabla 8

Estado de humedad del agregado fino

A. fino	
Pes. tara, M. humedad	250.56
Pes. tara, M. seca	243.75
Pes. de Tara	21.56
Pes. de Agua	6.81
Pes. S. Seco	222.19
% Humedad	3.06

Determinación del contenido de humedad en el agregado grueso

Tabla 9

Estado de humedad del agregado grueso

A. grueso	
Pes. tara, M. humedad	201.45
Pes. tara, M. seca	199.27
Pes. de Tara	29.34
Pes. de Agua	2.18
Pes. S. Seco	169.93
% Humedad	1.28

b) Peso unitario suelto y varillado del agregado fino

Peso unitario suelto del agregado fino

$$P.U.S. = \frac{W(\text{molde} + \text{muestra}) - W_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}}$$

Donde:

$W(\text{molde} + \text{muestra})$ = Peso del molde más la muestra

W_{molde} = Peso unitario suelto

V_{molde} = Volumen Del molde

Tabla 10

Ensayo de peso unitario en estado suelto

Peso unitario suelto del agregado fino		
Descripción	Peso	Und
Vol. Del molde	2161	m3
P. del molde	6348	kg
Peso del molde con la muestra		
P - 01	9975	kg
P - 02	9896	kg
P - 03	9956	kg
Peso unitario suelto		
P - 01	1678	kg/m3
P - 02	1641	kg/m3
P - 03	1669	kg/m3
Promedio		
P.P.U.S	1663	kg/m3

Peso unitario compactado del agregado fino

$$P.U.C. = \frac{W(\text{molde} + \text{muestra}) - W_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}}$$

Donde:

$W(\text{molde} + \text{muestra})$ = Peso del molde más la muestra

W_{molde} = Peso unitario suelto

V_{molde} = Volumen Del molde

Tabla 11

Ensayo de peso unitario en estado compactado

Peso unitario compactado del agregado fino		
Descripción	Peso	Und
Vol. Del molde	2161	m3
P. del molde	6348	kg
Peso del molde con la muestra		
P - 01	10220	kg
P - 02	10225	kg
P - 03	10230	kg
Peso unitario suelto		
P - 01	1791	kg/m3
P - 02	1794	kg/m3
P - 03	1796	kg/m3
Promedio		
P.P.U.S	1793	kg/m3

c) **Peso unitario del agregado grueso en condición suelta y varillada**

Peso unitario suelto del agregado grueso

$$P.U.S. = \frac{W(\text{molde} + \text{muestra}) - W_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}}$$

Donde:

$W(\text{molde} + \text{muestra})$ = Peso del molde más la muestra

W_{molde} = Peso unitario suelto

V_{molde} = Volumen Del molde

Tabla 12

Ensayo de peso unitario en estado suelto

Peso unitario suelto del agregado grueso		
Descripción	Peso	Und
Vol. Del molde	2161	m3
P. del molde	6007	kg
Peso del molde con la muestra		
P - 01	8975	kg
P - 02	8965	kg
P - 03	8985	kg
Peso unitario suelto		
P - 01	1373	kg/m3
P - 02	1368	kg/m3
P - 03	1378	kg/m3
Promedio		
P.P.U.S	1373	Kg/m3

Peso unitario compactado del agregado grueso

$$P.U.C. = \frac{W(\text{molde} + \text{muestra}) - W_{\text{molde}}}{V_{\text{molde}}}$$

Donde:

$W(\text{molde} + \text{muestra})$ = Peso del molde más la muestra

W_{molde} = Peso unitario suelto

V_{molde} = Volumen Del molde

Tabla 13

Ensayo de peso unitario en estado compactado

Peso unitario compactado del agregado gueso		
Descripción	Peso	Und
Vol. Del molde	2161	m3
P. del molde	6007	kg
Peso del molde con la muestra		
P - 01	9185	kg
P - 02	9170	kg
P - 03	9195	kg
Peso unitario suelto		
P - 01	1470	kg/m3
P - 02	1463	kg/m3
P - 03	1475	kg/m3
Promedio		
P.P.U.S	1469	kg/m3

d) Análisis granulométrico de los agregados

Granulometría del agregado fino

Tabla 14

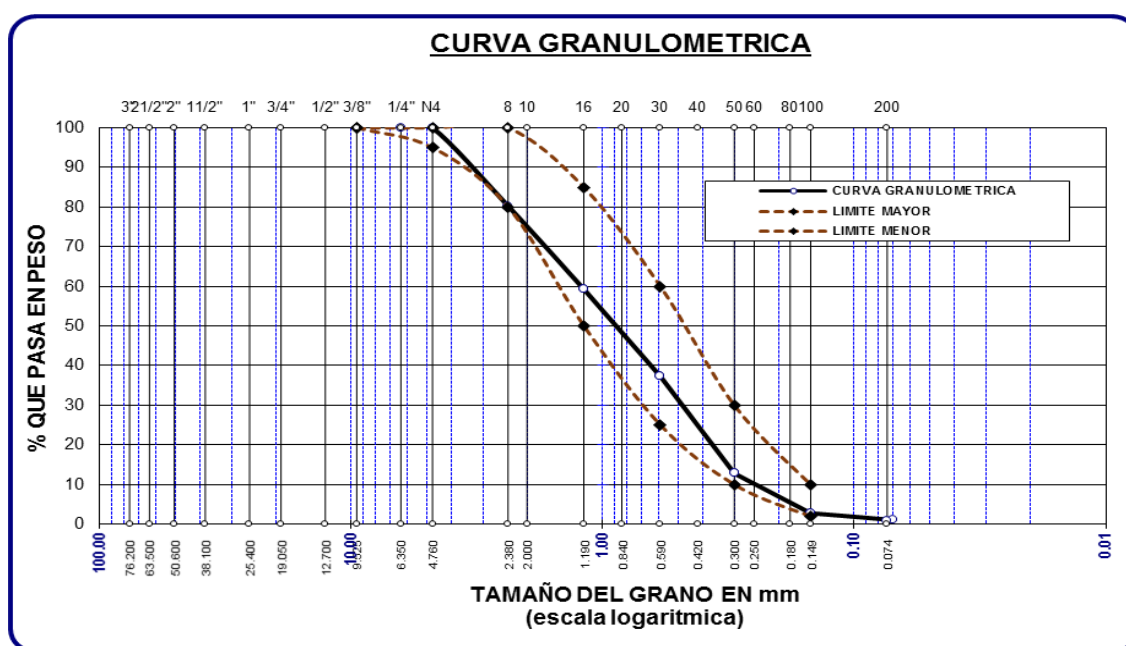
Granulometría agregado fino

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
3/8"	9.51	0	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	0	0.00	0.00	100.00

N° 8	2.38	97.75	19.55	19.55	80.45
N° 16	1.19	104.89	20.98	40.53	59.47
° 30	0.595	109.99	22.00	62.53	37.47
N° 50	0.297	123.12	24.62	87.15	12.85
N° 100	0.147	51.01	10.20	97.35	2.65
N° 200	0.074	8.78	1.76	99.11	0.89
Fondo		4.46	0.89	100.00	0.00
Suma		500	100.00		

Figura 29

Distribución granulométrica del agregado fino



Módulo de fineza

$$MF = \frac{3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100}{100}$$

$$MF = \frac{0 + 0 + 19.55 + 40.53 + 62.53 + 87.15 + 97.35}{100}$$

$$MF = 3.07$$

Granulometría del agregado grueso

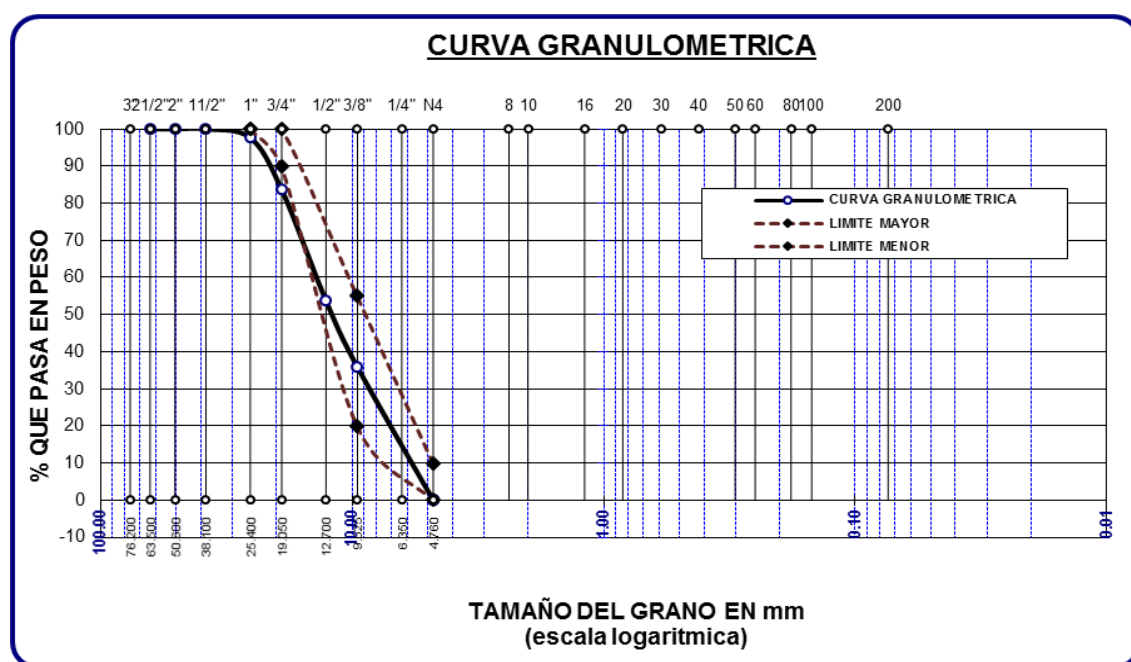
Tabla 15

Granulometría del agregado grueso

Malla	Abertura (mm)	Peso Retenido	% Retenido	% Ret. Acumulado	% Pasa
2"	50.6	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	93.78	2.34	2.34	97.66
3/4"	19.05	560.23	14.00	16.35	83.65
1/2"	12.7	1195.10	29.87	46.22	53.78
3/8"	9.525	714.85	17.87	64.09	35.91
1/4"	6.35				
N° 4	4.76	1436.89	35.91	100.00	0.00
Fondo					
Suma		4000.00	100.00		

Figura 30

Distribución granulométrica del agregado grueso



4.2.1. Diseño de mezclas

4.2.1.1. Diseño de mezcla sin aire incorporado

a. Determinar la resistencia promedio

Si los datos no son suficientes para calcular la desviación estándar de la prueba, utilizamos la fuerza media que figura en la tabla 16.

Tabla 16

Resistencia promedio de diseño requerida

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 84$
$f'_c \geq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 98$

Nota: Comité 211 del ACI

Resistencia especificada es 210 kg/cm² entonces:

$$F'_{cr} = f'_c + 84$$

$$F'_{cr} = 210 + 84$$

$$F'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

b. Selección del asentamiento

Tabla 17

Selección de asentamiento

Consistencia	Asentamiento	Trabajable	Tipo de compactación
Seca	0" - 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" - 4"	Trabajable	Vibración ligera Chuseada
Fluida	>5"	Muy trabajable	Chuseado

Para obtener un estado plástico con características de trabajo, el tiempo de templado recomendado es de 3 a 4 pulgadas, tal y como se muestra en la tabla 17.

c. Relación agua-cemento (a/c)

Tabla 18

Relación agua / cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (f') (Kg/cm ²)	Relación Agua – Cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota: López, Diseño de Mezclas.

Los valores límite correspondientes al intervalo de 250 a 300 kg/cm² se obtuvieron de la tabla 18 y, a continuación, se utilizó un proceso de interpolación lineal para determinar el valor específico asociado a la resistencia de diseño establecida, ya que la resistencia a la compresión requerida $f'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$ se encuentra dentro de ese intervalo.

$$\left\{ \begin{array}{l} 300 \\ 294 \\ 250 \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} 0.55 \\ X \\ 0.62 \end{array} \right\}$$

Interpolando obtenemos que:

$$(300 - 250) \implies (0.55 - 0.62)$$

$$(294 - 250) \implies (X - 0.62)$$

$$50 \implies -0.07$$

$$44 \implies (X - 0.62)$$

$$X - 0.62 = \frac{44 * (-0.07)}{50}$$

$$X - 0.62 = -0.0616 + 0.62$$

$$X = 0.5584$$

Esto nos lleva a la siguiente relación agua-cemento (a/c):

$$X = 0.56 \Rightarrow R \text{ a/c}$$

d. Cálculo del volumen unitario de agua

Tabla 19

Cantidad de volumen unitario de agua en Lt/m³

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

Nota: Comité 211 del ACI

El volumen unitario equivalente para los áridos T.M.N. de 3/4 de pulgada con una granulometría de 3-4 y para el hormigón sin aire incorporado es de 205 l/m³, tal y como se muestra en la tabla n.º 19.

e. Cálculo del factor cemento

$$Ra_c = \frac{a}{F.cemento}$$

$$F.cemento = \frac{205}{0.56}$$

$$F.cemento = 366.071 \text{ kg/m}^3$$

f. Selección del contenido de aire atrapado

Tabla 20

Contenido de aire atrapado

Contenido de aire atrapado	
Tamaño máximo nominal	Aire Atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Nota: Comité 211 del ACI

El porcentaje de aire retenido en el árido grueso con partículas de un tamaño máximo de 3/4 de pulgada es del 2,0 %.

g. Estimar la cantidad de árido grueso**Tabla 21***Determinación del volumen de agregado grueso seco compactado*

Tamaño máximo del agregado	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino						
	Módulo de finura del agregado fino						
	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4
3/8"	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40
1/2"	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
3/4"	0.68	0.66	0.64	0.61	0.60	0.58	0.56
1"	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
1 1/2"	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
2"	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
3"	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71
6"	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

Nota: Comité 211 del ACI

El tamaño nominal máximo es de ¾" y sabemos que el árido fino tiene un módulo de finura de 3,07. La tabla 21 indica un rango de valores comprendido entre 0,60 y 0,58, y la extrapolación arroja un volumen de 0,59 m³ para el material grueso seco y compactado.

$$\text{Volumen A. G. seco compactado} = 0.593\text{m}^3$$

$$\text{Peso unitario compactado A. G.} = 1469\text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de agregado en kg} = (0.593\text{m}^3)(1469\text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad de agregado en kg} = 871.12\text{ kg}$$

h. Estimación del contenido de agregado fino

Método de dosificación por volumen absoluto

Se puede calcular el volumen absoluto del árido fino restando el volumen total del hormigón (1 m^3) de la suma de los volúmenes absolutos de todos los demás componentes.

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico} * 1000}$$

$$\text{Cemento} = \frac{366.07}{2.85 * 1000} = 0.128 \text{m}^3$$

$$\text{A. Grueso} = \frac{871.12}{2.40 * 1000} = 0.363 \text{m}^3$$

$$\text{Agua} = \frac{205}{1000} = 0.205 \text{m}^3$$

$$\text{Aire} = 2\% = \frac{2}{100} = 0.020 \text{m}^3$$

$$\Sigma 0.716 \text{m}^3$$

Contenido de agregado fino

$$\text{Volumen absoluto del A. Fino} = 1 - 0.716 \text{m}^3 = 0.284 \text{m}^3$$

$$0.284 = \frac{\text{Peso Seco}}{2.53 * 1000}$$

$$\text{Peso Seco del A. Fino} = 0.284 * 2.53 * 1000 = 718.52 \text{ kg}$$

Por lo tanto, el peso en seco de los materiales es:

$$\text{Cemento} = 366.1 \text{kg}$$

$$\text{Agua} = 205.00 \text{lt}$$

$$\text{A. Grueso} = 871.12 \text{kg}$$

$$\text{A. Fino} = 718.52 \text{kg}$$

$$\text{Aire} = 2\%$$

**i. Corrección por humedad de los agregados**

$$\text{Peso del agregado humedo} = \text{Peso seco} \left(\frac{\% \text{ Humedad}}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso del A. Fino humedo} = 718.52 \left(\frac{3.06}{100} + 1 \right) = 740.51 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del A. Grueso humedo} = 871.12 \left(\frac{1.28}{100} + 1 \right) = 882.27 \text{ kg}$$

j. Corrección por absorción de los agregados

$$\text{Peso seco} * \left(\frac{\% \text{ Absorción} - \% \text{ Humedad}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado Fino} = 718.52 \left(\frac{2.88 - 3.06}{100} \right) = -1.29$$

$$\text{Agregado Grueso} = 871.12 \left(\frac{2.85 - 1.28}{100} \right) = 13.68$$

$$\text{Cantidad de agua efectiva} \quad 205 - 1.29 + 13.68 = 217.39 \text{ lt/m}^3$$

agua de diseño + agua faltante

k. Corrección diseño teórico húmedo

Teniendo en cuenta la relación agua-cemento (w/c), la siguiente ecuación representa el ajuste teórico del diseño para tener en cuenta la absorción del árido: $Ra/c = w/c$. Esto se debe a que el cemento es el componente que más influye en el diseño de la mezcla.

$$0.56 = \frac{217}{C}$$

$$C = 387.5 \text{ Kg/m}^3$$

l. Proporciones en peso de los materiales ajustados

Cemento	A. Fino	A. Grueso	Agua
$\frac{387.5}{387.5}$	$\frac{741}{387.5}$	$\frac{882}{387.5}$	$\frac{217}{387.5}$

1 : 1.91 : 2.28 con R a/c = 0.56

m. Cantidad de materiales corregidos por bolsa de cemento

$$\text{Cemento} = 1 * 42.5 = 42.50 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agregado fino} = 1.91 * 42.5 = 81.18 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agregado grueso} = 2.28 * 42.5 = 96.9 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agua efectiva} = 0.56 * 42.5 = 23.8 \text{ lt/bls}$$

n. Diseño de mezcla final

Tabla 22

Diseño de mezcla sin aire incorporado

Agregado	Dosif. en peso seco (kg/m ³)	Proporción en volumen	Dosif. en peso húmedo (kg/bls)	Proporción en volumen
Cemento	388	1	42.50	1
A. Fino	741	1.91	81.18	1.7
A. Grueso	882	2.28	96.9	2.4
Agua	217	0.56	23.80	23.8

4.2.1.2. Diseño de mezcla con aire incorporado

A. Determinar la resistencia promedio

Utilizando los criterios de la tabla N.º 23, podemos determinar la resistencia media a la compresión (f'_{cr}), necesaria para garantizar que se alcanza la resistencia estipulada (f'_c) con la fiabilidad estadística requerida.

Tabla 23*Resistencia promedio requerida*

Resistencia especificada a la compresión (kg/cm ²)	Resistencia promedio requerida a la compresión (kg/cm ²)
$f'_c < 210$	$f'_{cr} = f'_c + 70$
$210 \leq f'_c \leq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 84$
$f'_c \geq 350$	$f'_{cr} = f'_c + 98$

Nota: Comité 211 del ACI

Se requiere una resistencia de 210 kg/cm², por lo que:

$$F'_{cr} = f'_c + 84$$

$$F'_{cr} = 210 + 84$$

$$F'_{cr} = 294 \text{ kg/cm}^2$$

B. Selección del asentamiento

Tabla 24*Selección de asentamiento*

Consistencia	Asentamiento	Trabajable	Tipo de compactación
Seca	0" - 2"	Poco trabajable	Vibración normal
Plástica	3" - 4"	Trabajable	Vibración ligera Chuseada
Fluida	>5"	Muy trabajable	Chuseado

Nota: Abanto Castillo, 1996.

Teniendo en cuenta los criterios de la tabla 24, se elige un rango de asentamiento de entre 7,6 cm y 10,2 cm (3 a 4) para obtener una mezcla de hormigón con la consistencia plástica y las características de trabajabilidad deseadas.

C. Relación agua-cemento (a/c)

Para que el concreto sea más resistente a los ciclos de congelación-descongelación, es necesario añadir aditivos incorporadores de aire, ya que estará expuesto a temperaturas bajo cero.

Tabla 25

Relación agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'_{cr}) (Kg/cm ²)	Relación Agua – Cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Nota: López. Diseño de mezclas.

El valor se sitúa entre 250 kg/cm² y 300 kg/cm², con una relación Ra/c comprendida entre 0,53 y 0,46, según la tabla 25, a la que recurrimos teniendo en cuenta que $f'_{cr} = 294$ kg/cm². Mediante la interpolación, podemos obtener la relación Ra/c que corresponde a la resistencia necesaria.

Por lo tanto, la relación agua-cemento se define como:

$$a/c = 0.47$$

D. Cálculo del volumen unitario de agua**Tabla 26***Cantidad de volumen unitario en Lt/m³*

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

Nota: Comité 211 del ACI

El volumen unitario del hormigón celular, según la tabla n.º 26, es de 184 l/m³, cuando el tamaño nominal máximo del árido grueso es de 3/4 de pulgada y la distribución granulométrica oscila entre 3 y 4 pulgadas.

E. Cálculo del factor cemento

Inferir que:

$$Ra_c = \frac{a}{F.cemento}$$

$$F.cemento = \frac{184}{0.47}$$

$$F.cemento = 391.489 \text{ kg/m}^3$$

F. Selección del contenido de aire total

La tabla 27 muestra los valores del contenido total de aire en el hormigón, que es la suma del aire inyectado (procedente de los aditivos químicos) y del aire incorporado (procedente de la propia mezcla), para hormigón expuesto a temperaturas bajo cero.

Tabla 27

Contenido de aire total

Contenido de aire total, en %			
Tamaño máximo nominal	Exposición Suave	Exposición moderada	Exposición severa
3/8"	4.5%	6.0%	7.5%
1/2"	4.0%	5.5%	7.0%
3/4"	3.5%	5.0%	6.0%
1"	3.0%	4.5%	6.0%
1 1/2"	2.5%	4.5%	5.5%
2"	2.0%	4.0%	5.0%
3"	1.5%	3.5%	4.5%
6"	1.0%	3.0%	4.0%

Nota: Comité 201 del ACI

En el caso de los áridos gruesos con un tamaño nominal máximo de $\frac{3}{4}$ ", el contenido total de aire será del 5,0 %, y el hormigón estará sometido a una exposición moderada, lo que significa que, en ocasiones, puede entrar en contacto con tierra húmeda o agua estancada antes de la helada, pero esto no ocurrirá de forma continua.

G. Determinar la cantidad de agregado grueso**Tabla 28***Volumen de agregado grueso, seco y compactado*

Tamaño máximo del agregado	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de fineza de agregado fino						
	Módulo de fineza del agregado fino						
	2.2	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4
3/8"	0.52	0.50	0.48	0.46	0.44	0.42	0.40
1/2"	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49
3/4"	0.68	0.66	0.64	0.61	0.60	0.58	0.56
1"	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61
1 1/2"	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68	0.66
2"	0.80	0.78	0.76	0.74	0.72	0.70	0.68
3"	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71
6"	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77

Nota: Comité 211 del ACI

La cantidad de árido grueso seco y compactado puede determinarse consultando la tabla n.º 28, que se basa en las características granulométricas del árido fino (MF = 3,08) y del árido grueso (TMN = ¾"). Dado que el módulo de finura se encuentra entre los valores indicados en la tabla (entre 0,60 y 0,58), podemos utilizar la interpolación lineal para obtener.

$$\text{Volumen A. G. seco compactado} = 0.593\text{m}^3$$

$$\text{Peso unitario compactado A. G.} = 1469\text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cantidad de agregado en kg} = (0.593)(1469\text{ kg/m}^3)$$

$$\text{Cantidad de agregado en kg} = 871.12\text{ kg}$$

H. Estimación del contenido de agregado fino

Método de volumen absoluto

Toma 1 metro cúbico de hormigón y resta el volumen total de todos los materiales para obtener el volumen absoluto del árido fino.

$$\text{Volumen absoluto} = \frac{\text{peso seco}}{\text{peso específico} * 1000}$$

$$\text{Cemento} = \frac{391.49}{2.85 * 1000} = 0.137m^3$$

$$\text{A. Grueso} = \frac{871.12}{2.40 * 1000} = 0.363m^3$$

$$\text{Agua} = \frac{184}{1000} = 0.184m^3$$

$$\text{Aire} = 5\% = \frac{5}{100} = 0.050m^3$$

$$\Sigma 0.734 m^3$$

Contenido de agregado fino

$$\text{Volumen absoluto del A. Fino} = 1 - 0.734m^3 = 0.266m^3$$

$$0.266 = \frac{\text{Peso Seco}}{2.53 * 1000}$$

$$\text{Peso Seco del A. Fino} = 0.266 * 2.53 * 1000 = 672.98 kg$$

Por lo tanto, el peso en seco de los materiales es:

$$\text{Cemento} = 391.4kg$$

$$\text{Agua} = 184.0lt$$

$$\text{A. Grueso} = 871.120kg$$

$$\text{A. Fino} = 672.980kg$$

$$\text{Aire} = 5.0\%$$

I. Corrección por humedad de los agregados

$$\text{Peso del agregado humedo} = \text{Peso seco} \left(\frac{\% \text{ Humedad}}{100} + 1 \right)$$

$$\text{Peso del A. Fino humedo} = 672.98 \left(\frac{3.06}{100} + 1 \right) = 693.57 \text{ kg}$$

$$\text{Peso del A. Grueso humedo} = 871.12 \left(\frac{1.28}{100} + 1 \right) = 882.27 \text{ kg}$$

J. Corrección por absorción de los agregados

$$\text{Peso seco} * \left(\frac{\% \text{ Absorción} - \% \text{ Humedad}}{100} \right)$$

$$\text{Agregado Fino} = 672.98 \left(\frac{2.88 - 3.06}{100} \right) = -1.21$$

$$\text{Agregado Grueso} = 871.12 \left(\frac{2.85 - 1.28}{100} \right) = 13.68$$

$$\text{Cantidad de agua efectiva} \quad 184 - 1.21 + 13.68 = 196.47 \text{ lt/m}^3$$

agua de diseño + agua faltante

K. Corrección diseño teórico húmedo

Los ajustes en el diseño teórico de la mezcla de cemento se centran en tener en cuenta la absorción del árido, ya que es el factor más influyente: a/c es equivalente a Ra/c.

$$0.47 = \frac{196.47}{C}$$

$$C = 418.02 \text{ Kg/m}^3$$

L. Proporciones en peso de materiales corregidos

Cemento	B. Fino	A. Grueso	Agua
$\frac{418}{418}$	$\frac{694}{418}$	$\frac{882}{418}$	$\frac{196}{418}$
1	: 1.66	: 2.11	con R a/c = 47

M. Cantidad de materiales corregidos por bolsa

$$\text{Cemento} = 1 * 42.5 = 42.50 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agregado fino} = 1.66 * 42.5 = 70.42 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agregado grueso} = 2.11 * 42.5 = 89.68 \text{ kg/bls}$$

$$\text{Agua efectiva} = 0.47 * 42.5 = 19.98 \text{ lt/bls}$$

N. Diseño de mezcla final**Tabla 29***Diseño de mezcla con aire incorporado*

Agregado	Dosif. en peso seco (kg/m ³)	Proporción en volumen	Dosif. en peso húmedo (kg/bls)	Proporción en volumen
Cemento	418	1	42.50	1
A. Fino	694	1.66	70.42	1.5
A. Grueso	882	2.11	89.68	2.2
Agua	196	0.47	19.98	20.0

4.2.1.3. Diseño de mezcla para cada grupo de estudio**Tabla 30***Diseño de mezcla según grupo de estudio*

Diseño de mezcla según el grupo de investigación			
Dosificación por peso			
Materiales	Concreto normal	Con adición de fibras de polipropileno	Con aditivo incorporador de aire
Cemento	1bls	1bls	1bls
A. Fino	81.18	81.18	70.42 Kg.
A. Grueso	96.9	96.9	89.68 Kg.
Agua	24 Lt	24 Lt	20 Lt
Incorporador de aire	-	-	21.04 ml/bls
F. de Polipropileno	-	65.80 gr/bls	-



4.2.2. Resistencia a compresión del concreto normal

Tabla 31

Resistencia a la compresión de concreto convencional bajo exposición a ciclos de congelamiento

Nº	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
	(días)	kg	cm	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
B1	7	10640.00	15.06	178.13	59.73		
B2	7	10692.00	15.11	179.32	59.63		
B3	7	10625.00	15.01	176.95	60.05	59.49	28.33%
B4	7	10510.00	15.05	177.89	59.08		
B5	7	10610.00	15.14	180.03	58.94		
B6	14	19280.00	15.16	180.5	106.81		
B7	14	18292.00	15.17	180.74	101.21		
B8	14	19278.00	15.15	180.27	106.94	104.29	49.66%
B9	14	18210.00	15.18	180.98	100.62		
B10	14	19189.00	15.19	181.22	105.89		
B11	28	24790	15.10	179.08	138.43		
B12	28	25960	15.13	179.79	144.39		
B13	28	23960	15.17	180.74	132.62	139.85	66.59%
B14	28	24890	14.99	176.48	141.04		
B15	28	25769	15.16	180.50	142.76		

4.2.3. Resistencia a compresión del concreto con incorporador de aire

Tabla 32

*Resistencia a la compresión de concreto con aditivo incorporador de aire
sometido a condiciones de congelamiento*

Nº	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
	(días)	kg	cm	cm2	kg/cm2	kg/cm2	
B1	7	20255	15.08	178.60	113.41		
B2	7	22620	15.14	180.03	125.65		
B3	7	19890	15.06	178.13	111.66	117.00	55.72%
B4	7	20460	15.09	178.84	114.40		
B5	7	21530	15.12	179.55	119.91		
B6	14	26520	15.03	177.42	149.47		
B7	14	27310	15.12	179.55	152.10		
B8	14	25780	15.10	179.08	143.96	149.20	71.05%
B9	14	26730	15.13	179.79	148.67		
B10	14	27040	15.06	178.13	151.80		
B11	28	38430	15.16	180.50	212.90		
B12	28	36250	15.18	180.98	200.30		
B13	28	39790	15.15	180.27	220.73	209.76	99.89%
B14	28	37470	15.08	178.60	209.79		
B15	28	36920	15.14	180.03	205.08		

4.2.4. Resistencia a compresión del concreto con fibra de polipropileno

Tabla 33

Resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno expuesto a ciclos de congelamiento

Nº	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
	(días)	kg	cm	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
B1	7	25080	15.07	178.37	140.61		
B2	7	24710	15.01	176.95	139.64		
B3	7	23810	15.04	177.66	134.02	139.08	66.23%
B4	7	24535	15.09	178.84	137.19		
B5	7	25810	15.11	179.32	143.94		
B6	14	32610	15.03	177.42	183.80		
B7	14	33515	15.13	179.79	186.41		
B8	14	30060	15.08	178.60	168.30	183.10	87.19%
B9	14	36010	15.16	180.50	199.50		
B10	14	31450	15.02	177.19	177.50		
B11	28	37130	15.18	180.98	205.16		
B12	28	36220	15.13	179.79	201.46		
B13	28	38020	15.10	179.08	212.31	201.52	95.96%
B14	28	34410	15.14	180.03	191.14		
B15	28	35700	15.17	180.74	197.52		

4.2.5. Resumen de resistencia a compresión del concreto normal

Tras someter las probetas de concreto a ciclos de congelación-descongelación, en la tabla 34 se recogen los resultados finales del programa

experimental de compresión axial. Los datos se organizan por edad de la probeta de la siguiente manera: valores medios de resistencia, desviaciones estándar, coeficientes de variación y porcentajes de resistencia obtenidos en comparación con la resistencia prescrita.

Tabla 34

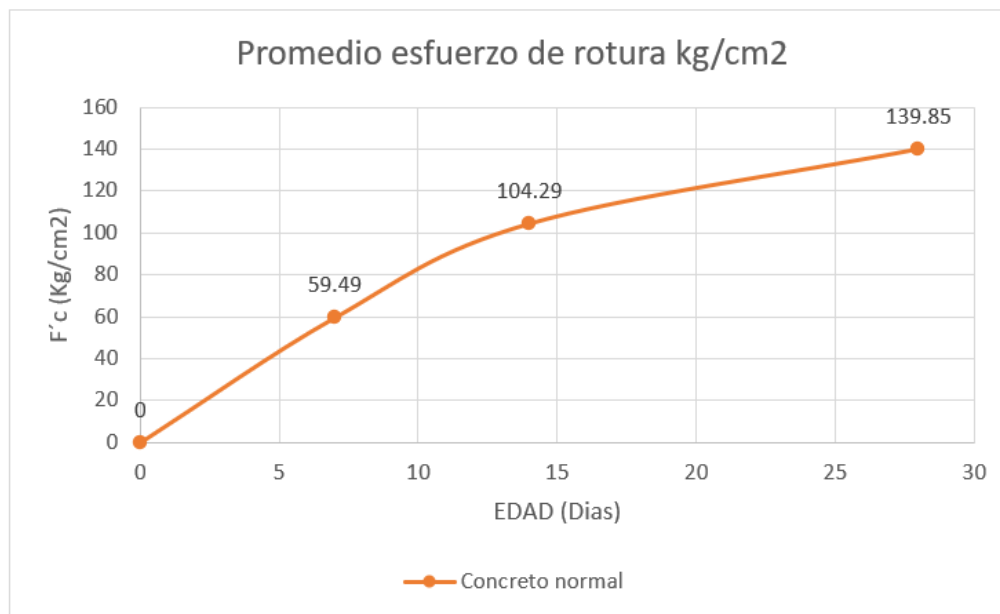
Resistencia promedio a la compresión de concreto de peso normal sometido a condiciones de congelamiento

Descripción	Congelamiento	Temperatura de exposición	Edad (días)	Promedio esfuerzo de rotura kg/cm ²	% Resistencia promedio
Testigo de prueba	CN	-5 a -10	7	59.49	28.33
Testigo de prueba	CN	-5 a -10	14	104.29	49.66
Testigo de prueba	CN	-5 a -10	28	139.85	66.59

Cuando el concreto normal (sin aire incorporado ni fibras) se somete a ciclos de congelación-descongelación, la figura 31 muestra la curva típica del aumento de la resistencia a la compresión. Se evaluó la resistencia a la compresión de las probetas a los 7, 14 y 28 días de edad, y el gráfico muestra la resistencia media ($f'c'$) en función de la edad de ensayo.

Figura 31

Resistencia promedio a compresión del concreto normal

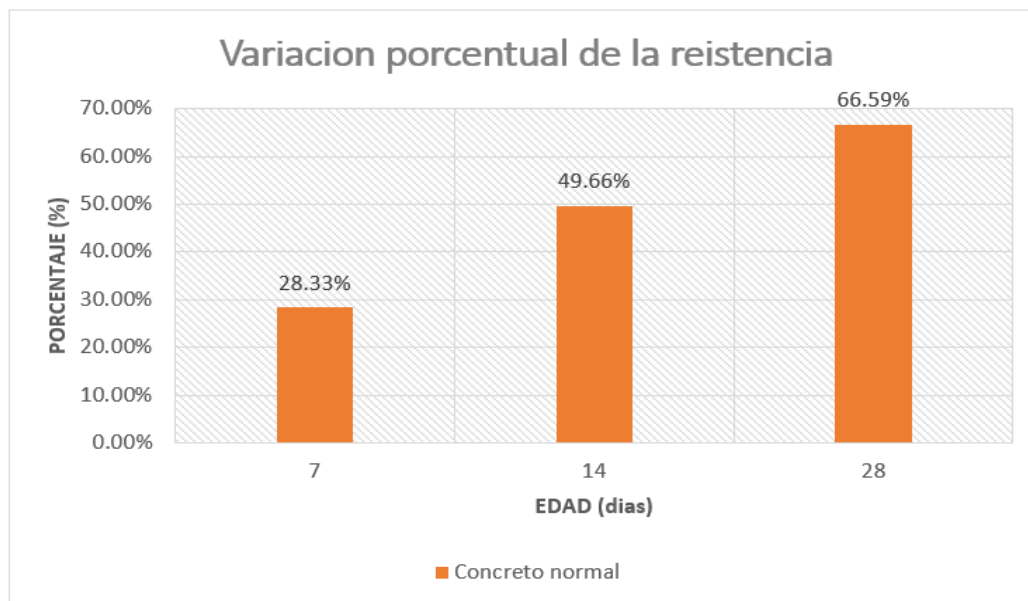


Los resultados del gráfico indican que las muestras de concreto tradicional mostraron un desarrollo de resistencia insuficiente entre los 7 y los 14 días de edad, sin que se observara ninguna mejora notable en ese intervalo de tiempo. En consecuencia, a los 28 días de edad, se obtuvo una disminución de la resistencia máxima hasta $f'c = 139,85 \text{ kg/cm}^2$, lo que indica el efecto perjudicial de las temperaturas bajo cero sobre el desarrollo mecánico del concreto sin tratar.

La figura 32 ilustra la variación porcentual calculada a partir de la resistencia media a la compresión de probetas de hormigón convencional expuestas a condiciones de congelación, y muestra el cambio porcentual en el desarrollo de la resistencia en cada una de las edades de ensayo evaluadas.

Figura 32

Variación porcentual de la resistencia del concreto normal



Según los datos, tras 28 días de exposición a temperaturas bajo cero, el hormigón convencional solo alcanza el 66,59 % de su resistencia de diseño. Este valor es muy inferior al 100 % necesario para el hormigón fabricado en condiciones climáticas ideales. El impacto perjudicial de las bajas temperaturas en el desarrollo de la resistencia mecánica del hormigón se pone aún más de manifiesto en las edades intermedias de ensayo, cuando los porcentajes de resistencia oscilan entre el 28,33 % a los 7 días y el 49,66 % a los 14 días.

4.2.6. Resistencia a compresión con incorporador de aire

La tabla 35 muestra los resultados medios y porcentuales del ensayo de resistencia a la compresión, incluidas las edades a las que las probetas fallaron a la compresión, de las probetas que se prepararon con un aditivo incorporador de aire y posteriormente se congelaron.

Tabla 35

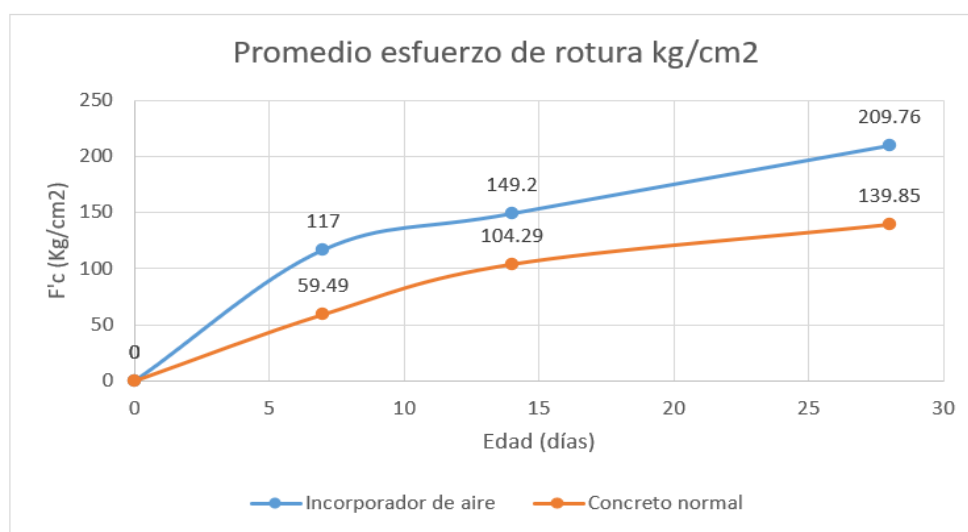
Resistencia promedio del concreto con aire incorporado expuesto a ciclos de congelamiento

Descripción	Congelamiento	Temperatura de exposición	Edad (días)	Promedio esfuerzo de rotura kg/cm ²	% Resistencia promedio
Testigo de prueba	CIA	-5 a -10	7	117.00	55.72
Testigo de prueba	CIA	-5 a -10	14	149.20	71.05
Testigo de prueba	CIA	-5 a -10	28	209.76	99.89

Existe una diferencia en la resistencia final y la edad del hormigón en los días en que se probó su resistencia a la compresión; las curvas de evolución del hormigón normal y de las muestras probadas con un agente incorporador de aire se muestran en la figura N.º 33, respectivamente.

Figura 33

Resistencia promedio a compresión de testigos con incorporador de aire

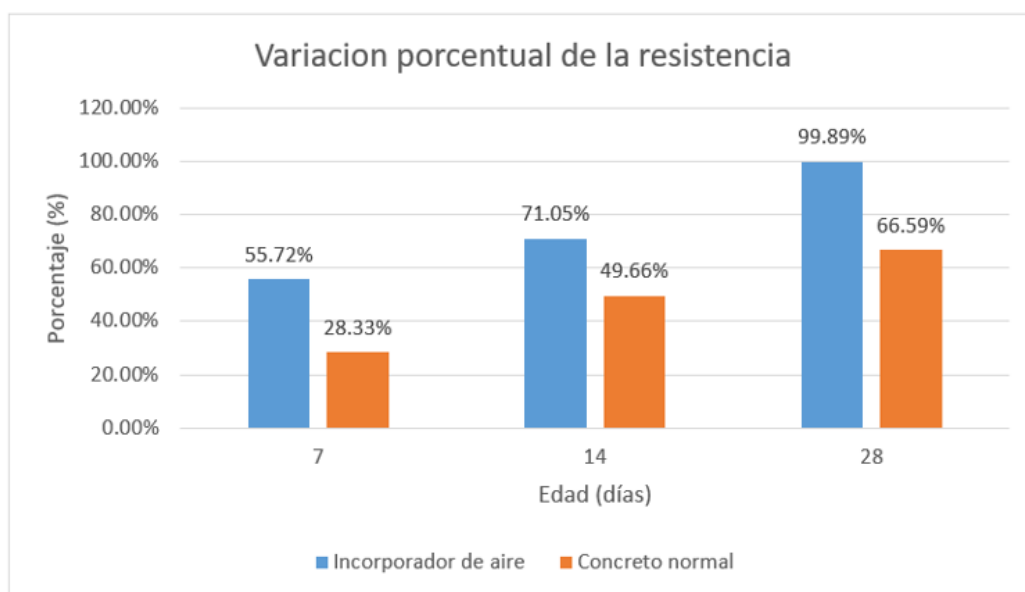


De acuerdo con los resultados presentados en la figura N°33, se observa que los especímenes con incorporación del aditivo incorporador de aire exhibieron un desarrollo moderado de la resistencia entre los 7 y 14 días de edad, registrando un incremento menos pronunciado en dicho intervalo. Sin embargo, a los 28 días de edad se evidencia un crecimiento significativo en la resistencia final, alcanzando un valor de $f'_c = 209,76 \text{ kg/cm}^2$, lo que demuestra la influencia positiva del aditivo en el desarrollo tardío de la resistencia mecánica del concreto sometido a condiciones de congelamiento.

Las muestras sometidas a temperaturas bajo cero con un aditivo incorporador de aire muestran la variación porcentual en función de la resistencia media a la compresión (Figura 34). Además, se comparan estos resultados en cada fase del ensayo con los del hormigón estándar que no ha sido modificado.

Figura 34

Variación porcentual de la resistencia a la compresión de concreto con aditivo incorporador de aire



Tras 28 días de curado en entornos fríos, el hormigón con un aditivo incorporador de aire alcanza el 99,89 % de su resistencia de diseño, lo que supone una mejora del 33,3 % con respecto al valor final del hormigón convencional sin tratar, que es del 66,59 %, según el estudio comparativo. El impacto favorable del aditivo incorporador de aire se observa a lo largo de toda la fase de endurecimiento del hormigón expuesto a temperaturas bajo cero, ya que esta diferencia en el aumento de la resistencia es igualmente visible en las edades intermedias de 7 y 14 días.

4.2.7. Resumen de resistencia a compresión con fibras de polipropileno

En cada fase del ensayo, las muestras se sometieron a temperaturas bajo cero para determinar su resistencia a la compresión. La tabla 36 muestra los resultados medios y la variación porcentual de las muestras fabricadas con fibras de polipropileno añadidas.

Tabla 36

Resistencia promedio del con fibras de polipropileno expuesto a ciclos de congelamiento

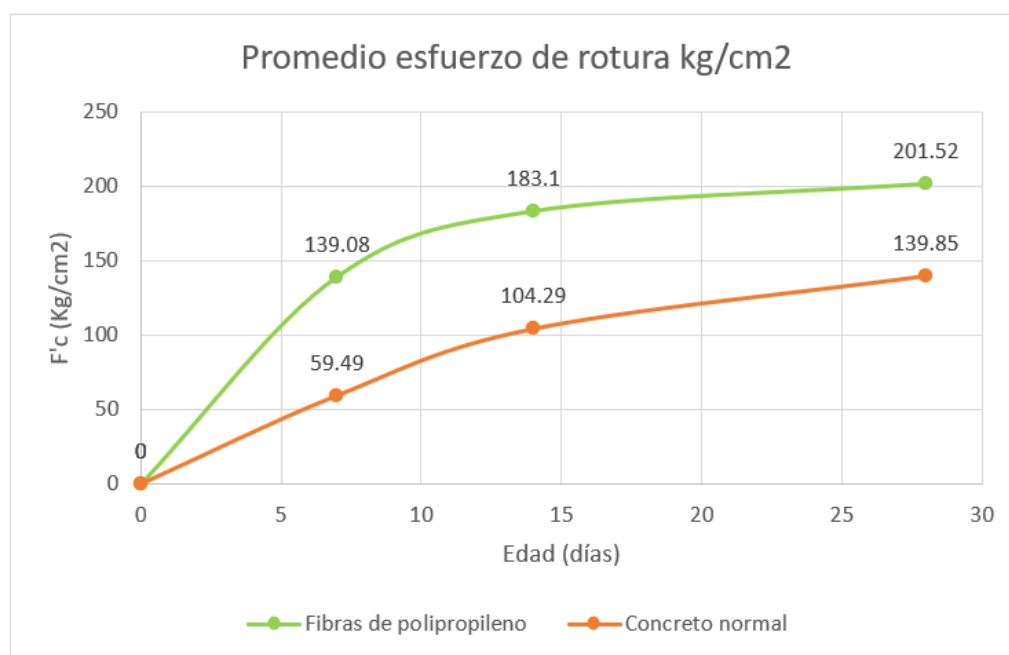
Descripción	Congelamiento	Temperatura de exposición	Edad (días)	Promedio esfuerzo de rotura kg/cm ²	% Resistencia promedio
Testigo de prueba	CFP	-5 a -10	7	139.08	66.23
Testigo de prueba	CFP	-5 a -10	14	183.10	87.19
Testigo de prueba	CFP	-5 a -10	28	201.52	95.96

En la figura 35 se muestra la curva de resistencia a la compresión de las probetas con un contenido medio de fibras de polipropileno, en contraste con la

curva del hormigón tradicional sin tratar, que muestra el aumento de la resistencia a la compresión con el paso del tiempo. En dicho gráfico se pueden apreciar las diferencias en los valores de resistencia final alcanzados por ambos tipos de concreto, las edades de ensayo correspondientes a cada etapa de evaluación, así como los niveles de resistencia de diseño requerida establecidos como parámetro de referencia.

Figura 35

Resistencia promedio a compresión de testigos con fibras de polipropileno



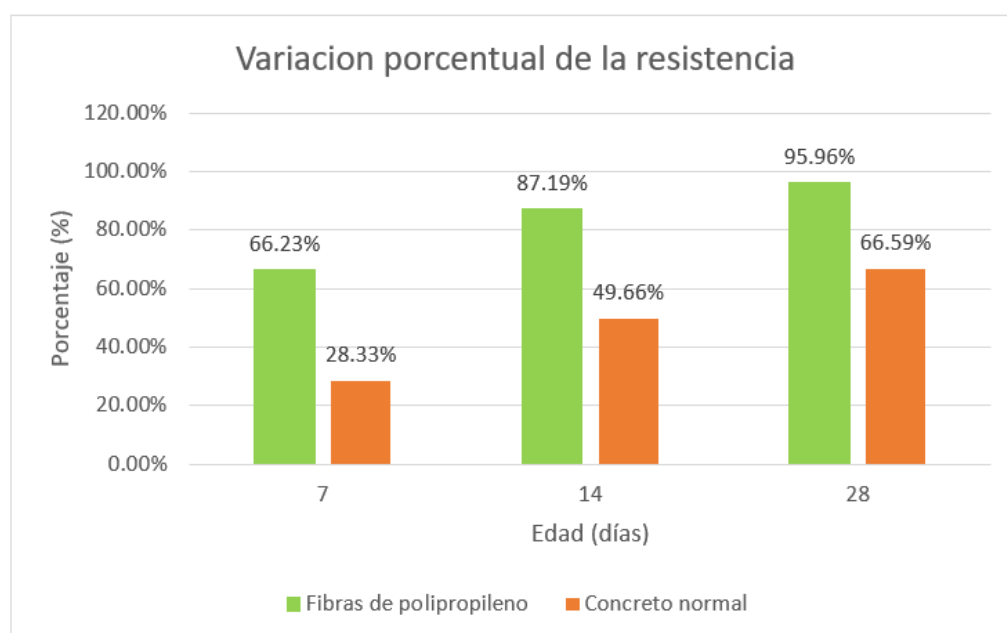
Según los resultados presentados en el gráfico, se observa que las muestras que contienen fibras de polipropileno mostraron un aumento progresivo de la resistencia entre los 7 y los 14 días de curado, registrando un incremento significativo durante ese intervalo. Sin embargo, a los 28 días se aprecia una ligera disminución de la resistencia final, con un valor de $f'c = 201,52 \text{ kg/cm}^2$, lo

que supone una ligera reducción en comparación con la tendencia al alza observada en edades anteriores.

En cada una de las edades de ensayo analizadas, la figura 36 compara el comportamiento del hormigón convencional sin tratar con el de las probetas que contienen fibras de polipropileno y que fueron expuestas a temperaturas bajo cero. Asimismo, muestra la variación porcentual calculada a partir de la resistencia media a la compresión.

Figura 36

Variación porcentual de la resistencia a la compresión de concreto con fibras de polipropileno



Tras 28 días de exposición a temperaturas bajo cero, el hormigón reforzado con fibras de polipropileno alcanza el 95,41 % de su resistencia de diseño, lo que supone una mejora de 35,03 puntos porcentuales con respecto al hormigón convencional sin tratar, que alcanza un valor final del 60,38 % a la

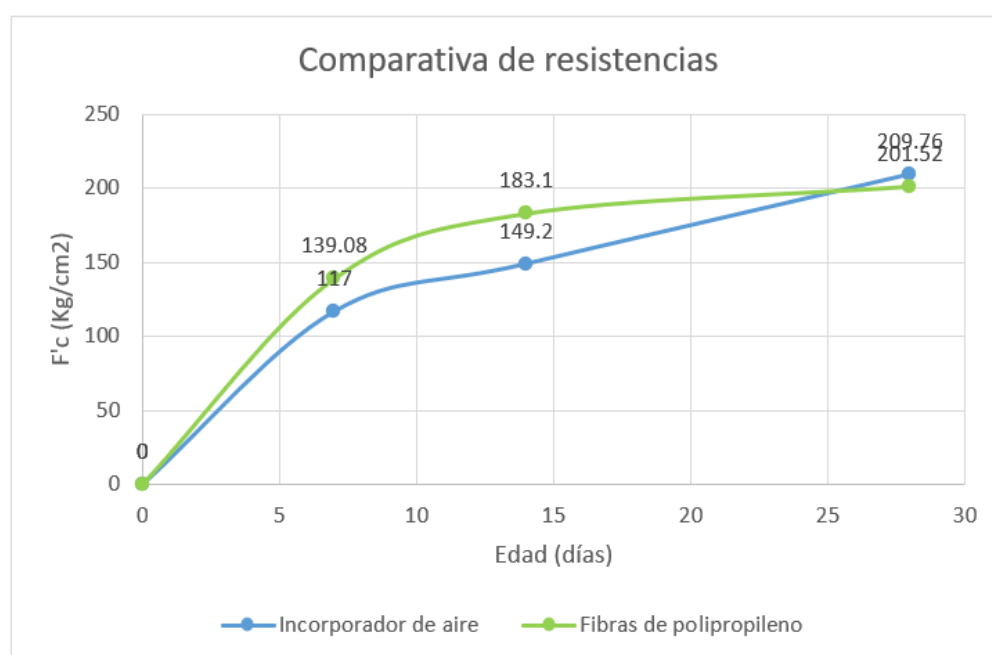
misma edad, según el análisis comparativo. Esta variación en el desarrollo de la resistencia es igualmente evidente a las edades intermedias de 7 y 14 días, lo que demuestra que las fibras de polipropileno tienen un impacto favorable en el endurecimiento del hormigón en todas las etapas.

4.2.8. Comparativa de la resistencia a la compresión con la adición de fibras de polipropileno e incorporador de aire

Al analizar la resistencia a la compresión del hormigón a distintas edades, la figura 37 evidencia que el empleo de un aditivo incorporador de aire produce sistemáticamente resultados inferiores frente a la incorporación de fibras de polipropileno.

Figura 37

Comparativa de resistencias a la compresión con adición de fibras de polipropileno e incorporador de aire





Los datos proporcionados son la base numérica de la gráfica anterior, comparando la resistencia a la compresión del concreto a diferentes edades (días) con la adición de un Incorporador de aire versus fibras de polipropileno.

La resistencia a la compresión del hormigón con fibras de polipropileno es mucho mayor que la del hormigón con un agente incorporador de aire durante los primeros siete a catorce días de curado.

Esto indica que las fibras de polipropileno o la composición de la mezcla asociada a ellas, favorece una mayor velocidad de ganancia de resistencia en las edades tempranas. A los 14 días, la resistencia con fibras es casi un 33.9 kg/cm² superior.

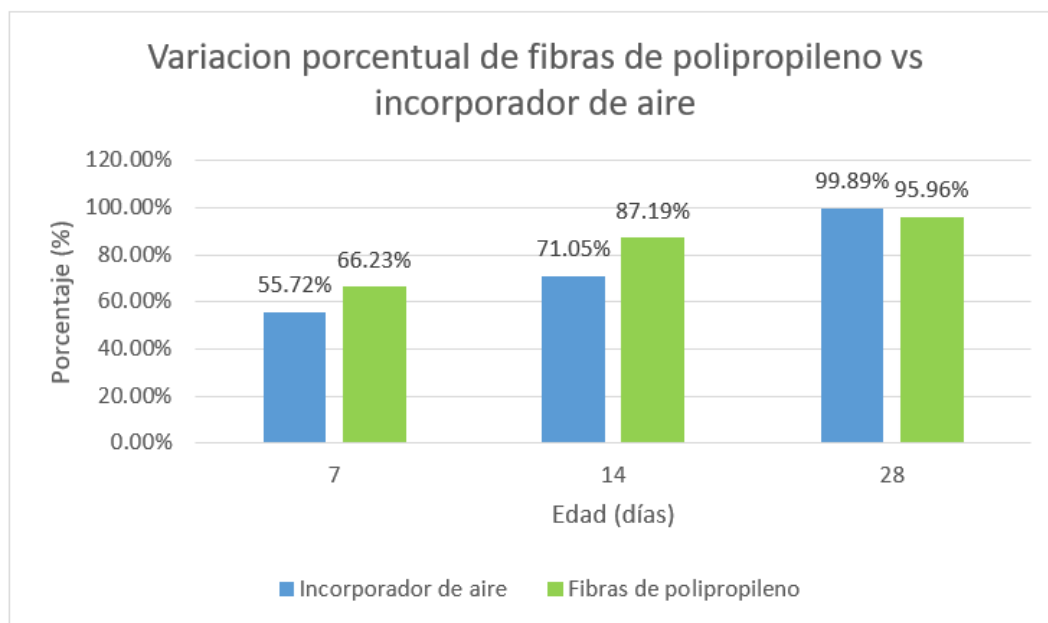
El incorporador de aire, si bien mejora la durabilidad (resistencia a ciclos de congelamiento), tiende a reducir la resistencia mecánica debido a los vacíos creados, lo cual es evidente en esta comparación a corto plazo.

A los 28 días (la edad estándar para la resistencia final de diseño del concreto), la mezcla con Incorporador de aire alcanza una resistencia ligeramente superior (209.76 Kg/cm²) en comparación con la mezcla con fibras de polipropileno (201.52 Kg/cm²).

A pesar de la gran diferencia en las edades tempranas, ambas resistencias finales son muy cercanas, sugiriendo una convergencia en el desarrollo de resistencia a medida que el concreto madura. La mezcla con incorporador de aire "alcanza" y supera levemente a la de fibras en la resistencia máxima registrada.

Figura 38

Análisis comparativo de la variación porcentual de resistencia a la compresión entre concreto con fibras de polipropileno y concreto con aire incorporado



El diagrama ilustra el patrón de desarrollo de la resistencia. Mientras que la mezcla con fibras de polipropileno es claramente superior en las edades tempranas (7 y 14 días), alcanzando un porcentaje de su resistencia final mucho mayor que la mezcla con incorporador de aire, esta última (el Incorporador de aire) logra una resistencia final máxima ligeramente superior a los 28 días (tal como se vio en la tabla).

En resumen, las fibras de polipropileno ofrecen un desarrollo de resistencia más acelerado, mientras que el incorporador de aire, aunque de desarrollo más lento, alcanza el valor de resistencia a la compresión final más alto en este estudio comparativo.

4.3. Discusión de resultados

Se obtuvieron los siguientes resultados de resistencia a la compresión al añadir fibras de polipropileno al hormigón y someterlo posteriormente a temperaturas bajo cero: a los 7 días, la resistencia era de 139,08 kg/cm² (66,23 %), lo que supone un aumento de 79,59 kg/cm² (37,9 %) en comparación con el hormigón sin tratar; a los 14 días, la resistencia era de 183,10 kg/cm² (87,19 %), lo que supone un aumento de 78,81 kg/cm² (37,53 %); y a los 28 días, la resistencia era de 201,52 kg/cm² (95,96 %), lo que supone un aumento de 61,67 kg/cm² (29,37 %) en comparación con el hormigón convencional en las mismas condiciones de exposición.

Según Valero (2015), se elaboraron siete mezclas diferentes con el fin de mejorar las propiedades mecánicas del hormigón con una resistencia de diseño de $f'_c = 210$ kg/cm². Tras 28 días, el hormigón con fibras de 19 mm de longitud y dosificaciones de 400 g/m³ y 900 g/m³ presentaba resistencias a la compresión que representaban el 102,66 % y el 105,48 % de la resistencia media requerida, respectivamente. Esto indica que la adición de fibras de polipropileno al hormigón aumenta moderadamente su resistencia final.

Tabla 37

Comparativa de resultados obtenidos de fibra de polipropileno

Resultados obtenidos de los resultados de Valero (2015)		Resultados obtenidos de esta investigación	
Descripción	Resistencia%	Descripción	Resistencia%
F. Polipropileno		F. Polipropileno (65.80gr)	
400g	102.66%	7dias	66.23%
900g	105.48%	14dias	87.19%
		28dias	95.96%

Los resultados demuestran que el hormigón con aire incorporado presenta un comportamiento inusual, pero beneficioso, en los ciclos de congelación-descongelación. En circunstancias normales, la incorporación de aire reduce la resistencia en aproximadamente un 5 % por cada 1 % de aire. Sin embargo, cuando se somete a ciclos de congelación-descongelación, este sistema protege la microestructura del hormigón, lo que da lugar a resistencias que superan a las del hormigón tradicional: 117,00 kg/cm² a los 7 días (+37,39 %), 149,20 kg/cm² a los 14 días (+21,39 %) y 209,76 kg/cm² a los 28 días (+33,30 %). Cuando se expone a condiciones adversas, el valor protector del aire en el hormigón supera con creces su efecto diluyente sobre la matriz cementosa, tal y como demuestra este fenómeno.

Tabla 38

Comparativa de resultados obtenidos de incorporador de aire

Resultados obtenidos de los resultados de Flores y Quispe (2021)		Resultados obtenidos de esta investigación	
Descripción	Resistencia%	Descripción	Resistencia%
Incorporador de Aire		Incorporador de Aire (21.04ml)	
15gr (28dias)	209.70 – (99.88%)	7dias	117.00 – (55.72%)
30rg (28dias)	222.50 – (105.95%)	14dias	149.20 – (71.05%)
40gr (28dias)	223.61 – (106.48%)	28dias	209.76 – (99.89%)

CONCLUSIONES

Primera. La incorporación de fibras de polipropileno y/o productos químicos incorporadores de aire al hormigón mediante procedimientos de tratamiento por congelación mejora las propiedades mecánicas del material. Las comparaciones con muestras de hormigón sin tratar congeladas a las mismas temperaturas revelan un aumento de la resistencia a la compresión de entre el 29,37 % y el 33,3 %.

Segunda. Cuando el hormigón se refuerza con fibras de polipropileno, se vuelve más resistente a la congelación durante el ensayo de resistencia a la compresión. Con un promedio de 139,08 kg/cm² tras 7 días, 183,10 kg/cm² tras 14 días y 201,52 kg/cm² tras 28 días, los resultados muestran que las fibras de polipropileno ayudan al endurecimiento del hormigón al favorecer el desarrollo de una resistencia suficiente en las primeras fases del proceso de curado. Sin embargo, la resistencia real es un 4,04 % inferior a la resistencia de diseño estipulada, lo que significa que no alcanza el 100 %.

Tercera. Con respecto a los resultados del ensayo de resistencia a la compresión en especímenes con aditivo incorporador de aire, se registraron valores promedio de 117,00 kg/cm² a los 7 días, 149,20 kg/cm² a los 14 días y 209,76 kg/cm² a los 28 días. Este último valor supera en un 0,11% a la resistencia obtenida con fibras de polipropileno en la misma edad de ensayo. Sin embargo, se observa que el desarrollo de la resistencia sigue una evolución más lenta en comparación, alcanzando únicamente el 71,05% de la resistencia final a los 14 días. En virtud de los resultados obtenidos, se puede afirmar que la incorporación del aditivo incorporador de aire ejerce una influencia positiva en las propiedades



mecánicas del concreto sometido a condiciones de congelamiento, favoreciendo el desarrollo progresivo de su resistencia hasta alcanzar valores superiores a los 28 días.

Cuarta. Ambos aditivos demuestran un desempeño favorable en el concreto expuesto a temperaturas de congelamiento, proporcionando una protección eficiente ante dichas condiciones. Los resultados obtenidos a los 28 días evidencian que las fibras de polipropileno alcanzaron el 95,96% de la resistencia de diseño, mientras que el incorporador de aire logró el 99,89%, lo que permite concluir que ambos métodos de tratamiento constituyen alternativas altamente eficaces para la protección del concreto en zonas con presencia de heladas.



RECOMENDACIONES

Recomendamos que se sigan investigando los aditivos adicionales para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón en climas con temperaturas bajo cero, ya que nuestro conocimiento actual sobre cómo reacciona el concreto expuesto a tales temperaturas cuando se utilizan agentes incorporadores de aire y fibras de polipropileno no alcanza la resistencia de diseño deseada.

Las muestras se prepararon para el estudio entre las 8:00 y las 12:00 del mediodía y, posteriormente, se congelaron a las 20:00, ocho horas después. Por lo tanto, para comprender mejor cómo afecta la congelación al desarrollo de la resistencia mecánica del concreto, se recomienda llevar a cabo más investigaciones en diversas fases tempranas del ciclo de vida del concreto.

La incorporación de fibras de polipropileno al concreto mejoró su rendimiento, aunque aún no alcanzó la resistencia prevista. Se recomienda encarecidamente investigar los efectos de diferentes porcentajes de dosificación en los diseños de la mezcla y de distintos tipos de fibras, como las microfibras y las macrofibras, sobre la resistencia y la durabilidad del concreto en zonas propensas a las heladas.

Se recomienda ampliar el alcance de las investigaciones relacionadas con las fibras de polipropileno, evaluando su comportamiento ante sollicitaciones de flexión, así como el análisis de las diversas manifestaciones en las propiedades físicas y mecánicas del concreto expuesto a condiciones climáticas de congelamiento, a fin de obtener un conocimiento más integral de su desempeño estructural.



BIBLIOGRAFÍA

Abanto, F. (1996). tecnología del concreto (teoría y problemas). Lima, Peru: San Marcos.

ACI Committee 211. (2016). ACI 211.1: Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete. American Concrete Institute.

ASTM International. (2017). ASTM C496/C496M: Standard test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM C39/C39M: Standard test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens. ASTM International.

ASTM International. (2018). ASTM C78/C78M: Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading). ASTM International.

Cruzado, H. Y., & Rivera, B. (2019). Influencia de tipos de incorporador de aire sobre el asentamiento, aire total, absorción, peso unitario y compresión del concreto a bajas temperaturas. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Peru.

Dionicio, E. A. (2019). Grado de correlación entre el clima antártico con las heladas en las provincias de Juliaca y Puno entre los años 2006-2016. (tesis de licenciatura). Fuerza aérea del Perú escuela de oficiales, Lima, Peru.



Flores, R. E., & Quispe, M. J. (2021). Evaluación de la adición de aditivo incorporador de aire para mejorar la resistencia del concreto a bajas temperaturas, Puno-2020. (tesis de pregrado). Cesar Vallejo, Lima, Peru.

Gonzales, P. H. (2018). Evaluación de la eficiencia del uso de aditivos en la producción de concreto a bajas temperaturas en la región Puno. (tesis de pregrado). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Puno, Peru.

Hernandez, N. (2010). Nota Tecnica: Efecto del curado sobre un concreto de resistencia de diseño de 210 kg/cm². Revista INGENIERÍA UC, 17(3), 92–96.

Isidro, G. (2017). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto f'c 210 kg/cm². (tesis de pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Peru.

Javier, C., Aire, C., & Dávila, P. (2011). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido. 2, 13.

Kolli Ramujee. (2013). Strength properties of polypropylene fiber reinforced concrete. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Volume 2, Issue 8. Page 3409 - 3413. India.

López M., E., & Mamani C., J. (2017). Influencia del nanosílice y superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo de la ciudad de Puno. Universidad Nacional del Altiplano

Manzano, J. (2014). Evaluación del Efecto en la Contracción del Concreto con Fibras Estructurales de Polipropileno. Colombia.



Martínez, J. (2009). Granulometría de agregados y módulo de finura: efectos en trabajabilidad y resistencia.

Norma ACI. (2002). Cold weather concreting ACI 306R-88. : American Concrete Institute.

NTP 339.034. (2005). Concreto Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. INACAL.

NTP 339.035. (2005). Concreto Determinación del asentamiento (cono de Abrams). INACAL.

NTP 339.088. (2008). Agua para la elaboración del concreto Requisitos. INACAL.

NTP 400.011. (2008). Agregados Clasificación, muestreo y ensayo. INACAL.

NTP 400.037. (2008). Agregados Requisitos granulométricos. INACAL.

Páez, D. F., Leal, V. E., & Restrepo, M. (2009). Influencia de los ciclos hielo-deshielo en la resistencia del concreto (Caso Tunja). Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8(15), 95–110.

Ramírez, P. (2018). Calidad del agua de mezcla y efectos en fraguado e hidratación del cemento.

Rivera, G. A. (2013). Concreto Simple. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.



Rivva, E. (2020). Ataques al Concreto por Congelación. Recuperado De.
<http://dev2.construccion.org/biblioteca/articulo/ataques-concreto-por-congelacion-1123>

Rodriguez, A. R. (2009). Concreto en climas frios, con uso de fibras de polipropileno e incorporador de aire. (tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingenieria, Lima, Peru.

Señas, L., Ortega, N., Priano, C., & Cabo, G. (2006). Durabilidad de hormigones con fibras de polipropileno frente a la corrosión de las armaduras. Ciencia e Ingeniería, 28(1), 41–47.

Sika. (2014). Concreto reforzado con fibras. Recuperado De.
https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto-Reforzado-con-Fibras_Brochure.pdf

Solis, R. G., Moreno, E. I., & Arjona, E. (2012). Resistencia de concreto con agregado de alta absorción y baja relación a/c. Revista ALCONPAT, 7(1), 21–29.

Valero, J. F. (2015). Influencia de las fibras de poliprópileno en la fisuración asociadas a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014. (tesis de pregrado) Universidad Nacional del Centro del Peru. Huancayo, Peru.



ANEXOS



ANEXO 01

MATRIZ DE CONSISTENCIA



Enfoque de investigación:
Cuantitativo

Nivel y tipo de investigación:
Según el estudio de la investigación es de nivel explicativo de tipo aplicativo

Diseño de la investigación:
cuasiexperimental

Población:
Está conformada por una población de especímenes de concreto (briquetas) producidas con la adición de aditivos; siendo así, de tipo infinita cuya cantidad de elementos es imposible de determinar.

Muestra:
Como muestra de estudio se determina 45 testigos de concreto.

Técnicas a utilizar:

- Fichas técnicas de los materiales utilizados
- Temperatura artificial
- Contenido de humedad de agregados
- Peso específico y absorción de agregados
- Peso unitario y porcentaje de vacíos de los agregados
- Análisis de granulométrico
- Asentamiento (SLUMP)
- Rotura de briquetas
- Observación y análisis de las propiedades del concreto



ANEXO 02

FICHATECNICA DE LOS ADITIVOS

BUILDING TRUST



HOJA TÉCNICA

SikaAer®

Aditivo incorporador de aire.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaAer® es un aditivo elaborado a base de agentes tensoactivos que adicionado al concreto genera microburbujas que se reparten uniformemente en la masa del concreto.

No contiene cloruros.

USOS

- Concreto sometido a bajas temperaturas.
- Concreto de subterráneos, cimientos, sobrecimientos, obras hidráulicas en general (represas, canales, etc).
- Concreto en carreteras, aeropuertos, entre otros.
- Transporte del concreto en camión tolva.
- Concreto a la vista, concreto bombeado.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

En Concreto fresco:

- Permite un aumento en la trabajabilidad y/o una disminución en el agua de amasado.
- Reduce la segregación en el concreto, especialmente en las faenas de transporte.
- Reduce la exudación en el concreto.
- Incrementa la cohesión interna de la masa del concreto.
- Permite reducir el tiempo de vibración y colocación.
- Mejora el aspecto superficial del concreto.
- Incremento de la impermeabilidad.

En Concreto endurecido:

- Aumento de las resistencias a la acción de aguas agresivas.
- Incremento de las resistencias a ciclos de hielo y deshielo.
- Rompe la capilaridad.

NORMA

Cumple con la Norma ASTM C 260.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Líquido.

COLORES

Ámbar Translucido

PRESENTACIÓN

- Paquete x 4 envases PET x 4 L.
- Balde x 20 L.
- Cilindro x 200 L.

Hoja Técnica
SikaAer®
10.11.14, Edición II

ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL SikaAer® se puede almacenar durante 1 año en su envase original cerrado, sin deterioro y en lugar fresco y bajo techo. A temperaturas bajo 5 °C se puede producir turbidez en el aditivo, lo cual no altera su efectividad.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD 1.01 - 1.02 kg/L
INFORMACIÓN DEL SISTEMA	
DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS 0.02% a 0.12% del peso del cemento.
MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE APLICACIÓN Se utiliza diluido en el agua de amasado. Mayores dosis pueden ser utilizadas si así se determina en ensayos previos con los materiales a usar en la obra. La incorporación de aire en un concreto depende principalmente de: Los agregados pétreos (granulometría y forma de los granos). Razón a/c. Dosis de cemento por m ³ de concreto elaborado. Finura del cemento. Relación áridos finos/gruesos. Tipo de mezcladora y tiempo de mezclado. Temperatura, etc. La plasticidad, a menor asentamiento se necesita mayor esfuerzo para lograr la cantidad de aire deseado.
INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD	
PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
OBSERVACIONES	La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe
NOTAS LEGALES	La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe

BUILDING TRUST



HOJA TÉCNICA

Sikafiber® PE

Fibra de Polipropileno para el refuerzo de concreto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikafiber® PE, es un refuerzo de fibra de polipropileno modificada que evita el agrietamiento de concretos y morteros.

Sikafiber® PE está compuesto por una mezcla de monofilamentos reticulados y enrollados.

Durante la mezcla Sikafiber® PE se distribuye aleatoriamente dentro de la masa de concreto o mortero formando una red tridimensional muy uniforme.

USOS

- Losas de concreto (placas, pavimentos, techos, etc)
- Mortero y concreto proyectado. (Shotcrete).
- Paneles de fachada.
- Elementos prefabricados.
- Revestimientos de canales.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

La adición de Sikafiber® PE, sustituye a la armadura destinada a absorber las tensiones que se producen durante el fraguado y endurecimiento del concreto, aportando las siguientes ventajas:

- Reducción de la fisuración por retracción e impidiendo su propagación.
- Aumento importante del índice de tenacidad del concreto.
- Mejora la resistencia al impacto, reduciendo la fragilidad.
- En mayor cuantía mejora la resistencia a la tracción y a la compresión.
- La acción del Sikafiber PE es de tipo físico y no afecta el proceso de hidratación del cemento.

DATOS BÁSICOS

FORMA

ASPECTO

Fibra

COLOR

Crema

Hoja Técnica
Sikafiber® PE
24.11.14, Edición 2



	PRESENTACIÓN Bolsa de 600 gr
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Un año en un lugar seco y bajo techo, en envases bien cerrados.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD REAL APROX. 0,91 kg/L. ABSORCIÓN DE AGUA Ninguna MÓDULO DE ELASTICIDAD 15,000 kg/cm ² ALARGAMIENTO DE ROTURA 20-30% RESISTENCIA A TRACCIÓN 300 - 350 kg/cm ² RESISTENCIA QUÍMICA Inerte a los álcalis del cemento, ácidos en general, agua de mar, residuos alimentarios y ganaderos, aceites vegetales. No se pudre y es resistente a hongos y bacteria. DURABILIDAD Indefinida TEMPERATURA DE FUSIÓN 160-170 °C LONGITUD 19 mm NORMA A los concretos a los que se agregado Sikafiber® PE cumplen con los requerimientos de la norma ASTM C 1116 PRECAUCIONES Sikafiber® PE no sustituye a las armaduras principales y secundarias resultantes del cálculo. La adición de Sikafiber® PE no evita las grietas derivadas de un mal dimensionamiento y aunque ayuda a controlarlo, no evita las grietas producto de un deficiente curado . La adición de Sikafiber® PE es compatible con cualquier otro aditivo de Sika.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO Se agrega, en planta o a pie de obra directamente a la mezcla de concreto o mortero. No disolver en el agua de amasado. Una vez añadido el Sikafiber® PE basta con prolongar el mezclado al menos 5 minutos. DOSIFICACIÓN El Sikafiber® PE se empleará para todo tipo de concretos hasta f'c = 300 kg/cm ² se debe usar 600 gr por m ³ de concreto y para concretos de alta resistencia mayores a f'c = 300 kg/m ² se colocará 1 kg/m ³ Usar de 2 a 8 Kg. En caso de mezcla de shotcrete
-----------------------------	---

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION	Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.
---	---

Hoja Técnica
Sikafiber® PE
24.11.14, Edición 2



OBSERVACIONES

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

"La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 1

la misma que deberá ser destruida"

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikafiber® PE :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro Industrial "Las Praderas
de Lurin" s/n MZ B, Lotes 5 y 6,
Lurin
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sikafiber® PE
24.11.14, Edición 2

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



© 2014 Sika Perú S.A.

FICHA TÉCNICA 2021 / V.1



- NUEVO CEMENTO - RUMI MAX

DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO RUMI MAX, tipo IP (MS) está clasificado como un cemento de ALTA DURABILIDAD, FRAGUA RÁPIDA y RESISTENTE A LOS SULFATOS. Elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental

ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

La formulación y la tecnología usada en su fabricación, hacen que CEMENTO RUMI MAX, cuente con propiedades especiales que permiten desarrollar concretos con Mayor Resistencia y de Alta Durabilidad, alargando así, la vida útil de las construcciones.

Puede ser utilizado en todo tipo de estructuras y construcción en general.

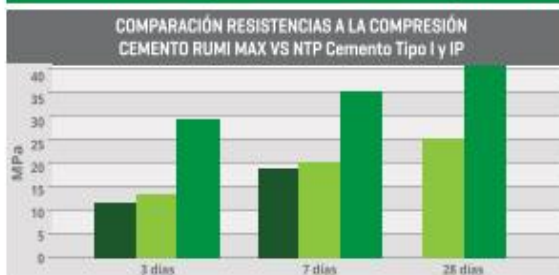
DURABILIDAD

*Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil.

REQUISITOS	CEMENTO RUMI MAX		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)	1.0 a 3.0		6.00 Máx.			
SO ₃ (%)	1.0 a 3.0		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1.0 a 4.0		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm ³)	2.8 a 2.9					
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.10		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	150 a 250		45 a 420			
Contenido de aire (%)	3.0 a 8.0		12 Máx.			
Expansión por Sulfatos a 6 meses (%) (MVS)	0.05 a 0.09		0.10 Máx.			
Calor de hidratación isotérmico a 3 días (KJ / Kg) (MH)	200 a 250		335 Máx.			
Resistencia a la compresión	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa	Kg/cm ²	MPa
3 días	210 a 300	20.6 a 29.4	133 Min	13	122 Min	12 Min
7 días	260 a 360	25.5 a 35.3	204 Min	20	194 Min	19 Min
28 días	320 a 420	31.4 a 41.2	255 Min	25		

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



- CEMENTO TIPO I
NORMA TÉCNICA
NTP 334.009 (ASTM C150)
- CEMENTO TIPO IP
NORMA TÉCNICA
NTP 334.090 (ASTM C595)
- CEMENTO RUMI
MAX

FICHA TÉCNICA 2021 / V.1



PROPIEDADES

EL CEMENTO RUMI MAX, por su composición especial, proporciona al concreto las siguientes propiedades:

- Mayor resistencia inicial.
- Fraguado rápido.
- Desarrolla altas resistencias finales.
- Reduce la reacción nociva álcali - agregado.
- Moderada resistencia a los sulfatos (MS).
- Moderado calor de hidratación (MH).
- Aumento de impermeabilidad.

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor emisión de gases de efecto invernadero durante su fabricación.

RECOMENDACIONES DE USO

- Curado adecuado con abundante agua.
- Mantener humectada la superficie para lograr la mayor resistencia y evitar fisuramiento por excesivo secado.
- Tomar precauciones para el adecuado curado en vaciados cuando se presentan bajas temperaturas.
- Asesorarse siempre con un profesional de la construcción/ingeniero civil.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

Botas
ImpermeablesProtección
RespiratoriaGuantes
ImpermeablesProtección
Ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 42.5 Kg

Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas almacenamiento.

NORMAS TÉCNICAS

EL CEMENTO RUMI MAX, cumple con la norma internacional ASTM C595 y la Norma Peruana NTP 334.090.

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días posteriores a la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.



Cuidemos juntos el medio ambiente.

Bolsas: Se sugiere reciclar el envase.





ANEXO 03

ENSAYOS DE LABORATORIO



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

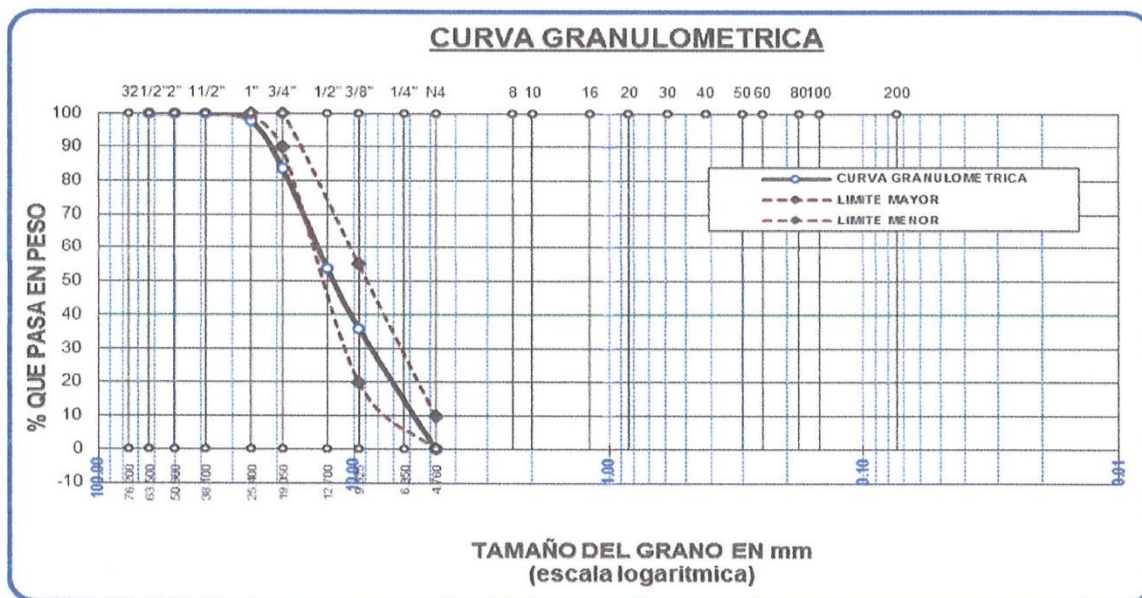
CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO GRUESO

(ASTM C136 NTP 400.012)

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFI.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso inicial = 4000.00
2 ½"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 ½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	93.78	2.34	2.34	97.66	100%	Tamaño Máximo = 1"
¾"	19.050	560.23	14.00	16.35	83.65	90 – 100%	Tamaño Máximo Nominal = 3/4
½"	12.700	1195.10	29.87	46.22	53.78		OBSERVACIONES:
3/8"	9.525	714.85	17.87	64.09	35.91	20 – 55%	
¼"	6.350						
Nº4	4.760	1436.89	35.91	100.00	0.00	0 – 10%	
BASE		0.00	0.00	0.0	100.0		
TOTAL		4000.00	100.00				
% DE PERDIDA		0.00					



Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Observaciones:

Julio Ronaldo Yutza Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

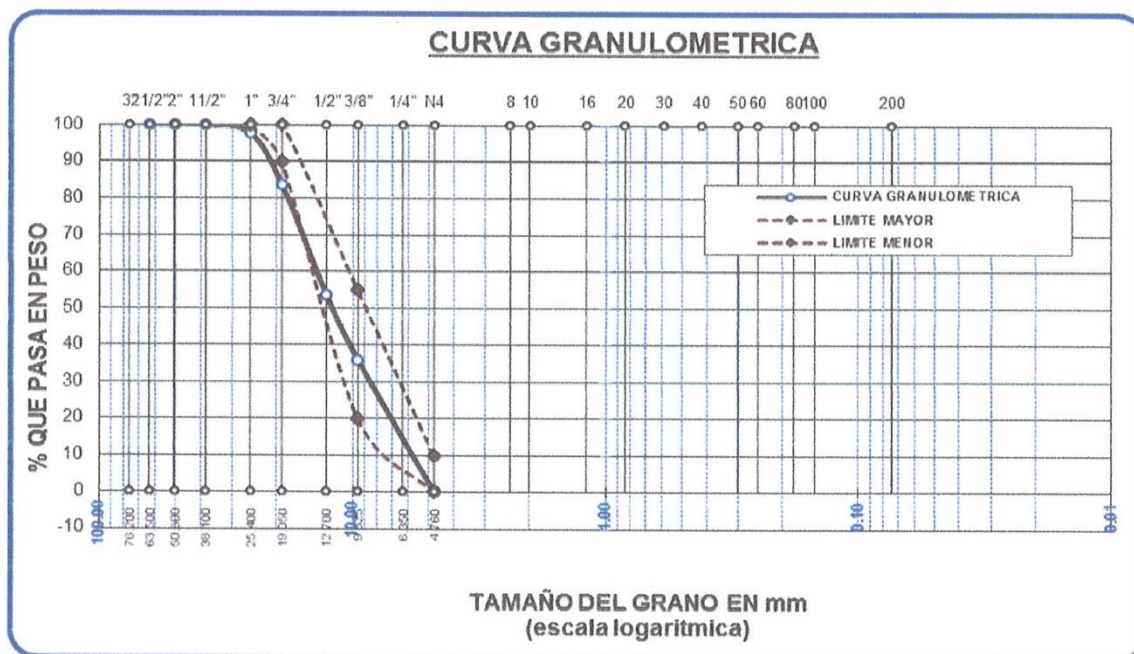
CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO FINO

(ASTM C136 NTP 400.012)

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFI.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
3"	76.200						Peso inicial = 4000.00
2 ½"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00		
2"	50.600	0.00	0.00	0.00	100.00		
1 ½"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00		
1"	25.400	93.78	2.34	2.34	97.66	100%	Tamaño Máximo = 1" Tamaño Máximo Nominal = 3/4
¾"	19.050	560.23	14.00	16.35	83.65	90 – 100%	
½"	12.700	1195.10	29.87	46.22	53.78		OBSERVACIONES:
3/8"	9.525	714.85	17.87	64.09	35.91	20 – 55%	
¼"	6.350						
Nº4	4.760	1436.89	35.91	100.00	0.00	0 – 10%	
BASE		0.00	0.00	0.0	100.0		
TOTAL		4000.00	100.00				
% DE PERDIDA		0.00					



Observaciones:



GEOESTUDIO I & M S.A.C.
RUC/206137921

Kevin Quapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

CONTENIDO DE HUMEDAD

(ASTM D - 2216 - MTC - E 108 - NTP 400.012)

HUMEDAD AGREGADO FINO

AGREGADO FINO	
P.T. M. HUMEDAD	250.56
P.T.M. SECA	243.75
P. TARRO	21.56
P AGUA	6.81
P.S.SECO	222.19
% HUMEDAD	3.06

HUMEDAD AGREGADO GRUESO

AGREGADO GRUESO	
P.T. M. HUMEDAD	201.45
P.T.M. SECA	199.27
P. TARRO	29.34
P AGUA	2.18
P.S.SECO	169.93
% HUMEDAD	1.28

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/20613137921

Kevin Quiroz Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

(ASTM C127 - ASTM C128 - NTP 400.037)

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
1	Peso de la muestra superficialmente seca	gr.	500.00
2	Peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1318.51
3	Peso de la arena superficialmente seca + peso del picnómetro + peso del agua	gr.	1621.23
4	Peso de la arena secada al horno + peso de la tara	gr.	508.54
5	Peso de la tara	gr.	22.56
6	Peso de la arena secada al horno (4-5)	gr.	485.98
RESULTADOS			
1	Peso específico aparente $(1/(2+1-3))$	gr/cm3	2.53
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2.88

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

N°	DESCRIPCIÓN	UND.	CANTIDAD
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gr.	700
2	Peso de la probeta aforado + peso del agua	gr.	1318.51
3	Peso de la probeta + peso del agua + peso de la muestra satur. super. Seca	gr.	1726.25
4	Peso de la muestra secada en el horno + peso de la tara	gr.	702.04
5	Peso de la tara	gr.	21.45
6	Peso de la muestra secada al horno (4-5)	gr.	680.59
RESULTADOS			
1	Peso específico aparente $(1/(2+1-3))$	gr/cm3	2.40
2	Porcentaje de absorción $((1-6)/6)$	%	2.85

Observaciones:



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Oulapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO UNITARIO

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

AGREGADO FINO

Peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	9975	9896	9956
Peso del molde	g	6348	6348	6348
Peso del material	g	3627	3548	3608
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.68	1.64	1.67
Promedio	g/cm3		1.663	

Peso unitario compactado

PESO UNITARIO VARILLADO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	10220	10225	10230
Peso del molde	g	6348	6348	6348
Peso del material	g	3872	3877	3882
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.792	1.794	1.796
Promedio	g/cm3		1.794	

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

PESO UNITARIO

(ASTM C29 / C29M - NTP 400.023)

AGREGADO GRUESO

Peso unitario suelto

PESO UNITARIO SUELTO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	8975	8965	8985
Peso del molde	g	6007	6007	6007
Peso del material	g	2968	2958	2978
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.37	1.37	1.38
Promedio	g/cm3		1.373	

Peso unitario compactado

PESO UNITARIO VARILLADO				
Descripción	Und.	N° de muestras		
		1	2	3
Peso del material + molde	g	9185	9170	9195
Peso del molde	g	6007	6007	6007
Peso del material	g	3178	3163	3188
Volumen del molde	cm3	2161	2161	2161
Peso unitario	g/cm3	1.47	1.46	1.48
Promedio	g/cm3		1.47	

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL SOMETIDOS A CONGELAMIENTO

Nº	Descripción	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
		(días)	kg	cm	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
1	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	10640.00	15.06	178.13	59.73	59.49	28.33%
2	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	10692.00	15.11	179.32	59.63		
3	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	10625.00	15.01	176.95	60.05		
4	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	10510.00	15.05	177.89	59.08		
5	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	10610.00	15.14	180.03	58.94		
6	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	19280.00	15.16	180.5	106.81	104.29	49.66%
7	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	18292.00	15.17	180.74	101.21		
8	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	19278.00	15.15	180.27	106.94		
9	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	18210.00	15.18	180.98	100.62		
10	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	19189.00	15.19	181.22	105.89		
11	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	24790	15.10	179.08	138.43	139.85	66.59%
12	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	25960	15.13	179.79	144.39		
13	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	23960	15.17	180.74	132.62		
14	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	24890	14.99	176.48	141.04		
15	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	25769	15.16	180.50	142.76		

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL CON INCOORPORADOR DE AIRE SOMETIDOS A CONGELMAIENTO

Nº	Descripción	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
		(días)	kg	cm	cm2	kg/cm2	kg/cm2	
1	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	20255	15.08	178.60	113.41	117.00	55.72%
2	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	22620	15.14	180.03	125.65		
3	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	19890	15.06	178.13	111.66		
4	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	20460	15.09	178.84	114.40		
5	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	21530	15.12	179.55	119.91		
6	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	26520	15.03	177.42	149.47	149.20	71.05%
7	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	27310	15.12	179.55	152.10		
8	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	25780	15.10	179.08	143.96		
9	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	26730	15.13	179.79	148.67		
10	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	27040	15.06	178.13	151.80		
11	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	38430	15.16	180.50	212.90	209.76	99.89%
12	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	36250	15.18	180.98	200.30		
13	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	39790	15.15	180.27	220.73		
14	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	37470	15.08	178.60	209.79		
15	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	36920	15.14	180.03	205.08		

Observaciones:


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC/20613137921
Kevin Quiroz Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANTERA : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

COMPRESIÓN DEL CONCRETO

(ASTM C39 / C39M - NTP 339.034)

CONCRETO NORMAL CON INCOORPORADOR DE AIRE SOMETIDOS A CONGELMAIENTO

Nº	Descripción	Edad	Carga	Diámetro	Área	Esfuerzo de rotura	Promedio	%
		(días)	kg	cm	cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	
1	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	25080	15.07	178.37	140.61	139.08	66.23%
2	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	24710	15.01	176.95	139.64		
3	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	23810	15.04	177.66	134.02		
4	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	24535	15.09	178.84	137.19		
5	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	7	25810	15.11	179.32	143.94		
6	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	32610	15.03	177.42	183.80	183.10	87.19%
7	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	33515	15.13	179.79	186.41		
8	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	30060	15.08	178.60	168.30		
9	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	36010	15.16	180.50	199.50		
10	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	14	31450	15.02	177.19	177.50		
11	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	37130	15.18	180.98	205.16	201.52	95.96%
12	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	36220	15.13	179.79	201.46		
13	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	38020	15.10	179.08	212.31		
14	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	34410	15.14	180.03	191.14		
15	Briqueta de prueba CN de 15cm x 30cm	28	35700	15.17	180.74	197.52		

Observaciones:

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

DISEÑO DE MEZCLAS

(ACI 211.1.74 / ACI 211.1.81)

PROCESO DE DISEÑO

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'_c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días

entonces la resistencia promedio $F'_{cr} = 294 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76,2 mm. A 101,6 mm).

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de:

3/4" (19.05mm)

Además, se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO (GRAVA)	AGREGADO FINO (ARENA)
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.40	2.53
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1469	1793
P.U. Suelto	1373	1663
% de Absorción	2.85	2.88
% de Humedad Natural	1.28	3.06
Módulo de Fineza	-	3.07


GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA


Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

1.- El asentamiento dado es de 3" a 4" (76,2 mm. A 101,6 mm.).

2.- Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nominal:

3/4" (19.05mm)

3.- Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de:

205 Lt/m³

4.- Como el concreto no estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de:

2.0 %

5.- Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces la relación agua/cemento (a/c) será de:

0.56

6.- De acuerdo a la información obtenida en los ítems 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:

$$(205 \text{ Lt/m}^3) / (0.56) = 366.07 \text{ Kg/m}^3$$

7.- De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.07 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1469 Kg/m³ y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.59 m³ de agregado grueso por m³ de concreto.

Por tanto, el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.59) * (1469) = 871.12 \text{ Kg/m}^3$$

8.- Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m³ de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

Volumen absoluto de agua	= (205) / (1000)	= 0.205
Volumen absoluto de cemento	= (366.07) / (2.85 * 1000)	= 0.128
Volumen absoluto de agregado grueso	= (871.12) / (2.4 * 1000)	= 0.363
Volumen de aire atrapado	= (2.0) / (100)	= 0.020
Volumen sub total	=	0.716 m ³

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiroz Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

Volumen absoluto de arena

Por tanto, el peso requerido de arena seca será de: $(1.000 - 0.716) = 0.284 \text{ m}^3$

$$(0.284) * (2.53) * 1000 = 718.52 \text{ Kg/m}^3$$

9.- De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidas los pesos de los agregados:

Agregado grueso húmedo	$(871) * (1.0354)$	= 882.27 Kg.
Agregado fino húmedo	$(718) * (1.0507)$	= 740.51 Kg.

10.- El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 719 \quad * \frac{(2.88 - 3.06)}{100} \quad - \quad 871 \frac{(2.85 - 1.25)}{100} \quad = 217.39$$

11.- Ajuste teórico de diseño por corrección de absorción de agregados para el material cemento por ser el más incidente en el diseño de mezcla: $Rac = a/c$

$$C = \frac{217}{0.56} = 387.5$$

DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO	PROPORCIÓN EN PESO SECO	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN
	(Kg/m ³)		(Kg/m ³)	PESO HUMEDO
Cemento	388	1.00	42.5	1.00
Agua	217	0.56	23.8	23.8
Agreg. Grueso	882	2.28	96.9	2.4
Agreg. Fino	741	1.91	81.18	1.7
Aire	2.0 %		2.0 %	

11.08 BOLSAS / m³ DE CEMENTO

DOSIFICACIÓN POR PESO:

Cemento	: 42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	: 81.18 Kg.
Agregado grueso húmedo	: 96.9 Kg.
Agua efectiva	: 23.8 Kg.



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921

Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

PROYECTO : EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

SOLICITANTE : Bach. JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA

UBICACIÓN : JULIACA

CANtera : ISLA

FECHA : NOBIEMBRE DEL 2025

DISEÑO DE MEZCLAS

(ACI 211.1.74 / ACI 211.1.81)

PROCESO DE DISEÑO

El requerimiento promedio de resistencia a la compresión $F'_c = 210 \text{ Kg./cm.}^2$ a los 28 días

entonces la resistencia promedio $F'_{cr} = 294 \text{ Kg./cm.}^2$

Las condiciones de colocación permiten un asentamiento de 3" a 4" (76,2 mm. A 101,6 mm).

Dado el uso del agregado grueso, se utilizará el único agregado de calidad satisfactoria y económicamente disponible el cual cumple con las especificaciones. Cuya graduación para el diámetro máximo nominal es de:

3/4" (19.05mm)

Además, se indica las pruebas de laboratorio para los agregados realizadas previamente:

RESULTADOS DE LABORATORIO

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	AGREGADO GRUESO (GRAVA)	AGREGADO FINO (ARENA)
P.e de Sólidos		
P.e SSS	2.40	2.53
P.e Bulk		
P.U. Varillado	1469	1793
P.U. Suelto	1373	1663
% de Absorción	2.85	2.88
% de Humedad Natural	1.28	3.06
Módulo de Fineza	-	3.07



GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC 20613137921

Kevin Quilapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

Los cálculos aparecerán únicamente en forma esquemática:

1.- El asentamiento dado es de 3" a 4" (76,2 mm. A 101,6 mm.).

2.- Se usará el agregado disponible en la localidad, el cual posee un diámetro nominal:

3/4" (19.05mm)

3.- Puesto que no se utilizará incorporador de aire, pero la estructura estará expuesta a intemperismo severo, la cantidad aproximada de agua de mezclado que se empleará para producir el asentamiento indicado será de:

184 Lt/m³

4.- Como el concreto no estará sometido a intemperismo severo se considera un contenido de aire atrapado de:

5.0 %

5.- Como se prevee que el concreto no será atacado por sulfatos, entonces la relación agua/cemento (a/c) será de:

0.47

6.- De acuerdo a la información obtenida en los ítems 3 y 4 el requerimiento de cemento será de:

$$(205 \text{ Lt/m}^3) / (0.47) = \mathbf{391.5 \text{ Kg/m}^3}$$

7.- De acuerdo al módulo de fineza del agregado fino = 3.07 el peso específico unitario del agregado grueso varillado-compactado de 1469 Kg/m³ y un agregado grueso con tamaño máximo nominal de 3/4" (19.05mm) se recomienda el uso de 0.59 m³ de agregado grueso por m³ de concreto.

Por tanto, el peso seco del agregado grueso será de:

$$(0.59) * (1469) = \mathbf{871.12 \text{ Kg/m}^3}$$

8.- Una vez determinadas las cantidades de agua, cemento y agregado grueso, los materiales resultantes para completar un m³ de concreto consistirán en arena y aire atrapado. La cantidad de arena requerida se puede determinar en base al volumen absoluto como se muestra a continuación.

Con las cantidades de agua, cemento y agregado grueso ya determinadas y considerando el contenido aproximado de aire atrapado, se puede calcular el contenido de arena como sigue:

Volumen absoluto de agua	= (184) / (1000)	= 0.184
Volumen absoluto de cemento	= (391.5) / (2.85 * 1000)	= 0.363
Volumen absoluto de agregado grueso	= (871.12) / (2.4 * 1000)	= 0.363
Volumen de aire atrapado	= (2.0) / (100)	= 0.020
Volumen sub total	=	0.734 m ³

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
 RUC/ 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
 TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 308050



GEOESTUDIO J & M S.A.C. RUC: 20613137921
Laboratorio de Suelos, Concreto y Pavimentos

Volumen absoluto de arena

Por tanto, el peso requerido de arena seca será de: $(1.000 - 0.734) = 0.266 \text{ m}^3$

$$(0.266) * (2.53) * 1000 = 672.98 \text{ Kg/m}^3$$

9.- De acuerdo a las pruebas de laboratorio se tienen % de humedad, por las que se tiene que ser corregidos los pesos de los agregados:

Agregado grueso húmedo	$(871) * (1.0354)$	= 882.27 Kg.
Agregado fino húmedo	$(673) * (1.0507)$	= 693. 57 Kg.

10.- El agua de absorción no forma parte del agua de mezclado y debe excluirse y ajustarse por adición de agua. De esta manera la cantidad de agua efectiva es:

$$205 - 871.12 * \frac{(2.85 - 1.28)}{100} - 673 \frac{(2.88 - 3.06)}{100} = 196.47$$

11.- Ajuste teórico de diseño por corrección de absorción de agregados para el material cemento por ser el más incidente en el diseño de mezcla: $Rac = a/c$

$$C = \frac{197}{0.47} = 418.02$$

DOSIFICACIÓN

AGREGADO	DOSIFICACIÓN EN PESO SECO	PROPORCIÓN EN PESO SECO	DOSIFICACIÓN EN PESO HÚMEDO	PROPORCIÓN EN VOLUMEN
	(Kg/m ³)		(Kg/m ³)	PESO HUMEDO
Cemento	418	1.00	42.5	1.00
Agua	196	0.47	19.98	20.0
Agreg. Grueso	882	2.11	89.68	2.2
Agreg, Fino	694	1.66	70.42	1.5
Aire	5.0 %		5.0 %	

11.08 BOLSAS / m³ DE CEMENTO

DOSIFICACION POR PESO:

Cemento	: 42.50 Kg.
Agregado fino húmedo	: 70.42Kg.
Agregado grueso húmedo	: 89.68g.
Agua efectiva	: 20.0 kg.

GEOESTUDIO J & M S.A.C.
RUC: 20613137921
Kevin Quiapaza Ortiz
TÉCNICO LABORATORISTA

Julio Ronaldo Yucra Quispe
INGENIERO CIVIL
CIP. 308059



ANEXO 1
FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN

AUTORIZACIÓN PARA LA INCORPORACIÓN DE LOS
TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN
EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL UANCV

Formato digital ☒

Fecha de entrega: 05-05-2026

1. Datos del autor (es):

Nombres y Apellidos: JORGE JUAN CASTILLO DE LA PEÑA
Dirección: URB. EL REMANSO MZ. B LT. 9 /AREQUIPA
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: 46647555
Teléfono: 963363791 email: jorjua.civil2203@gmail.com

Nombres y Apellidos: _____
Dirección: _____
DNI/Carné de Extranjería/Pasaporte N°: _____
Teléfono: _____ email: _____

Facultad y/o Escuela de Posgrado: INGENIERÍAS Y CIENCIAS PURAS
Escuela Profesional o Mención: INGENIERÍA CIVIL
Título o Grado Académico a optar: INGENIERO CIVIL
Asesor: Mgr. FRANZ JOSEPH BARAHONA PERALES

Esta obra se encuentra dentro de las siguientes denominaciones:

Trabajo de Investigación ☐ Tesis ☒ Trabajo de Suficiencia Profesional ☐ Trabajo Académico ☐

Título: EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO CON LA ADICIÓN DE FIBRAS DE
POLIPROPILENO Y ADITIVO INCORPORADOR DE AIRE BAJO CONDICIONES DE CONGELAMIENTO
EN LA REGIÓN DE PUNO – 2025

Palabras claves, (3 a 5 términos): Concreto, fibras de polipropileno, incorporador de aire, resistencia al congelamiento.

¿Esta obra se desarrolló en la UANCV ^{1,2}?

1, 2

¹ Indicar si su producción intelectual ha empleado recursos tales como, instalaciones, laboratorios, insumos, equipos, bases de datos, asesoría técnica por parte del personal de la UANCV, financiamiento, entré otros relacionados.

² Si su producción intelectual se desarrolló en la UANCV totalmente o parcialmente, deberá autorizar el depósito en el Repositorio de manera obligatoria.



2. Referencia de tesis:

☐ Bachiller ☒ Título ☐ 2da Especialidad ☐ Maestría ☐ Doctorado

3. Licencias:

a) Licencia estándar:

Bajo los siguientes términos, autorizo el depósito de mi tesis en el Repositorio Digital de la UANCV.

Con la autorización de depósito de mi producción Intelectual, otorgo a la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" una licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar al público, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público mi producción intelectual (incluido el resumen), en formato físico o digital, en cualquier medio, conocido o por conocerse, a través de los diversos servicios por la Universidad, creados o por crearse, tales como el Repositorio Digital de tesis UANCV, colección de producción intelectual, entre otros, en el Perú y en el extranjero por el tiempo y veces que considere necesarias, y libres de remuneraciones.

En virtud de dicha licencia, la Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" podrá reproducir mi producción intelectual en cualquier tipo de soporte y en más de un ejemplar, sin modificar su contenido, solo con propósitos de seguridad, respaldo y preservación.

Declaro que la producción intelectual es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, coautoría con titularidad compartida, y me encuentro facultado a conceder la presente licencia y, asimismo, garantizo que dicha producción intelectual no infringe derechos de autor de terceras personas.

La Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez" consignará el nombre del y/o los autor(es) de la producción intelectual, y no le hará ninguna modificación más que la permitida en la licencia.

Autorizo su publicación (marque con una X)

- ☒ Sí, autorizo que se deposite inmediatamente.
- ☐ Sí, autorizo que se deposite a partir de la fecha (d/m/a): _____
- ☐ No autorizo.

b) Licencia CREATIVE COMMONS 4.0 INTERNACIONAL:

Si usted concede una licencia CREATIVE COMMONS sobre su producción intelectual, mantiene la titularidad de los derechos de autor de esta y, a la vez, permite que otras personas puedan reproducirla, comunicarla al público y distribuir ejemplares de esta, bajo las condiciones siguientes:

¿Quiere permitir usos comerciales de su producción intelectual?

Sí: significa que usted permite la reproducción, distribución y comunicación pública de la producción intelectual incluso con fines comerciales.

No: significa que usted permite la reproducción, y comunicación pública de la producción intelectual, pero sin fines comerciales.

- ☐ Sí autorizo
- ☒ No autorizo



Jurisdicción de su Licencia

Todas las licencias CREATIVE COMMONS son de ámbito mundial, sin embargo, usted puede elegir entre la opción "internacional" o una adaptada a su jurisdicción, como para el caso peruano.

La opción "internacional" emplea el lenguaje y la terminología de los tratados internacionales; en cambio, la adaptada a su jurisdicción, recoge las particularidades de la legislación peruana.

En consecuencia, **la opción "internacional" goza de una mayor eficacia a nivel mundial, gracias a que tiene jurisdicción neutral.** Mientras que la opción adaptada a la jurisdicción del Perú goza de una mayor eficacia ante los tribunales peruanos.

☐ Internacional

☒ Nacional

Línea de investigación: TECNOLOGÍA DE MATERIALES – P17

Firma de Autor



huella digital

05 de mayo del 2026

Fecha