

UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EFECTOS DEL POLIETILENO RECICLADO DE
ALTA DENSIDAD EN LAS CUALIDADES DEL
HORMIGÓN BAJO PERIODOS DE CONGELACIÓN Y
DESHIELO”**

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

PRESENTADO POR:

Bach. Barreto Arias Julio Valentin

ASESOR:

ING. Córdova Zorrilla Nataly Lucia

Línea de Investigación Institucional:

Nuevas Tecnologías y Procesos

HUANCAYO – PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios y mis padres

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por bendecirme con la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia y por ser nuestro apoyo y fortaleza en momentos difíciles y de debilidad.

Expreso mi agradecimiento a nuestro a mis padres, Ernesto y Gladys, quienes han sido los principales impulsores de nuestros sueños, confiando y creyendo en nuestras expectativas. Apreciamos los consejos, valores y principios que nos han inculcado.

También queremos agradecer a nuestros profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Los Andes, por compartir sus conocimientos durante nuestra formación profesional. Estamos agradecidos por todo lo que han aportado a lo largo de este proceso.

CONSTANCIA DE SIMILITUD

N ° 0029 - FI -2024

La Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones, hace constar mediante la presente, que la TESIS; Titulado:

EFFECTOS DEL POLIETILENO RECICLADO DE ALTA DENSIDAD EN LAS CUALIDADES DEL HORMIGÓN BAJO PERIODOS DE CONGELACIÓN Y DESHIELO

Con la siguiente información:

Con Autor(es) : **BACH. BARRETO ARIAS JULIO VALENTIN**
Facultad : **INGENIERÍA**
Escuela Académica : **INGENIERÍA CIVIL**
Asesor(a) : **ING. CORDOVA ZORRILLA NATALY LUCIA**

Fue analizado con fecha **15/01/2024**; con **115 págs.**; con el software de prevención de plagio (Turnitin); y con la siguiente configuración:

Excluye Bibliografía.

X

Excluye citas.

X

Excluye Cadenas hasta 20 palabras.

X

Otro criterio (especificar)

El documento presenta un porcentaje de similitud de **13 %**.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentajes establecidos en el artículo N°15 del Reglamento de uso de Software de Prevención de Plagio Versión 2.0. Se declara, que el trabajo de investigación: **Si contiene un porcentaje aceptable de similitud.**

Observaciones:

En señal de conformidad y verificación se firma y sella la presente constancia.

Huancayo, 15 de enero de 2024.



MTRA. LIZET DORIELA MAÑARI MINCAMI
JEFA

Oficina de Propiedad Intelectual y Publicaciones

CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
CONTENIDO	v
CONTENIDO DE TABLAS	vii
CONTENIDO DE GRÁFICOS	viii
CONTENIDO DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática	13
1.2. Delimitación del problema	14
1.2.1. Delimitación temporal	14
1.2.2. Delimitación espacial	14
1.2.3. Delimitación conceptual	14
1.3. Formulación del problema	14
1.3.1. Problema General	14
1.3.2. Problema (s) Especifico (s)	14
1.4. Justificación	14
1.4.1. Social	14
1.4.2. Teórica	15
1.4.3. Metodológica	15
1.5. Objetivos	16
1.5.1. Objetivo General	16
1.5.2. Objetivo(s) Específico(s)	16

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales)	17
2.2. Bases Teóricas o Científicas	20
2.3. Marco Conceptual (de las variables y dimensiones)	41

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General	44
------------------------------	----

3.2.	Hipótesis Específica (s)	44
3.3.	Variables (definición conceptual y operacional)	44

**CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA**

4.1.	Método de Investigación	47
4.2.	Tipo de Investigación	47
4.3.	Nivel de Investigación.....	47
4.4.	Diseño de la Investigación.....	48
4.5.	Población y muestra	48
4.6.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	49
4.7.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	49
4.8.	Aspectos éticos de la Investigación.....	50

**CAPÍTULO V
RESULTADOS**

5.1.	Descripción de resultados	51
5.2.	Contratación de hipótesis	69
	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	78
	Conclusiones.....	84
	Recomendaciones	86
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
	ANEXOS.....	90
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	91
	Matriz de operacionalización de las variables	92
	Matriz de operacionalización del instrumento.....	94
	Instrumento de investigación y constancia de su aplicación	96
	Fotos de la aplicación del instrumento.	100

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación por tipos y aplicaciones de plástico	22
Tabla 2. Clasificación del plástico con sus aplicaciones – termoestables.....	23
Tabla 3 Clasificación del plástico con sus aplicaciones – elastómeros	24
Tabla 4. Propiedades físicas del PEAD.....	24
Tabla 5: Propiedades mecánicas del PEAD	25
Tabla 6. Granulometría del agregado fino	29
Tabla 7. Porcentaje de las partículas lícitas para el Agregado Fino	29
Tabla 8. Granulometría del agregado grueso	31
Tabla 9. Límites de Partículas Perjudiciales	32
Tabla 10. Clasificación según tamaño máximo y módulos de fineza.....	33
Tabla 14. Población experimental	48
Tabla 12: Porcentaje de aire en la mezcla sin corregir	56
Tabla 13: Consolidación de datos porcentual del aire en la mezcla corregida.....	56
Tabla 14: Comparación estadística de asentamiento (Slump).....	69
Tabla 15: Comparación de resultados del ensayo de exudación	70
Tabla 16: Diferencia y porcentaje de resultados de las muestras – grupo control y el grupo experimental	70
Tabla 17: Comparación estadística de la incorporación de aire (%)	71
Tabla 18: Consolidación de las pruebas de la compresión sometida a la resistencia – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)	74
Tabla 19: Consolidación de las pruebas de la compresión sometida a la resistencia – grupo control (sin PEAD) y el grupo Experimental (con PEAD) – sometido a ciclos de congelación y desleimiento.....	76

CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Consolidación de los datos de las Pruebas – grupo control (sin PEAD).....	51
Gráfico 2: Consolidación de los datos de las Pruebas del grupo experimental (con PEAD– HDPE).....	52
Gráfico 3: Nivel Volumen Exudado en el tiempo – grupo control (sin PEAD).....	53
Gráfico 4: Nivel Volumen Exudado acumulado – grupo control (sin PEAD).....	53
Gráfico 5: Velocidad de exudación en el tiempo – grupo control (sin PEAD).....	53
Gráfico 6: Nivel Volumen Exudado en el tiempo del grupo experimental (con PEAD)	54
Gráfico 7: Nivel Volumen Exudado acumulado del grupo experimental (con PEAD)..	54
Gráfico 8: <i>Velocidad de exudación en el tiempo del grupo experimental (con PEAD)</i> .	55
Gráfico 9: Consolidación en porcentaje sobre el Aire Incorporado en la mezcla.	55
Gráfico 10: Consolidación de datos sobre el Aire Incorporado corregido en la mezcla.	56
Gráfico 11: Representación gráfica de la curvatura de la resistencia a la prueba N° 01 del diseño de mezcla – grupo control (sin PEAD–HDPE)	57
Gráfico 12: Representación gráfica de la curvatura de la resistencia a la prueba N° 01 del diseño de mezcla del grupo experimental (con PEAD)	57
Gráfico 13: Capacidad en la comprensión en su resistencia en 3 días – grupo control (sin PEAD).....	58
Gráfico 14: Capacidad en la comprensión en su resistencia en 07 días – grupo control (sin PEAD–HDPE)	59
Gráfico 15: Capacidad en la comprensión en su resistencia en 14 días – grupo control (sin PEAD)	59
Gráfico 16: Capacidad en la comprensión en su resistencia en 21 días – grupo control (sin PEAD)–	60
Gráfico 17: Capacidad en la comprensión en su resistencia en 28 días – grupo control (sin PEAD)	60
Gráfico 18: Muestreo de datos a los 03 días con PEAD	61
Gráfico 19: Muestreo de datos a los 07 días con PEAD	62
Gráfico 20: Muestreo de datos a los 14 días con PEAD	62
Gráfico 21: Muestreo de datos a los 21 días con PEAD	63
Gráfico 22: Muestreo de datos a los 28 días con PEAD	63

Gráfico 23: Muestreo de datos 03 días sin PEAD	64
Gráfico 24: Muestreo de datos 07 días sin PEAD	64
Gráfico 25: Muestreo de datos 14 días sin PEAD	65
Gráfico 26: Muestreo de datos 21 días sin PEAD	65
Gráfico 27: Muestreo de datos 21 días sin PEAD	66
Gráfico 28: Muestreo de datos a los 03 días con PEAD	66
Gráfico 29: Muestreo de datos a los 07 días con PEAD	67
Gráfico 30: Muestreo de datos a los 14 días con PEAD	67
Gráfico 31: Muestreo de datos a los 21 días con PEAD	68
Gráfico 32: Muestreo de datos a los 28 días con PEAD	68
Gráfico 33: Análisis comparativo de los volúmenes acumulados de exudación – grupo control y experimental	71
Gráfico 34: Comparativo Fuerza sobre Tiempo – grupo control (sin PEAD) y experimental (con PEAD)	72
Gráfico 35: Comprensión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)	73
Gráfico 36: Comprensión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)	74
Gráfico 37: Comprensión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD) llevado a congelación y desleimiento.....	75
Gráfico 38: Promedio de resistencia segun la curva de valor en – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD) – sometido a periodos de congelación y desleimiento.	76

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1. Representación grafica sobre reciclaje de plástico PEAD/ HDPE	25
Figura 2: Temperatura promedio tomada mínima y máxima en Huancayo año 2019 ...	35
Figura 3: Temperatura al mes de Julio – Huancayo 2019.....	36
Figura 4: Temperatura al mes de Agosto – Huancayo.....	37
Figura 5: Las temperaturas que se dieron en Huancayo en el 2019	37
Figura 6: El Proceso de la Presión hidráulica (Fernández, 2007).....	38
Figura 7: Presión Osmótica (Fernández, 2007).	39
Figura 8: Comportamiento de concreto ante deterioro.	41

RESUMEN

Esta investigación se lleva a cabo al abordar como problema principal la siguiente interrogante: ¿Cuál es el impacto del polietileno reciclado de alta densidad en las propiedades del hormigón durante períodos de congelación y deshielo? En este contexto, el objetivo general consistió en examinar el efecto del polietileno reciclado de alta densidad en las características del hormigón bajo condiciones de congelación y deshielo. La hipótesis general comparada sostuvo que el polietileno reciclado de alta densidad aumenta las propiedades del hormigón durante períodos de congelación y deshielo. Para llevar a cabo la investigación, se aplicó el método científico de tipo aplicado, con un enfoque descriptivo–explicativo y un diseño experimental. La población de estudio se conformó con 180 muestras de hormigón que contenían polietileno reciclado de alta densidad, y en este caso, se optó por el enfoque de censo en lugar de utilizar la técnica de la muestra. Concluyendo la investigación, se determinó que el uso de polietileno reciclado de alta densidad incrementa de manera esencial las propiedades del hormigón durante períodos de congelación y deshielo, generando resultados favorables en aspectos como la exudación, la integración con el aire, el tiempo de solidificación y la resistencia a la presión en la mezcla del hormigón.

Palabras claves: cualidades de hormigón, Polietileno reciclado de alta densidad, desleimiento y periodos de congelación.

ABSTRACT

This research is carried out by addressing the following question as the main problem: What is the impact of recycled high-density polyethylene on the properties of concrete during periods of freezing and thawing? In this context, the general objective was to examine the effect of recycled high-density polyethylene on the characteristics of concrete under freezing and thawing conditions. The general comparative hypothesis held that recycled high-density polyethylene increases the properties of concrete during freezing and thawing periods. To carry out the research, the applied scientific method was applied, with a descriptive-explanatory approach and an experimental design. The study population consisted of 180 concrete samples containing recycled high-density polyethylene, and in this case, the census approach was chosen instead of using the sample technique. Concluding the research, it was determined that the use of high-density recycled polyethylene essentially increases the properties of concrete during periods of freezing and thawing, generating favorable results in aspects such as exudation, integration with air, solidification time and the pressure resistance in the concrete mix.

Keywords: concrete qualities, recycled high-density polyethylene, thinning and freezing periods.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Dado que el planeta enfrenta uno de los desafíos más complejos, la contaminación por plásticos, la cual, debido a su persistencia a lo largo del tiempo, amenaza el equilibrio del ecosistema. La (ONU-PNUMA, 2021) informa que aproximadamente 13 toneladas de plástico se vierten en los océanos, representando el 85% de los desechos oceánicos. Advierten que para 2040–2050, se espera que la cantidad de plástico en los océanos casi se triplique, alcanzando entre 23 y 37 millones de toneladas anuales. Esto equivaldría a unos 50 kg de plástico por metro de costa en todo el mundo, amenazando a diversas especies marinas con envenenamiento, alteraciones del comportamiento, inanición y asfixia. Los desechos plásticos también afectan a ecosistemas como arrecifes de coral, manglares y praderas marinas al obstaculizar la recepción de oxígeno y luz.

En el contexto nacional, el país exhibe una amplia diversidad climática, desde zonas costeras hasta áreas selváticas, cada una con características climáticas específicas. Un ejemplo es Huancayo, en la Región Junín, donde se experimenta un fenómeno climático conocido como ciclo hielo–deshielo. En climas más fríos, como este, la saturación del concreto durante el congelamiento puede provocar su deterioro en pavimentos, techos y revestimientos de canales, entre otras infraestructuras.

La investigación se centra en la aplicación de conceptos de reutilización de residuos plásticos, especialmente resina de alta densidad (HDPE), en hormigones. Se someterán a pruebas de congelación y descongelación para encontrar soluciones

sostenibles que reduzcan la contaminación ambiental y determinar cómo afecta el HDPE a las propiedades mecánicas del hormigón durante las fases de congelación y descongelación.

1.2. Delimitación del problema

1.2.1. Delimitación temporal

El proceso de estudio y la duración se llevará a cabo con los registros dado en el año 2021 a 2022.

1.2.2. Delimitación espacial

Este estudio fue llevado a cabo en la ciudad de Huancayo, utilizando polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado obtenido de un centro de acopio de reciclaje de cartón, sintetizado con material proveniente de la cantera de Pilcomayo.

1.2.3. Delimitación conceptual

Los ensayos y pruebas resultaron ser onerosos, lo cual conllevó la necesidad de realizar ajustes económicos en el presupuesto original propuesto.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿Cómo afecta el HDPE reciclado a las propiedades del hormigón $f_c = 280$ kg/cm² expuesto a periodos de congelación y desleimiento?

1.3.2. Problema (s) Especifico (s)

- ¿Cómo afecta el HDPE reciclado a la maniobrabilidad del hormigón?
- ¿Cómo afecta el HDPE reciclado al sangrado del concreto?
- ¿Cómo afecta el HDPE reciclado a la entrada de aire del hormigón?

1.4. Justificación

1.4.1. Social

La investigación actual desempeña un papel fundamental en la mejora de las condiciones ambientales de la comunidad al incorporar polietileno de alta densidad reciclado en la mezcla de concreto. Además, mediante el uso

de estas fibras, se logra simular los efectos del cambio climático a través de las fases de congelación y descongelación.

Desde una perspectiva social, el impacto de este estudio es positivo, ya que no solo hace uso de residuos plásticos, sino que también incide significativamente en la mejora del clima medioambiental, un problema global causado por la actividad humana y que debe abordarse de manera urgente. Las acciones individuales contaminan el medio ambiente, generando graves consecuencias para la humanidad. Además, esta investigación aporta al sector de la construcción al aprovechar el polietileno de alta densidad (HDPE), un material de desecho que se encuentra en grandes cantidades en todo el mundo, como una alternativa al agregado de piedra en la mezcla de concreto convencional.

1.4.2. Teórica

Los fundamentos en los que nos apoyamos se encuentran en bases teóricas, como la proporcionada por Pérez Porto y Gardey (2015), quienes explican que los polímeros, también conocidos como plásticos, están compuestos por resinas, proteínas y otras sustancias. Estos materiales son moldeables, lo que permite cambiar su forma de manera permanente. Asimismo, Salcedo (1999) aporta a nuestra base teórica al describir el concreto, también llamado hormigón, como un material de construcción compuesto por árido, agua y cemento, siendo este último el aglomerante que llena los espacios entre el árido fino y el grueso.

Es importante destacar que estas conceptualizaciones no provienen de nuestra propia interpretación, sino que son aportes valiosos de estudiosos que han dedicado su tiempo y conocimiento para el beneficio de la sociedad y la mejora de la calidad de vida.

1.4.3. Metodológica

Este estudio aborda la variación porcentual del polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado y cómo influye tanto en el concreto fresco como en el endurecido. Estos materiales se sometieron a ciclos de congelación y descongelación, evaluándose su resistencia a la compresión a intervalos de 3, 7, 14, 21 y 28 días.

La metodología empleada sigue una serie de ensayos de laboratorio, delineados por un plan experimental detallado. Este plan define las etapas analíticas posteriores de las muestras ensayadas, buscando obtener mejoras en las propiedades físicas y mecánicas de la mezcla de concreto. Estas mejoras, a su vez, pueden ser aplicadas en diversas áreas como estructuras, pavimentos y otros usos dentro del ámbito de la construcción.

Este método de investigación tiene la versatilidad de ser utilizado no solo con HDPE reciclado, sino también con otros áridos que impactan las propiedades del hormigón. Por ende, sirve como base para futuros estudios similares que exploren diversas combinaciones de recursos en el contexto de la construcción.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Análisis de mejora de HDPE reciclado en propiedades de hormigones $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ sometidos a periodos de congelación–desleimiento.

1.5.2. Objetivo(s) Específico(s)

- Determinación del efecto del HDPE reciclado sobre la maniobrabilidad del hormigón.
- Estimación del efecto del HDPE reciclado en la impermeabilización del hormigón.
- Cálculo de conversión de HDPE reciclado durante la incorporación de aire al hormigón.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales)

Antecedentes Nacionales

Pinto (2018) presenta su investigación cuyo objetivo principal fue elaborar un diseño estándar de hormigón para un cemento específico y calcular la resistencia a la compresión. La metodología incluye tres muestras por muestra de concreto, con ensayos realizados a las edades de 7, 14 y 28 días. Los resultados indican que el vulcanizador empapado en agua mostró una resistencia un 16.6% superior en comparación con el tratamiento protegido por papel (0.33%), protegido con aserrín (3.75%), protegido con polietileno burbujado (1.79%), y protegido por papel Tecnopor (5.18%). Estos resultados, obtenidos a los 28 días, concluyen que las muestras sumergidas en agua presentaron un 16.6% más de resistencia que el tratamiento por aspersión a esa edad. Lector Lafitte & Villarreal Barragán (2018) desarrollaron la investigación titulada “Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto de Nuevo Chimbote”. El objetivo común es desarrollar un ecohormigón con resistencias a compresión de 175 y 210 Kg/cm² utilizando plástico PET, un envase descartable para líquidos. La metodología implica la rotura de probetas con PET a los 7, 14 y 28 días. Los resultados comparan el hormigón simple con el hormigón con PET, denominado “ecohormigón”. Este último resultó más ligero, y la resistencia a compresión se redujo en un 14.61% a los 28 días con el diseño adicional de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. La

conclusión del estudio es que el tereftalato de polietileno no mejoró las propiedades mecánicas del concreto.

Tagle & Zapana (2018) en su trabajo de investigación tuvo como el objetivo general de este estudio es analizar la degradación del concreto elaborado con fibras de polipropileno y aire incorporado, especialmente en climas fríos. La metodología del estudio implica la creación de un cambio de temperatura interno en las muestras de concreto mediante un proceso cíclico de congelación y descongelación. En estado fresco, el concreto se deteriora en un solo ciclo. El trabajo demostró cómo este deterioro del concreto ocurre durante la congelación cíclica en edades tempranas. Se llevaron a cabo pruebas de congelación en muestras de hormigón y prismas en diferentes tiempos desde la producción, específicamente a las edades de 1 hora, 12 horas y 24 horas, comparándolos con muestras no congeladas. Luego se realizaron pruebas de resistencia a la compresión, permeabilidad y absorbencia. La conclusión del estudio indicó que el uso de polipropileno y aire incorporado ayuda a resistir el daño y reduce la probabilidad de que el concreto sufra daño a la compresión debido al endurecimiento en frío de la muestra inicial.

Medina & Quispe (2017) presentan su proyecto de investigación donde el objetivo general de este proyecto es estimar el comportamiento de diferentes tipos de concreto, como polietileno al papel, polietileno al aserrín, polietileno expandido (Tecnopor), polietileno a las burbujas de aire, espuma de poliuretano y el aditivo SIKA ANTISOL S, para resistir ciclos de congelamiento y descongelamiento. La metodología utilizada implica realizar pruebas de compresión después de los primeros siete días en cemento de clase I y clase IP, sometidos a ciclos de congelamiento y descongelamiento cíclicos. Los resultados indican que la máxima protección para evitar daños en el concreto durante este fenómeno climático se logra con polietileno al aserrín y espuma de poliestireno. La lámina de poliestireno expandido (Styrofoam) se destaca por sus excelentes propiedades térmicas frente a ciclos repetidos de congelación y descongelación. En conclusión, la combinación de polietileno con aserrín y espuma de poliestireno ofrece una protección eficaz y mantiene la resistencia del concreto frente a estos ciclos fenomenales.

López & Mamani (2017) desarrollaron su investigación cuyo objetivo general del estudio es examinar el comportamiento del concreto en relación con su resistencia a la compresión y porosidad, considerando la adición de nano sílice al proceso

simulado de congelación y descongelación. Los resultados indican que, al agregar más nano sílice al concreto, se observa un aumento en su resistencia a la compresión y una disminución en su porosidad. Esto confiere una excelente durabilidad al concreto frente a ciclos de congelamiento y descongelamiento. En conclusión, a los 28 y 56 días, el concreto estándar sometido a ciclos de congelamiento y descongelamiento no logró alcanzar su resistencia de diseño de 210 kg/cm² y experimentó desgaste.

Antecedentes Internacionales

Moya & Mestanza (2018) llevaron a cabo una investigación de pregrado donde su objetivo común consistió en tomar diferentes dosis de PET en proporciones para adicionar al concreto y evaluar su efecto en propiedades como la maniobrabilidad, densidad y resistencia. Los resultados revelaron que, en promedio, se logra una mejor maniobrabilidad en el concreto con menos fibras, concluyendo que el porcentaje óptimo de PET es del 1.11%, alcanzando así la resistencia óptima del concreto, y la densidad del concreto regular es mayor que la del concreto con fibra de PET.

García & Hernández (2018) presentaron su investigación donde el objetivo general fue realizar un análisis comparativo de la resistencia a la tracción y la densidad entre el tereftalato de polietileno (PET) y el polipropileno (PP) en un concreto simple reforzado. La metodología incluyó la recolección de datos y pruebas de laboratorio. Los resultados mostraron que la densidad del concreto convencional con material virgen es mayor que la del PET y las fibras de polipropileno, siendo el PET 4.5 veces mayor que el PP en términos de absorción de energía. Sin embargo, se señaló que un aumento en la proporción de PET puede reducir la resistencia del hormigón.

Lugo & Torres (2019) presentaron su trabajo se estudió donde se centra en el comportamiento mecánico del concreto con la adición de fibras poliméricas recicladas de PET. Se recopila información existente de trabajos previos para ampliar este tema. El documento aborda el plan de muestreo, la metodología y las propiedades del material, como la fusión, solidificación y la falla posterior del espécimen. Durante la caracterización, se proporcionan detalles sobre el peso y volumen de cada muestra. Se incluye una explicación de los intentos, un gráfico de

resistencia frente al número de fibras y una comparación entre el concreto ordinario y el concreto con adición de fibras de PET.

Beltrán (2020) presenta su trabajo de investigación donde el estudio se centra en el uso del concreto hidráulico elaborado con adiciones de plástico reciclado, uno de los materiales más comunes en la construcción en México. El trabajo explora la historia y el desarrollo del hormigón, así como su potencial mejorado e integración en el mercado debido a la creciente necesidad. Se destaca la importancia del reciclaje de plásticos para la construcción de elementos sostenibles y se concluye que existe una mezcla competitiva que puede sustituir al hormigón ordinario siempre que se respeten las condiciones adecuadas, lo que contribuye al medio ambiente.

Villarreal & Toro (2019) llevaron a cabo su trabajo donde el propósito de este trabajo de titulación fue determinar el efecto de las bolas de poliestireno expandido sobre el concreto a los 28 días de edad, centrándose en propiedades clave como densidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y módulo de elasticidad. Estas propiedades son esenciales en el diseño y construcción de obras de ingeniería civil. Durante el estudio, se diseñaron dos tipos de concreto convencional con diferentes resistencias a la compresión, y luego se reemplazaron diferentes proporciones de agregados finos por bolas de poliestireno expandido. Se realizaron diversos ensayos, incluyendo compresión, módulo de elasticidad, tracción (ensayo brasileño) y flexión de vigas. En total, se tomaron 5 cilindros para ensayos de compresión y módulo de elasticidad, así como 5 cilindros para ensayos de tracción, y unos 3 discos para ensayos de flexión de vigas, sumando un total de 100 cilindros y 30 discos moldeadores. Las pruebas se llevaron a cabo 28 días después de la producción del concreto. El trabajo concluye proporcionando una base para futuros estudios sobre el uso racional de este material, destacando sus principales ventajas, costos, características técnicas, y beneficios ambientales, promoviendo así el desarrollo de prácticas sostenibles en la construcción.

2.2. Bases Teóricas o Científicas

2.2.1. Polímeros

La denominación de polímeros se refiere a materiales comúnmente conocidos como plásticos, compuestos por resinas, proteínas y diversas sustancias. Estos elementos

pueden ser modificados en su forma de manera permanente, ya que son materiales moldeables. La explicación sobre los polímeros y su maleabilidad proviene de la obra de Pérez y Gardey (2015).

2.2.2. Propiedades

De acuerdo con Lima (2016), uno de las principales características a las que se incluyen son:

- a) Actúan como aislantes.
- b) Costos de producción reducidos.
- c) Funcionan como aislantes acústicos.
- d) Impermeables.
- e) Mayormente de baja densidad.
- f) No corrosivos y resistentes a los agentes químicos.
- g) No toleran altas temperaturas.

2.2.3. Clasificación

Según la clasificación de Seminario, Pastor, Salazar, Zapata y Tineo (2015), los plásticos se dividen en dos grupos en función de su composición química, la estructura de su cadena polimérica y la calidad de fabricación de sus productos. Los dos grupos son:

a) Termoplásticos

Según la explicación de Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata (2015), los termoplásticos poseen la propiedad de convertirse en estado líquido cuando se exponen a elevadas temperaturas. No obstante, al enfriarse, recuperan su estado sólido y tienden a descomponerse rápidamente. Estos materiales se consideran reciclables debido a su capacidad para ser calentados y enfriados repetidamente. Desde el punto de vista químico, se ha comprobado que las cadenas de moléculas en los termoplásticos se rompen, permitiendo que sus moléculas se desplacen cuando se calientan, y al enfriarse, retoman su forma original.

Tabla 1: Clasificación por tipos y aplicaciones de plástico

Tipo	Aplicaciones	
Policloruro de vinilo (PVC)	Tubos	
	Cables	
	Puertas	
	Ventanas	
Poliestireno	Duro	Juguetes
		Maquinillas de afeitarse desechables
		Chalecos salvavidas
		Cascos de ciclismo
	Expandido (porexpan)	Aislamiento térmico y acústico
		Vasos térmicos
		Embalaje ("corcho blanco")
Polietileno	Alta Densidad	Cajas para productos en congelación
		Utensilios domésticos (cubos, juguetes)
		Contenedores industriales
		Macetas
		Bidones
	Baja Densidad	Envases soplados
		Caños
		Depósitos
		Tubos y pomos
		Bolsas de uso general
Metacrilato (plexiglás)	Cables eléctricos (aislante)	
	Faros	
	Lentes de contacto	
	Carteles luminosos	
	Gafas de protección	
Teflón (fluorocarbonato)	Prótesis de odontología	
	Utensilios de cocina (sartenes, paletas, etc.)	
	Revestimiento de aviones, cohetes y naves espaciales	
Nylon (PA poliamida)	Revestimiento de cables	
	Hilo de pescar	
	Levas	
	Engranajes	
	Tejidos	
Celofán	Medias	
	Embalaje	
	Envasado	
Polipropileno (PP)	Empaquetado	
	Tapas de envases	
	Bolsas	
Poliéster (PET)	Carcasas	
	Botellas de agua	
	Envases champú	
	Productos Farmacéuticos	

Fuente según investigación desarrollada

b) Termoestables

Son plásticos que no experimenta fusión a temperaturas elevadas; en su lugar, se descompone. Su formación resulta de la unión de 2 resinas líquidas y la reacción de la unión de 2 cadenas moleculares. Debido a su tendencia a la descomposición, no se clasifica como plástico reciclable. Estos plásticos tienen su peculiaridad por la falta de elasticidad y fragilidad, siendo insolubles y experimentando un cambio del estado gaseoso al líquido sin reaccionar con ningún solvente.

Tabla 2. Clasificación del plástico con sus aplicaciones – termoestables

Tipo	Aplicaciones
Poliuretano (PUR)	Espuma para colchones y asientos
	Aislamientos térmicos y acústicos
	Correas de transmisión de movimientos
	Ruedas de fricción
	Pegamentos
	Barnices
Resinas fenólicas (PH): Baquelitas	Mangos y asas de utensilios de cocina
	Ruedas dentadas
	Carcasas de electrodomésticos
	Aspiradores
	Aparatos de teléfonos
	Enchufes interruptores
Melamina	Ceniceros
	Accesorios eléctricos
	Aislantes térmicos y acústico
	Encimeras de cocina
	Vajillas
	Recipientes de alimentos

Fuente de elaboración según investigación

c) Elastómeros

Sobre la elastómeros resultan de la mixtura de características de los termoplásticos y los plásticos termoestables. Mantienen la propiedad de elasticidad, la cual se explica químicamente por el desplazamiento de las cadenas moleculares cuando cesa la aplicación de una tensión; el enlace covalente permite que el elastómero regrese a su posición inicial. Estos materiales pueden elongarse desde un 5% hasta un 700%. Se utilizan principalmente en adhesivos, cierres impermeables y otros productos que requieren flexibilidad. (Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata (2015)).

Tabla 3 Clasificación del plástico con sus aplicaciones – elastómeros

Tipo	Aplicación
Caucho natural	Colchones
	Aislamiento térmico
	Aislamiento eléctrico
Caucho sintético	Pavimentos
	Volantes
	Parachoques
	Pavimentos
	Tuberías
	Esponjas de baño
	Guantes
Neopreno	Trajes de inmersión
	Mangueras
	Guantes

Fuente según desarrollo de la investigación

2.2.3.1. Polietileno

Estas películas plásticas transparentes con un pigmento blanco están sujetas a la norma ASTM C171, que establece que el volumen debe ser de al menos 4 ml. La fórmula química asociada es $(C_2H_4)_nH_2$. Se ha demostrado que el polietileno está compuesto por los mismos elementos orgánicos, aunque difieren en sus valores de “n”. (Medina & Quispe, 2017).

2.2.3.2. Polietileno de alta densidad (PEAD):

En la industria del plástico, es común utilizar HDPE reciclado para disminuir los costos de fabricación de los productos, ya sea incorporando este porcentaje de residuos junto con HDPE virgen o trabajando exclusivamente con materiales 100% reciclados. El HDPE reciclado tiene una amplia variedad de aplicaciones y se puede emplear para la fabricación de diversos productos, como contenedores, tuberías de agua potable y más. (Sierra, 2016, p.9).

Tabla 4. Propiedades físicas del PEAD

Propiedades Físicas del PEAD	Unidad	Valor
Densidad	Kn/m^3	9.41 – 9.65
Absorción de agua	Mg a 96 h	<0.5
Contracción	%	1.5 – 3
Resistencia a la tensión	N/mm^2	18 – 35
Elongación punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto ranurado		
A 20 C	KJ/m	No rompe – 6
A 20 C	KJ/m	>5
Temperatura de defección		
1.86 N/mm^2	C°	50
0.45 N/mm^2	C°	70
Resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

Nota: Obtenido de la investigación de Ernesto (2005),

Tabla 5: Propiedades mecánicas del PEAD

Propiedades	Unidad	Valor
Coefficiente de Fricción		0.29
Dureza – Rockwell		D60–73 – Shore
Módulo de Tracción	GPa	0.5–1.2
Relación de Poisson		0.46
Resistencia a la Tracción	MPa	15–40
Resistencia al Impacto Izod	J m ⁻¹	20–210

Nota: Obtenido de la investigación de Ernesto (2005),

Símbolo de reciclaje de plástico PEAD

El polietileno de alta densidad (HDPE) se clasifica como un material reciclado de segundo uso, representado por el número dos y rodeado por tres flechas sólidas dispuestas en forma de triángulo, como se ilustra en la Figura 1–1. Existen dos variantes principales: el tipo tejido y el tipo botella (Sierra, 2016, p.9).



Figura 1. Representación gráfica sobre reciclaje de plástico PEAD/ HDPE

2.2.3.3. Reciclaje de polímeros

La práctica del reciclaje transforma diversos desechos, como botellas desechables, latas vacías, cartones y otros materiales, en nuevos productos útiles, mediante la recolección y clasificación de estos elementos (Caballero y Flores, 2016, p.33).

En el contexto peruano, según Jiménez (2016, p.27), la disponibilidad limitada de áreas para la recolección de productos usados contribuye al vertido de muchos de estos materiales en vertederos regionales, generando así contaminación ambiental. Según el Ministerio del Ambiente, el país produce anualmente 6.764.507 toneladas de residuos, y el plástico representa el 11,30% de este total, con una tasa de reciclaje del 0,20%.

Existen cuatro métodos de reciclaje:

- a) Procesamiento secundario o mecánico
- b) Tratamiento cuaternario o valorización energética
- c) Tratamiento primario
- d) Tratamiento terciario o químico

2.2.3.4. El polímero en la mezcla de concreto

La sustitución de los agregados de roca por polímeros en todos los componentes del hormigón presenta una mezcla que es eficiente, asequible, fácil de elaborar y, sobre todo, duradera. Esta innovación no solo contribuye a mitigar el impacto ambiental asociado a los residuos plásticos, sino que también ofrece la posibilidad de proporcionar viviendas térmicas a personas con recursos económicos limitados, lo que a su vez favorece el desarrollo de un país (Gaggino, 2014).

2.2.4. Concreto

También como hormigón, constituye un material de construcción compuesto por áridos, agua y cemento, siendo este último el aglomerante encargado de ocupar los espacios entre el árido fino y el grueso (Salcedo, 1999).

2.2.4.1. Cualidades del concreto

El hormigón, o concreto, es un material de construcción ampliamente utilizado debido a varias razones favorables:

- a) En el estado fresco, es moldeable y adaptable para dar forma en los moldes gracias a su ductilidad.
- b) Es resistente al fuego y tiene propiedades impermeables, impidiendo la entrada de agua.
- c) Ofrece una excelente resistencia a la compresión, lo que lo hace ideal para soportar cargas pesadas.

Sin embargo, también presenta desafíos:

- a) Debido a su baja resistencia a la tracción, no contribuye de manera óptima a la resistencia necesaria en elementos estructurales curvos como vigas y cerchas.
- b) Con frecuencia, toda mezcla de concreto es preparada en el lugar de construcción, y la calidad del concreto depende del ingeniero residente como único supervisor. En construcciones informales, la falta de un experto en concreto puede resultar en la preparación inadecuada de la mezcla.

Para superar estas limitaciones y lograr resistencia mejorada, se recurre al uso de hormigón armado, que incorpora acero en su composición y se utiliza en la

construcción de diversas estructuras como puentes, viviendas, aceras, presas y tanques de agua (Abanto, 2009).

2.2.5 Las Propiedades del Concreto

a) Trabajabilidad

Es esta característica del hormigón en su estado inestable la que define su habilidad para ser manipulado, transportado, colocado y consolidado de manera efectiva, con el mínimo esfuerzo y la máxima uniformidad; así como para lograr acabados sin introducir variaciones. (Riva, 2014).

b) Consistencia

Es el nivel de humedad en relación con la fluidez de la mezcla; a mayor humedad, mayor fluidez y, por ende, más fácil es verter el hormigón. Es importante destacar que el concepto de consistencia difiere del de manejabilidad. Por ejemplo, la mezcla puede tener una consistencia plástica alta, aunque sea menos manejable. (Riva, 2014).

c) Resistencia

La resistencia a la compresión, considerada como la propiedad mecánica más crucial del hormigón, se refiere a la carga máxima soportable. El hormigón es valioso para los elementos estructurales que experimentan esfuerzos de compresión, como las columnas. Su utilidad y calidad se vinculan a la resistencia característica a la compresión (f_c) para la cual está diseñado, con ejemplos como $f_c = 280$, $f_c = 210$, $f_c = 180$, entre otros. (Riva, 2014).

d) Durabilidad

La durabilidad del concreto se refiere al tiempo que tarda en alcanzar su resistencia de diseño, manteniendo sus propiedades y permaneciendo sólido a pesar de la exposición a factores climáticos. (Riva, 2014). Factores influyen en la durabilidad:

- Cambio repentino de temperatura: hielo y derretimiento.
- Corrosión de la estructura de acero.
- Desgaste por fricción.
- Exposición a diversos productos químicos en el medio ambiente.
- Reacciones químicas en los agregados finos y gruesos.

e) Densidad:

Se busca la formulación de una mezcla de concreto, donde el peso unitario es de 5600 g/m³, siendo, el adecuada para aplicaciones en obras que demanden concreto de alta densidad. (Riva, 2014).

f) Generación de calor:

El calor generado durante el vertido de hormigón a granel puede variar entre 6 y 11 grados por saco de cemento. Es crucial controlar la cantidad de calor generada en la mezcla de hormigón para mantener un equilibrio, evitando temperaturas extremadamente frías o calientes que podrían provocar grietas en la estructura. Un aspecto a tener en cuenta es la hidratación del cemento Portland de primer tipo (Riva, 2014).

g) Esgurrimiento plástico:

Una propiedad del hormigón manifestada gradualmente después de la deformación elástica. Se refiere al alargamiento o acortamiento del hormigón al eliminar la carga a la que ha estado expuesto, ya sea en tensión o compresión (Riva, 2014).

h) Dilatación térmica:

La dilatación térmica implica el cambio de volumen del hormigón debido a la exposición a la luz solar. El coeficiente de dilatación térmica ideal es de 1/100000, si bien este valor puede variar según el tipo de cemento, el volumen de árido fino y grueso, el contenido de humedad de la mezcla y las dimensiones del bloque de hormigón (Riva, 2014, p. 50).

Granulometría

En lo que respecta al tamaño de grano del agregado fino, debe cumplir con las normativas NTP 400.037 o ASTM C33. Al respecto, es importante recordar lo siguiente:

- ✓ El agregado fino debe mantenerse en series Taylor de 4 a 100 mallas.
- ✓ El coeficiente de pureza debe situarse en el rango entre 2,3 y 3,1, y si se almacena en dos tamices sucesivos, no debe exceder el 54%.

Tabla 6. Granulometría del agregado fino

Tamiz (N°)	Porcentaje que pasa (%)
9,5 mm (3/8 pulg.)	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 μ m (No. 30)	25 a 60
300 μ m (No. 50)	05 a 30
150 μ m (No. 100)	0 a 10

Nota: Norma Técnica Peruana (NTP 400.037)

En cuanto al tamaño de partícula, es fundamental tener en cuenta lo siguiente:

- Evite el uso excesivo de agregado fino en la mezcla, a menos que esté elaborando concreto en la región de la selva baja de Perú (Riva, 2000).
- Para el agregado grueso, descarte los materiales retenidos en las rejillas #4 y #8 para lograr un concreto uniforme y fácil de trabajar.
- Para no comprometer la resistencia óptima del concreto, se debe seleccionar del 3% al 5% del material que pase por la malla No. 200, excluyendo arcilla, barro u otros materiales impuros.

La presencia de partículas o sustancias nocivas en la mezcla de concreto no debe superar los límites establecidos, los cuales son:

Tabla 7. Porcentaje de las partículas lícitas para el Agregado Fino

Máximo porcentaje en peso de la muestra total	
Lentes de arcilla y partículas frágiles	3,00%
Material más fino que la malla N°200	3,00%
Hormigón sujeto a abrasión	3,00%
Todos los hormigones	5,00%
Carbón y Lignito	
Cuando la apariencia de la superficie es importante	0,50%
Todos los hormigones	1,00%
Mica	0,00%
Partículas deleznable	3,00%

Nota: Recuperado de Riva López, E. (2014).

Granulometría

El método de granularidad seleccionado debe ser uniforme y capaz de lograr la máxima densidad del concreto, permitiendo una operación adecuada de la maquinaria en condiciones de instalación mixta (Riva, 2014, pág. 75–76). Con respecto al tamaño de grano del agregado grueso, se deben seguir las siguientes pautas:

- La norma NTP 400.037 o ASTM C–33.
- Se debe buscar la máxima densidad del hormigón.

- La clasificación debe cumplir con un límite del 5% del agregado total que se encuentra en la rejilla de 1 1/2” y un máximo del 6% del agregado que pasa por la rejilla de 1/4”.
- Si se incluyen dos tamaños diferentes de agregado grueso, cada tamaño debe cumplir de manera independiente con los requisitos específicos de tamaño de partícula (Riva, 2014).

Tabla 8. Granulometría del agregado grueso

HUSO	Tamaño Máximo Nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3 1/2 pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2 1/2 pulg)	50 mm (2 pulg)	37,5 mm (1 1/2 pulg)	25 mm (1 pulg)	19,0 mm (3/4 pulg)	12,5 mm (1/2 pulg)	9,5 mm (3/8 pulg)	4,75 mm (No. 4)	2,36mm (No. 8)	1,18 mm (No.16)	300 µm (No. 50)
1	90 mm a 37,5mm (3 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	63 mm a 37,5mm (2 1/2 pulg a 1 1/2 pulg)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	50 mm a 25,0mm (2 pulg a 1/2 pulg)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3-5-7	50 mm a 4,75mm (2 pulg a No. 4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	37,5 mm a 19,0mm (1 1/2 pulg a 3/4 pulg)					100	90 a 100	20 a 50	0 a 5		0 a 5				
4-6-7	37,5 mm a 4,75mm (1 1/2 pulg a No. 4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	25 mm a 12,5mm (1 pulg a 1/2 pulg)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
5-6	25,0 mm a 9,5mm (1 pulg a 3/8 pulg)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
5-7	25 mm a 4,75mm (1 pulg a No 4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	19 mm a 9,5mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)							100	90 a 100	10 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5		
6-7	19,0 mm a 4mm (3/4 pulg a No. 4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	12,5 mm a 4,75mm (1/2 pulg a N° 4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	9,5 mm a 2,36 mm (3/8 pulg a No. 8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
8-9	12,5 mm a 9,5mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)									100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4,75 mm 1,18mm (No. 4 a No. 16)										100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Norma Técnica Peruana (NTP 400.037).

La NTP 400.037 especifica las dimensiones máximas permitidas para el agregado grueso, como se indica en la página 76 de la obra de Riva (2014). El tamaño máximo nominal se define como la cantidad de material retenido por el tamiz de menor tamaño en el primer retenido, según lo establecido en la NTP 400.037 (Riva, 2014, pág. 76). En lo que respecta a las partículas perjudiciales, estas no deben superar los límites establecidos.:

Tabla 9. Límites de Partículas Perjudiciales

Límites de Partículas Perjudiciales del Agregado	
Arcilla	0.25%
Partículas blandas	5.00%
Material más fino que la Malla N°200	3.00%
Carbón y Lignito	
Cuando el acabado superficial es de importancia	0.50%
Otros concretos	1.00%

Nota: Recuperado de Riva López, E. (2014).

En situaciones excepcionales, cuando las partículas nocivas superan los límites establecidos en la Tabla 9, pero cumplen con los estándares y requisitos específicos de cada ensayo de laboratorio, y además el agregado proviene de una única ubicación, se considerará aceptable para la mezcla de concreto diseñado (Riva, 2014, pág. 76).

2.2.5.4. Diseño de Mezclas

Comprender el diseño de la mezcla implica la elección de todos los materiales que conforman el concreto, y la cantidad empleada dependerá del tipo de estructura del edificio. Por lo general, el diseño es llevado a cabo por un especialista en concreto que tiene conocimientos tanto en la tecnología, utilizando herramientas como hojas de cálculo, como en la aplicación práctica, incluyendo el encofrado del concreto. Este especialista tiene la responsabilidad de asegurar la calidad y eficacia del concreto, así como garantizar que este se ajuste al presupuesto del proyecto y a su ubicación específica (Choquechambi, 2013).

Método de diseño de mezcla – método módulo de fineza

De acuerdo con el procedimiento similar al método más conocido, ACI, se inicia determinando la proporción de cemento, aire, agua y agregado grueso. Posteriormente, se calcula el peso seco del agregado grueso.

En este método, se busca lograr una consistencia uniforme entre los componentes que constituyen el hormigón, es decir, entre el árido y la cantidad combinada de cemento y agua. El ajuste se realiza mediante el porcentaje de agregados gruesos y finos, según su módulo de finura, que es una medida indirecta del tamaño de partícula. La modificación proporciona una amplia gama de combinaciones para satisfacer las condiciones deseadas.

En el método del módulo de adherencia del agregado, se observa una variación en la proporción entre el agregado grueso y fino en relación con la resistencia,

principalmente influenciada por la relación agua–cemento y el contenido de agua. La determinación del aumento en la cantidad de pasta en el concreto se realiza mediante el índice de superficie, que es esencialmente el coeficiente de lisura del agregado fino y grueso. Cuando este índice experimenta un aumento, la fuerza de adherencia disminuye, ya que la cantidad de agregado supera a la pasta de cemento. Para comprender el volumen absoluto del agregado y lograr el mejor ajuste del coeficiente de precisión para todo el conjunto de agregado, se proporciona la siguiente fórmula:

$$mc = rf * mf + rg * mg$$

En el cual:

- mc = módulos de fineza de la combinación de agregados.
- mf = módulo de fineza de agregado fino.
- mg = módulo de fineza de agregado grueso.
- rf = Porcentaje de agregado fino en relación al volumen absoluto total de agregado.
- rg = Porcentaje de agregado grueso en relación al volumen absoluto total de agregados.

Utilizando la fórmula del módulo de finura, es posible obtener una mezcla de concreto con trabajabilidad variada para distintas proporciones de cemento. La tabla siguiente presenta los valores de:

Tabla 10. Clasificación según tamaño máximo y módulos de fineza

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso	Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para los contenidos de cemento en sacos / metro cubico indicados.			
	6	7	8	9
3/8"	3.96	4.04	4.11	4.19
1/2"	4.46	4.54	4.61	4.69
3/4"	4.96	5.04	5.11	5.19
1"	5.26	5.34	5.41	5.49
1 1/2"	5.56	5.64	5.71	5.79
2"	5.86	5.94	6.01	6.09
3"	6.16	6.24	6.31	6.39

Nota: Diseño de mezcla. Riva Lopez, pág. 121

* Los datos de la Tabla se refieren a agregados gruesos con perfil angular y una graduación adecuada, con un contenido de vacíos aproximado del 35%. Estos valores deben ajustarse en 0.1 por cada aumento o disminución del 5% en el contenido de vacíos.

** Los apuntes en la Tabla, generan que las mezclas sean ligeramente arenosas, especialmente esto es para los pavimentos o estructuras ciclópeas.

Es importante destacar que, para determinar el módulo de finura del agregado, se debe obtener el tamaño nominal máximo del agregado grueso y, finalmente, el contenido de cemento por metro cúbico de concreto. Al utilizar los valores proporcionados en la tabla, se logran mejores combinaciones. Si se trata de arena, se vierte sobre el pavimento. Puede sumarse 0.2 a cualquier valor en la tabla siempre que la ubicación específica en el sitio lo permita. En caso de utilizar aire atrapado, simplemente se añade 0.1 para obtener una mezcla manejable. La fórmula para calcular la cantidad de agregado fino, el coeficiente de finura dependiendo de la composición del agregado, es:

$$R_f = (m_g - a / m_g - m_f) * 100$$

Dónde:

a= valor obtenido de la tabla.

El proceso de Elaboración de la mezcla para el concreto, según el método ACI comprende los siguientes pasos:

1. Calcular la impedancia total promedio, de manera similar al método de diseño ACI.
2. Seleccionar el árido grueso y determinar su tamaño nominal máximo.
3. Elegir la mediación según las directrices del método de diseño ACI.
4. Calcular el volumen de agua, siguiendo las indicaciones del método de diseño ACI.
5. Determinar el contenido de aire utilizando el método de diseño ACI.
6. Obtener la relación agua-cemento, de acuerdo con el método de diseño ACI.
7. Calcular el coeficiente de cemento, que se basa en la cantidad de sacos requeridos para la mezcla.
8. Determinar el volumen estricto de pasta de cemento.
9. Calcular el trozo final de agregado restando el trozo final de masa.
10. Calcular el coeficiente de finura para la unión de áridos.
11. Calcular r_f , el porcentaje de agregado fino en relación con la masa total de agregado absoluto.
12. Calcular la masa total absoluta en función de los resultados obtenidos en el paso anterior.
13. Calcular el peso seco de cada tipo de grava, tanto fina como gruesa.
14. Calcular los valores de diseño, teniendo en cuenta las correcciones de humedad de los elementos y las cantidades que se usarán en la construcción planificada.

Estos pasos aseguran un Elaboración de la mezcla para el concreto que cumple con los estándares de calidad y resistencia establecidos por el método ACI.

2.2.6. Concreto en climas fríos

El hormigón utilizado en la construcción se ve afectado por las condiciones ambientales, especialmente en áreas con climas extremadamente fríos, como en algunas regiones del Perú. La durabilidad de este material está estrechamente vinculada a factores como la humedad y la temperatura. Además, diversos agentes químicos, como cloruro, sulfato, ácido, carbonatación y corrosión del refuerzo, pudiendo asistir al deterioro del hormigón.

En climas fríos, la norma ACI 306R–88 establece dos condiciones:

- Cuando la temperatura ambiente media desciende por debajo de 5°C.
- Cuando la temperatura ambiente baja por debajo de 10°C durante más de 30 min y no más de 24 horas.
- También la temperatura media alta y baja se refiere a la temperatura durante el día y entre el mediodía y la medianoche.

Cada disminución de 5°C en la temperatura incrementa en un tercio el tiempo de fraguado del hormigón. La reducción de la temperatura afecta las fases de hidratación, retardando el tiempo de asentamiento y, en consecuencia, disminuyendo la resistencia a la compresión a edades tempranas. Sin embargo, con el tiempo, se logra una mayor resistencia.

2.2.6.1. Clima en la provincia de Huancayo

Huancayo experimenta una variada gama climática. Los meses de septiembre a diciembre se caracterizan por temperaturas moderadas, destacándose especialmente del 18 de septiembre al 9 de diciembre, abarcando un período de tres meses. El punto álgido de calor en Huancayo se registra el 29 de octubre, marcando así el día más cálido del año, con una temperatura máxima, mientras que la temperatura mínima se sitúa en 5°C.

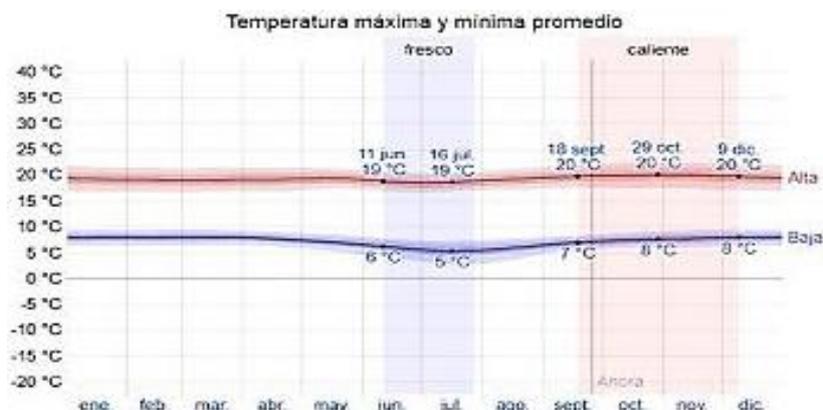


Figura 2: Temperatura promedio tomada mínima y máxima en Huancayo año 2019

a. Temperatura al mes de Julio – Huancayo

Para este análisis, se utilizaron como punto de referencia las temperaturas mínimas y máximas, registradas durante el mes de Julio.

La temperatura máxima diaria alcanzó los 19 °C, con variaciones entre 17 °C y 21 °C, presentando una media diaria de 19 °C, registrada el 4 de julio.

En cuanto a la temperatura mínima, se registró un mínimo de 6 grados centígrados, oscilando entre 3 y 7 grados centígrados, y la media diaria fue de 5 grados centígrados, observada el 16 de julio.

En torno al 16 de julio, las noches presentaron temperaturas de alrededor de 5°C, mientras que por la mañana se alcanzaron los 19°C.

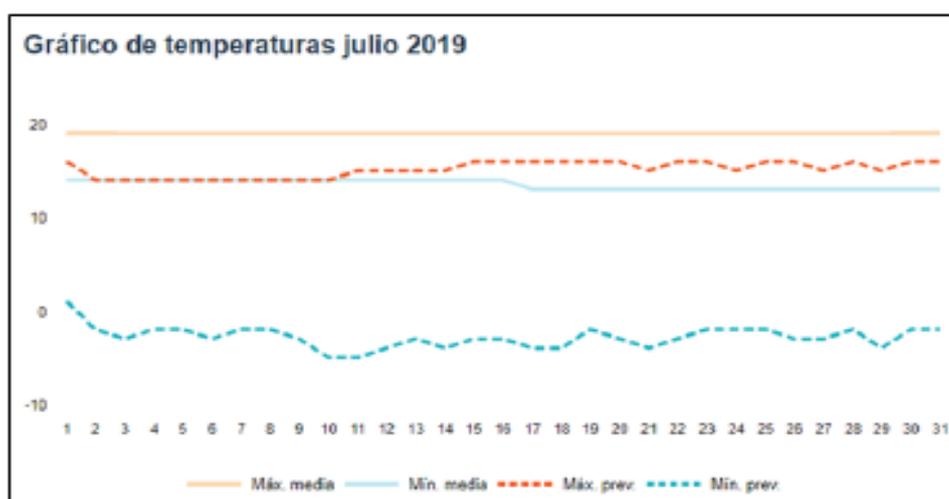


Figura 3: Temperatura al mes de Julio – Huancayo 2019

b. Temperatura al mes de agosto – Huancayo

Para el desarrollo de la presente investigación, se han considerado las temperaturas máximas y mínimas registradas durante el mes de agosto:

- Las temperaturas máximas diarias han fluctuado en un rango que va desde los 17 °C hasta los 21 °C.
- En cuanto a las temperaturas mínimas diarias, se han situado en un mínimo de 6 grados centígrados, con variaciones entre 3 y 8 grados centígrados.

Se destaca que el día más frío del año se registró el 16 de julio, con una temperatura de – 4 °C. Desde ese día en adelante, la temperatura ha oscilado entre –4 °C y 19 °C.

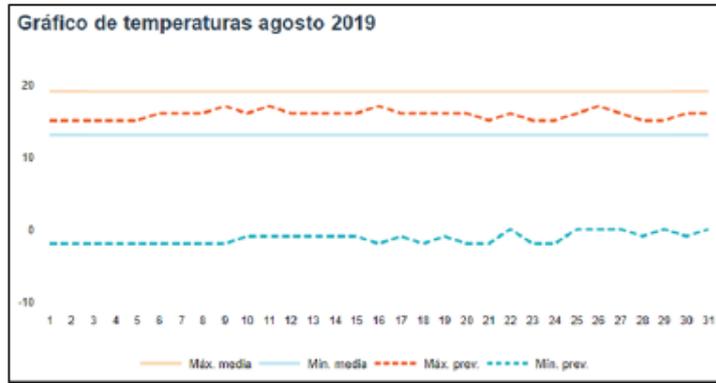


Figura 4: Temperatura al mes de Agosto – Huancayo.

Se observa que en el mes de julio se presenta la temperatura media más baja del año, mientras que en el mes de octubre se destaca como el mes más cálido de todo el período.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	12.6	12.5	12.3	12.2	11.4	10.3	10.2	11.3	12.5	13.1	13.1	12.7
Temperatura mín. (°C)	6.9	6.6	6.3	6.2	5.5	1	1	2.5	4.8	6	6	6.1
Temperatura máx. (°C)	18.4	18.2	18.3	19.2	19.4	19.6	18.5	20.2	20.2	20.3	20.3	19.4
Temperatura media (°F)	54.7	54.5	54.1	54.0	52.5	50.5	50.4	52.3	54.5	55.6	55.6	54.9
Temperatura mín. (°F)	44.4	44.4	43.3	41.4	38.3	33.8	33.8	38.8	40.8	42.8	42.8	43.0
Temperatura máx. (°F)	65.1	64.8	64.9	66.6	66.9	67.3	67.1	68.4	68.4	68.5	68.5	66.9
Precipitación (mm)	91	102	37	35	13	4	1	1	26	43	48	57

Figura 5: Las temperaturas que se dieron en Huancayo en el 2019

2.2.6.2 Helada

La helada, considerada un evento geodinámico externo, se manifiesta en forma de aguanieve, la cual se forma cuando las temperaturas descienden, cubriendo extensiones como campos, lagos y estanques. Este fenómeno climático se caracteriza por la congelación de pequeñas partículas de agua en superficies expuestas, creando una capa fina de hielo. (Pinto, 2018).

a. Heladas estáticas

Durante el invierno, en regiones ubicadas típicamente a 3.000 metros de altura en la Sierra, se experimentan cielos despejados, y durante la noche, la pérdida de calor por parte de la tierra genera heladas impredecibles (Pinto, 2018).

b. Heladas dinámicas

Las extensas masas de aire se generan en la Antártida y se desplazan hacia la región oriental de la Cordillera de los Andes, avanzando de sur a norte en condiciones de aire

seco y temperaturas bajas. Este evento, que ocurre principalmente durante el invierno, da lugar a heladas que pueden tener impactos perjudiciales en las plantaciones. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) realiza pronósticos con una anticipación de dos o tres días para advertir sobre estas incursiones de aire frío. (Pinto, 2018).

2.2.6.3. Los medios de congelamiento y el deshielo en el concreto

En el contenido de agua para el concreto fresco, se generan tensiones de tracción, en las paredes de la red capilar, dando lugar a la formación de grietas en el concreto. Cuando la saturación del hormigón se encuentra en el rango del 80 % al 91,7%, es probable que se vea afectado por las acciones del fenómeno de las heladas (Alaejos & Bermúdez, 2003).

a. Presión Hidráulica:

El comportamiento del agua en los poros capilares en relación con su diámetro. Cuanto menor sea el diámetro, mayor será la presión del agua, lo que propicia la congelación. Si el diámetro es más grande, el agua precongela en los orificios de menor tamaño, evitando que se expanda al congelarse en los orificios más pequeños. Como se ilustra en la figura a continuación:

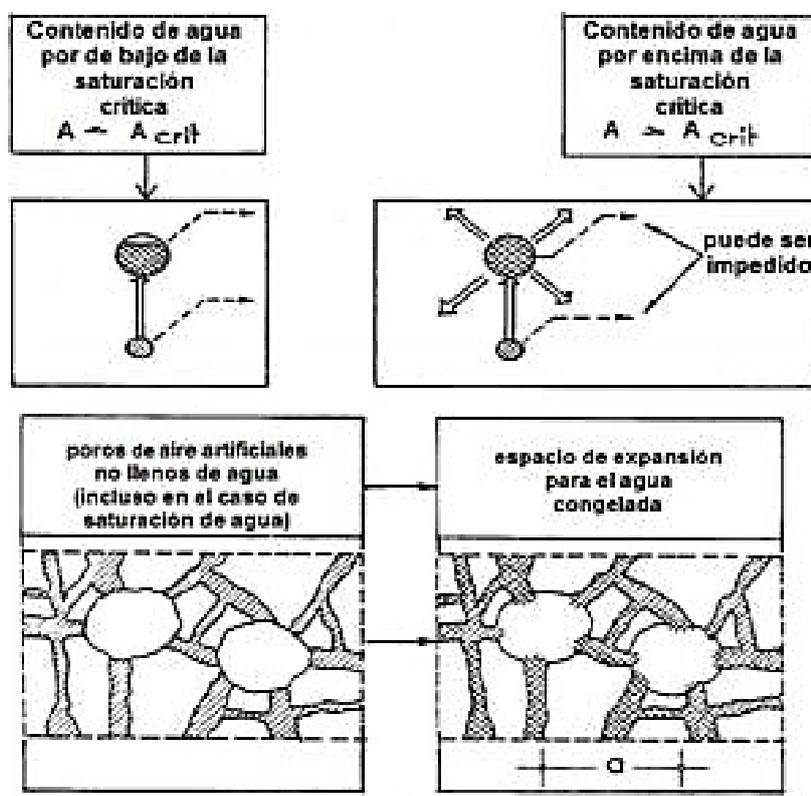


Figura 6: El Proceso de la Presión hidráulica (Fernández, 2007).

b. Presión Osmótica.

La hipótesis formulada por C. Power sostiene que la presión osmótica juega un papel fundamental en el proceso de degradación. Según esta teoría, cuando la temperatura desciende por debajo de los 0 °C, el volumen de hielo experimenta un incremento. En este contexto, el agua presente en los poros, en forma de una solución alcalina, penetra en los intersticios sin congelarse. Bajo la influencia de la presión osmótica, esta agua se introduce en los poros donde ocurre la congelación, pero no alcanza el punto de congelación, como se representa en la Figura 7. Este fenómeno se convierte en una fuente de deterioro para el concreto.

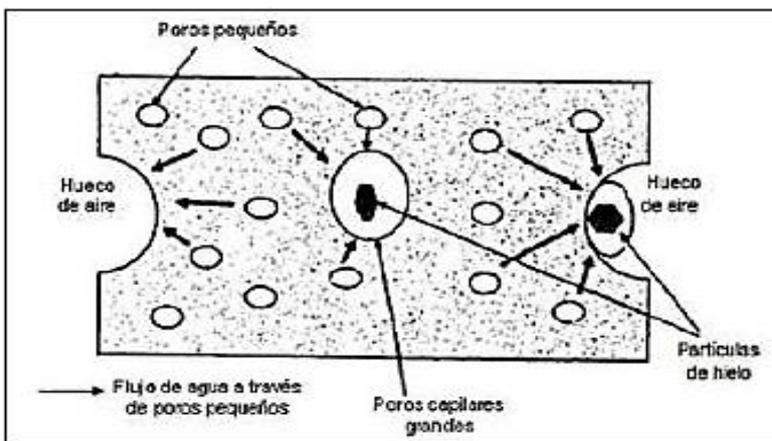


Figura 7: Presión Osmótica (Fernández, 2007).

2.2.6.3 La congelación y el deshielo sobre el concreto

La congelación–descongelación es un fenómeno cíclico del agua, se encuentra en los huecos del concreto en su estado sólido, y se manifiesta en momentos específicos. Este proceso afecta tanto a los áridos como al cemento en general, y se considera uno de los factores más perjudiciales para la resistencia del hormigón (Menéndez, de Frutos, Andrade, 2009).

Dado que el concreto es inherentemente poroso, el agua puede desplazarse a través de él, y la cantidad total de agua susceptible de congelarse dependerá de su distribución, tamaño y radio. En el caso de los agregados, que constituyen un componente fundamental del hormigón, también poseen porosidad, pero resisten los efectos de la formación de hielo gracias a la deformación plástica. No obstante, esto puede variar según la porosidad y el tamaño de los poros, así como el tamaño del árido, lo que determinará si se ven afectados (Cai & Liu, 1998).

En líneas generales, el agua presente en el concreto fresco tiende a endurecerse, y este proceso se ve influenciado por factores como la disminución de la temperatura del agua, la distribución de los vacíos y el grado de saturación (Basheer, 2001). En contraste, si la saturación supera el 91,7% y cae por debajo del 80%, el concreto experimentará ciclos de endurecimiento, congelación y descongelación debido a la presión excesiva en sus poros (Alaejos & Bermúdez, 2003).

2.2.7. Los daños por los Ciclos de congelación y el deshielo

En diversas obras de construcción (camino, canales y puentes), se registran considerables daños debido a la exposición a condiciones climáticas frías en determinadas áreas. Estos daños se manifiestan a través del desgaste, la reducción de la vida útil y la disminución de la funcionalidad (Medina y Quispe, 2017).

La repercusión de la congelación y descongelación en la resistencia estructural se explica por la presencia de grietas internas que no son visibles a simple vista, así como el desconchado externo o superficial que es perceptible visualmente (Pigeon, 1996, pág.33). El desconchado se refiere a la desintegración de la superficie del hormigón endurecido después de pasar por ciclos de congelación y descongelación. Este proceso comienza en áreas más pequeñas propensas a la humedad y al secado, extendiéndose con el tiempo a áreas más extensas (Pigeon, 1996).

En ciertos casos, otros elementos de hormigón también pueden experimentar desprendimiento. Por ejemplo, durante la voladura de rocas moderada, el agregado grueso puede quedar expuesto, ocasionando pérdida superficial de 3 a 10 mm que daña el acero debido a la rarefacción. Si el agregado es pesado, esto puede ocurrir; si es ligero, el agregado puede permanecer en su lugar. Sin embargo, si el tamaño es demasiado pequeño, se pierde una cantidad significativa de agregado, lo que reduce la resistencia de la estructura de hormigón (Cho, 2007).

2.2.8. Sugerencias sobre el vaciado del concreto para climas fríos

Tener en cuenta al verter concreto en climas fríos, según Medina y Quispe (2017, pág. 45), incluyen:

- Incorporar algún tipo de mezcla de aire al concreto.
- Realizar el vertido durante el día, cuando la temperatura no descienda por debajo de los 10 grados centígrados.

- En áreas heladas como Pasco, utilizar agua caliente para mezclar y/o calentar los agregados.
- En caso de que los encofrados estén aislados entre sí, retrasar el desmontaje de los elementos de mampostería.

Se destaca la importancia de mantener una proporción baja de agua a cemento al diseñar la mezcla de hormigón, considerando la estrecha relación entre el gel y el agua en este contexto.

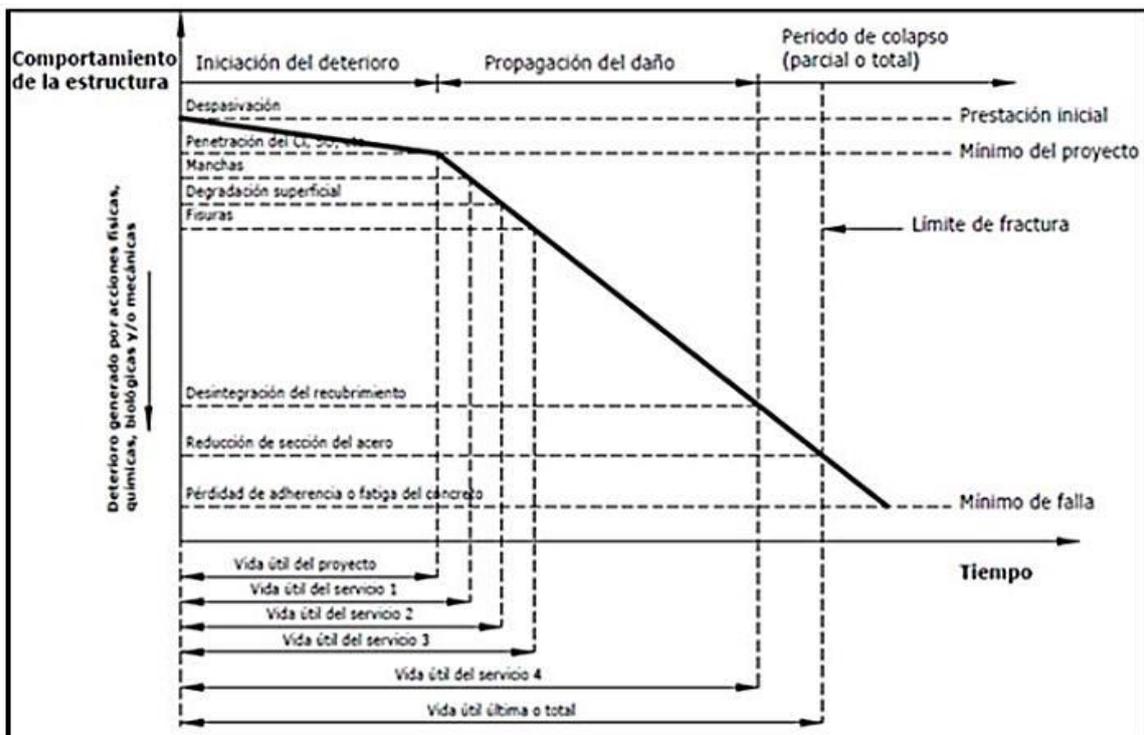


Figura 8: Comportamiento de concreto ante deterioro.

2.3. Marco Conceptual (de las variables y dimensiones)

a) Polietileno de Alta Densidad (PEAD)–HDPE

Este tipo de plástico es ampliamente utilizado en la vida cotidiana, encontrándose en diversos productos como juguetes, envases para alimentos y detergentes. En el ámbito de la construcción, se emplea en carreteras y tuberías de distribución de agua potable (Sierra, 2016, pág. 7).

b) El concreto –hormigón

El hormigón convencional consiste en una mezcla de agua, árido fino y grueso, cemento portland o cemento hidráulico, y posiblemente algún tipo de aditivo (Norma E.060 del RNE 2014).

c) Polietileno Reciclado de Alta Densidad (PEAD):

Material plástico obtenido a partir de procesos de reciclaje, caracterizado por su alta densidad y utilizado como aditivo en la mezcla de hormigón.

d) Cualidades del Hormigón:

Características físicas y mecánicas del hormigón, como resistencia, durabilidad, porosidad y flexibilidad.

e) Efectos del PEAD en el Hormigón:

Cambios o impactos en las propiedades del hormigón causados por la incorporación de polietileno reciclado de alta densidad.

f) Periodos de Congelación y Deshielo:

Ciclos climáticos que involucran la formación de hielo seguido de su descongelación, lo cual puede afectar al hormigón.

g) Aditivo Sostenible:

El PEAD reciclado se considera un aditivo sostenible debido a su origen reciclado y su contribución a prácticas medioambientales.

h) Resistencia a la Congelación–Deshielo:

Capacidad del hormigón para soportar los ciclos de congelación y deshielo sin sufrir daños significativos.

i) Mezcla Compuesta:

La combinación de PEAD reciclado con la mezcla de hormigón para evaluar su influencia en las propiedades del material.

j) Compatibilidad Ambiental:

Evaluación de cómo el uso de PEAD reciclado en el hormigón puede alinearse con objetivos ambientales y de sostenibilidad.

k) Análisis de Durabilidad:

Estudio de cómo el hormigón, modificado con PEAD reciclado, mantiene sus propiedades estructurales a lo largo del tiempo, especialmente durante ciclos de congelación y deshielo.

1) Innovación en Materiales de Construcción:

Exploración de nuevas posibilidades y soluciones en el ámbito de la construcción, utilizando materiales reciclados como el PEAD para mejorar la durabilidad del hormigón en condiciones adversas.

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

3.1. Hipótesis General

El polietileno reciclado de alta densidad mejora las propiedades del hormigón $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ expuesto a periodos de congelación–deshielo.

3.2. Hipótesis Específica (s)

- El HDPE reciclado aumenta la trabajabilidad del hormigón.
- El HDPE reciclado aumenta la lixiviación del hormigón.
- El HDPE reciclado aumenta la proporción de aire en el hormigón.

3.3. Variables (definición conceptual y operacional)

- Variable Independiente (X): Polietileno reciclado de alta densidad. PEAD–HDPE
- Variable Dependiente (Y): Cualidades del Hormigón.

Operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Polietileno reciclado de Alta Densidad (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
El filamento de HDPE reciclado es el material mayoritariamente utilizado en depósitos de aceite, baldes, bidones, etc.; Es reciclable y debe ser lo más homogéneo posible para ser uniforme en longitud y espesor.	Es un polímero de la familia polímeros olefínicos (por ejemplo, polipropileno) o polietileno. Su fórmula es (-CH ₂ -CH ₂ -). Es un polímero termoplástico formado por las correspondientes unidades de etileno. Se llama HDPE (Polietileno de Alta Densidad) o HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Este material se utiliza, entre otras cosas, en la producción de envases Plástico desechable.	Polímero termoplástico	– Resistencia máxima de trabajo de 60°C para líquidos – Densidad 0,940 – 0,970 g/cm ³	Determinar la cantidad de polietileno de alta densidad que se debe añadir a la mezcla de concreto respecto al agregado fino.	Gramos	NUMÉRICA (cuantitativa)

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Cualidades del Hormigón

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Las propiedades del hormigón ayudan a determinar el estado del hormigón desde su nuevo estado, es decir, al inicio de su vertido, hasta su estado sólido y por tanto su resistencia. (Caballero y Flores, 2016, pág. 19).	El hormigón consiste en agregados finos y gruesos, agua potable y cemento Portland, y cambia de concreto fresco a una forma dura, en estado fresco, y tiene propiedades tales como trabajabilidad, lixiviación, contenido de aire y gas, tiempo de fraguado y propiedades húmedas y duras tales como resistencia a la compresión. (Caballeros y Flores, 2016, pág. 19).	a) maniobrabilidad	*Facilidad de instalación y acabado de mezcla de concreto fresco	*Cono de Abrams (NTP 339.035).	*Pulgadas	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		b) secreciones	*La tasa de hemorragia (excreción) y la posibilidad de sangrado. *El aire entra en la mezcla de hormigón.	*Ensayo de exudación (NTP 339.077).	*ml/cm ² , ml/h y %	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		c) mezcla de aire		*Ensayo de Olla Washington NTP 339.083.	*Porcentaje	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		d) el tiempo de endurecimiento.	*El tiempo que tarda la mezcla de concreto en cambiar de un estado plástico a un estado duro.	*Ensayo de penetración para determinar el tiempo de fragua (NTP 339.082).	*Minutos	*TIEMPO (cuantitativa)
		e) resistencia a la compresión	*Resistencia axial de especímenes cilíndricos a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días	*Muestreo de datos simple (NTP 339.034).	*kg/cm ²	*NUMÉRICA (cuantitativa)

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA

4.1. Método de Investigación

El método general de investigación utilizado en este trabajo es el método científico, siendo los procedimientos acordes con este.

Consecuentemente nos menciona Carrasco (2015) que, el método científico es necesario para orientar los pasos y acciones a realizar para lograr el objetivo de la investigación, por lo que el respeto de los pasos conducirá a nuestro respeto por el procedimiento y los hábitos de pensamiento de esta manera descubrir el conocimiento objetivo.

4.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación será aplicada, donde utilizamos el conocimiento que ya existe para probar nuestra hipótesis, teniendo en cuenta también el conocimiento científico, explorando todo analíticamente.

4.3. Nivel de Investigación

La investigación fue del tipo descriptivo– explicativo, en el cual se estableció una relación de causa y efecto entre el HDPE reciclado y las propiedades del concreto, siendo causa y efecto.

Por lo tanto, la relación funcional es: $Y = f(X)$.

4.4. Diseño de la Investigación

El diseño del estudio fue experimental, en el cual se manipularon las variables en estudio y se probaron variables similares para determinar sus respectivas escalas analíticas.

4.5. Población y muestra

Población

Según Hernández Sampieri (2014), “una población es el conjunto de todos los estados que se ajustan a un rango de especificaciones” (pág. 65). Para nuestro estudio la población corresponde a 180 muestras de concreto $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a base de polietileno de alta densidad (PEAD) reciclado, cemento Portland de primera, agregados finos y gruesos de cantera Pilcomayo y agua potable; Debe pasar por las fases de congelación y descongelación para representar las condiciones climáticas de la región de Huancayo.

Muestra

(Tamayo y Tamayo, 2012) define la muestra como: “el conjunto de operaciones que se realizan para estudiar la distribución de determinados caracteres en totalidad de una población universo, o colectivo partiendo de la observación de una fracción de la población considerada” (p. 176)

En el presente estudio no se realizó la técnica del muestreo, sin embargo, se recurrió a la técnica del censo.

Tabla 11. Población experimental

TIPO DE MUESTRA	3 DÍAS		7 DIAS		14 DIAS		21 DIAS		28 DIAS		Cantidad De Probetas
	Inter	C.C.D.	Inter	C.C.D.	Inter	C.C.D.	Inter	C.C.D.	Inter	C.C.D.	
HORMIGÓN GUÍA	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
2.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
7.5%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
10%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
15%	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	30
MUESTRAS TOTALES											180

Nota: elaboración en el desarrollo de la investigación

4.6. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

La técnica

Las pruebas se realizaron en el laboratorio ANCCOR SAC, dicho laboratorio ubicado en la Av. General Córdova Chilca – provincia de Huancayo, donde monitoreamos la recolección de datos. Las notas y/o hojas de evaluación para cada experimento, proporcionadas por el laboratorio, se pueden encontrar en el apéndice y se han transferido a las herramientas que desarrollamos para analizar los datos del estudio.

Instrumento

Los instrumentos que se emplearon como herramientas en esta investigación son:

- Práctica NTP 339036 Norma de Concreto para muestreo de mezclas de concreto fresco.
- Método de ensayo NTP 339046 para la determinación de la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método de la gravedad) del concreto (hormigón).
- NTP 339035 Método de ensayo para medir la nivelación del hormigón con conos de Abrams.
- NTP 339.034 Método de ensayo estándar para determinar la resistencia a la compresión del hormigón sobre probetas cilíndricas.
- Práctica NTP 339036 Norma de Concreto para muestreo de mezclas de concreto fresco

4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Procesamiento de la información

Para el análisis de los datos se utilizó Excel, que presenta la información en forma tabular y sus correspondientes modelos gráficos y de regresión con estadística descriptiva.

Técnicas y análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizaron modelos gráficos y numéricos para estadística descriptiva, así como modelos de regresión para estadística inferencial,

para obtener los resultados del uso de polietileno reciclado de alta densidad en las cualidades del hormigón.

4.8. Aspectos éticos de la Investigación

Para ello citamos a Aliaga (2017, p. 53), quien nos dice que los aspectos éticos de la investigación debes poseer los siguientes procedimientos fundamentales:

a) El respeto a la persona ya la personalidad, principio que se extiende a la dignidad e intimidad de la persona, sus creencias religiosas, tendencias políticas, prácticas derivadas de los lazos culturales de la colectividad y la autodeterminación.

b) Mostrar buena voluntad personal.

c) La equidad rige las relaciones entre las agencias relevantes y los investigadores y participantes en la investigación.

d) la proporcionalidad y razonabilidad de evaluar la idoneidad de la investigación.

e) No mencionados con la intención de evitar riesgos o daños a los participantes o incluso a los investigadores.

f) Se proporciona honestidad en las comunicaciones transparentes entre las partes involucradas en la investigación.

g) no realizar estudios que afecten negativamente la calidad de vida. Seguridad y protección de la población vulnerable y dependiente.

En este proyecto de investigación, se toman en consideración los principios básicos mencionados, ya que son guiados por expertos en el campo y se implementan sobre la base de las referencias y normas que lo acompañan en la construcción de nación.

Por ello, el Código Ético es importante para no infringir sus derechos de autor.

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1. Descripción de resultados

Se empleó Microsoft Excel para llevar a cabo un análisis estadístico de los valores registrados en las pruebas de operatividad, perfusión, determinación de tiempo y resistencia a la compresión. Este software proporciona la capacidad de crear fórmulas, que se aplicaron en pruebas como predicciones semi logarítmicas de resistencia a la compresión y cronometraje. En el siguiente análisis estadístico de los ensayos, se han calculado medidas clave como la media o promedio, la mediana, el coeficiente de desviación estándar y el coeficiente de variación. Cada uno de estos resultados será examinado minuciosamente, utilizando las tablas detalladas a continuación.

a. Trabajabilidad

Grupo control – Elaboración de la mezcla para el concreto sin PEAD–HDPE

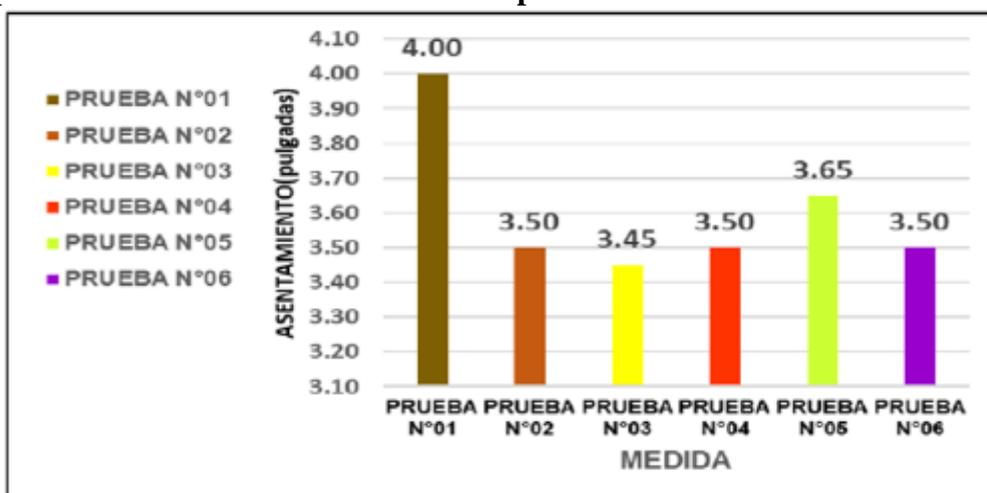


Gráfico 1: Consolidación de los datos de las Pruebas – grupo control (sin PEAD)

El análisis de las pruebas revela que la media o promedio aritmético de las mediciones es de 3.75 pulgadas, sugiriendo que el diseño de la mezcla de concreto preparado se sitúa dentro del rango de plasticidad. Además, el dato medio obtenido de las pruebas es de 3.50 pulgadas, representando el valor central en la normalización de todos los resultados.

En cuanto a la variabilidad de los datos, se observa que la desviación estándar de las pruebas es de 0.207364, el coeficiente de variación es 5.760122, y la varianza es 0.043. Estos valores indican la dispersión de los resultados obtenidos, proporcionando información valiosa sobre la consistencia o variabilidad de las mediciones realizadas.

Grupo experimental – Elaboración de la mezcla para el concreto con PEAD –HDPE

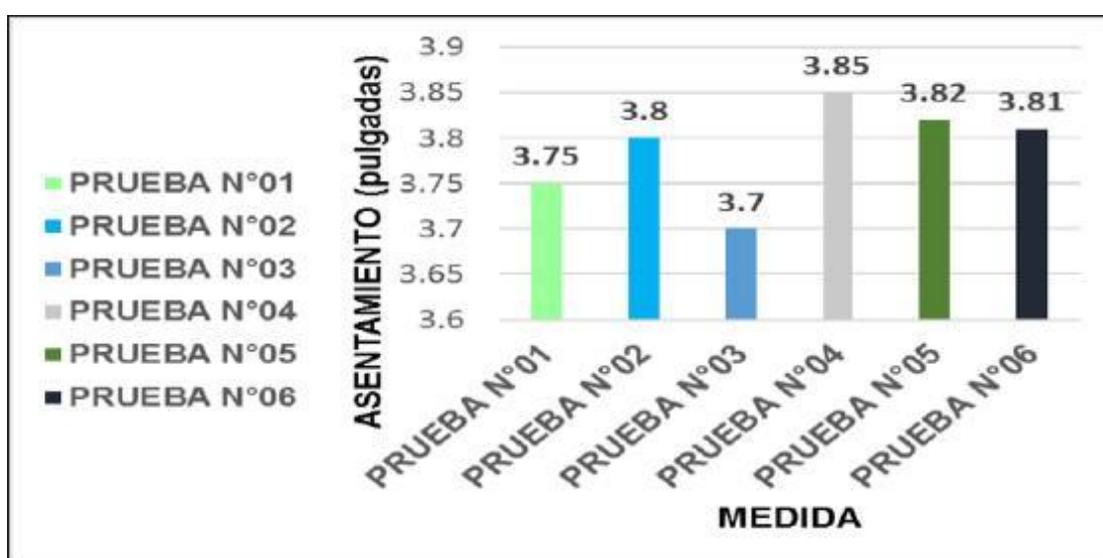


Gráfico 2: Consolidación de los datos de las Pruebas del grupo experimental (con PEAD–HDPE)

El análisis de las pruebas revela que la media o promedio aritmético de las mediciones es de 3.788 pulgadas, sugiriendo que el diseño de la mezcla de concreto está fuera del rango de consistencia fluida. Además, los datos medios obtenidos de las pruebas son de 3.80 pulgadas, representando el valor promedio de aplanamiento en todas las pruebas realizadas para este ensayo.

En cuanto a la variabilidad de los datos, se observa que la desviación estándar de las pruebas es de 0.054191, el coeficiente de variación es 1.4304713, y la diferencia es 0.0029367. Estos valores indican la dispersión de los resultados obtenidos, proporcionando información sobre la consistencia o variabilidad de las mediciones realizadas en este contexto específico.

b. Exudación

Grupo control – Elaboración de la mezcla para el concreto sin PEAD–HDPE

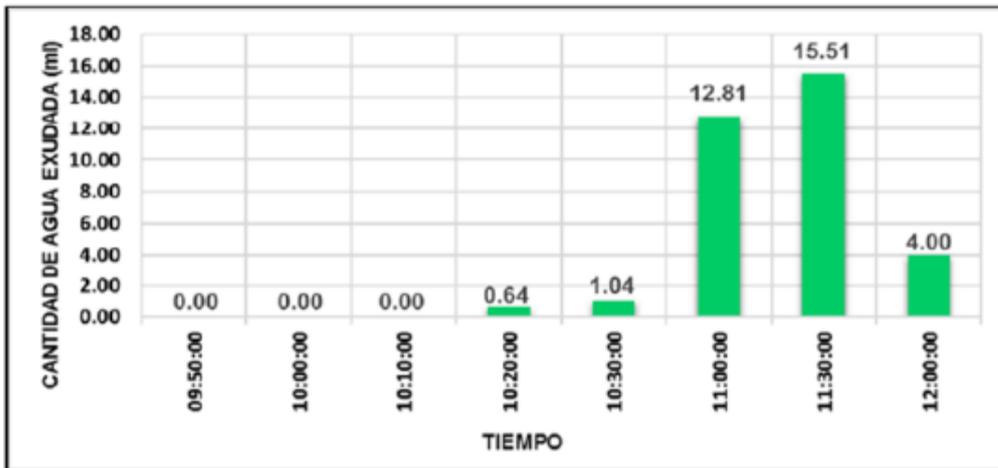


Gráfico 3: Nivel Volumen Exudado en el tiempo – grupo control (sin PEAD)

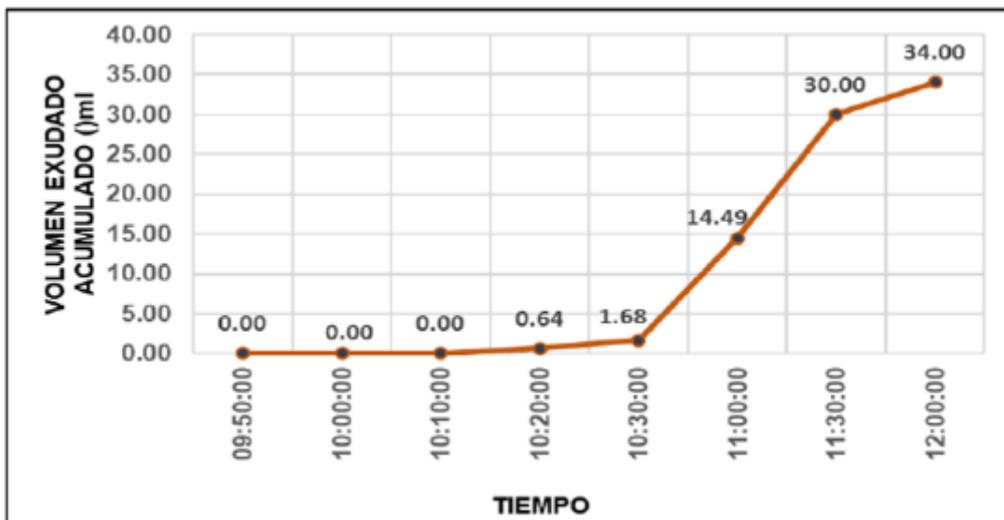


Gráfico 4: Nivel Volumen Exudado acumulado – grupo control (sin PEAD)

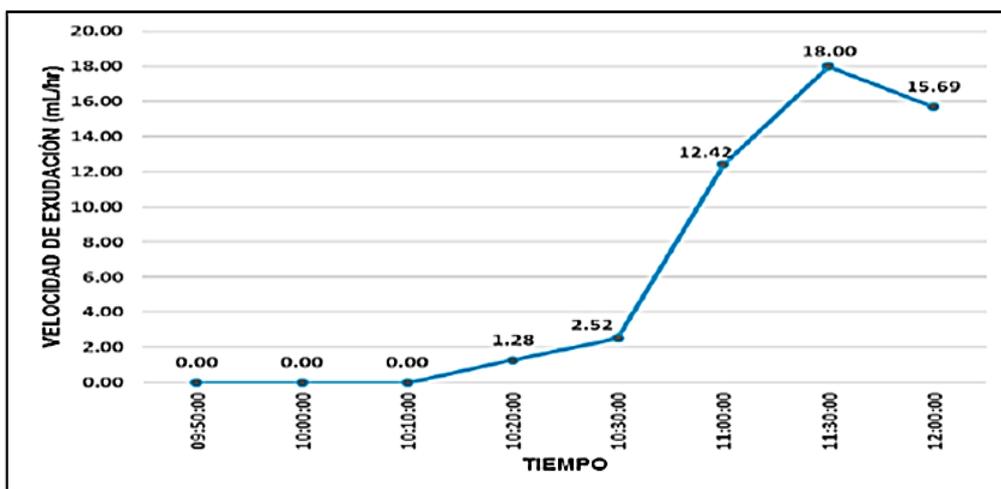


Gráfico 5: Velocidad de exudación en el tiempo – grupo control (sin PEAD)

La tasa de exudación para cada intervalo de tiempo se presenta en el Gráfico 5. En la muestra sin mezcla, la exudación continuó durante 2 horas y 40 minutos, totalizando 160 minutos, y dejando un volumen de 34.00 mL sobre el área de exudado. Dividiendo el volumen total de exudado por el área total de la muestra, obtenemos la cantidad de agua excretada por unidad de área, que asciende a 0.11 ml/cm². La relación de agua extraída con respecto al volumen total de la mezcla de concreto fue del 1.75%, y la tasa promedio de exudación se estableció en 0.12 ml/min.

Grupo experimental – Elaboración de la mezcla para el concreto con PEAD

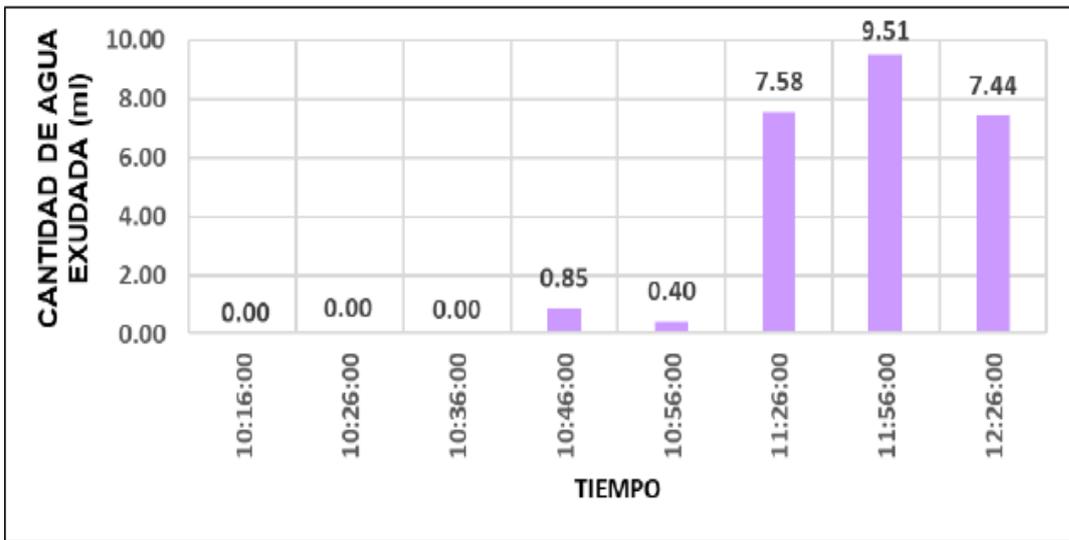


Gráfico 6: Nivel Volumen Exudado en el tiempo del grupo experimental (con PEAD)

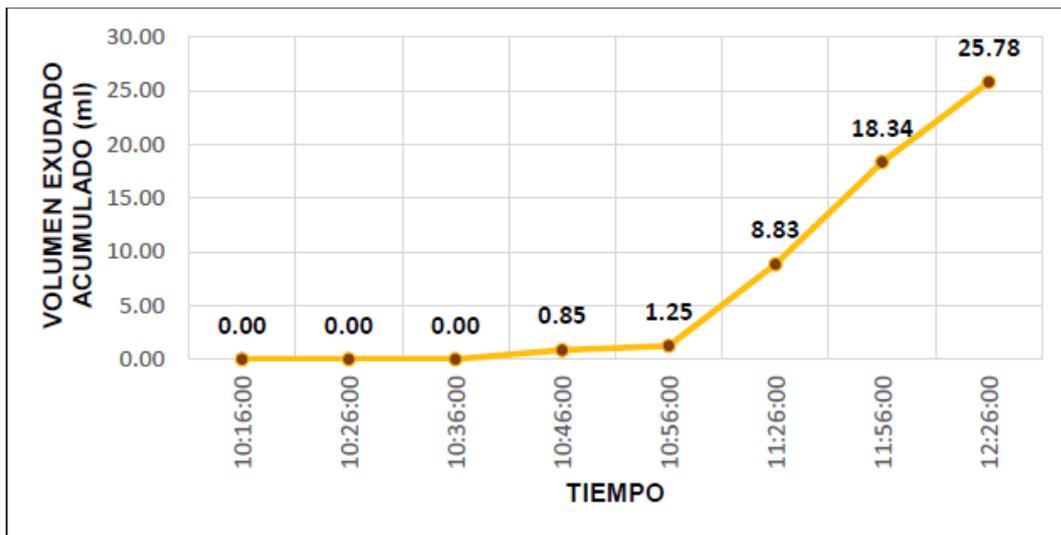


Gráfico 7: Nivel Volumen Exudado acumulado del grupo experimental (con PEAD)

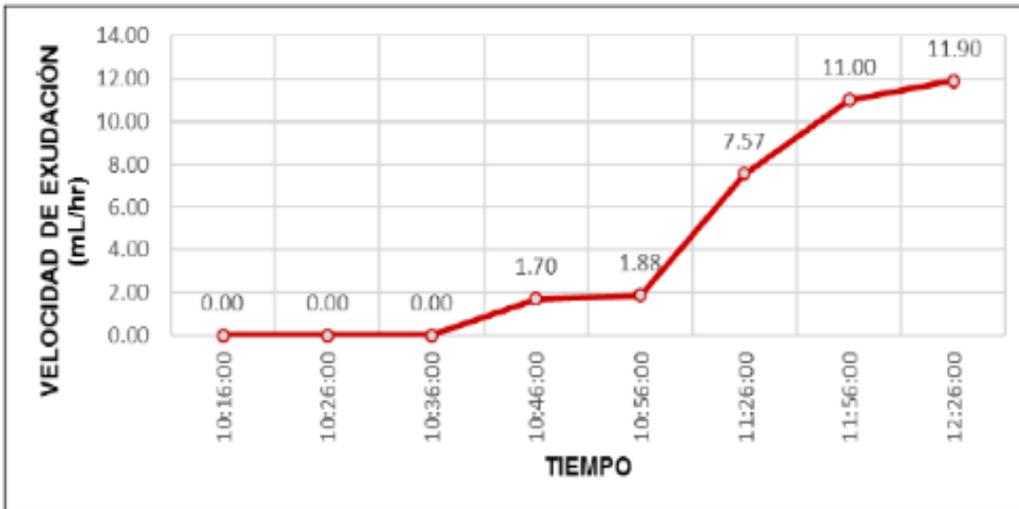


Gráfico 8: Velocidad de exudación en el tiempo del grupo experimental (con PEAD)

La exudación en la mezcla sin ningún aditivo persistió durante 3 horas y 40 minutos, totalizando 220 minutos, y dejando un volumen de 41.58 ml sobre el área de exudado de la muestra. Al dividir el volumen total de exudado por el área total de la muestra utilizando polietileno de alta densidad (HDPE), se obtiene la cantidad de exudado por unidad de área, que se establece en 0.13 ml/cm². El porcentaje de agua extraída en el volumen total de la mezcla de concreto fue del 2.23%, y la tasa promedio de liberación se calculó en 0.11 ml/min.

c. Aire Incorporado

Grupo control – Aire incorporado en la Mezcla

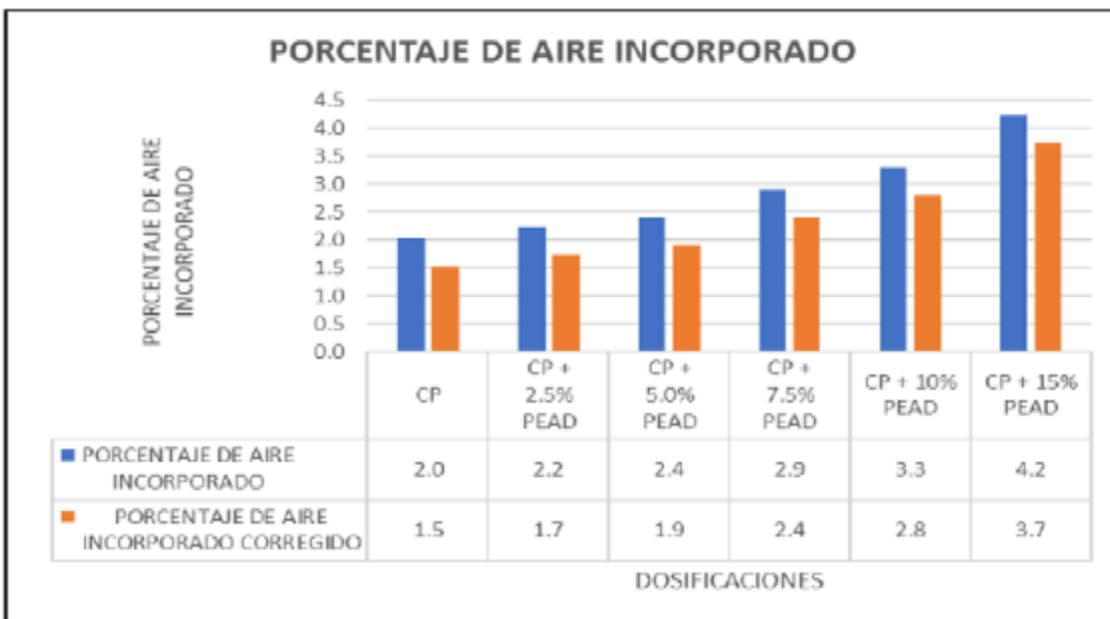


Gráfico 9: Consolidación en porcentaje sobre el Aire Incorporado en la mezcla.

Los resultados fueron obtenidos mediante el ensayo de la Olla Washington, que agrega y promedia los resultados de diversas dosificaciones.

Tabla 12: Porcentaje de aire en la mezcla sin corregir

PORCENTAJE DE AIRE INCORPORADO						
MUESTRA	CP	CP + 2.5% PEAD	CP + 5.0% PEAD	CP + 7.5% PEAD	CP + 10% PEAD	CP + 15% PEAD
M1	2.1	2.2	2.3	3.0	3.5	4.2
M2	2.0	2.4	2.5	2.8	3.1	4.3
M3	2.0	2.1	2.4	2.9	3.3	4.2
PROMEDIO	2.0	2.2	2.4	2.9	3.3	4.2

Grupo control – Aire adicionado corregido en la Mezcla

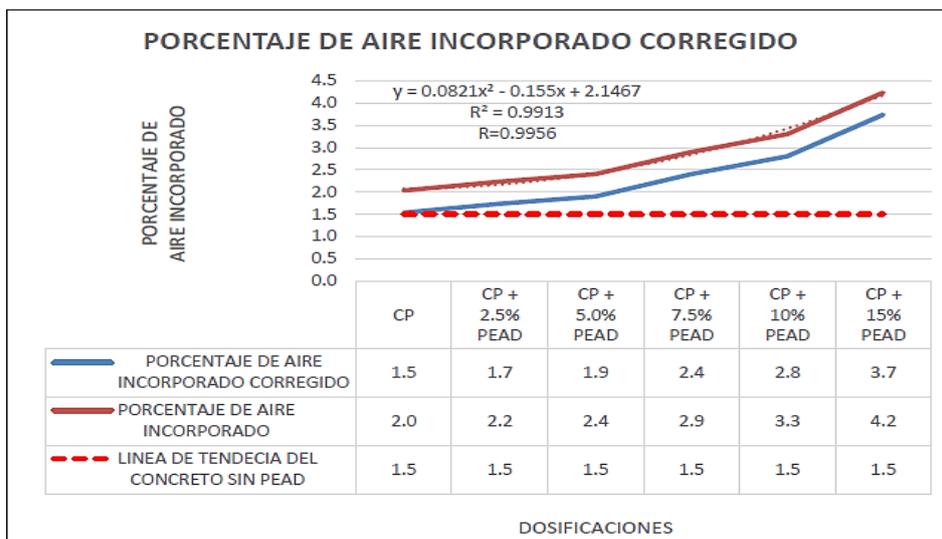


Gráfico 10: Consolidación de datos sobre el Aire Incorporado corregido en la mezcla.

Los resultados obtenidos de la prueba de Washington Pot representan el conjunto de promedios para los diferentes experimentos. El siguiente gráfico muestra una ecuación no lineal y muestra el coeficiente de determinación $R^2 = 0.9913$:

$$y = 0.0824x^2 - 0.155x + 2.1467$$

Después de obtener la ecuación, se puede determinar el grado de correlación de la variable, siendo $R = 0.9956$. Este valor indica un alto grado de correlación en la variable, sugiriendo una fuerte relación entre las variables examinadas.

PORCENTAJE DE AIRE INCORPORADO						
MUESTRA	CP	CP + 2.5% PEAD	CP + 5.0% PEAD	CP + 7.5% PEAD	CP + 10% PEAD	CP + 15% PEAD
M1	1.6	1.7	1.8	2.5	3.0	3.7
M2	1.5	1.9	2.0	2.3	2.6	3.8
M3	1.5	1.6	1.9	2.4	2.8	3.7
PROMEDIO	1.5	1.7	1.9	2.4	2.8	3.7

Tabla 13: Consolidación de datos porcentual del aire en la mezcla corregida

d. Tiempo de fragua del concreto

Grupo control – Elaboración de la mezcla para el concreto sin PEAD–HDPE



Gráfico 11: Representación gráfica de la curvatura de la resistencia a la prueba N° 01 del diseño de mezcla – grupo control (sin PEAD–HDPE)

El gráfico de curva obtenido de los datos de prueba #1 corresponde a la siguiente ecuación no lineal:

$$y = 1.2189e^{0.0215x}$$

Una vez encontrada la ecuación, es posible determinar los tiempos de afinación inicial y final de la muestra, sustituyendo los valores de Y como la fuerza de penetración correspondiente a los 500 PSI iniciales y los 4000 PSI finales obtenidos. Los valores originales de X. Determinar el tiempo y tiempo final de preparación de la muestra. El periodo de fragua como se trabajó en la muestra n° 1 sin PEAD fue de 6h 17 min.

Grupo experimental – Elaboración de la mezcla para el concreto con aditivo

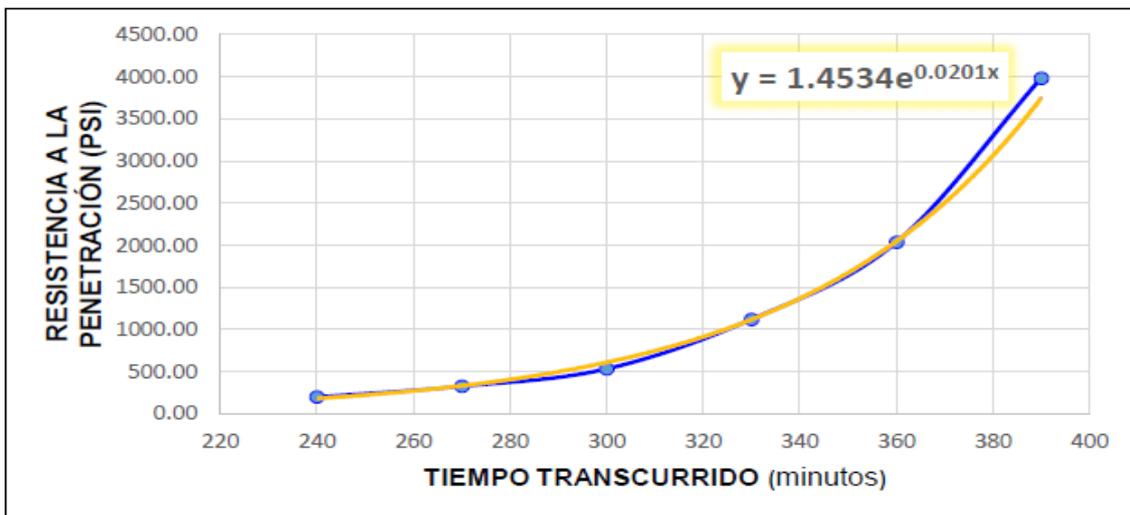


Gráfico 12: Representación gráfica de la curvatura de la resistencia a la prueba N° 01 del diseño de mezcla del grupo experimental (con PEAD)

Esta curva se obtiene a partir de los datos de la Prueba n° 1 con 5% PEAD para la siguiente ecuación no lineal:

$$y = 1.4534e^{0.0201x}$$

De la misma forma que en la prueba anterior, el fraguado inicial y el fraguado final se calculan sustituyendo los valores de Y por 500 PSI y 4000 PSI respectivamente, de donde obtenemos los siguientes tiempos: FRAGUA INICIAL (500 PSI) = 291 min (4h 51min), FRAGUA FINAL (4000 PSI) = 394 min (6h 34min)

e. Resistencia a la compresión

Grupo control – Elaboración de la mezcla para el concreto sin PEAD

1. Muestreo de datos 03 días sin PEAD

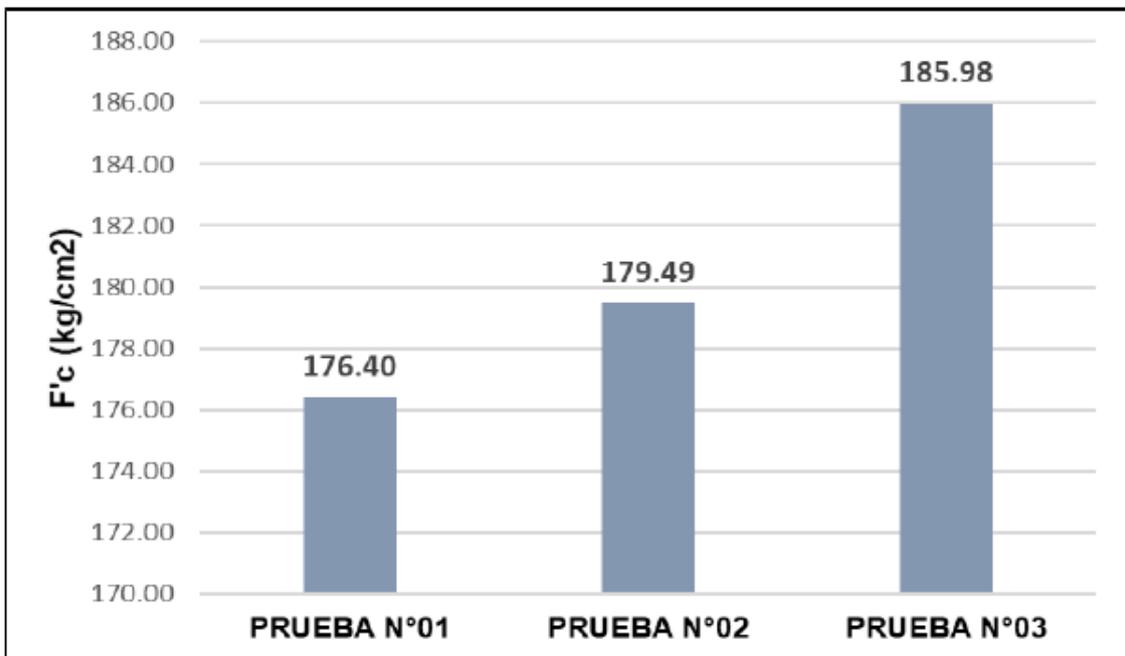


Gráfico 13: Capacidad en la compresión en su resistencia en 3 días – grupo control (sin PEAD)

Según los datos hallados en el experimento correspondientes al primer intervalo de 3 días después del vertido del hormigón, los siguientes valores:

Promedio = 180.62 kg/cm2

Variación = 23.907

Desviación estándar = 4.890

Coef. De variación = 2.707

2. Muestreo de datos 07 días sin PEAD

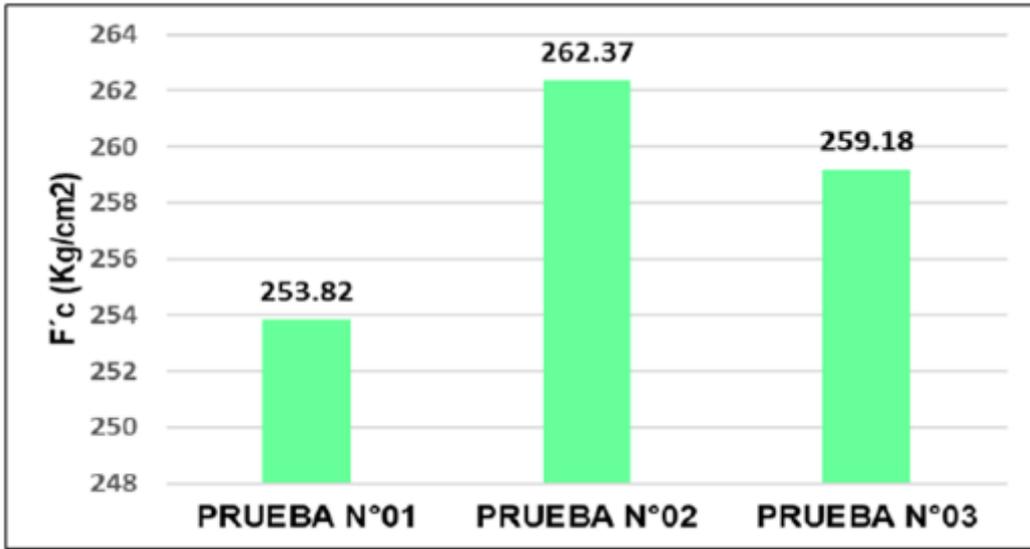


Gráfico 14: Capacidad en la compresión en su resistencia en 07 días – grupo control (sin PEAD–HDPE)

Por lo que presenta los siguientes resultados:

Promedio = 258.457 kg/cm²

Variación = 18.668

Desviación estándar = 4.321

Coef. De variación = 1.672

3. Muestreo de datos 14 días sin PEAD– HDPE

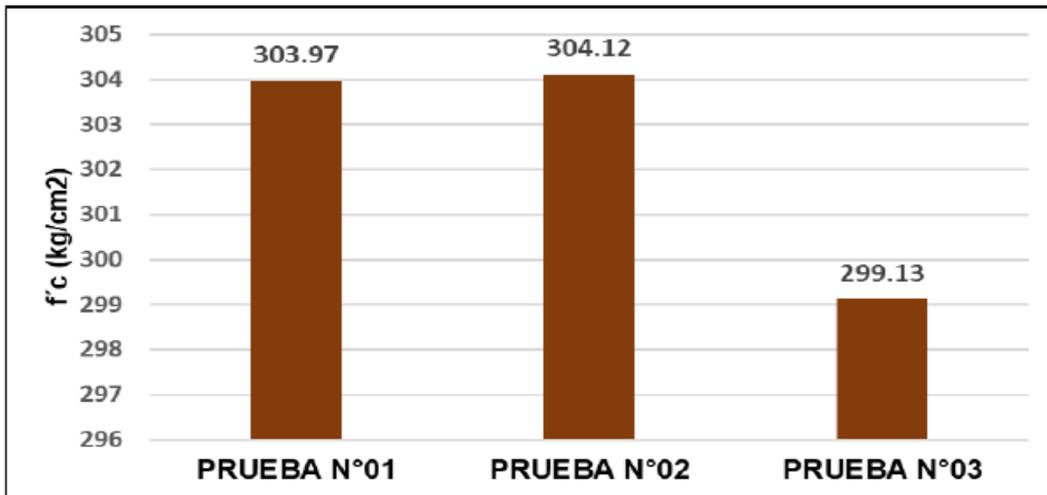


Gráfico 15: Capacidad en la compresión en su resistencia en 14 días – grupo control (sin PEAD)

Según los datos hallados en el ensayo respecto a la segunda fracción 14 días después del hormigonado, los valores obtenidos son:

Promedio = 302.407 kg/cm²

Variación = 8.058

Desviación estándar = 2.839

Coef. De variación = 0.939

4. Muestreo de datos 21 días sin PEAD

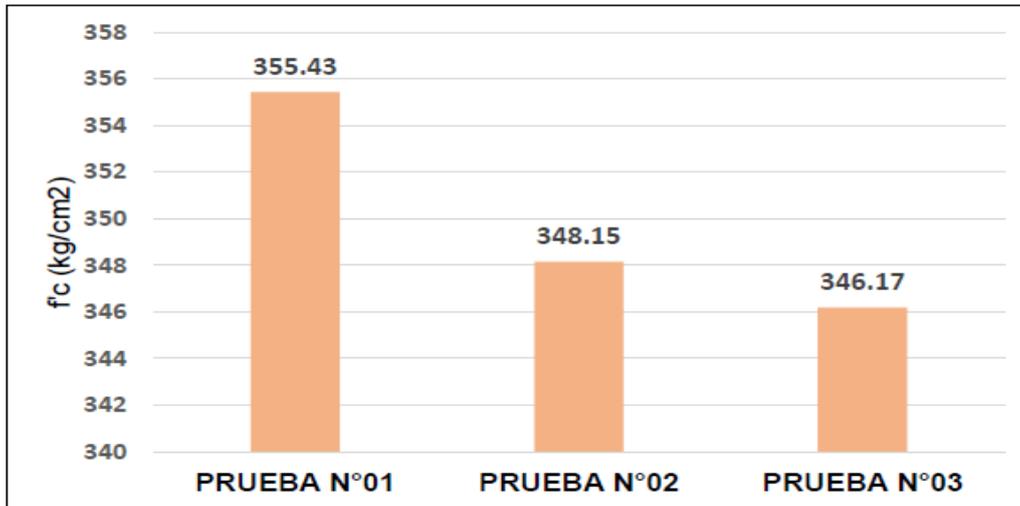


Gráfico 16: Capacidad en la compresión en su resistencia en 21 días – grupo control (sin PEAD)–

Según los datos hallados en el ensayo respecto a la segunda fracción 14 días después del hormigonado, los valores obtenidos son:

Promedio = 349.92kg/cm2

Variación = 23.778

Desviación estándar = 4.876

Coef. De variación = 1.394

5. Muestreo de datos 28 días sin PEAD

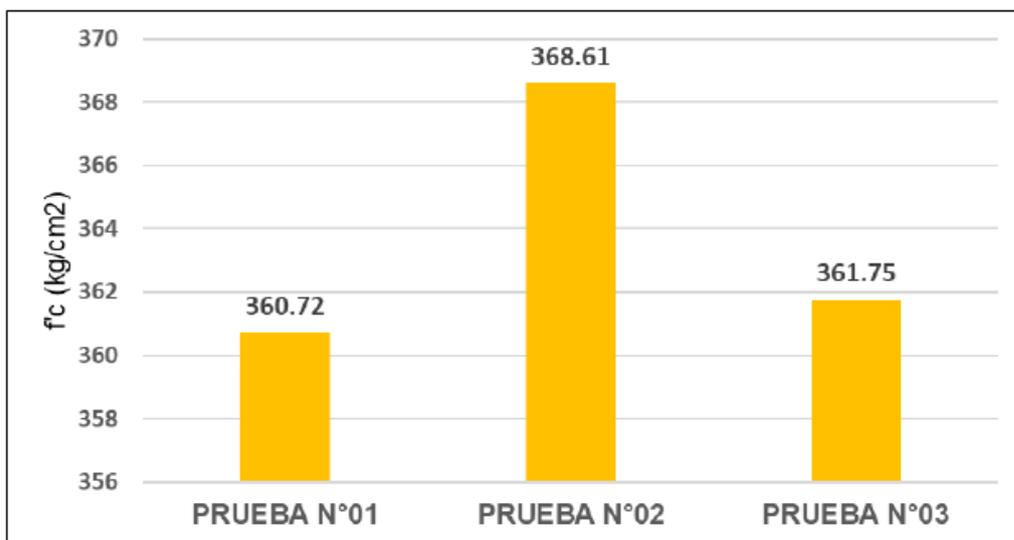


Gráfico 17: Capacidad en la compresión en su resistencia en 28 días – grupo control (sin PEAD)

A partir Según los datos hallados en el experimento respecto a la quinta falla después de 28 días desde la fecha de hormigonado, se obtienen los coeficientes de variación de la siguiente manera:

Promedio = 363.693kg/cm²
Variación = 18.395
Desviación estándar = 4.289
Coef. De variación = 1.179

Curvatura de la resistencia – grupo control (sin PEAD)

Dados todos los valores obtenidos como resultado de las pruebas de presión realizadas en el diseño de la mezcla libre de aditivos, forman la siguiente curvatura de la resistencia a la compresión:

Grupo experimental – Elaboración de la mezcla para el concreto con PEAD

Se realizó la compresión según la (NTP 339.034) para el ensayo de resistencia en muestras mezcladas con HDPE durante 5 días, el primer día fue de 3 días, el segundo día fue de 7 días, el tercero fue de 14 días, el cuarto día fue de 21 días y el quinto de 28 días.

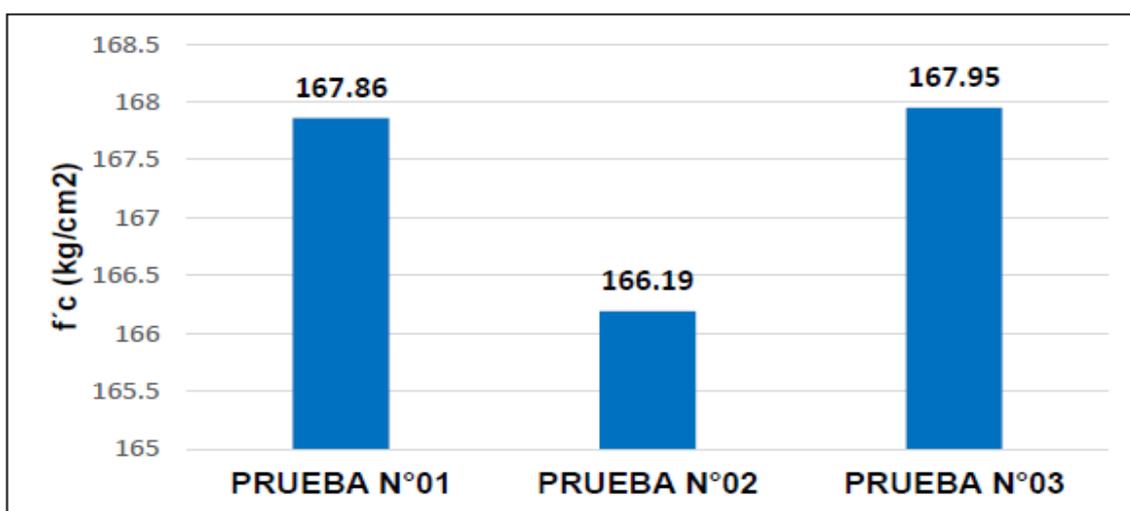


Gráfico 18: Muestreo de datos a los 03 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 167.333kg/cm²
Variación = 0.982
Desviación estándar = 0.991
Coef. De variación = 0.592

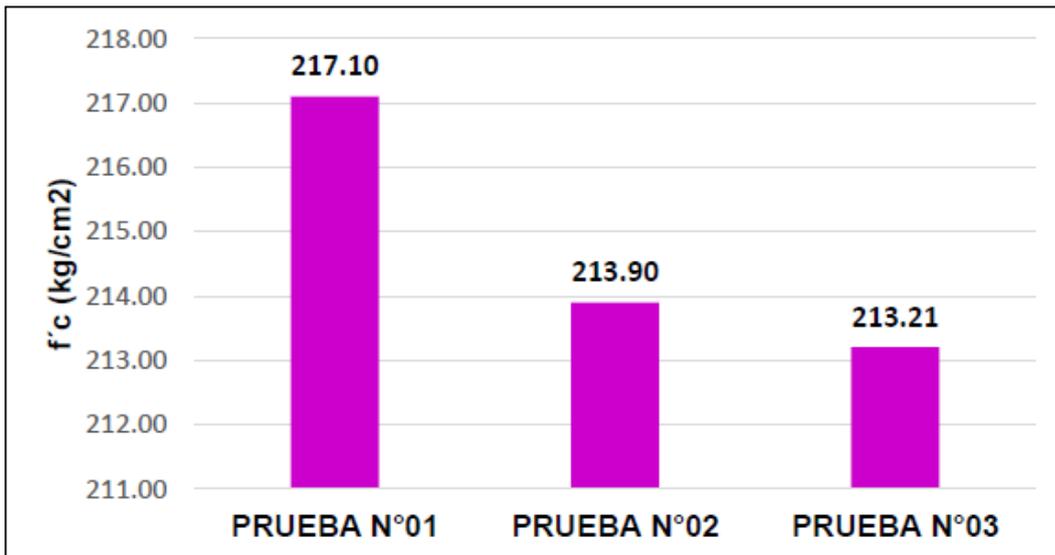


Gráfico 19: Muestreo de datos a los 07 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 214.74 kg/cm²

Variación = 4.308

Desviación estándar = 2.076

Coef. De variación = 0.967

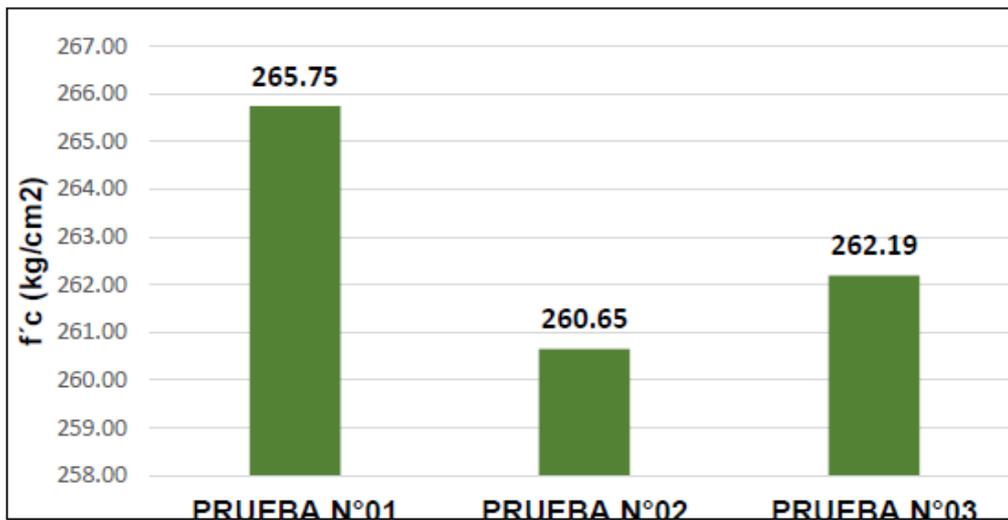


Gráfico 20: Muestreo de datos a los 14 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 262.86 kg/cm²

Variación = 6.843

Desviación estándar = 2.616

Coef. De variación = 0.995

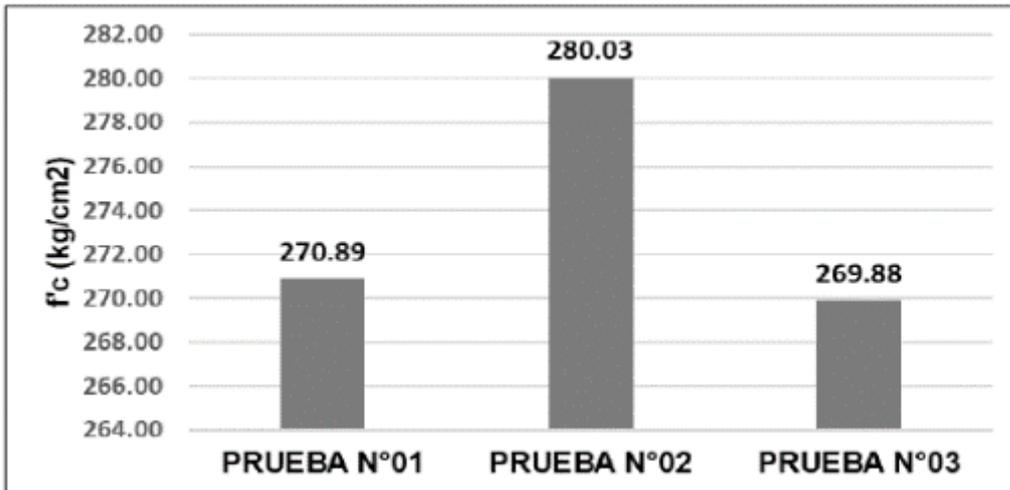


Gráfico 21: Muestreo de datos a los 21 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 273.60 kg/cm²

Variación = 31.264

Desviación estándar = 5.591

Coef. De variación = 2.044

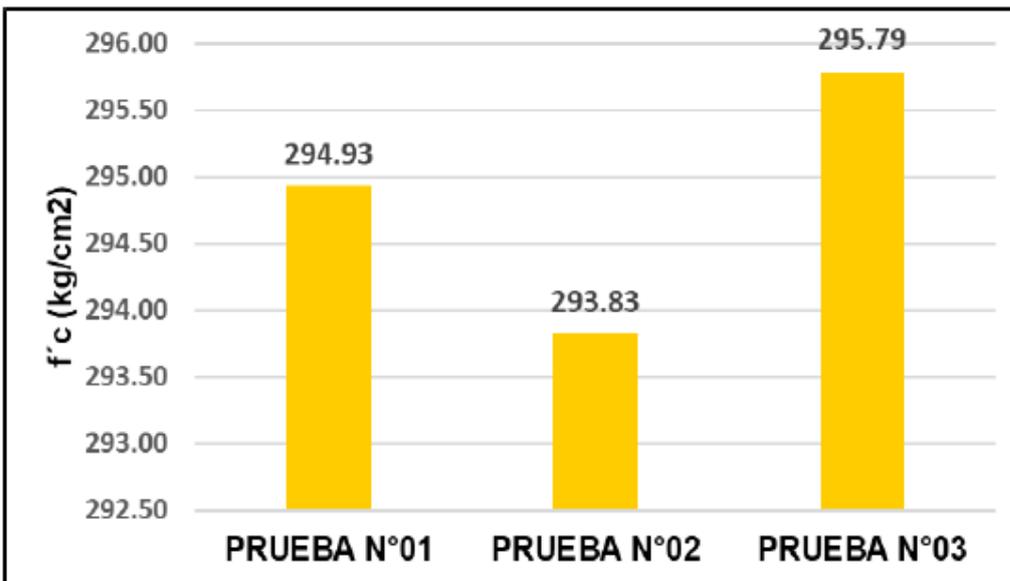


Gráfico 22: Muestreo de datos a los 28 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 294.93 kg/cm²

Variación = 0.965

Desviación estándar = 0.982

Coef. De variación = 0.333

f. Resistencia a la compresión grupo control y experimental en los ciclos de congelamiento y deshielo

Estos conjuntos de muestras se simularon en ciclos adicionales de congelación y descongelación de 24 h.

Grupo control – Elaboración de la mezcla para el concreto sin PEAD

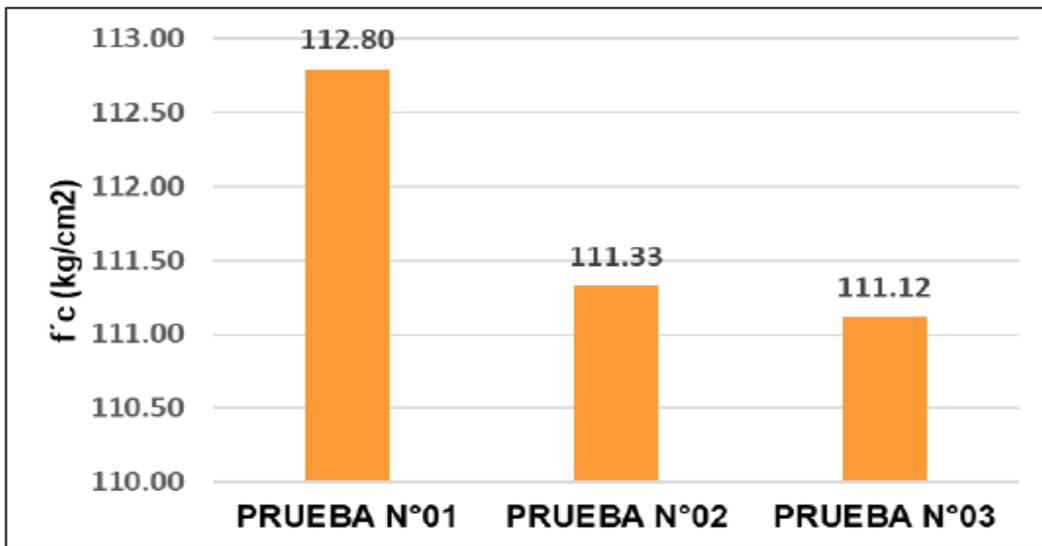


Gráfico 23: Muestreo de datos 03 días sin PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 111.75 kg/cm²

Variación = 0.838

Desviación estándar = 0.915

Coef. De variación = 0.819

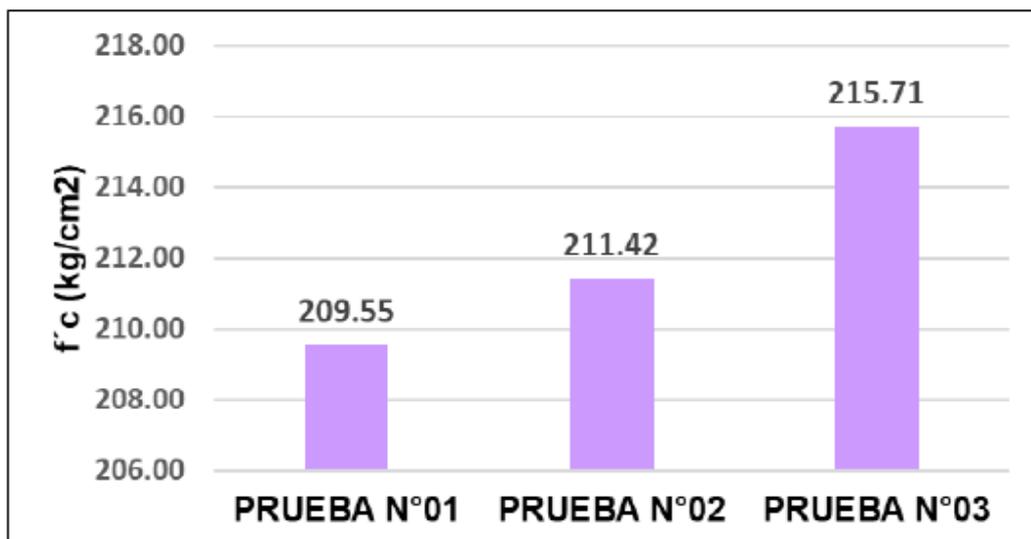


Gráfico 24: Muestreo de datos 07 días sin PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 212.23 kg/cm²

Variación = 9.974

Desviación estándar = 3.158

Coef. De variación = 1.488

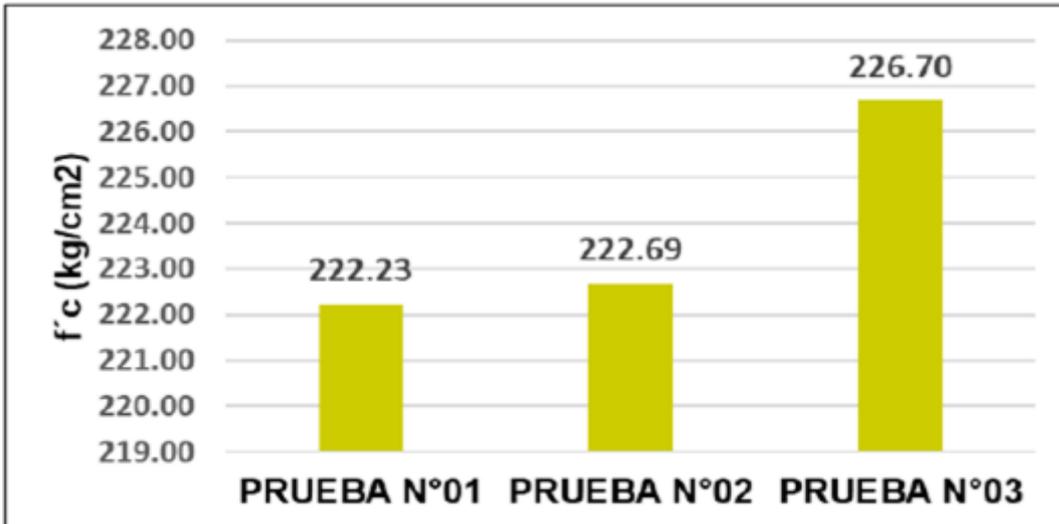


Gráfico 25: Muestreo de datos 14 días sin PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 223.87 kg/cm²

Variación = 6.045

Desviación estándar = 2.459

Coef. De variación = 1.098

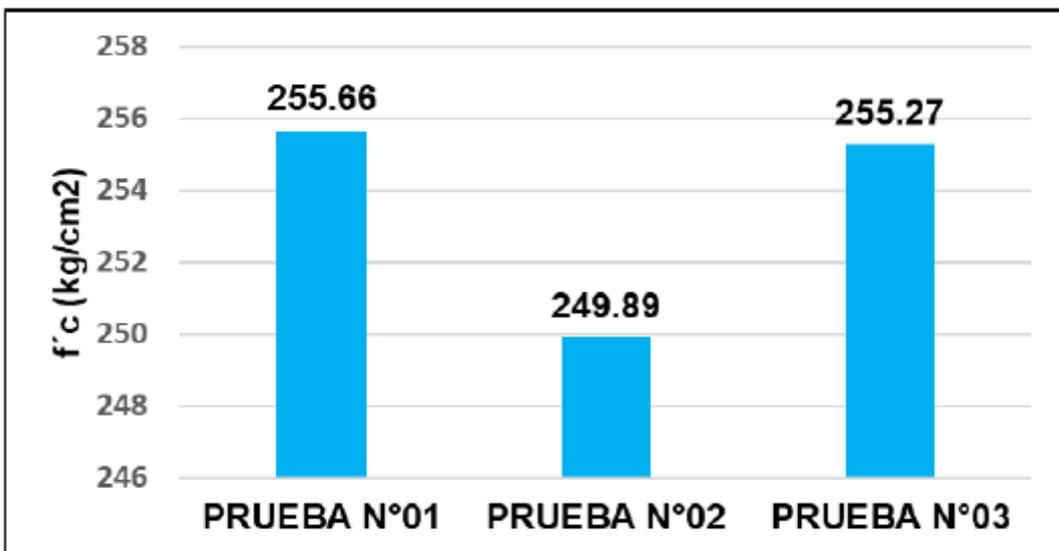


Gráfico 26: Muestreo de datos 21 días sin PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 253.607 kg/cm²

Variación = 10.398

Desviación estándar = 3.225

Coef. De variación = 1.272

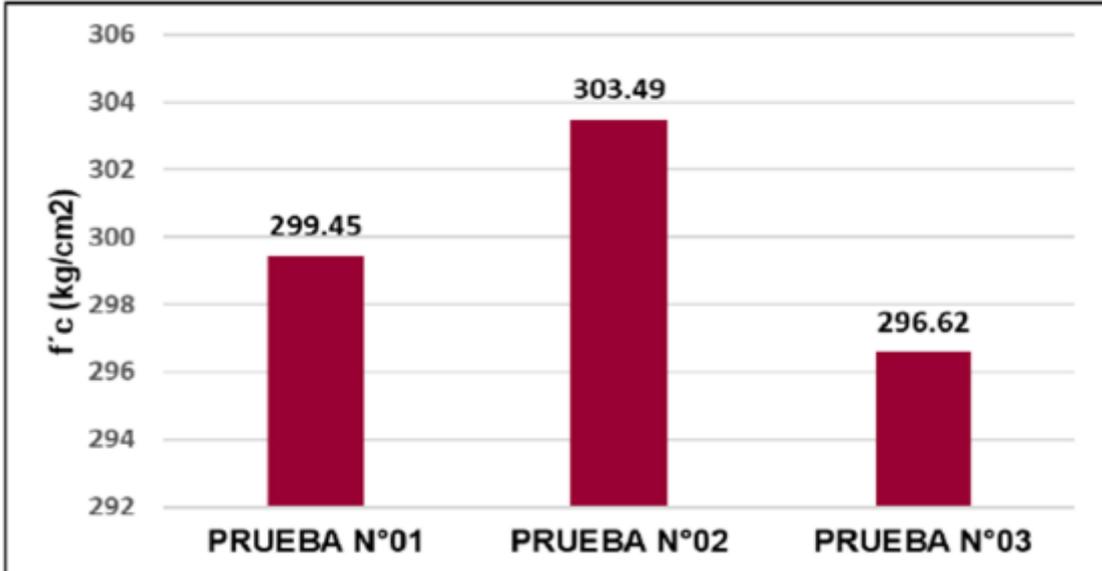


Gráfico 27: Muestreo de datos 21 días sin PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 299.853 kg/cm²

Variación = 11.921

Desviación estándar = 3.453

Coef. De variación = 1.151

Grupo Experimental – Elaboración de la mezcla para el concreto Con PEAD – sometido a ciclos de congelamiento y deshielo

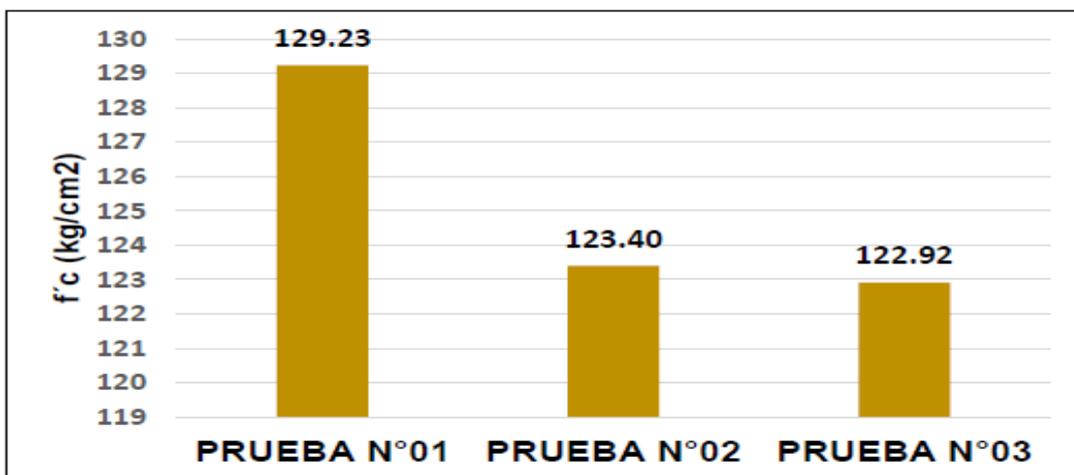


Gráfico 28: Muestreo de datos a los 03 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 125.183 kg/cm²

Variación = 12.339

Desviación estándar = 3.513

Coef. De variación = 2.806

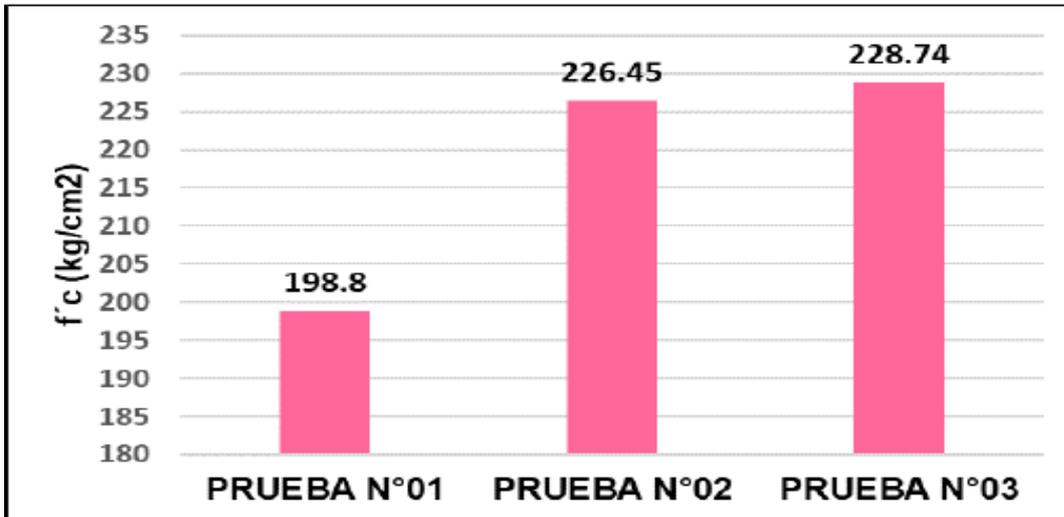


Gráfico 29: Muestreo de datos a los 07 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 217.997 kg/cm²

Variación = 277.695

Desviación estándar = 16.664

Coef. De variación = 7.644

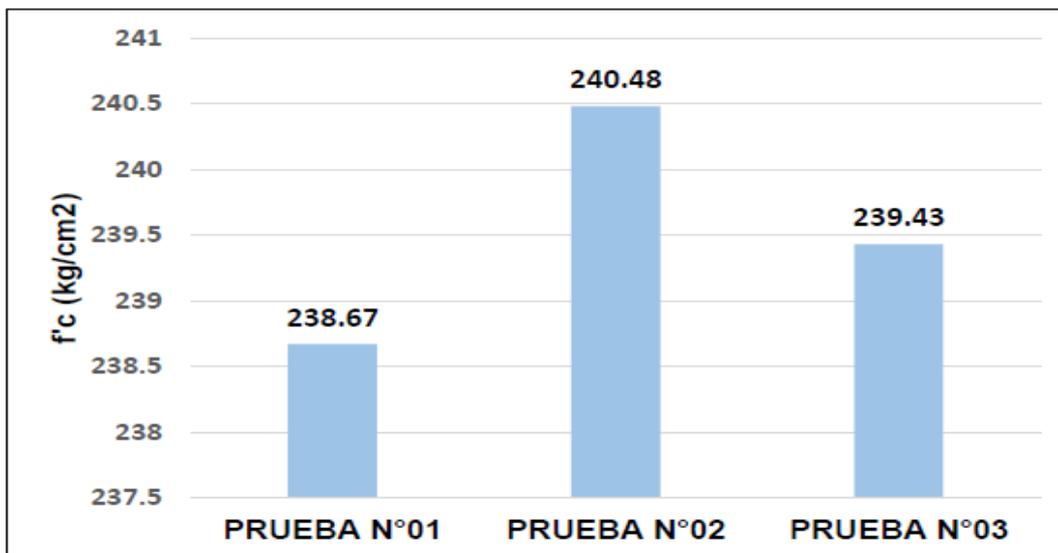


Gráfico 30: Muestreo de datos a los 14 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 238.67 kg/cm²

Variación = 0.826

Desviación estándar = 0.909

Coef. De variación = 0.379

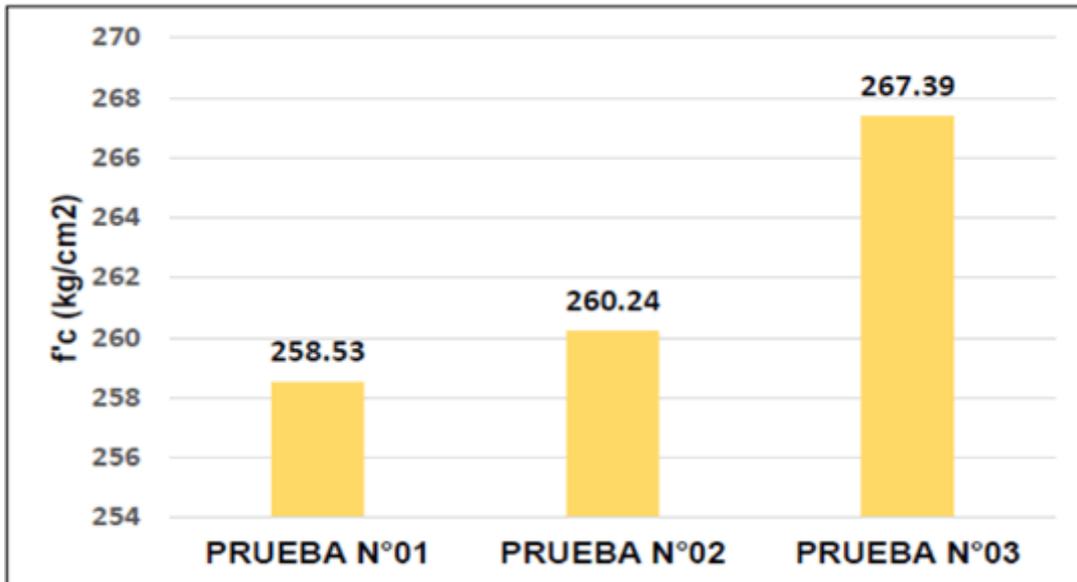


Gráfico 31: Muestreo de datos a los 21 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio = 262.053 kg/cm²

Variación = 22.091

Desviación estándar = 4.700

Coef. De variación = 1.794

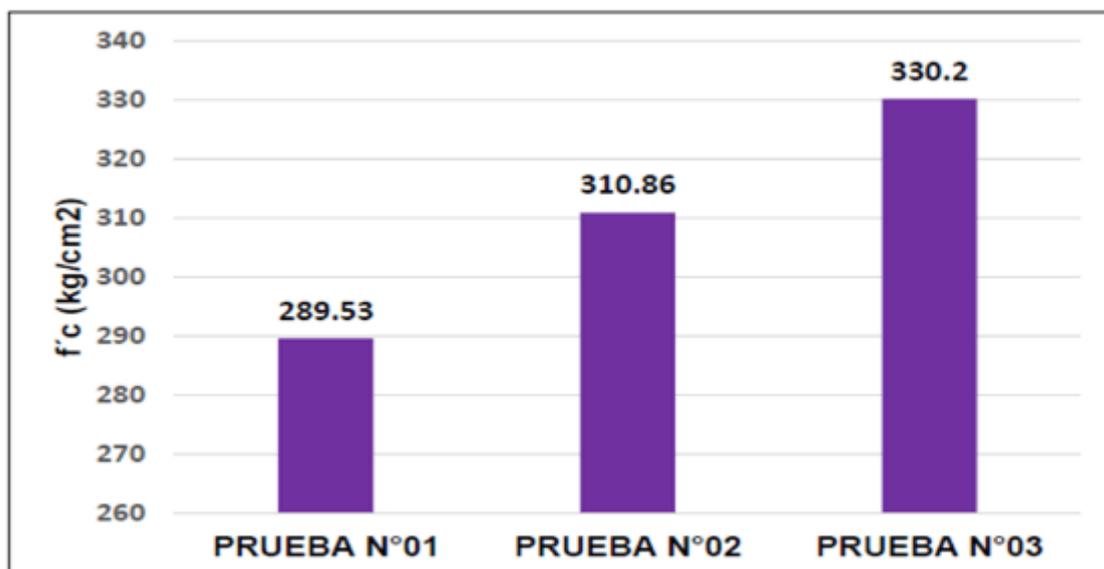


Gráfico 32: Muestreo de datos a los 28 días con PEAD

Dándose los datos:

Promedio: 310,20 kg/cm²
Variación: 413,842
Desviación estándar: 20,343
Coef. De variación: 6,558

5.2. Contrastación de hipótesis

Se compararon los resultados de todas las pruebas y ensayos obtenidos entre el grupo control sin HDPE y el grupo experimental que contenía HDPE (polietileno de alta densidad reciclado) teniendo en cuenta la prueba que incluía 5% de HDPE en la mezcla, siendo la mezcla de concreto la mejor; para aplicaciones de ingeniería civil.

Hi: El HDPE reciclado mejora las propiedades del hormigón sometido al ciclo de congelación y desleimiento.

H0: El HDPE reciclado no mejora las propiedades del hormigón sometido al ciclo de congelación y desleimiento.

4.2.1 De la Hipótesis específica 1:

Hi: El HDPE reciclado aumenta la trabajabilidad del hormigón

H0: El HDPE reciclado no aumenta la trabajabilidad del hormigón.

De la consolidación de las muestras sobre la propiedad de hormigón, se consolida la siguiente tabla, en la que se comparan el grupo de control (hormigón sin HDPE) y el grupo experimental (hormigón con 5% de HDPE):

Tabla 14: Comparación estadística de asentamiento (Slump)

GRUPO CONTROL DE CONCRETO SIN PEAD-HDPE		GRUPO EXPERIMENTAL DE CONCRETO CON PEAD-HDPE	
PROMEDIO	3.60 pulg	PROMEDIO	3.78 pulg
MEDIANA	3.50 pulg	MEDIANA	3.80 pulg
VARIANZA	0.043	VARIANZA	0.003
DESVIACIÓN TÍPICA	0.207	DESVIACIÓN TÍPICA	0.054
COEFICIENTE DE VARIACIÓN	5.760	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	1.430

El asentamiento promedio del concreto en el grupo de control sin polietileno de alta densidad reciclado (HDPE) fue de 3,60 pulgadas y en el grupo de prueba o con HDPE fue de 3,788 pulgadas, lo que representa la mayor diferencia entre los dos. Consistente con un aumento del 5,222 % en esta característica, que es el conjunto de prueba más compacto, que alcanza la consistencia de líquido, lo que indica que el HDPE es efectivo para cambiar esta característica en su nuevo estado. Por lo que se acepta la hipótesis nula.

4.2.2 De la Hipótesis específica 2:

Hi: El polietileno reciclado de alta densidad incrementa la exudación del hormigón.

H0: El polietileno reciclado de alta densidad no incrementa la exudación del hormigón.

En base a lo recolectado a los exudados de concreto, obtenemos las siguientes tablas donde se obtuvo el grupo control (diseño de concreto sin HDPE) y el grupo experimental (diseño de concreto con HDPE) y existe una varianza:

Tabla 15: Comparación de resultados del ensayo de exudación

	SIN PEAD	CON PEAD	UNIDAD
Volumen total de exudación de agua	34.50	41.58	ml
Peso de solido extraídos exudación	3.12	3.12	gr
Zona expuesta del concreto (cm ²)	326.21	326.21	cm ²
Agua de exudación por unidad de superficie	0.11	0.13	ml/cm ²
Peso total de la muestra elaborada	48.82	48.82	kg
Peso de la muestra	20.23	19.17	kg
Peso neto del agua en la muestra	4.75	4.75	kg
Agua total que contiene la muestra estudiada	1.97	1.87	kg
Cantidad de agua extraída	1.75	2.23	%
Periodo total de exudación	160.00	220.00	min
Velocidad promedio de exudación	0.12	0.11	ml/min

Tabla 16: Diferencia y porcentaje de resultados de las muestras – grupo control y el grupo experimental

COMPARACIÓN DE VALORES				
Variación	Volumen total de exudación de agua	7.08	ml	21%
	Agua de exudación por unidad de superficie	0.02	ml/cm ²	18%
	Agua total que contiene la muestra estudiada	-0.1	kg	5%
	Cantidad de agua extraída	0.48	%	0%
	Tiempo total de exudación	60	min	38%
	Velocidad promedio de exudación	0.01	ml/min	8%

En la tabla se detallan los resultados analíticos de la muestra del grupo experimental (con HDPE) que liberó 7.08 ml, mostrando un aumento del 21% en comparación con el grupo de control (sin HDPE). Esto sugiere que la reacción química inducida por el HDPE provoca una pérdida de agua más significativa en la muestra de prueba, resultando en un valor de descarga por unidad de área más elevado.

Además, se determinó que el tiempo de perfusión en el grupo experimental fue un 38% mayor que en el grupo de control, con una diferencia de 60 minutos entre la finalización de cada muestra analizada. Esto permitió calcular la variación en la tasa promedio de exudación, que fue de 0.01 ml/h o un 8%. El valor del grupo experimental fue superior al del grupo de control. Estos datos se representan en el gráfico siguiente, que exhibe la cantidad acumulada de exudación a lo largo del tiempo.

El gráfico 33 revela que la muestra con PEAD inició la exudación 20 minutos antes que la muestra sin PEAD, indicando que el PEAD generó un exudado más temprano y de mayor volumen. En consecuencia, se confirma la hipótesis nula.

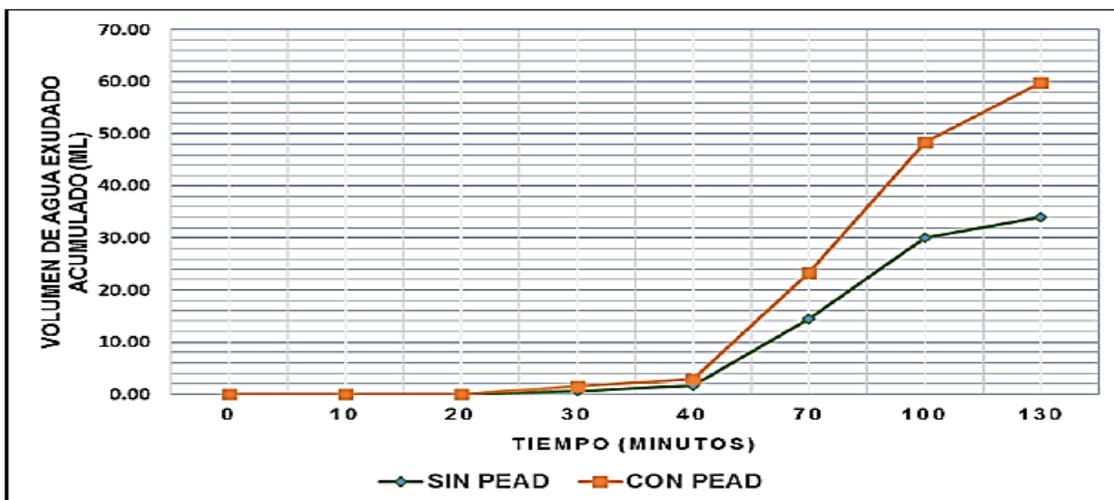


Gráfico 33: Análisis comparativo de los volúmenes acumulados de exudación – grupo control y experimental

4.2.3 De la Hipótesis Específica 3:

Hi: El HDPE reciclado aumenta la proporción de aire en el hormigón

H0: El HDPE reciclado no aumenta el contenido de aire en el hormigón

A partir del análisis realizado para esta característica del concreto, se presenta la siguiente tabla que permite la comparación entre el grupo de control (mezcla sin HDPE) y el grupo experimental (concreto con un 5% de HDPE):

Tabla 17: Comparación estadística de la incorporación de aire (%)

	Incorporación de aire en la mezcla sin pead	Incorporación de aire en la mezcla con pead al 5%
Promedio	2.00 %	2.40%
Mediana	2.00 %	2.40%
Varianza	0.003333	0.01000
Desviación típica	0.057735	0.10000
Coefficiente de Variación	0.028394	0.041667

La tabla 20 de este trabajo de investigación presenta los valores obtenidos en la mezcla de hormigón sin incorporación del HDPE y la mezcla donde el hormigón al que se añadió HDPE con una dosis óptima del 5% y muestra un incremento del 20% sobre el valor original inicialmente, esto representa un aumento en esta característica y exhibe un mejor comportamiento de temperatura en el estado sólido. Por lo que se acepta la hipótesis nula.

4.2.4 De la Hipótesis Específica 4:

Hi: El polietileno reciclado de alta densidad incrementa el periodo de fragua del hormigón.

H0: El polietileno reciclado de alta densidad no incrementa el periodo de fragua del hormigón.

Ambos conjuntos, el de control (sin PEAD) y el experimental (con PEAD), fueron analizados para determinar la resistencia a la penetración a 500 PSI y 4000 PSI, con el fin de obtener los tiempos de fraguado inicial y final respectivamente.

En el conjunto de control (sin PEAD), se registró un tiempo de fraguado inicial de 280.5 minutos, equivalente a 4 horas, 40 minutos y 30 segundos, mientras que el tiempo de fraguado final fue de 377.5 minutos, equivalente a 6 horas, 17 minutos y 30 segundos. En cambio, para el conjunto experimental (con PEAD), se obtuvo un tiempo de fraguado inicial de 291 minutos, es decir, 4 horas y 51 minutos, y un tiempo de fraguado final de 394 minutos, equivalente a 6 horas y 34 minutos. La diferencia entre ambos conjuntos en el tiempo de fraguado inicial fue de 16.5 minutos, y en el tiempo de fraguado final fue de 10.5 minutos, siendo los tiempos más prolongados en el caso del concreto con PEAD.

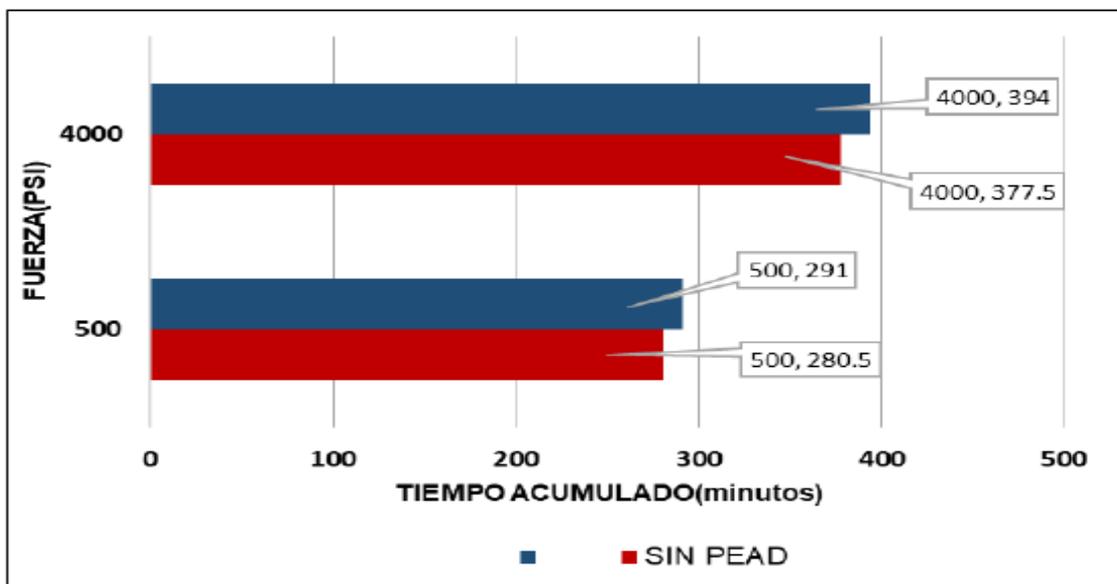


Gráfico 34: Comparativo Fuerza sobre Tiempo – grupo control (sin PEAD) y experimental (con PEAD)

El período total de fraguado del conjunto experimental (con PEAD) es mayor que el del conjunto de control (sin PEAD) en 10.5 minutos, representando un aumento del 3.74%. Además, se observó que el conjunto experimental experimentó un retraso de 16.5

minutos, equivalente al 4.37%, en el inicio del fraguado en comparación con el conjunto de control.

A partir de los datos recopilados, se evidencia que, aunque el inicio del fraguado a 500 PSI en el conjunto experimental (con PEAD) se retrasa en comparación con el conjunto de control, el comportamiento durante el período de fraguado una vez iniciado es similar al observado con el uso de un aditivo acelerante. Este patrón se refleja incluso hasta la rotura a los 28 días después del vaciado de las muestras con PEAD.

4.2.5 De la Hipótesis Específica 5:

Hi: El polietileno reciclado de alta densidad aumenta la resistencia común y sometido a ciclos de congelamiento del hormigón.

H0: El polietileno reciclado de alta densidad no aumenta la resistencia común y sometido a ciclos de congelamiento del hormigón.

En funcionalidad a cada una de las roturas del conjunto empírico y control, se hizo la siguiente gráfica:

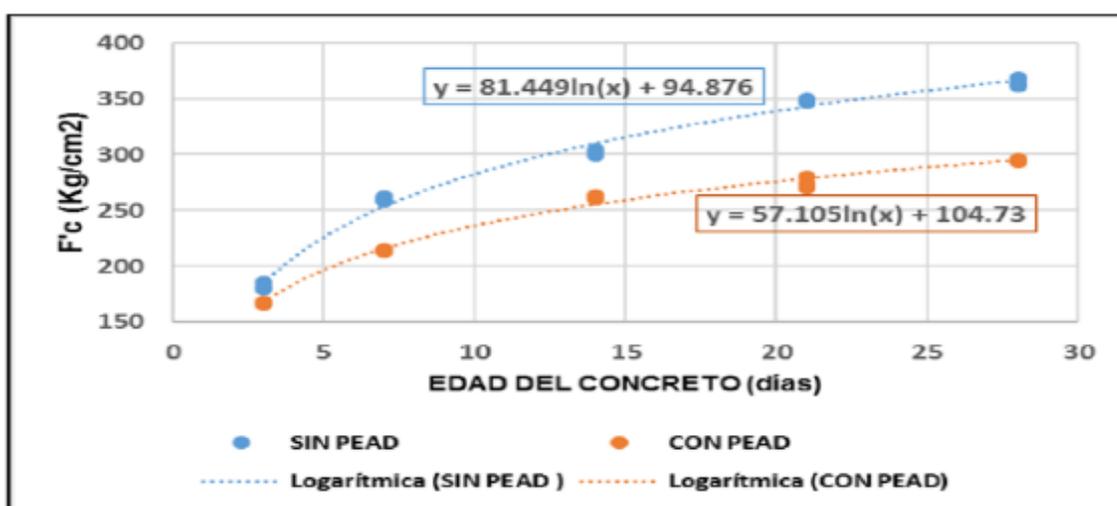


Gráfico 35: Comprensión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)

Se nota en las gráficas que los valores de resistencia a la compresión en las pruebas del conjunto de mezcla experimental (con PEAD) exhiben una disminución en comparación con el conjunto de control (sin PEAD).

Para entender mejor la magnitud de esta disminución en la resistencia a la compresión entre ambos diseños, hemos calculado los promedios de resistencia a la rotura para cada conjunto y fecha. Los resultados se presentan en el cuadro N° 21, donde los valores

porcentuales indican la variación de los resultados en el conjunto experimental (con PEAD) en relación con el conjunto de control (sin PEAD)

Tabla 18: Consolidación de las pruebas de la compresión sometida a la resistencia – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)

	PROMEDIO Kg/cm ²	VARIACION	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE VARIACION
03 días sin pead	180.620	23.907	4.890	2.707
03 días con pead	167.333	0.982	0.991	0.595
	-7.356		-79.734	-78.131
07 días sin pead	258.457	18.668	4.321	1.672
07 días con pead	214.74	4.308	2.076	0.967
	-16.915		-51.956	-42.165
14 días sin pead	302.407	8.058	2.839	0.939
14 días con pead	262.86	6.843	2.616	0.995
	-13.077		-7.855	5.964
21 días sin pead	349.92	23.778	4.876	1.394
21 días con pead	273.60	31.264	5.591	2.044
	-21.811		14.664	46.628
28 días sin pead	363.693	18.395	4.289	1.179
28 días con pead	294.85	0.965	0.982	0.333
	-19.163		-77.104	-71.756

Para representar gráficamente las curvas de resistencia media a la compresión del grupo de control (sin HDPE) y el grupo experimental (con HDPE), se emplearon los valores medios de la Tabla 109. Se observó una disminución del -21.81% en la resistencia a la compresión del grupo experimental en comparación con el grupo de control a los 21 días. Sin embargo, la capacidad de resistencia a los 28 días reveló que el déficit mencionado anteriormente para el grupo experimental en comparación con el grupo de control fue solo del -19.163%.

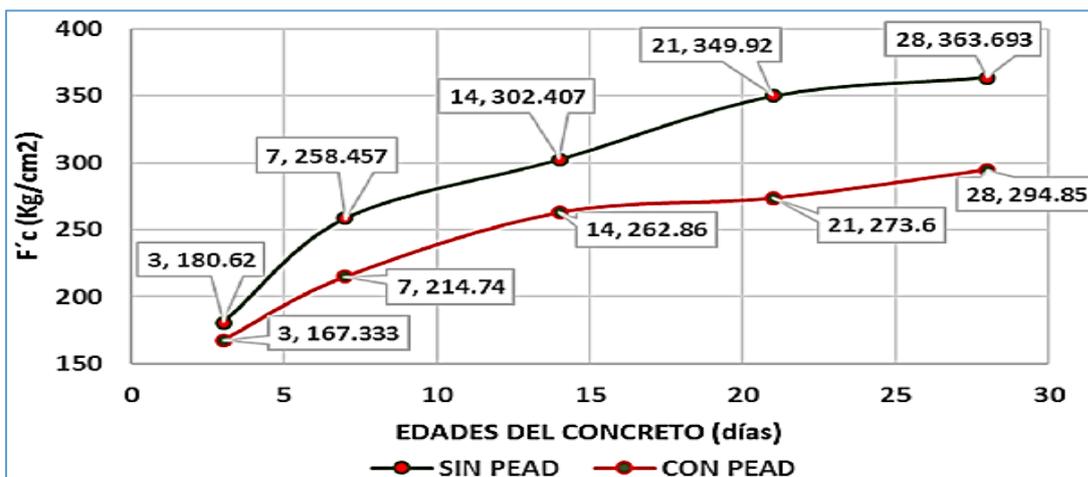


Gráfico 36: Compresión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)

De acuerdo con las observaciones, el valor de resistencia del grupo experimental después de 21 días de hormigonado fue un 21,81% inferior al – grupo control.

Del mismo modo, se observó que la resistencia del hormigón a los 28 días de hormigonado para el grupo experimental (con PEAD) disminuyó en 19.163 respecto al valor resultante para el grupo control (sin PEAD).

a. Resistencia a la compresión – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD) sometido a congelación y desleimiento.

Con base en todos los intervalos entre los grupos experimental y de control, se generó el siguiente gráfico:

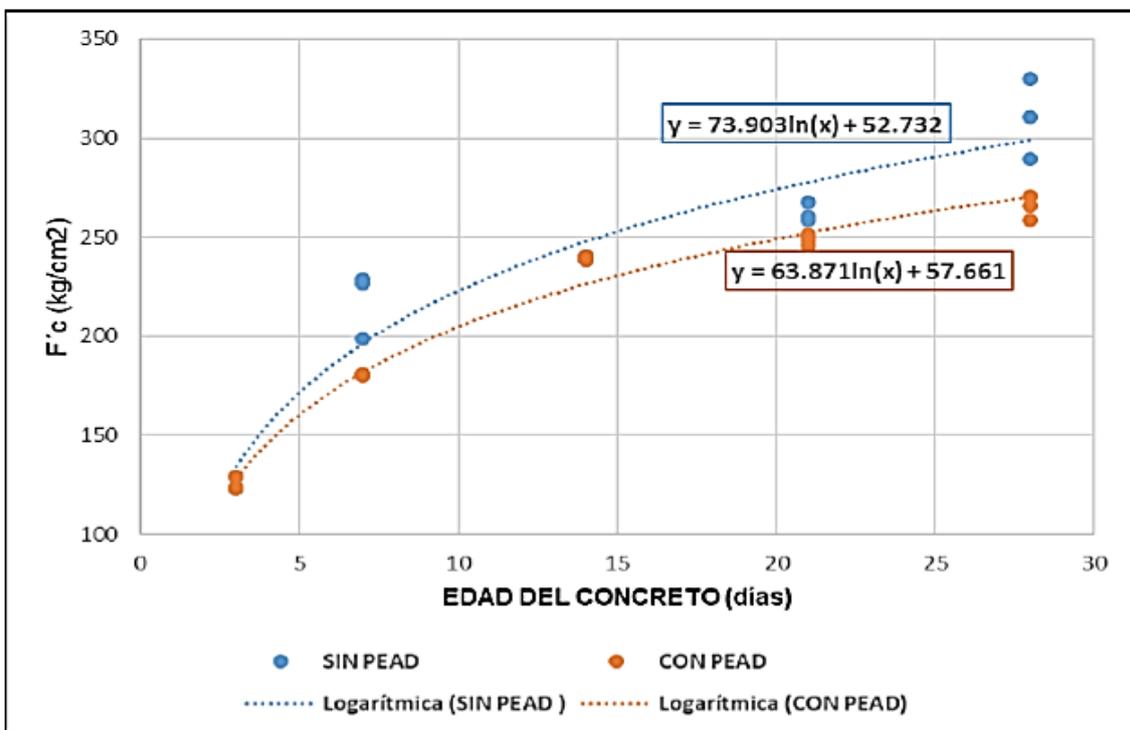


Gráfico 37: Compresión del concreto según la curva resistencial – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD) llevado a congelación y desleimiento

Se observa en las curvas de los ensayos de resistencia a compresión del hormigón para grupos expuestos a ciclos de hielo y deshielo; Los valores aumentaron moderadamente en comparación con el grupo control (sin PEAD).

Para calcular el incremento en la resistencia a la compresión entre los dos diseños, se recogieron los promedios de fallas por grupo y por día, dados en la Tabla 110, donde el valor porcentual es el cambio de resultados El grupo experimental (con HDPE) comparado con el grupo control (sin HDPE).

Tabla 19: Consolidación de las pruebas de la compresión sometida a la resistencia – grupo control (sin PEAD) y el grupo Experimental (con PEAD) – sometido a ciclos de congelación y desleimiento

	PROMEDIO Kg/cm ²	VARIACION	DESVIACION ESTANDAR	COEFICIENTE VARIACION
03 DIAS SIN PEAD	111.750	0.838	0.915	0.819
03 DIAS CON PEAD	125.183	12.339	3.513	2.806
	12.021		283.934	242.613
07 DIAS SIN PEAD	212.230	9.974	3.158	1.488
07 DIAS CON PEAD	217.99	277.695	16.664	7.644
	2.714		427.676	413.710
14 DIAS SIN PEAD	223.87	6.045	2.459	1.098
14 DIAS CON PEAD	239.53	0.826	0.909	0.379
	6.995		-63.034	-65.483
21 DIAS SIN PEAD	253.61	10.398	3.225	1.272
21 DIAS CON PEAD	262.05	22.091	4.700	1.794
	3.328		45.736	41.038
28 DIAS SIN PEAD	299.853	11.921	3.453	1.151
28 DIAS CON PEAD	310.20	413.842	20.343	6.558
	3.451		489.14	469.765

Gráfico 36 Curva del valor medio de la resistencia a compresión para el grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD)

Para los ciclos de congelación y desleimiento se utilizan los valores promedio de la Tabla 110, donde el incremento de resistencia mostrado a los 03 días es 12.021%, a los 07 días 2.714%, a los 14 días 6.995%, a los 21 días en 3.328% y por 28 de 3.451% en comparación con el grupo de control (sin HDPE).

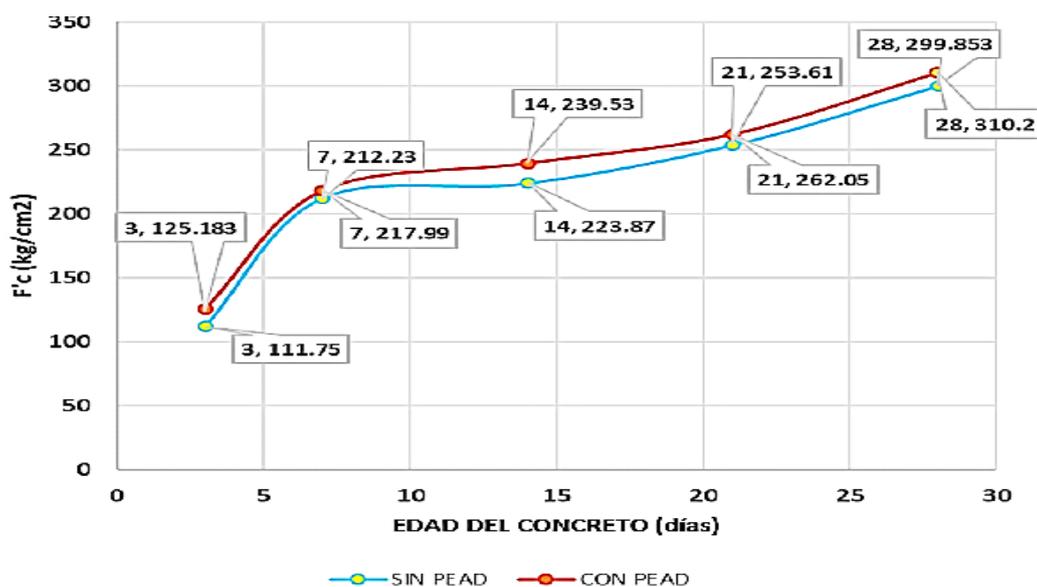


Gráfico 38: Promedio de resistencia según la curva de valor en – grupo control (sin PEAD) y el grupo experimental (con PEAD) – sometido a periodos de congelación y desleimiento.

De acuerdo a la observación, el valor de resistencia de la tanda experimental al momento de hormigonar durante 07 días fue 15.058 % menor que la de la tanda control, en el que 21 días es 1,940% y 28 días es 11,643%.

De igual manera se observó que la resistencia del concreto a los 3 días de hormigonado para el grupo experimental (con PEAD) experimentó un ligero incremento de 12.021% y al día 14 fue de 6.995% respecto al valor del resultado – grupo control. (sin PEAD).

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Trabajabilidad

La premisa relacionada con la trabajabilidad ha sido aceptada. Sobre la influencia positiva del (PEAD) se refleja en un incremento del 5.222% en la fluidez del conjunto experimental (con PEAD) en comparación con el conjunto de control (sin PEAD), como se evidencia en la tabla 14 comparación estadística de asentamiento (SLUMP). El asentamiento promedio para el conjunto de control (sin PEAD) es de 3.60", y por otro lado para el conjunto experimental (con PEAD) es de 3.78". La mejora en la trabajabilidad al sustituir el 5% de PEAD en el agregado fino resulta beneficiosa para su aplicación en diversas construcciones en regiones frías. Esto se debe a que la optimización de esta propiedad facilita la colocación y consolidación del concreto, previniendo problemas como segregación y posibles grietas futuras relacionadas con las condiciones climáticas. El comportamiento del PEAD, al contraerse de manera adecuada en ambientes fríos, contribuye a la formación de huecos donde el agua puede acumularse cuando se encuentra en dichas condiciones climáticas.

5.2. Exudación

La validación de la segunda premisa específica se ha confirmado mediante el análisis detallado de los resultados del ensayo de exudación, evidenciando que la presencia de polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) provoca un aumento significativo en el volumen de exudación en las muestras del conjunto experimental (con PEAD). En la Tabla 16, que presenta la diferencia y el porcentaje de resultados entre las muestras del Conjunto de Control y el Conjunto Experimental, se revela que el volumen total de exudación para el conjunto de control es de 34.50 mL, mientras que para el conjunto experimental es de 41.58 mL, indicando un incremento del 21% en el volumen de exudación del conjunto experimental en comparación con el conjunto de control.

En lo que respecta al tiempo de exudación, se observa que para el conjunto de control es de 160 minutos, mientras que para el conjunto experimental es de 220 minutos, representando una diferencia de 60 minutos o un 38% de tiempo adicional de exudación en el conjunto experimental respecto al conjunto de control. Este aumento en la exudación del concreto presenta implicaciones negativas en su aplicación en exteriores, ya que el agua exudada se acumula en el área del concreto, generando una proporción agua-cemento más desfavorable. Esto se traduce en una menor resistencia y una mayor

propensión a fisuras o grietas, especialmente en áreas extensas como losas o pavimentos sólidos. No obstante, esta característica puede resultar beneficiosa en estructuras con menos área, como vigas y columnas.

En el contexto de aplicaciones en regiones frías, la exudación resulta ventajosa, ya que el agua no exuda de manera significativa, a diferencia del ensayo en condiciones exteriores. En cambio, se conserva, lo que evita que el concreto pierda el agua considerada en el diseño de la mezcla. Esto mantiene la resistencia deseada, ya que el agua comienza a cristalizarse en lugar de exudar en exceso. En este escenario, la incorporación de PEAD y la formación de vacíos por contracción resultan beneficiosas para prevenir la formación de fisuras o grietas.

5.3. Integración de viento

La confirmación de la tercera premisa específica se derivó del ensayo de resistencia al viento, donde la mezcla de concreto (sin PEAD) demostró un promedio del 2.0% en las tres muestras evaluadas. En contraste, la mezcla de concreto (con un 2.5% de PEAD) mostró un promedio del 2.2%, indicando un aumento del 10%. De manera similar, la muestra con un 5.0% de PEAD exhibió un promedio del 2.4%, reflejando un incremento del 20%. Respecto a la muestra con un 7.5% de PEAD, se registró un promedio del 2.9%, sugiriendo un aumento del 45%. En el caso de la muestra con un 10% de PEAD, el promedio fue del 3.3%, indicando un crecimiento del 65%. Finalmente, la muestra con un 15% de PEAD presentó un promedio del 4.2%, sugiriendo un incremento del 110%.

La incorporación de PEAD en la mezcla tiene un impacto directo cuando el concreto endurecido se enfrenta a cambios bruscos de temperatura, como ciclos de congelación y deshielo. La adhesión de viento en la mezcla permite que el concreto soporte estas variaciones, evitando fisuras por las fuerzas cortantes generadas durante dichos cambios, ya que estas tensiones no son una característica deseada en el comportamiento del concreto.

De acuerdo con lo mencionado anteriormente, se concluye que a medida que aumenta la proporción de PEAD en la mezcla, se incrementa la resistencia al viento. En correlación con otras propiedades del concreto, se establece que, para esta característica evaluada, se logra un mejor rendimiento con un 5% de PEAD en la mezcla, manteniendo una relación coherente con otras características del concreto.

5.4. Tiempo de fragua

La suposición relacionada con el tiempo de fraguado ha sido corroborada. La época de fraguado inicial promedio para el conjunto de control (sin PEAD) fue de 280.5 minutos, equivalente a 4 horas, 40 minutos y 30 segundos, mientras que la época de fraguado final promedio fue de 377.5 minutos, correspondiente a 6 horas, 17 minutos y 30 segundos. En contraste, para el conjunto experimental (con PEAD), se registró una época de fraguado inicial promedio de 291 minutos, es decir, 4 horas y 51 minutos, y la época de fraguado final promedio fue de 394 minutos, equivalentes a 6 horas y 34 minutos. Esto sugiere que la época de inicio de fraguado para la muestra experimental (con PEAD) experimentó un retraso de 16.5 minutos en comparación con el tiempo de fraguado inicial del conjunto de control (sin PEAD). Gracias a este inicio tardío del tiempo de fraguado, se obtuvo una época final 10.5 minutos más extensa, respaldando la suposición presentada anteriormente, como se puede observar en la Gráfico 34: Comparativo Fuerza sobre Tiempo – grupo control (sin PEAD) y experimental (con PEAD).

Según los datos obtenidos del ensayo, se puede notar que la variación de 10.5 minutos en la época de fraguado del conjunto experimental (con PEAD) probado al aire libre no representa un cambio significativo.

No obstante, en condiciones de regiones frías (sometidas a congelamiento y deshielo), la conducta del conjunto experimental (con PEAD) sería desfavorable en cuanto al tiempo de fraguado, ya que a temperaturas más bajas se observa un mayor tiempo de fraguado. Con este criterio, se respalda la idea de que la incorporación de PEAD en la mezcla en regiones frías contraerá el concreto y el agua presente en estas condiciones se cristalizará, aumentando su volumen en un 9 a 10%, ocupando los espacios generados por el PEAD.

5.5. Resistencia a la compresión

5.5.1. Resistencia a la intemperie

La cuarta idea, relacionada con las pruebas realizadas al aire libre, se confirmó. A los 28 días, la mezcla con polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) mostró un pequeño aumento en resistencia (294.85 kg/cm²) en comparación con el diseño de mezcla estándar (363.693 kg/cm²). Los resultados de compresión a 3 días indican una disminución moderada en la resistencia del conjunto con PEAD (167.333 kg/cm²) frente al conjunto de control (180.620 kg/cm²). Sin embargo, la variación en los resultados es menor en las

muestras con PEAD. A los 7 días, se observa una disminución notable en la resistencia del conjunto con PEAD (214.74 kg/cm²) en comparación con el conjunto de control (258.457 kg/cm²). Nuevamente, las muestras con PEAD muestran una menor variación en los resultados en comparación con las muestras sin PEAD.

A los 14 días, se observó una disminución moderada en la resistencia promedio del conjunto experimental (con PEAD) en comparación con el conjunto de control (sin PEAD), con una reducción del 13.077%. Los valores fueron de 302.407 kg/cm² para el conjunto de control y 262.86 kg/cm² para el conjunto experimental. Esto indica una disminución notable en la resistencia a los 14 días después de la preparación de los especímenes. En cuanto al coeficiente de alteración, se observa que para los especímenes sin PEAD se obtiene un coeficiente de alteración del 0.939, mientras que para los especímenes con PEAD es de 0.995. Esto sugiere que la variación en las resistencias obtenidas con PEAD ha sido mayor que la de las muestras sin PEAD.

A los 21 días, se observa una disminución moderada en la resistencia promedio del conjunto experimental (con PEAD) en comparación con el conjunto de control (sin PEAD), con una reducción del 21.811%. Los valores fueron de 349.92 kg/cm² para el conjunto de control y 273.60 kg/cm² para el conjunto experimental. Esto indica una disminución significativa en la resistencia a los 21 días después de la preparación de los especímenes. En cuanto al coeficiente de alteración, se observa que para los especímenes sin PEAD se obtiene un coeficiente de alteración del 1.394, mientras que para los especímenes con PEAD es de 2.044, indicando una mayor variación en los resultados de las muestras con PEAD.

Finalmente, a los 28 días, se obtuvieron las siguientes resistencias: para los especímenes sin PEAD, la resistencia promedio fue de 363.693 kg/cm², mientras que para los especímenes con PEAD fue de 294.85 kg/cm². Esto sugiere una disminución significativa del 19.163% en la resistencia a la compresión en los especímenes con PEAD en comparación con los especímenes sin PEAD.

Estos resultados se presentaron en la GRÁFICA 34, que muestra el promedio de resistencia según la curva de valor en del conjunto control (sin PEAD) y el Conjunto Empírico (CON PEAD). En esta gráfica, se puede observar que las muestras experimentales con un 5% de PEAD experimentaron una disminución moderada. Sin embargo, se señala que este porcentaje óptimo de polietileno reciclado de alta densidad

en la mezcla de concreto logra alcanzar la resistencia promedio requerida a la compresión a los 28 días, que en este caso fue de 280 kg/cm². Esto sugiere que podría ser utilizado en recursos estructurales de concreto armado.

5.5.2. Resistencia a la compresión sometido a ciclos de congelación y deshielo.

La cuarta afirmación relacionada con los ciclos de congelamiento y deshielo ha sido confirmada. A los 28 días, se observó un leve aumento con respecto al diseño de mezcla estándar ($f'_c=280$ kg/cm²) al incorporar PEAD, alcanzando una resistencia de 310.2 kg/cm². Sin embargo, esta resistencia no supera la del diseño del conjunto de control, que logró una resistencia de 299.853 kg/cm² a los 28 días. Los resultados de compresión para los diferentes períodos son los siguientes:

A los 3 días, el promedio de resistencia del conjunto con PEAD fue de 125.183 kg/cm², mientras que el conjunto de control fue de 111.750 kg/cm², con un aumento del 12.021%. El coeficiente de alteración fue más alto para los especímenes con PEAD (2.806), indicando una mayor variabilidad en los datos en comparación con los especímenes sin PEAD (0.819).

A los 7 días, se observó un aumento moderado del 2.714% en la resistencia promedio del conjunto con PEAD (217.99 kg/cm²) en comparación con el conjunto de control (212.230 kg/cm²). El coeficiente de alteración fue más alto para los especímenes con PEAD (7.644), indicando una mayor variabilidad en los datos en comparación con los especímenes sin PEAD (1.488).

A los 14 días, se observó un aumento relevante del 6.995% en la resistencia promedio del conjunto con PEAD (239.53 kg/cm²) en comparación con el conjunto de control (223.87 kg/cm²). El coeficiente de alteración fue menor para los especímenes con PEAD (0.379), indicando una menor variabilidad en los datos en comparación con los especímenes sin PEAD (1.098).

A los 21 días, se observó un aumento moderado del 3.328% en la resistencia promedio del conjunto con PEAD (262.05 kg/cm²) en comparación con el conjunto de control (253.61 kg/cm²). El coeficiente de alteración fue más alto para los especímenes con PEAD (1.794), indicando una mayor variabilidad en los datos en comparación con los especímenes sin PEAD (1.272).

Finalmente, a los 28 días, se obtuvo una resistencia media de 310.20 kg/cm² para los especímenes con PEAD, con un aumento del 3.451% en comparación con los especímenes sin PEAD (299.853 kg/cm²). El coeficiente de alteración fue más alto para los especímenes con PEAD (6.558), indicando una mayor variabilidad en los datos en comparación con los especímenes sin PEAD (1.151).

Estos resultados se representaron en la gráfica 36, que muestra el promedio de resistencia según la curva de valor en del conjunto control (sin PEAD) y el conjunto empírico (con PEAD) – llevados A Etapas de congelamiento y deshielo. En esta gráfica, se puede observar que las muestras experimentales con un 5% de PEAD experimentaron un aumento moderado en la resistencia.

Conclusiones

En el primer punto, los resultados de la evaluación revelan que la introducción de polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) en mezclas de concreto con una resistencia característica de 280 kg/cm² optimiza varias propiedades, incluyendo trabajabilidad, exudación, resistencia al viento, tiempo de fragua y resistencia a la compresión. Es importante notar que la exudación se ve negativamente afectada por el PEAD, generando un aumento significativo en condiciones de intemperie. Sin embargo, su aplicación demuestra ser eficiente en climas fríos sujetos a ciclos de congelamiento y deshielo. También se observa que la época de fragua está directamente influenciada por la temperatura, siendo menor a temperaturas elevadas y mayor a temperaturas más bajas.

En el segundo punto, la conclusión extraída de la evaluación es que el polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) mejora la trabajabilidad del concreto, evidenciado por un aumento del 5.222% en comparación con el conjunto de control (SIN PEAD) con una resistencia característica de 280 kg/cm². Este beneficio es aplicable a diversos elementos estructurales y no estructurales, facilitando la colocación y consolidación del concreto.

En el tercer punto, se destaca que la presencia significativa de polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) aumenta la exudación del concreto en un 21% en comparación con el concreto sin PEAD. Contrariamente a las expectativas, esta elevada exudación, que incrementa la relación agua-cemento en el área del concreto, provoca fisuras y grietas. Esto hace que la aplicación del concreto con PEAD sea desfavorable en áreas extensas como losas o pavimentos, pero adecuada en zonas de menor extensión como vigas y columnas.

En el cuarto punto, el cálculo de la resistencia al viento mediante la Olla Washington concluye que a mayor proporción de PEAD se incrementa la resistencia al viento en la mezcla. Se establece que el comportamiento óptimo se logra con un 5% de PEAD en la mezcla, manteniendo correlación con otras características del concreto.

En el quinto punto, se determina que el polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) prolonga la época de fragua final en las muestras con PEAD. El retraso promedio en la época de fragua inicial de las muestras con PEAD es de 16.5 minutos, equivalente al 4.37% en comparación con las muestras sin PEAD. A pesar de un proceso de fragua acelerado posterior al inicio, la diferencia promedio en los tiempos de fragua finales es

de 10.5 minutos, un 3.74%, siendo mayor la época de fragua total en las muestras con PEAD, considerada insignificante y comparable al modelo convencional.

En el sexto punto, la incorporación de polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) a la mezcla de concreto incrementa la resistencia, alcanzando una resistencia característica de 280 kg/cm² a los 28 días. Se determina que el porcentaje óptimo de PEAD en el diseño de mezcla es del 5%, asegurando la obtención de la resistencia deseada. No obstante, se destaca que el PEAD, sometido a ciclos de congelamiento y deshielo, aumenta la resistencia del concreto, mostrando un comportamiento óptimo con un 5% de PEAD. Este porcentaje logra aumentos significativos en la resistencia a la compresión: 12.021% a los 3 días, 2.714% a los 7 días, 6.995% a los 14 días, 3.328% a los 21 días y 3.451% a los 28 días.

Recomendaciones

Primero: Considerando que la presencia de polietileno reciclado de alta densidad (PEAD) ha demostrado ser beneficioso en climas fríos, se recomienda la utilización de este material en regiones sujetas a congelamiento y deshielo. No obstante, es esencial evaluar las condiciones climáticas específicas y ajustar las proporciones de PEAD en consecuencia.

Segundo: Dado que la adición de PEAD ha mostrado aumentar la exudación, se recomienda implementar un control riguroso de este fenómeno, especialmente en aplicaciones donde la excesiva exudación pueda ser perjudicial, como en áreas extensas como losas o pavimentos. Se deben explorar aditivos o ajustes en la mezcla para mitigar este efecto negativo.

Tercero: Se sugiere considerar el uso del concreto con PEAD de manera selectiva, enfocándose en elementos estructurales de menor extensión, como vigas y columnas, donde la menor resistencia a la compresión a los 7 y 14 días puede ser más manejable y los beneficios de trabajabilidad sean más prominentes.

Cuarto: Dada la influencia directa del PEAD en la época de fragua, se recomienda un monitoreo cuidadoso durante la aplicación, especialmente en situaciones donde el tiempo de fragua es crítico. Ajustes en el diseño de mezcla o en el proceso de aplicación pueden ser necesarios para garantizar resultados óptimos.

Quinto: Para aprovechar al máximo la resistencia al viento proporcionada por el PEAD, se sugiere ajustar el diseño de mezcla para mantener una proporción óptima de PEAD alrededor del 5%. Esto contribuirá a un mejor comportamiento estructural en condiciones de carga de viento, especialmente en zonas propensas a vientos fuertes.

Sexto: En proyectos sujetos a cambios de temperatura significativos, se recomienda realizar evaluaciones continuas de resistencia con diferentes proporciones de PEAD. Esto permitirá ajustar la mezcla según las condiciones específicas y aprovechar los beneficios del PEAD en resistencia sin comprometer la durabilidad del concreto

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABANTO Castillo, Flavio. *Tecnología del concreto. 2ª ed, Editorial San Marcos E.I.R.L.: Lima. 2009.244 pp.*
- AGUILERA Bazán, Giancarlo y DIESTRA Lujan, Víctor. *Influencia de la fibra de PET a partir de botellas recicladas sobre el comportamiento mecánico en un concreto aplicado en prefabricados. Tesis (Título en Ingeniero Ambiental). Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ingeniería, 2017. 106 pp.*
- BALDENEBO López, Francisco. *Estudio numérico – experimental de fibras de PET y su comportamiento en una matriz de concreto. Tesis (Doctor en Materiales). Chihuahua: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C., 2015. 80 pp.*
- CHOLÁN De La Cruz, Julio. *Efecto de tres niveles de PET reciclado como reemplazo de agregado fino en la resistencia a compresión axial del concreto convencional $f'c$ 210 kg/cm². Tesis (Ingeniero Civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, 2016. 241 pp.*
- CHOQUECHAMBI Mamani, Jhonatan, CUTISACA Bellido, Kénedi y QUISPE Galindo, Juan. *Comparación de 4 métodos diseño de mezcla, 2013.30 pp.*
- GARCÍA Galindo, Ángel y HERNÁNDEZ Sánchez, Wilmer. *Estudio del efecto en las propiedades mecánicas del concreto simple reforzado con fibras de tereftalato de polietileno (PET) y polipropileno (PP). Tesis (Ingeniero Civil). Córdoba: Universidad de Córdoba, Facultad de Ingeniería, 2017.*
- HERNÁNDEZ, Roberto. *Metodología de la investigación, 6ta ed, Miembro de la cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana: México, 2014.634 pp.*
- JIMENEZ Yabar, Heddy. *Estudio del comportamiento del concreto incorporando PET reciclado. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, 2016. 210 pp.*
- LECTOR Lafitte, Antony y VILLARREAL Barragán, Edson. *Utilización de materiales plásticos de reciclaje como adición en la elaboración de concreto en la ciudad*

de nuevo Chimbote. Chimbote: Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, 2017. 173 pp.

LÓPEZ Ampuero, Elisman y MAMANI Copari, Juan. *Influencia del Nanosílice y Superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo de la ciudad de Puno. Puno: Universidad del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, 2017. 246 pp.*

MEDINA Cárdenas, Leonel y QUISPE Yucra, Nico. *Protección óptima en el proceso de curado y su influencia en la resistencia de los concretos expuestos a ciclos de congelamiento y deshielo. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería, 2017. 192 pp.*

MESTANZA Guamancuri, José. *Análisis de las propiedades físico – mecánicas de un hormigón elaborado con fibras recicladas de envases PET utilizando agregados de la cantera de San Antonio y cemento Holcim tipo GU. Quito: Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería, 2018. 237 pp.*

PASQUEL, Enrique (1998), *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Nacional. 373 pp.*

PINTO Meza, Helida. *Análisis del proceso de curado de concreto en ciclos de congelamiento/deshielo y su influencia en la resistencia a la compresión, Yanacancha, Pasco. Pasco: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion, Facultad de Ingeniería, 2018. 139 pp.*

QUINTERO Blandón, Cristian y MAHECHA Rico, Jeisson. *Propiedades mecánicas de un concreto reforzado con fibras de PET reciclado. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2016. 45 pp.*

RIVA, Enrique. *Materiales para el concreto – diseño de mezclas. 3era ed, Independiente Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2014. 402 pp.*

SIERRA Jiménez, Jorge. *Usos y aplicaciones del plástico PEAD reciclado en la fabricación de elementos estructurales para construcción de vivienda en Colombia. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Posgrado en Ingeniería Civil, 2016. 456 pp.*

TAGLE Arizaga, Amaral. *Evaluación del deterioro del concreto con contenidos variables de aire incorporado y fibras de polipropileno sometido a congelamiento a edades tempranas*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, Facultad de Ingeniería Civil, 2017. 282 pp.

ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Efectos del polietileno reciclado de alta densidad en las cualidades del hormigón bajo periodos de congelación y del desleimiento

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	FORMULACIÓN DEL OBJETIVO	FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>Cómo afecta el HDPE reciclado a las propiedades del hormigón $f_c = 280$ kg/cm² expuesto a periodos de congelación y desleimiento?</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Análisis de mejora de HDPE reciclado en propiedades de hormigones $f'_c = 280$ kg/cm² sometidos a periodos de congelación–desleimiento.</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>El polietileno reciclado de alta densidad mejora las propiedades del hormigón $f_c = 280$ kg/cm² expuesto a periodos de congelación–deshielo.</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Polietileno Reciclado</p> <p>Variable Dependiente:</p> <p>Cualidades del hormigón</p> <p>Dimensiones:</p>	<p>Método de investigación:</p> <p>Método Científico</p> <p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Descriptivo – Explicativo</p>
<p>Problemas específicos</p> <p>–¿Cómo afecta el HDPE reciclado a la maniobrabilidad del hormigón?</p> <p>–¿Cómo afecta el HDPE reciclado al sangrado del concreto?</p> <p>–¿Cómo afecta el HDPE reciclado a la entrada de aire del hormigón?</p>	<p>Objetivos específicos</p> <p>–Determinación del efecto del HDPE reciclado sobre la maniobrabilidad del hormigón.</p> <p>–Estimación del efecto del HDPE reciclado en la impermeabilización del hormigón.</p> <p>–Cálculo de conversión de HDPE reciclado durante la incorporación de aire al hormigón.</p>	<p>Hipótesis específicas</p> <p>–El HDPE reciclado aumenta la trabajabilidad del hormigón.</p> <p>–El HDPE reciclado aumenta la lixiviación del hormigón.</p> <p>–El HDPE reciclado aumenta la proporción de aire en el hormigón.</p>	<p>–Trabajabilidad del concreto.</p> <p>–Exudación del concreto.</p> <p>–Incorporación de Aire en la mezcla del concreto.</p> <p>–Tiempo de fragua del concreto.</p>	<p>Diseño de investigación:</p> <p>Experimental</p>

Matriz de operacionalización de las variables

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Polietileno reciclado de Alta Densidad (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
El filamento de HDPE reciclado es el material mayoritariamente utilizado en depósitos de aceite, baldes, bidones, etc.; Es reciclable y debe ser lo más homogéneo posible para ser uniforme en longitud y espesor.	Es un polímero de la familia polímeros olefínicos (por ejemplo, polipropileno) o polietileno. Su fórmula es $(-CH_2-CH_2-)$. Es un polímero termoplástico formado por las correspondientes unidades de etileno. Se llama HDPE (Polietileno de Alta Densidad) o HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Este material se utiliza, entre otras cosas, en la producción de envases Plástico desechable.	Polímero termoplástico	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia máxima de trabajo de 60°C para líquidos - Densidad 0,940 – 0,970 g/cm³ 	Determinar la cantidad de polietileno de alta densidad que se debe añadir a la mezcla de concreto respecto al agregado fino.	Gramos	NUMÉRICA (cuantitativa)

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Cualidades del Hormigón

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Las propiedades del hormigón ayudan a determinar el estado del hormigón desde su nuevo estado, es decir, al inicio de su vertido, hasta su estado sólido y por tanto su resistencia. (Caballero y Flores, 2016, pág. 19).	El hormigón consiste en agregados finos y gruesos, agua potable y cemento Portland, y cambia de concreto fresco a una forma dura, en estado fresco, y tiene propiedades tales como trabajabilidad, lixiviación, contenido de aire y gas, tiempo de fraguado y propiedades húmedas y duras tales como resistencia a la compresión. (Caballeros y Flores, 2016, pág. 19).	a) maniobrabilidad	*Facilidad de instalación y acabado de mezcla de concreto fresco	*Cono de Abrams (NTP 339.035).	*Pulgadas	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		b) secreciones	*La tasa de hemorragia (excreción) y la posibilidad de sangrado. *El aire entra en la mezcla de hormigón.	*Ensayo de exudación (NTP 339.077).	*ml/cm ² , ml/h y %	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		c) mezcla de aire		*Ensayo de Olla Washington NTP 339.083.	*Porcentaje	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		d) el tiempo de endurecimiento.	*El tiempo que tarda la mezcla de concreto en cambiar de un estado plástico a un estado duro.	*Ensayo de penetración para determinar el tiempo de fragua (NTP 339.082).	*Minutos	*TIEMPO (cuantitativa)
		e) resistencia a la compresión	*Resistencia axial de especímenes cilíndricos a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días	*Muestreo de datos simple (NTP 339.034).	*kg/cm ²	*NUMÉRICA (cuantitativa)

Matriz de operacionalización del instrumento

VARIABLE INDEPENDIENTE (X): Polietileno reciclado de Alta Densidad (CUADRO DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE)

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
El filamento de HDPE reciclado es el material mayoritariamente utilizado en depósitos de aceite, baldes, bidones, etc.; Es reciclable y debe ser lo más homogéneo posible para ser uniforme en longitud y espesor.	Es un polímero de la familia polímeros olefínicos (por ejemplo, polipropileno) o polietileno. Su fórmula es (-CH ₂ -CH ₂ -). Es un polímero termoplástico formado por las correspondientes unidades de etileno. Se llama HDPE (Polietileno de Alta Densidad) o HDPE (Polietileno de Alta Densidad). Este material se utiliza, entre otras cosas, en la producción de envases Plástico desechable.	Polímero termoplástico	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia máxima de trabajo de 60°C para líquidos - Densidad 0,940 – 0,970 g/cm³ 	Determinar la cantidad de polietileno de alta densidad que se debe añadir a la mezcla de concreto respecto al agregado fino.	Gramos	NUMÉRICA (cuantitativa)

VARIABLE DEPENDIENTE (Y): Cualidades del Hormigón

DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDIDA	UNIDAD	ESCALA
Las propiedades del hormigón ayudan a determinar el estado del hormigón desde su nuevo estado, es decir, al inicio de su vertido, hasta su estado sólido y por tanto su resistencia. (Caballero y Flores, 2016, pág. 19).	El hormigón consiste en agregados finos y gruesos, agua potable y cemento Portland, y cambia de concreto fresco a una forma dura, en estado fresco, y tiene propiedades tales como trabajabilidad, lixiviación, contenido de aire y gas, tiempo de fraguado y propiedades húmedas y duras tales como resistencia a la compresión. (Caballeros y Flores, 2016, pág. 19).	a) maniobrabilidad	*Facilidad de instalación y acabado de mezcla de concreto fresco	*Cono de Abrams (NTP 339.035).	*Pulgadas	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		b) secreciones	*La tasa de hemorragia (excreción) y la posibilidad de sangrado. *El aire entra en la mezcla de hormigón.	*Ensayo de exudación (NTP 339.077).	*ml/cm ² , ml/h y %	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		c) mezcla de aire		*Ensayo de Olla Washington NTP 339.083.	*Porcentaje	*NUMÉRICA (cuantitativa)
		d) el tiempo de endurecimiento.	*El tiempo que tarda la mezcla de concreto en cambiar de un estado plástico a un estado duro.	*Ensayo de penetración para determinar el tiempo de fragua (NTP 339.082).	*Minutos	*TIEMPO (cuantitativa)
		e) resistencia a la compresión	*Resistencia axial de especímenes cilíndricos a compresión a los 3, 7, 14 y 28 días	*Muestreo de datos simple (NTP 339.034).	*kg/cm ²	*NUMÉRICA (cuantitativa)

Fotos de la aplicación del instrumento.

METROTEC

METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C.

Servicios de Calibración y Mantenimiento de Equipos e Instrumentos de Medición Industriales y de Laboratorio

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 197 - 2022

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

1. Expediente	190289	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	DEPARTAMENTO DE OBRAS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMICAS S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lamblaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
4. Equipo	PRENSA DE CONCRETO	
Capacidad	2000 kN	
Marca	PYS EQUIPOS	
Modelo	STYE-2000	
Número de Serie	131121	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Procedencia	CHINA	
Identificación	DSD-0155	(**)
Indicación	DIGITAL	
Marca	MC	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Modelo	LM-02	
Número de Serie	NO INDICA	
Resolución	0,01 / 0,1 kN (*)	
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2022-09-25	

Fecha de Emisión

2022-09-26

Jefe del Laboratorio de Metrología

JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



Metrología & Técnicas S.A.C.
Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú
Telf.: (511) 540-0642
Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282
RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com
ventas@metrologiatecnicas.com
calidad@metrologiatecnicas.com
WEB: www.metrologiatecnicas.com

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 197 - 2022*Área de Metrología**Laboratorio de Fuerza*

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2022.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lamblaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	18,6 °C	18,7 °C
Humedad Relativa	48 % HR	48 % HR

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA	Celda de carga calibrado a 1500 kN con incertidumbre del orden de 0,6 %	LEDI-PUCP INF-LE-030-19A

10. Observaciones

- (***) Código de identificación indicado en una etiqueta adherido en el equipo.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1,0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.
- (*) La resolución del indicador es 0,01 kN para lecturas menores a 1000 kN y 0,1 kN para lecturas fuera de este rango.

Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 197 - 2022**

Página 3 de 3

11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	F_i (kN)	F_1 (kN)	F_2 (kN)	F_3 (kN)	$F_{Promedio}$ (kN)
10	100,0	100,4	100,9	100,6	100,6
20	200,0	200,8	201,0	200,6	200,8
30	300,0	300,8	301,0	300,9	300,9
40	400,0	401,0	401,1	400,9	401,0
50	500,0	500,9	499,5	500,1	500,1
60	600,0	601,0	600,7	601,1	601,0
70	700,0	701,0	700,7	700,9	700,9
80	800,0	801,0	800,7	800,6	800,8
90	900,0	901,0	900,7	901,0	900,9
100	1000,0	1001,0	1000,6	1000,8	1000,8
Retorno a Cero		0,0	0,0	0,0	

Indicación del Equipo F (kN)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud q (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
100	-0,62	0,50	---	0,01	0,35
200	-0,41	0,20	---	0,01	0,35
300	-0,29	0,07	---	0,00	0,35
400	-0,25	0,05	---	0,00	0,35
500	-0,03	0,28	---	0,00	0,35
600	-0,16	0,07	---	0,00	0,35
700	-0,13	0,04	---	0,00	0,35
800	-0,10	0,05	---	0,00	0,35
900	-0,10	0,03	---	0,00	0,35
1000	-0,08	0,04	---	0,00	0,35

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (f_0)	0,00 %
---	--------

**12. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Telf.: (511) 340-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.comventas@metrologiatecnicas.comcalidad@metrologiatecnicas.comWEB: www.metrologiatecnicas.com

Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 199 - 2022**

Página 1 de 3

1. Expediente	190289	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	DEPARTAMENTO DE OBRAS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMICAS S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lambaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN	
4. Equipo	PENETROMETRO	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad	200 lbf	
Marca	FORNEY	
Modelo	LA-4110	
Número de Serie	H/4133	
Identificación	DSD-112 (*)	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Procedencia	U.S.A.	
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO	
5. Indicador	DIGITAL	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Marca	HUMBOLDT	
Número de Serie	0780	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
División de Escala / Resolución	2 lbf	
6. Fecha de Calibración	2022-09-25	

Fecha de Emisión Jefe del Laboratorio de Metrología

2022-09-26


JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



Área de Metrología

Laboratorio de Fuerza

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 199 - 2022**

Página 2 de 3

7. Método de Calibración

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones de LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2022.

8. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETO Y ASFALTO
Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lambaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN

9. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,1 °C	19,2 °C
Humedad Relativa	50 % HR	50 % HR

10. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe/Certificado de calibración
Celdas patrones calibradas en el National Standards Testing Laboratory de Maryland - USA	Celda de carga calibrado a 20 tnf con incertidumbre del orden de 0,5 %	LEDI-PUCP INF-LE 030-19B

11. Observaciones

- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al equipo.
- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de $\pm 2,0$ °C.



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LF - 199 - 2022***Área de Metrología
Laboratorio de Fuerza*

Página 3 de 3

12. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			Error de Exactitud	Incertidumbre
%	F_i (kgf)	F_1 (kgf)	F_2 (kgf)	F_3 (kgf)	q (%)	U (k=2) (%)
10	20,0	8,80	8,65	8,75	3,88	0,24
20	40,0	17,70	17,55	17,80	2,61	0,24
30	60,0	26,65	26,60	26,75	2,06	0,24
40	80,0	36,15	36,00	36,05	0,61	0,24
50	100,0	45,20	45,05	45,25	0,43	0,24
60	120,0	54,80	54,45	54,65	-0,25	0,24
70	140,0	63,35	63,15	63,40	0,32	0,24
80	160,0	74,05	73,55	74,25	-1,86	0,24
90	180,0	83,15	83,00	83,30	-1,81	0,24
100	200,0	93,05	93,10	93,25	-2,59	0,24

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO (t_0)

0,00 %

**13. Incertidumbre**

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k=2$, el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del Documento

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 216 - 2022***Área de Metrología
Laboratorio de Masas*

Página 1 de 4

1. Expediente	190289	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	DEPARTAMENTO DE OBRAS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMICAS S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lambaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad Máxima	6000 g	
División de escala (d)	0,1 g	
Div. de verificación (e)	0,1 g	
Clase de exactitud	II	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Marca	OHAUS	
Modelo	SPJ6001	
Número de Serie	B411400997	
Capacidad mínima	5 g	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	DSD-048 (*)	
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2022-09-25	

Fecha de Emisión

2022-09-26

Jefe del Laboratorio de Metrología


JUAN C. QUISPE MORALES

Sello



6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-011: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y Clase II" del SNM-INDECOPI. Cuarta Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lambaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,2 °C	19,2 °C
Humedad Relativa	45 %	45 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) Dirección de Metrología - INACAL LM-060-2018	PESAS (Clase de Exactitud: E2)	INACAL LM-448-2018

10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



11. Resultados de Medición

INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	19,2 °C	19,3 °C

Medición Nº	Carga L1 = 3 000,0 g			Carga L2 = 6 000,0 g		
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)
1	3 000,1	6	144	6 000,1	6	144
2	3 000,1	6	144	6 000,0	5	45
3	3 000,0	5	45	6 000,1	6	144
4	3 000,0	5	45	6 000,1	6	144
5	3 000,1	6	144	6 000,0	6	44
6	3 000,1	6	144	6 000,1	6	144
7	3 000,0	5	45	6 000,1	6	144
8	3 000,1	6	144	6 000,1	6	144
9	3 000,0	5	45	6 000,0	5	45
10	3 000,0	5	45	6 000,1	6	144
	Diferencia Máxima			Diferencia Máxima		
	99			100		
	Error Máximo Permissible			Error Máximo Permissible		
	± 300			± 300		

ENSAYO DE EXCENRICIDAD

2	5
1	
3	4

Posición
de las
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	19,1 °C	19,2 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero E ₀				Determinación del Error Corregido E _c				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	E ₀ (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	E _c (mg)
1		1,0	50	0		2 000,0	50	0	0
2		1,0	50	0		2 000,0	50	0	0
3	1,0 g	1,0	50	0	2 000,0	1 999,9	40	-90	-90
4		1,0	50	0		2 000,0	50	0	0
5		1,0	50	0		2 000,0	50	0	0
	Error máximo permisible								± 200

* Valor entre 0 y 10e



Área de Metrología
Laboratorio de Masas

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 216 - 2022

Página 4 de 4

ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	19,2 °C	19,2 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1,0	1,0	50	0	0					
5,0	5,0	50	0	0	5,0	50	0	0	100
10,0	10,0	50	0	0	10,0	50	0	0	100
100,0	100,0	50	0	0	100,0	50	0	0	100
500,0	500,0	50	0	0	500,0	50	0	0	100
1 000,0	1 000,0	50	0	0	1 000,0	50	0	0	200
2 000,0	2 000,0	50	0	0	1 999,9	40	-90	-90	200
3 000,0	3 000,0	50	0	0	3 000,0	50	0	0	300
4 000,0	4 000,0	50	0	0	4 000,0	50	0	0	300
5 000,0	5 000,0	50	0	0	4 999,9	40	-90	-90	300
6 000,0	6 000,1	60	90	90	6 000,1	60	90	90	300

** error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.
E: Error encontrado

E₀: Error en cero.
E_C: Error corregido.



Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0,00000411 R$$

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0,0050642 \text{ g}^2 + 0,0000000030 \text{ R}^2)}$$

12. Incertidumbre

La incertidumbre U reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Tel.: (511) 340-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calidad@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 219 - 2022***Área de Metrología
Laboratorio de Masa*

Página 1 de 4

1. Expediente	190289	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante	DEPARTAMENTO DE OBRAS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS SISMICAS S.A.C.	
3. Dirección	Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lambaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN	
4. Equipo de medición	BALANZA ELECTRÓNICA	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
Capacidad Máxima	30000 g	
División de escala (d)	1 g	
Div. de verificación (e)	10 g	
Clase de exactitud	III	
Marca	OHAUS	METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
Modelo	R31P30	
Número de Serie	8336030051	
Capacidad mínima	20 g	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	DSD-044	
Ubicación	LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
5. Fecha de Calibración	2022-09-25	

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2022-09-26


JUAN C. QUISPE MORALES

6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM-INDECOPI. Tercera Edición.

7. Lugar de calibración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO
Jr. Oswaldo Aguirre Morales N° 562 Urb. Lamblaspata, El Tambo - Huancayo - JUNIN

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	19,4 °C	19,3 °C
Humedad Relativa	46 %	46 %

9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
PESAS (Clase de exactitud E1) DM-INACAL LM-080-2018	PESAS(Clase de Exactitud: E2)	LM-448-2018
PESAS (Clase de exactitud F1) DM - INACAL LM-051-2018 / LM-443-2018.	PESAS(Clase de Exactitud: M1)	M-1327-2018
PESAS (Clase de exactitud F2)DM-INACAL LM-534-2018.		
PESAS (Clase de exactitud E2) DM-INACAL LM-437-2017	PESAS(Clase de Exactitud M1)	M-0813-2018
PESAS (Clase de exactitud M1) DM-INACAL PE18-C-0412	PESAS(Clase de Exactitud M2)	CM-2495-2018

10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (*) Código indicado en una etiqueta adherido al equipo.



Área de Metrología
Laboratorio de Masa

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LM - 219 - 2022

Página 3 de 4

11. Resultados de Medición**INSPECCIÓN VISUAL**

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOS	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	19,4 °C	19,4 °C

Medición Nº	Carga L1 = 15 000 g			Carga L2 = 30 000 g		
	l (g)	ΔL (g)	E (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)
1	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
2	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
3	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
4	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
5	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
6	15 000	0,5	0,0	30 000	0,4	0,1
7	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
8	15 000	0,5	0,0	29 999	0,4	-0,9
9	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
10	15 000	0,5	0,0	30 000	0,5	0,0
	Diferencia Máxima		0,0	Diferencia Máxima		1,0
	Error Máximo Permissible		± 20,0	Error Máximo Permissible		± 30,0

ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	1	5
3		4

Posición de
las cargas

	Inicial	Final
Temperatura	19,3 °C	19,3 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga L (g)	l (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)
1		10	0,5	0,0		10 000	0,5	0,0	0,0
2		10	0,5	0,0		9 999	0,4	-0,9	-0,9
3	10 g	10	0,5	0,0	10 000	9 999	0,4	-0,9	-0,9
4		10	0,5	0,0		10 001	0,6	0,9	0,9
5		10	0,5	0,0		10 001	0,6	0,9	0,9
	Error máximo permisible								± 20,0

* Valor entre 0 y 10e

Metrología & Técnicas S.A.C.

Av. San Diego de Alcalá Mz F1 Lote 24 - Urb. San Diego - Lima - Perú

Telf: (511) 540-0642

Cel.: (511) 971 439 272 / 997 846 766 / 942 635 342 / 971 439 282

RPC: 940037490

email: metrologia@metrologiatecnicas.com

ventas@metrologiatecnicas.com

calidad@metrologiatecnicas.com

WEB: www.metrologiatecnicas.com



*Área de Metrología
Laboratorio de Presión***CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LP - 045 - 2022**

Página 1 de 3

1. Expediente	200241	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
2. Solicitante		
3. Dirección	Jr Grau 211, Huancayo - JUNIN	
4. Instrumento de Medición	OLLA WASHINGTON (PRESS-AIR METER)	Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente. METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados. Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite. El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
Tipo	B	
Marca	FORNEY	
Modelo	LA-0316	
Número de Serie	723	
Procedencia	U.S.A.	
Identificación	NO INDICA	
Ubicación	NO INDICA	
Medidor de Aire:		
Tipo de Indicación	ANALOGICA	
Alcance de indicación	0 a 15 psi / 0 a 100 %	
5. Fecha de Calibración	2022-10-04	

Fecha de Emisión

Jefe del Laboratorio de Metrología

Sello

2022-10-05

ELEAZAR CESAR CHAVEZ RARAZ

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LP - 045 - 2022Área de Metrología
Laboratorio de Presión

Página 2 de 3

6. Método de Calibración

La calibración ha sido realizada por el método de comparación directa entre las indicaciones de lectura del manómetro de deformación elástica y el manómetro patrón tomando como referencia el método descrito en la norma ASTM C 231-04 "Standard Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method" y el documento INDECOPI/SNM PC - 004: 2012 "Procedimiento de calibración de manómetros, vacuómetros y manovacuumetros de deformación elástica".

7. Lugar de calibración

Laboratorio de Presión de METROLOGÍA & TÉCNICAS S.A.C. - METROTEC
Av. San Diego de Alcalá Mz. F1 lote 24 Urb. San Diego, San Martín de Porres - Lima

8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20,7 °C	20,8 °C
Humedad Relativa	57 % HR	56 % HR

**9. Patrones de Referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones trazables a los patrones de referencia de DM - INACAL	Manómetro de Indicación Digital con Clase de Exactitud 0,05 % FS	INACAL LFP-050-2019
Regla Metálica de clase I	CINTA MÉTRICA con Grado de Incertidumbre de 0,2 mm	DM / INACAL LLA - 399 - 2019

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
MT - LP - 045 - 2022**Área de Metrología
Laboratorio de Presión

Página 3 de 3

10. Resultados de Medición

Recipiente de Medición			
Diámetro (mm)	Altura (mm)	Masa (kg)	Volumen (cm ³)
202,96	217,86	3,482	7048,36

Medidor de Aire tipo Bourdon					
Indicación A Calibrar (psi)	Indicación Manómetro Patrón		Error		
	Ascendente (psi)	Descendente (psi)	de Indicación		de Histeresis (psi)
			Ascendente (psi)	Descendente (psi)	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	5,07	5,05	0,07	0,05	-0,02
10,00	10,09	10,07	0,09	0,07	-0,02
15,00	15,11	15,09	0,11	0,09	-0,02

Ensayo de Carga Directa					
Valores Referenciales (% de aire)	Lecturas del A Calibrar,			Promedio (% de aire)	Error (% de aire)
	L ₁ (% de aire)	L ₂ (% de aire)	L ₃ (% de aire)		
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	0,0
10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	0,0
15,0	14,9	14,9	14,9	14,9	-0,1

Nota 1.- El diámetro del recipiente de medición es de 0,93 veces la altura del recipiente.

Nota 2.- El punto inicial se determinó en 3%, para obtener el cero.

11. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación **CALIBRADO**.
- La densidad en el lugar de calibración es de 1,184 kg/m³
- Densidad del agua destilada utilizada para la calibración a 21 °C es de 997,68 (kg/m³).

