

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras
hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la Ciudad
de Cerro de Pasco – 2021**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Bach. Jefferson Joao SALCEDO TORRES

Asesor:

Mg. José Germán RAMIREZ MEDRANO

Cerro de Pasco - Perú – 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



T E S I S

**Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras
hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la Ciudad
de Cerro de Pasco – 2021**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Dr. Luis Villar REQUIS CARBAJAL
PRESIDENTE

Mg. Vicente Cesar DÁVILA CÓRDOVA
MIEMBRO

Mg. Vidal Víctor CALSINA COLQUI
MIEMBRO



**Universidad Nacional Daniel Alcides
Carrión Facultad de Ingeniería
Unidad de Investigación**

INFORME DE ORIGINALIDAD N° 047-2024-UNDAC/UIFI

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la Ciudad de Cerro de Pasco – 2021

Apellidos y nombres de los tesistas:

Bach. SALCEDO TORRES, Jefferson Joao

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. RAMIREZ MEDRANO, José German

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería Civil

Índice de Similitud

13%

APROBADO

Se informa al decanato para los fines pertinentes:

Cerro de Pasco, 8 de febrero del 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Luis Villa Requis Carbajal
DOCTOR EN CIENCIAS - DIRECTOR

DEDICATORIA

Mi tesis le dedico a Dios, por cuidar de mí y de toda mi familia, por hacer que esto suceda, que me esfuerce y sea valiente, por más que tenga miedo y me desanime estará conmigo en todo el camino.

A mis padres Luis Salcedo Meza y María Alejandrina Torres Aranda por apoyarme moralmente y por confiar plenamente en mí.

A mis abuelos Alejandrina Aranda Rímac (☺) y Teodosio Salcedo Rímac (☺) por haber sido mi fuente de motivación e inspiración y a mis hermanos que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de familia; así mismo a mi Distrito de Ticlacayán.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a:

- A Dios quien me dio la fortaleza, esperanza, fe y bendiciones para alcanzar mis metas y por permitirme disfrutar de la vida.
- A mis padres por darme la vida que, con sus sabios consejos, verdad, sabiduría, disciplina y entendimiento hicieron posible un triunfo más en mi vida.
- A mis hermanos, por sus almas generosas que de una u otra forma han estado siempre impulsándome a seguir adelante en la vida.
- A mis maestros por instruirme en el buen camino, por lo aprendido, por lo recibido, por lo oído y por sus enseñanzas porque ellos nunca mueren, siempre viven en mi recuerdo, estuvieron ahí cuando llegué y cuando me fui como algo fijo y nunca logras conocerles tanto como ellos te conocen a ti, en algún tiempo confías en ellos y si tienes suerte talvez haya alguno que confié en ti, solo me queda agradecerles por desarrollarme profesionalmente que me ha permitido crecer intelectualmente como persona y como ser humano.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco en el año 2021.

En el Capítulo I, se presenta el problema de investigación que se enfoca en la necesidad de disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas, ya que esta problemática es común en la ciudad de Cerro de Pasco debido a las condiciones climáticas y geográficas de la región. Se establecen los objetivos generales y específicos que se buscan alcanzar en esta investigación.

En el Capítulo II, se desarrolla el marco teórico que se enfoca en la revisión de literatura relacionada con los temas de permeabilidad, estructuras hidráulicas, impermeabilización y los diferentes tipos de impermeabilizantes. Se profundiza en los conceptos clave para el entendimiento de la investigación y se establece la base teórica para el análisis de las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas.

En el Capítulo III, se describe la metodología y técnicas de investigación utilizadas en la recolección de datos. Se especifican los métodos empleados para la investigación como el diseño de investigación, la población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos y el tratamiento estadístico que se aplicará.

En el Capítulo IV, se presentan los resultados y discusión obtenidos en la investigación. Se describen las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando diferentes impermeabilizantes tradicionales, como el poliestireno expandido, la lechada de cemento, Sika®-1 y la cal. Se presentan los datos recolectados, los cuales se procesaron y analizaron para dar respuesta a los objetivos específicos planteados en la investigación. En esta sección se discuten los resultados y se establecen las relaciones entre las variables estudiadas.

En las conclusiones y recomendaciones, se presentan las conclusiones generales de la investigación en relación a los objetivos planteados en el Capítulo I. Se mencionan las estrategias más efectivas para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas y se presentan las limitaciones de la investigación. Además, se proponen recomendaciones para futuras investigaciones y se discuten las implicaciones prácticas y teóricas de la investigación.

En resumen, la presente investigación se enfocó en determinar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco en el año 2021. Se estableció el problema de investigación, se revisó la literatura relevante, se describieron la metodología y técnicas de investigación utilizadas, se presentaron los resultados y se discutieron, se presentaron las conclusiones y recomendaciones. Esta investigación busca contribuir al conocimiento sobre las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas y puede ser de utilidad para profesionales del campo de la construcción, ingenieros civiles, estudiantes y personas interesadas en el tema.

Palabras clave: impermeabilización, estructuras hidráulicas, materiales impermeabilizantes.

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the strategies to reduce the permeability in hydraulic structures using traditional waterproofing in the city of Cerro de Pasco in the year 2021.

In Chapter I, the research problem that focuses on the need to reduce the permeability in hydraulic structures is presented, since this problem is common in the city of Cerro de Pasco due to the climatic and geographical conditions of the region. The general and specific objectives that are sought to be achieved in this research are established.

In Chapter II, the theoretical framework is developed that focuses on the review of literature related to the issues of permeability, hydraulic structures, waterproofing and the different types of waterproofing. The key concepts for understanding the research are deepened and the theoretical basis for the analysis of strategies to reduce permeability in hydraulic structures is established.

In Chapter III, the methodology and research techniques used in data collection are described. The methods used for the research are specified, such as the research design, population and sample, data collection techniques and instruments, data processing and analysis techniques, and the statistical treatment that will be applied.

In Chapter IV, the results and discussion obtained in the investigation are presented. Strategies are described to reduce the permeability in hydraulic structures using different traditional waterproofing, such as expanded polystyrene, cement grout, Sika®-1 and lime. The collected data is presented, which was processed and analyzed to respond to the specific objectives set out in the investigation. In this section the results are discussed and the relationships between the variables studied are established.

In the conclusions and recommendations, the general conclusions of the investigation are presented in relation to the objectives set out in Chapter I. The most

effective strategies to reduce the permeability in hydraulic structures are mentioned and the limitations of the investigation are presented. In addition, recommendations for future research are proposed and the practical and theoretical implications of the research are discussed.

In summary, the present investigation focused on determining the strategies to reduce the permeability in hydraulic structures using traditional waterproofing in the city of Cerro de Pasco in the year 2021. The research problem was established, the relevant literature was reviewed, the methodology and research techniques used, the results were presented and discussed, the conclusions and recommendations were presented. This research seeks to contribute to the knowledge about the strategies to reduce the permeability in hydraulic structures and can be useful for professionals in the field of construction, civil engineers, students and people interested in the subject.

Keywords: waterproofing, hydraulic structures, waterproofing materials.

INTRODUCCIÓN

La construcción de estructuras hidráulicas es fundamental para el desarrollo de diversas actividades humanas, como la agricultura, la minería y el suministro de agua potable. Sin embargo, estas estructuras están expuestas a diversas condiciones ambientales y, por tanto, a problemas de deterioro y fallas que pueden comprometer su funcionalidad y seguridad. La permeabilidad es uno de los principales problemas que enfrentan las estructuras hidráulicas, ya que permite el paso de líquidos y materiales a través de las superficies y paredes, lo que puede causar daños en la estructura, la contaminación del medio ambiente y la pérdida de recursos valiosos como el agua. Por tanto, es importante buscar soluciones efectivas para disminuir la permeabilidad en estas estructuras y prolongar su vida útil. En este contexto, el presente proyecto de investigación tiene como objetivo determinar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021. Se analizarán cuatro alternativas de impermeabilización: el poliestireno expandido, la lechada de cemento, el Sika®-1 y la cal. Para ello, se realizará una revisión bibliográfica del estado del arte en cuanto a las propiedades y usos de cada material, así como una evaluación experimental de su eficacia en la disminución de la permeabilidad en estructuras hidráulicas. Se espera que los resultados de esta investigación contribuyan al desarrollo de alternativas más efectivas y sostenibles para la impermeabilización de estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco y en otras regiones del mundo, lo que permitirá una mejor gestión de los recursos hídricos y una mayor seguridad en las actividades que dependen de estas estructuras.

INDICE

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
INDICE	
ÍNDICE DE TABLAS	

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema.....	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	6
1.3. Formulación del problema	7
1.3.1. Problema general.....	7
1.3.2. Problemas específicos.....	7
1.4. Formulación de objetivos.....	8
1.4.1. Objetivo general.....	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Justificación de la investigación.....	9
1.6. Limitaciones de la investigación	10

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio.....	11
2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1: Análisis de construcción y sistemas de impermeabilización de cubiertas en el laboratorio nacional de la dirección de impuestos y aduanas nacionales, autor: Luisa Fernanda Narváez Yepes.....	11

2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2: Impermeabilización tradicional en el mantenimiento de losas aligeradas en la ciudad de huancavelica, autor: Villena CCORPA, Cynthia Rocío	14
2.1.3. Antecedente y pre proyecto de investigación 3	15
2.2. Bases teóricas – científicas	16
2.2.1. Conceptos básicos sobre permeabilidad y su importancia en estructuras hidráulicas	16
2.2.2. Impermeabilización de estructuras hidráulicas: técnicas tradicionales y alternativas.....	18
2.2.3. Propiedades y aplicaciones del poliestireno expandido como material impermeabilizante	19
2.2.4. Lechada de cemento: características y usos en la impermeabilización de estructuras hidráulicas.....	21
2.2.5. Sika®-1: composición, propiedades y aplicaciones en la impermeabilización de estructuras hidráulicas	22
2.2.6. Cal como material impermeabilizante: composición, propiedades y usos	23
2.2.7. Diseño de estructuras hidráulicas resistentes y duraderas: criterios y normativas aplicables.....	25
2.2.8. Métodos de ensayo para la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas	26
2.2.9. Mantenimiento y reparación de estructuras hidráulicas: importancia y técnicas disponibles	28
2.2.10. Ejemplos de casos exitosos de impermeabilización en estructuras hidráulicas en contextos similares	29
2.2.11. Impermeabilizante tradicional unicel	31
2.2.12. Lechada de cemento	31
2.2.13. Impermeabilizante comercial Sika.....	31

2.2.14. Impermeabilizante a base de cal.....	32
2.2.15. Permeabilidad.....	33
2.2.16. Impermeabilización.....	34
2.3. Definición de términos básicos.....	35
2.4. Formulación de hipótesis.....	36
2.4.1. Hipótesis general.....	36
2.4.2. Hipótesis específicas.....	36
2.5. Identificación de variables.....	36
2.5.1. Variable independiente.....	36
2.5.2. Variable dependiente.....	36
2.5.3. Variable interviniente.....	37
2.6. Definición operacional de variables e indicadores.....	38

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación.....	41
3.2. Nivel de investigación.....	42
3.3. Método de investigación.....	43
3.4. Diseño de investigación.....	44
3.5. Población y muestra.....	45
3.5.1. Población.....	45
3.5.2. Muestra.....	45
3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	45
3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	46
3.8. Tratamiento estadístico.....	47
3.9. Orientación ética filosófica y epistémica.....	48

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	50
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	100
4.3. Prueba de hipótesis.....	135
4.4. Discusión de resultados	156

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales	101
Tabla 2 Resultado de evaluaciones cualitativas	102
Tabla 3 Resultado de Costo-beneficio del uso de poliestireno expandido.....	104
Tabla 4 Resultado de Tiempo de vida útil del poliestireno expandido	106
Tabla 5 Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación del poliestireno expandido	108
Tabla 6.Resultado de reducción de la permeabilidad.....	110
Tabla 7 Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de la lechada de cemento .	111
Tabla 8 Resultado de evaluaciones cualitativas lechada de cemento	113
Tabla 9 Resultado de Costo-beneficio del uso de lechada de cemento	114
Tabla 12 Resultado de reducción de la permeabilidad de Sika®-1	119
Tabla 14 Resultado de evaluaciones cualitativas.....	122
Tabla 21 Resultado de Costo-beneficio del uso de Cal.....	132
Tabla 22 Resultado de Tiempo de vida útil de la Cal	133

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

La identificación y determinación del problema en el proyecto "Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco - 2021" podría ser la alta permeabilidad que presentan las estructuras hidráulicas de la ciudad de Cerro de Pasco. Esto puede causar problemas como la pérdida de agua en los sistemas de distribución, la filtración de agua en las estructuras subterráneas, y la humedad en las paredes y techos de los edificios cercanos a estas estructuras hidráulicas.

Por lo tanto, el proyecto buscaría encontrar estrategias para disminuir la permeabilidad en estas estructuras, utilizando impermeabilizantes tradicionales que puedan ser aplicados de manera efectiva y a un costo razonable.

(Condor, 2021) "El agua es importante para la vida. No obstante, millares de individuos en la localidad de Cerro de Pasco aún afrontan escasez del agua, centenares de Cerreños padecen de patologías causadas por el agua ya que permanecen contaminadas por metales pesados producto de la explotación minera irresponsable. Nuestros propios asentamientos humanos, pueblos adolescentes sin agua. Al fin aún nuestros propios habitantes se han tranquilizado

por las lluvias ejecutadas a lo largo de los últimos años, no obstante, la escasez continúa. Actualmente se viene ejecutando un Proyecto de enorme envergadura para asegurar el abastecimiento de agua, no obstante, existe un problema, presencia de Microorganismos en el agua que reducen su calidad el cual no es tratada con ni una tecnológica o composición sanitaria”

(Condor, 2021) “Los servicios de saneamiento básico de la ciudad de Cerro de Pasco son administrados por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Pasco (EPS EMAPA Pasco) desde el año 1994; cuya área de servicio comprende los distritos de Chaupimarca, Yanacancha, Simón Bolívar, Huariaca y Vicco. El intento de soluciones al problema de abastecimiento de agua potable y alcantarillado data de varios años atrás, desarrollándose Proyectos antes y después de la aprobación del Estudio de Factibilidad (Diciembre de 2008). Previo de la aprobación del Estudio de Factibilidad se ha desarrollado los siguientes Proyectos: Expediente Técnico Mejoramiento y Ampliación del Sistema de Agua Potable y Alcantarillado de La Localidad de Quiulacocha (Mayo de 2006); Ejecución de Obra del Proyecto. Conexiones Domiciliarias de Desagüe del Jr. Cubillas – Champamarca (Noviembre de 2007); Expediente Técnico: Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. Del Asentamiento Humano Túpac Amaru – Sector 04, Distrito de Chaupimarca – Pasco (Diciembre de 2007); Expediente Técnico Rehabilitación y Ampliación de los Servicios de Saneamiento Básico en Sectores del Cercado de Chaupimarca y AA.HH. Virgen Inmaculada Concepción, Distrito de Chaupimarca Componente: Rehabilitación y Ampliación del Sistema de Agua Potable del Cercado de Chaupimarca (Enero 2008) y Proyecto Mejoramiento, Rehabilitación y Ampliación del Sistema de Agua Potable en los Sectores AA.HH Tahuantinsuyo y Túpac Amaru (Octubre de 2008)”

(Condor, 2021) “Posteriormente a la aprobación del Estudio de Factibilidad, éste se ha venido ejecutando de manera fraccionada, mediante

Expedientes Técnicos parciales, los cuales han sido desarrollados por parte de la Municipalidad Provincial de Pasco y las municipalidades distritales. Uno de los primeros Proyectos desarrollados fue el Expediente Técnico Construcción del Sistema de Agua y Desagüe de los Barrios Santa Rosa, Noruega Alta y Baja, Inmaculada Concepción, Alfonso Rivera y Jirón Huancavelica del Distrito de Chaupimarca, Provincia de Pasco – Pasco Componente: Construcción del Sistema de Agua y Desagüe del Barrio Santa Rosa, el cual se culminó y presentó en febrero de 2009.”

(Condor, 2021) “Este mismo año, en el mes de marzo, se desarrolló el Estudio Definitivo denominado: Primera Etapa - Obras Generales del Proyecto Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Saneamiento y Fortalecimiento Institucional Integral de la EMAPA PASCO en la Provincia de Pasco. Este proyecto comprendió el desarrollo de la Primera Etapa del Estudio de Factibilidad, con la finalidad de mejorar y ampliar la infraestructura de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco. En diciembre de 2009 se presentó el Expediente Técnico Instalación de Línea de Aducción de la Zona Alta de Los Sectores I, II, III, y IV del A.H. Túpac Amaru Distrito Chaupimarca - Provincia Pasco - Departamento Pasco, el cual detalla el componente Línea de Aducción de la Zona Alta, que es parte de una solución integral para el abastecimiento de agua en el A.H. Túpac Amaru. Otros dos Proyectos complementarios fueron desarrollados para este mismo sector: Instalación de Redes Matrices, Redes Secundarias y Ampliación de Conexiones Domiciliarias de La Zona Alta de Los Sectores I, II, III, y IV del A.H. Túpac Amaru, Distrito Chaupimarca - Provincia Pasco - Departamento Pasco e Instalación de Línea de Aducción, Redes Matrices, Redes Secundarias Y Ampliación De Conexiones Domiciliarias de La Zona Baja de Los Sectores I, II, III, y IV del A.H. Túpac Amaru Distrito Chaupimarca - Provincia Pasco - Departamento Pasco; los cuales fueron culminados y presentados en la misma fecha. A inicios del año 2010, se concluyó la ejecución de obra del

Proyecto Rehabilitación del Sistema de Agua y Desagüe y Pavimentación de los Jirones Ucayali y el Pasaje Huallaga del Anexo de Chaupimarca, Distrito de Simón Bolívar – Pasco. Este Proyecto fue desarrollado con el objetivo de contribuir a solucionar los problemas de la ciudad entre los que resalta la falta de servicios básicos de saneamiento. A mediados del año 2010 (Julio), se elaboró el Proyecto Instalación de Línea de Aducción y Ampliación de Redes de Distribución del P.J. Uliachin y Cercado Chaupimarca, Distrito de Chaupimarca – Provincia Pasco – Departamento Pasco. en este proyecto se prioriza la instalación de un pequeño tramo de línea de aducción para dar servicio a los seis sectores comprendidos en el P.J. Uliachin y la instalación de otra línea de aducción para dar servicio a las redes recientemente instaladas en el Cercado Chaupimarca, pero que también servirá para abastecer a las otras habilitaciones del Distrito de Chaupimarca. Paralelamente, en Julio de 2010 se desarrolló el Expediente Técnico Instalación de línea de aducción, redes de distribución y conexiones domiciliarias en los AAHH de Virgen Inmaculada Concepción y Ayapoto; e instalación de línea de aducción y mejoramiento de redes de distribución en los AAHH El Misti, Buenos Aires, Champamarca, Nueva Esperanza, Barrio La Esperanza, Noruega Alta y Baja, y Santa Rosa Distrito Chaupimarca - Departamento Pasco – Provincia De Pasco. Este Proyecto es una parte de lo planteado en el Estudio de Factibilidad en su Tercera Etapa, para el mejoramiento y ampliación de la infraestructura de agua potable. Igualmente, durante este periodo (julio de 2010) se desarrolló el Proyecto Construcción de la línea de conducción de agua potable Uliachin - Huancapucro, con el objetivo de resolver la problemática del servicio de agua potable en la ciudad de Cerro de Pasco, a fin de garantizar un abastecimiento adecuado en cantidad, calidad y continuidad. En mayo de 2011 se desarrolla el Expediente Técnico del Proyecto Ampliación Y Mejoramiento de los Sistemas de Agua y Desagüe del AA.HH. Columna Pasco II Etapa, con la finalidad de ampliar las redes de agua y desagüe de dicho sector, y

mejorar los componentes del sistema de agua, tales como: captación, reservorios, línea de impulsión, caseta de bombeo, instalaciones hidráulicas del reservorio nuevo y sistema de bombeo de agua en la estación Ojo de gato, así como el cambio de bomba en la estación de bombeo Jaital. Frente al pronunciamiento del Despacho de la Fiscalía de Pasco Especializada en Materia Ambiental, quienes indican que el agua que abastece la EPS EMAPA PASCO y Volcán Cía. Minera S.A.A. a la población de Cerro de Pasco, bacteriológicamente no es apta para el consumo directo, y, de acuerdo a los resultados de análisis de calidad de agua realizados oficialmente por la Dirección Regional de Salud, que corroboran este hecho, en Julio de 2011 se desarrolló el Expediente Técnico del Proyecto Mejoramiento de la Calidad de Agua para Consumo Humano en las Zonas Urbanas de los Distritos de Chaupimarca, Yanacancha y Simón Bolívar en la Provincia de Pasco - Pasco, con la finalidad de ejecutar dos componentes principales: mejoramiento de calidad de agua para consumo humano y estrategias y sensibilización para uso óptimo de agua potable. Por otro lado, en mayo de 2011 se celebra el Convenio Específico de Cooperación Interinstitucional para la Ejecución del Proyecto Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Saneamiento y Fortalecimiento Institucional Integral de la EMAPA PASCO, Provincia de Pasco – Pasco, entre el Gobierno Regional de Pasco y la Municipalidad Provincial de Pasco”

En este convenio se estableció que las atribuciones y obligaciones del Gobierno Regional serían:

- Culminar con elaborar el Expediente Técnico y/o Estudio Definitivo del Proyecto de Inversión Pública “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Saneamiento y Fortalecimiento Institucional Integral de la EMAPA PASCO, Provincia de Pasco – Pasco”, para tal fin deberá ceñirse a los parámetros para los cuales fue otorgada la viabilidad.

- El Gobierno Regional garantizará la contratación de una consultoría externa para supervisión del Expediente Técnico y mantendrá coordinación con la Empresa Prestadora de Servicios EMAPA Pasco y los entes rectores.
- El Gobierno Regional ejecutará los componentes Agua y Desagüe del Proyecto de Inversión Pública “Mejoramiento y Ampliación de los Servicios de Saneamiento y Fortalecimiento Institucional Integral de la EMAPA PASCO, Provincia de Pasco – Pasco”, lo que corresponde al Distrito de Yanacancha y Distrito de Simón Bolívar.

En resumen, el problema identificado es que las estructuras hidráulicas construidas por la municipalidad provincial de Pasco presentan problemas de permeabilidad, lo que fue detectado por el Gobierno regional de Pasco durante la culminación del componente I del proyecto integral de agua para Pasco. Esto representa un problema ya que muchas de las estructuras están enterradas y no cumplen con la permeabilidad permisible, lo que puede causar problemas en el funcionamiento de la infraestructura. La pregunta de investigación que se plantea es: ¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco - 2021?

1.2. Delimitación de la investigación

La delimitación de la investigación se refiere a establecer los límites o alcances del estudio. En el caso del proyecto de investigación "ESTRATEGIAS PARA DISMINUIR LA PERMEABILIDAD EN ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS UTILIZANDO IMPERMEABILIZANTES TRADICIONALES EN LA CIUDAD DE CERRO DE PASCO - 2021", son:

- Geográfica: La investigación se enfocará únicamente en la ciudad de Cerro de Pasco y sus estructuras hidráulicas.
- Temporal: El estudio se limitará al año 2021 y no abarcará otros periodos.

- Tipos de estructuras hidráulicas: La investigación se centrará únicamente en estructuras hidráulicas que presenten problemas de permeabilidad y que puedan ser tratadas con impermeabilizantes tradicionales.
- Tipos de impermeabilizantes: La investigación se enfocará únicamente en impermeabilizantes tradicionales y no considerará otras alternativas o tecnologías.
- Alcance de las estrategias: La investigación se enfocará en la identificación y evaluación de estrategias específicas para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales, pero no abordará su implementación práctica.

Es importante definir las delimitaciones adecuadas para que la investigación sea viable y se puedan alcanzar los objetivos planteados en el proyecto.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando poliestireno expandido en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021?
- ¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando lechada de cemento en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021?

- ¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Sika®-1 en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021?
- ¿Cuáles son las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Cal en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021?

La formulación del problema se divide en un problema principal y cuatro problemas específicos. El problema principal se refiere a las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco en el año 2021. Los problemas específicos se enfocan en diferentes tipos de impermeabilizantes tradicionales y las estrategias para disminuir la permeabilidad utilizando cada uno de ellos. Estos son poliestireno expandido, lechada de cemento, Sika®-1 y cal. Al abordar estos problemas específicos, se busca obtener información detallada sobre las diferentes estrategias que se pueden emplear para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco.

1.4. Formulación de objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando poliestireno expandido en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021

- Analizar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando lechada de cemento en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021
- Analizar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Sika®-1 en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021
- Analizar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Cal en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021

Estos objetivos buscan establecer las estrategias más efectivas para reducir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando diferentes tipos de impermeabilizantes, lo que contribuirá a mejorar la calidad de las infraestructuras en la ciudad de Cerro de Pasco.

1.5. Justificación de la investigación

La investigación tiene como objetivo proporcionar información y estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco. Esta investigación es importante porque las estructuras hidráulicas son fundamentales para el abastecimiento de agua en la ciudad, por lo que es crucial que estén en buen estado y sean impermeables para evitar pérdidas y filtraciones que puedan afectar la calidad del agua y su distribución a los habitantes de la ciudad.

Además, la investigación también puede contribuir a reducir los costos de mantenimiento y reparación de las estructuras hidráulicas, ya que si se utilizan estrategias efectivas para disminuir la permeabilidad, se pueden prevenir problemas futuros y prolongar la vida útil de las estructuras.

Por lo tanto, esta investigación es relevante tanto para los habitantes de Cerro de Pasco como para las autoridades encargadas del mantenimiento y construcción de las estructuras hidráulicas en la ciudad.

1.6. Limitaciones de la investigación

Las limitaciones de la investigación pueden ser diversas, y algunas de ellas podrían incluir:

1. Disponibilidad de información: La investigación puede verse limitada por la falta de acceso a la información necesaria, ya sea porque no existe o porque es difícil de obtener.
2. Limitaciones de tiempo: El tiempo disponible para realizar la investigación puede ser limitado, lo que puede afectar la cantidad y calidad de los datos que se pueden recolectar y analizar.
3. Limitaciones de recursos: La investigación puede requerir ciertos recursos, como fondos, equipos, personal, etc., que pueden no estar disponibles en cantidades suficientes.
4. Limitaciones geográficas: La investigación puede estar limitada por la ubicación geográfica de la ciudad de Cerro de Pasco y la disponibilidad de los recursos necesarios para llevar a cabo la investigación.
5. Limitaciones de la muestra: La muestra utilizada en la investigación puede ser limitada y no representativa de la población completa, lo que podría afectar la generalización de los resultados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedente y pre proyecto de investigación 1: ANÁLISIS DE CONSTRUCCIÓN Y SISTEMAS DE IMPERMEABILIZACIÓN DE CUBIERTAS EN EL LABORATORIO NACIONAL DE LA DIRECCIÓN DE IMPUESTOS Y ADUANAS NACIONALES, autor: LUISA FERNANDA NARVÁEZ YEPES

(Narváez, 2018) “El objetivo principal de esta investigación es la elaboración de un instrumento que permita la evaluación del proceso constructivo e impermeabilización de las cubiertas del proyecto Laboratorio Nacional de la Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales – DIAN. La impermeabilización no siempre es tomada en cuenta en el proceso constructivo de un edificio, por eso un mal procedimiento o una falla en la instalación de un impermeabilizante en la cubierta traerá problemas de filtraciones importantes en la estructura. Con la obtención del sistema de gestión de calidad en procedimientos de construcción e impermeabilización, se garantizará a los propietarios seguridad en la estructura y una mayor eficacia a lo largo de la vida útil. Partiendo del cotejo bibliográfico referente a construcción e impermeabilización, se planteó los materiales y

procedimientos más adecuados para cada tipo de estructura con base en el tiempo de secado y efectividad de los mismos. Al finalizar el trabajo, se diseñó un sistema de evaluación con las consideraciones a tener en cuenta al momento de realizar la inspección visual y el mantenimiento respectivo a las cubiertas, con el fin de prolongar características de diseño”

Donde concluye:

(Narváez, 2018) “La construcción de cubiertas en la actualidad representa un gran reto para la ingeniería, ya que por medio de la aplicación de diferentes tecnologías, materiales y elementos estructurales se diseñan estructuras que garantizan el confort y funcionalidad requerido para determinada población de estudio. El estudio de caso construcción del laboratorio central de la DIAN permitió evidenciar los detalles constructivos y sistemas de impermeabilización, permitiendo la inclusión de conceptos teórico-prácticos a la vida profesional y aportando al desarrollo de la ingeniería colombiana. Las losas colaborantes o Steel deck son una alternativa respecto a las losas macizas convencionales, ya que se comportan de manera eficiente en términos de costo, durabilidad y solicitaciones de carga: Estos elementos, poseen funciones mixtas, ya que sirven como encofrado del concreto y trabajan como elementos de concreto reforzado, resistiendo esfuerzos de tensión y compresión. La aplicación de los materiales asfálticos, acrílicos y poliuretanos requieren de tres capas, e intermedio de la primera y segunda se debe aplicar una membrana de refuerzo, al finalizar se aplica un acabado para dar durabilidad a la impermeabilización. Para tener una adherencia de los materiales imprimantes con el concreto, se debe tener una preparación de la superficie, limpieza, arreglo de fisuras y superficie seca. Con materiales de impermeabilización asfálticos, acrílicos, poliuretanos y poliurea se deben tener los anteriores aspectos en cuenta para así evitar el desprendimiento de la capa impermeabilizante. La poliurea gracias a las propiedades de resistencia a la tracción, elongación, flexibilidad a bajas temperaturas y resistencia al

punzonamiento, se ha convertido en el material favorable para aplicar en áreas grandes, como son cubiertas, parqueaderos, piscinas y pistas de atletismo. Las buenas prácticas de construcción e impermeabilización, acompañado de buenas y oportunas decisiones, garantizan seguridad en la estructura del edificio y la calidad en el material aplicado. El personal encargado del control de calidad, debe verificar el cumplimiento de las características de los materiales empleados, así como, el incumplimiento por parte del contratista al no ejecutar las actividades de manera correcta. Los sobrecostos que se pueden generar por la aparición de las filtraciones representan un alto valor económico, teniendo en cuenta que la humedad y goteras involucra la reparación de la estructura y equipos presentes en el edificio. La duración de la impermeabilización de cubiertas dependerá de factores como, la calidad y tipo de sistema usado, la correcta aplicación del material, el uso correcto de la zona a impermeabilizar y el respectivo mantenimiento. Los costos de una impermeabilización pueden variar dependiendo del material que se va a aplicar y de los insumos que este contempla como contratante, es decir, dentro de los costos directos se tiene, mano de obra, restauración de la superficie y equipos para la aplicación. A partir de nuevas tecnologías se han creado una variedad de productos impermeabilizantes con ventajas en su aplicación, que garantizan la funcionalidad de estas ante el paso del agua a la estructura. El mantenimiento de las cubiertas y demás elementos de una edificación es primordial para mantener las condiciones de diseño, brindar seguridad a los usuarios y minimizar costos por reparaciones, los cuales, muchas veces superan los rubros referentes al mantenimiento correctivo. Los mantenimientos preventivos y correctivos son de importancia, con estos se programan la inspección visual y cada cuanto se deben realizar para así evitar futuros daños en la cubierta y sus sistemas de impermeabilización. En el presente documento se desarrollaron análisis cualitativos y cuantitativos que permitieron recolectar información de fuentes sobre ingeniería y arquitectura, por lo cual, se

pudieron unificar distintas disciplinas de la construcción que muchas veces han estado en conflictos conceptuales. Los procesos constructivos y de impermeabilización en el proyecto laboratorio central de la DIAN, presentaron algunas demoras en su ejecución; a pesar de esto, las metodologías utilizadas en ambos procedimientos fueron adecuadas normativa, logística y estructuralmente”

**2.1.2. Antecedente y pre proyecto de investigación 2:
IMPERMEABILIZACIÓN TRADICIONAL EN EL MANTENIMIENTO DE
LOSAS ALIGERADAS EN LA CIUDAD DE HUANCVELICA, autor:
VILLENNA CCORPA, Cynthia Rocío**

(Villena, 2019) “La investigación que lleva por título Impermeabilización tradicional para el mantenimiento de losas aligeradas en la ciudad de Huancavelica centra su estudio en la determinación de resultados a raíz de la aplicación de diferentes técnicas de impermeabilizantes tradicionales aplicado para el mantenimiento de losas aligeradas en la ciudad de Huancavelica, que nos permitió el control de la permeabilidad producido por las precipitaciones pluviales, exposición a la intemperie. Para la elaboración de los diferentes impermeabilizantes tradicionales que se utilizaron fueron Tecnopor, gasolina, cemento, arena fina, agua, jabón en barra, piedra alumbre, cal, seleccionados por las propiedades que poseen. Como primera etapa de esta investigación, se elaboró 08 probetas con un área de (40x40) cm con un espesor de mortero igual a 5cm, con una dosificación de 1:10 para poder obtener maquetas fisuradas que nos ayudaran a identificar con mayor facilidad la impermeabilidad y a su vez se realizó el ensayo de permeabilidad a dichas maquetas. Como segunda etapa se prosiguió a la elaboración y dosificación de los impermeabilizantes tradicionales elaborados y los considerados en el presente proyecto fueron la técnica 01 = Unicel, técnica 02 = lechada de cemento, técnica 03 = comercial Sika (utilizado para poder hacer las comparaciones), técnica 04 = jabonato de alumbre, técnica

05 = a base de cal, posteriormente se retornó nuevamente a realizar ensayos de permeabilidad en el proceso de aplicación y posterior a ellos”

Donde concluye:

(Villena, 2019) “Con la aplicación de las diferentes técnicas de impermeabilizantes tradicionales se obtuvo resultados del ensayo de permeabilidad después de la aplicación de las mismas con un rango de un 77.12 % lechada de cemento hasta un 100 % en el caso del impermeabilizante unicel. El impermeabilizante tradicional unicel influye en la disminución de la permeabilidad en un 100 % evitando el paso del agua. En el ensayo de permeabilidad con la aplicación del impermeabilizante de lechada de cemento, la misma que influye en la variación de permeabilidad en promedio de 82.79%. La aplicación del impermeabilizante comercial Sika genera una influencia ya que disminuye en un 91.38% en promedio la permeabilidad. El impermeabilizante jabonado de alumbre influye en la variación de resultados de permeabilidad luego de su aplicación en un 84.88 %. La aplicación del impermeabilizante a base de cal influye en la variación de resultados de permeabilidad luego de su aplicación en un 82.95 %. Los impermeabilizantes tradicionales de acuerdo a los resultados del ensayo de permeabilidad presentan cierto grado de eficiencia en comparación con los impermeabilizantes industriales. Pero con la ventaja de que estas mezclas se constituyen con facilidad ya que cuentan con materiales económicos y fáciles de conseguir, a la vez su preparación y aplicación son muy sencillos y rápidos”

2.1.3. Antecedente y pre proyecto de investigación 3

"Efecto de la adición de caucho de llantas recicladas en la permeabilidad de morteros cementicios" (2019): En esta investigación se evaluó el efecto de la adición de caucho de llantas recicladas en la permeabilidad de morteros cementicios utilizados en la impermeabilización de estructuras hidráulicas. Los

resultados mostraron que la adición de caucho de llantas redujo significativamente la permeabilidad de los morteros.

"Estudio del efecto de la calidad de la superficie sobre la eficacia de los materiales de impermeabilización" (2018): En este estudio se evaluó cómo la calidad de la superficie de la estructura hidráulica afecta la eficacia de los materiales de impermeabilización utilizados. Los resultados mostraron que una superficie adecuadamente preparada mejoró la adherencia y eficacia de los materiales de impermeabilización, lo que puede contribuir a la disminución de la permeabilidad en estructuras hidráulicas.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Conceptos básicos sobre permeabilidad y su importancia en estructuras hidráulicas

La permeabilidad es una propiedad física de los materiales que se refiere a su capacidad para permitir el paso de líquidos, gases o sustancias a través de ellos. En el caso de las estructuras hidráulicas, la permeabilidad se refiere a la capacidad de los materiales de construcción utilizados para permitir o impedir el flujo de agua a través de ellos.

La permeabilidad es un factor importante a considerar en la construcción de estructuras hidráulicas, ya que la presencia de fugas de agua puede causar graves problemas, como la erosión de la estructura, la pérdida de agua y la disminución de la eficiencia de los sistemas hidráulicos. Además, la presencia de fugas de agua también puede ser un problema para la salud pública, ya que puede aumentar el riesgo de contaminación del agua y la propagación de enfermedades.

Existen diversos factores que pueden afectar la permeabilidad de los materiales de construcción utilizados en estructuras hidráulicas. Uno de los factores más importantes es el tipo de material utilizado. Algunos materiales, como el concreto y la mampostería, pueden ser altamente permeables si no se

utilizan técnicas adecuadas de construcción. Otros materiales, como el acero y el vidrio, son inherentemente impermeables.

Otro factor importante que puede afectar la permeabilidad de las estructuras hidráulicas es el diseño y la construcción de la estructura. La falta de sellado adecuado de las juntas, la presencia de grietas y fisuras, y la falta de atención al detalle durante la construcción pueden todos contribuir a la permeabilidad de la estructura.

Es importante destacar que la permeabilidad no es necesariamente un problema en todas las estructuras hidráulicas. De hecho, en algunas estructuras, como las presas y las estructuras de retención de agua, se utiliza deliberadamente un nivel controlado de permeabilidad para permitir la filtración controlada de agua. Sin embargo, en la mayoría de las estructuras hidráulicas, se busca minimizar la permeabilidad tanto como sea posible.

Existen diversas técnicas y materiales disponibles para reducir la permeabilidad en estructuras hidráulicas. Uno de los materiales más comunes utilizados para este propósito es el cemento Portland, que se utiliza para crear una barrera impermeable en el interior de la estructura. También se utilizan otros materiales impermeabilizantes, como el polietileno, el poliuretano y las membranas de PVC.

En conclusión, la permeabilidad es una propiedad importante a considerar en la construcción de estructuras hidráulicas. Una adecuada atención a los materiales y técnicas de construcción puede ayudar a reducir la permeabilidad y prevenir problemas a largo plazo en la eficiencia y seguridad de las estructuras hidráulicas.

2.2.2. Impermeabilización de estructuras hidráulicas: técnicas tradicionales y alternativas

La impermeabilización de estructuras hidráulicas es un proceso esencial en la construcción de infraestructuras que tienen contacto con el agua, como por ejemplo, los canales, depósitos de agua, piscinas, entre otros. La finalidad de la impermeabilización es evitar la penetración del agua, la humedad y otros elementos que pueden afectar la durabilidad y estabilidad de la estructura. Existen diversas técnicas y materiales para llevar a cabo este proceso, entre ellos se encuentran las técnicas tradicionales y alternativas.

Las técnicas tradicionales se han utilizado durante muchos años y han demostrado su eficacia. Estas técnicas se basan en el uso de materiales como el mortero, el cemento y la cal, los cuales son mezclados con aditivos que les confieren propiedades impermeabilizantes. Estos materiales se aplican sobre la superficie de la estructura en capas, de manera que se forme una barrera impermeable. Una de las técnicas tradicionales más utilizadas es la aplicación de lechada de cemento, que se aplica sobre la superficie de la estructura en varias capas hasta lograr una adecuada impermeabilización.

Por otro lado, existen técnicas alternativas que han surgido en respuesta a las limitaciones y desventajas de las técnicas tradicionales. Estas técnicas se basan en el uso de materiales diferentes a los tradicionales, como los geotextiles, los polímeros y los elastómeros. Los geotextiles son tejidos sintéticos que se utilizan como barrera impermeable, y se colocan en capas sobre la superficie de la estructura. Los polímeros son materiales plásticos que se aplican en capas sobre la superficie de la estructura, y se adhieren mediante calor o presión. Los elastómeros son materiales similares a los polímeros, pero que se aplican en forma de membrana continua y flexible.

Es importante tener en cuenta que cada técnica y material tiene sus ventajas y desventajas, y que la elección de la técnica más adecuada dependerá

de diversos factores, como la naturaleza del suelo, la exposición a factores ambientales como la humedad y la lluvia, y el uso de la estructura hidráulica. Además, es importante contar con personal capacitado y con experiencia en la aplicación de las técnicas de impermeabilización, para lograr una adecuada impermeabilización y garantizar la durabilidad y estabilidad de la estructura hidráulica.

En resumen, la impermeabilización de estructuras hidráulicas es un proceso esencial en la construcción de infraestructuras que tienen contacto con el agua, y existen diversas técnicas y materiales para llevarlo a cabo. Las técnicas tradicionales se han utilizado durante muchos años y han demostrado su eficacia, mientras que las técnicas alternativas han surgido en respuesta a las limitaciones de las técnicas tradicionales. Es importante tener en cuenta que la elección de la técnica más adecuada dependerá de diversos factores, y que es necesario contar con personal capacitado para lograr una adecuada impermeabilización.

2.2.3. Propiedades y aplicaciones del poliestireno expandido como material impermeabilizante

El poliestireno expandido, también conocido como EPS (por sus siglas en inglés, Expanded Polystyrene), es un material plástico espumado que se caracteriza por su ligereza y su capacidad de aislamiento térmico y acústico. Debido a estas propiedades, el EPS se ha utilizado desde hace décadas en la construcción de edificios y en la fabricación de objetos y envases.

Sin embargo, el EPS también se ha utilizado como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas, como presas, tanques de almacenamiento de agua, piscinas y túneles, entre otros. La capacidad impermeabilizante del EPS se debe a su estructura porosa y a su baja absorción de agua, lo que lo convierte en un material resistente a la penetración de líquidos.

Las propiedades del poliestireno expandido lo hacen un material versátil y de fácil aplicación. En general, se utiliza como una capa de acabado, que se aplica sobre una superficie ya preparada con una capa de imprimación. La aplicación del EPS se realiza mediante la proyección de una capa uniforme, que se adhiere a la superficie y se expande para cubrir cualquier tipo de irregularidad o fisura. Posteriormente, se puede aplicar una capa de sellado o acabado, para mejorar su capacidad impermeabilizante.

Una de las ventajas del EPS es su bajo costo, en comparación con otros materiales impermeabilizantes. Además, es un material resistente a la corrosión y a los agentes químicos, lo que lo hace ideal para su uso en estructuras hidráulicas que estén expuestas a estos factores. También tiene una larga vida útil, lo que significa que su capacidad de impermeabilización se mantiene durante muchos años.

Sin embargo, existen algunas limitaciones en el uso del poliestireno expandido como material impermeabilizante. En primer lugar, su capacidad de resistencia a la tracción es relativamente baja, lo que significa que no es adecuado para estructuras que requieran soportar grandes esfuerzos mecánicos. Además, su aplicación puede resultar complicada en superficies irregulares o curvas, lo que limita su uso en algunas estructuras hidráulicas.

Otra limitación del EPS es su sensibilidad a las altas temperaturas. Si se expone a temperaturas superiores a 100°C, el EPS puede deformarse y perder su capacidad impermeabilizante. Por lo tanto, no se recomienda su uso en estructuras hidráulicas que estén sometidas a temperaturas elevadas.

En resumen, el poliestireno expandido es un material impermeabilizante que ofrece varias ventajas, como su bajo costo, su resistencia a la corrosión y a los agentes químicos, y su larga vida útil. Sin embargo, su capacidad de resistencia a la tracción es limitada, y su aplicación puede resultar complicada en

algunas superficies. Además, su sensibilidad a las altas temperaturas limita su uso en algunas estructuras hidráulicas.

2.2.4. Lechada de cemento: características y usos en la impermeabilización de estructuras hidráulicas

La lechada de cemento es un material utilizado en la construcción que se compone de cemento y agua en proporciones determinadas para obtener una pasta líquida y homogénea. Es comúnmente utilizada para la impermeabilización de estructuras hidráulicas, ya que es capaz de penetrar en los poros y grietas del concreto y sellarlos, evitando la filtración de agua.

La lechada de cemento puede aplicarse en superficies verticales u horizontales y se utiliza principalmente en estructuras de concreto como cimientos, tanques de agua, piscinas, muros de contención, entre otros. Su aplicación se realiza mediante una brocha o rodillo, asegurando una cobertura uniforme en toda la superficie.

Las características de la lechada de cemento incluyen su alta resistencia a la compresión y a la abrasión, así como su capacidad para sellar y rellenar grietas y poros. Además, es un material económico y fácil de aplicar en comparación con otros métodos de impermeabilización.

Es importante tener en cuenta que la lechada de cemento es un material que se contrae durante el proceso de secado, lo que puede generar fisuras y, por lo tanto, reducir su efectividad como impermeabilizante. Para minimizar este efecto, se pueden agregar aditivos a la mezcla de cemento, como polímeros acrílicos o vinílicos, que reducen la contracción y aumentan la flexibilidad del material.

En cuanto a los usos de la lechada de cemento en la impermeabilización de estructuras hidráulicas, se ha demostrado su efectividad en la prevención de filtraciones en muros y techos de concreto, así como en la reparación de grietas y fisuras en piscinas y tanques de agua. También se puede utilizar como capa

base para la aplicación de otros materiales impermeabilizantes, como membranas o pinturas.

En resumen, la lechada de cemento es una técnica tradicional y efectiva para la impermeabilización de estructuras hidráulicas, gracias a su capacidad para sellar grietas y poros y su alta resistencia a la compresión y abrasión. Es un material económico y fácil de aplicar, aunque es importante tener en cuenta su tendencia a la contracción durante el secado y considerar el uso de aditivos para minimizar este efecto.

2.2.5. Sika®-1: composición, propiedades y aplicaciones en la impermeabilización de estructuras hidráulicas

Sika®-1 es un producto impermeabilizante utilizado en la construcción para prevenir la infiltración de agua en estructuras hidráulicas, tales como cisternas, tanques, piscinas, entre otros. Su nombre comercial es una marca registrada de Sika AG, empresa suiza especializada en la fabricación de materiales para la construcción.

La composición de Sika®-1 se basa en una mezcla de cemento portland, arena de cuarzo, y aditivos especiales que mejoran sus propiedades impermeabilizantes. Una vez mezclado con agua, se forma una pasta que se aplica sobre la superficie a impermeabilizar en varias capas, siguiendo un procedimiento específico. Una vez aplicado, Sika®-1 se adhiere a la superficie formando una membrana continua que previene la penetración de agua.

Entre las propiedades de Sika®-1 destacan su alta resistencia a la presión hidrostática, su capacidad de sellado de fisuras y su durabilidad. También es resistente a los agentes químicos y a la abrasión, lo que lo hace adecuado para aplicaciones en ambientes agresivos. Además, es un producto que no contiene cloruros, lo que lo hace adecuado para su uso en estructuras de hormigón armado.

Las aplicaciones de Sika®-1 en la impermeabilización de estructuras hidráulicas son variadas. Por ejemplo, se utiliza en la construcción de cisternas, tanques de agua, piscinas, túneles, y otros elementos en contacto con el agua. También es adecuado para la reparación de estructuras dañadas por la humedad, como muros y techos.

En cuanto a su aplicación, Sika®-1 se aplica en varias capas, de acuerdo a las especificaciones del fabricante. La primera capa se aplica en forma de pasta, utilizando una llana o un rodillo, y se deja secar durante unas horas antes de aplicar la siguiente capa. Es importante respetar los tiempos de secado entre capas para asegurar una correcta adherencia y evitar la formación de fisuras.

Otra ventaja de Sika®-1 es su fácil aplicación, lo que lo hace adecuado para ser utilizado por contratistas y aficionados al bricolaje. Además, su rendimiento es alto, lo que significa que se requiere una menor cantidad de producto para cubrir una determinada superficie.

En resumen, Sika®-1 es un producto impermeabilizante utilizado en la construcción de estructuras hidráulicas para prevenir la infiltración de agua. Su composición y propiedades le permiten formar una membrana continua y resistente, que lo hace adecuado para aplicaciones en ambientes agresivos y con alta presión hidrostática. Es fácil de aplicar y su rendimiento es alto, lo que lo convierte en una opción popular en la impermeabilización de estructuras hidráulicas.

2.2.6. Cal como material impermeabilizante: composición, propiedades y usos

La cal es un material inorgánico ampliamente utilizado en la construcción como aglomerante en morteros y como estabilizador en suelos. Además, es un material con propiedades hidráulicas que le permiten actuar como impermeabilizante en algunas aplicaciones.

La cal se obtiene a partir de la calcinación de rocas calizas o dolomíticas, en un proceso en el que se libera dióxido de carbono y se produce óxido de calcio o magnesio, dependiendo del tipo de roca utilizada. Este óxido se hidrata con agua, produciendo hidróxido de calcio o magnesio, que es el componente activo de la cal. La hidratación de la cal es un proceso exotérmico que produce una gran cantidad de calor, lo que la hace útil en aplicaciones de mortero en las que se requiere una rápida fijación.

En cuanto a sus propiedades impermeabilizantes, la cal tiene una capacidad limitada para repeler el agua, debido a su baja densidad y a la porosidad de sus estructuras. Sin embargo, puede actuar como impermeabilizante en aplicaciones en las que se requiere una capa delgada de material y una baja permeabilidad, como en la impermeabilización de mampostería o en la reparación de grietas y fisuras. En estas aplicaciones, la cal se aplica en forma de mortero o lechada sobre la superficie a impermeabilizar, creando una capa delgada que sella los poros y fisuras existentes.

Otra propiedad importante de la cal es su capacidad de absorber dióxido de carbono del aire, lo que le permite actuar como un material de construcción sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Durante el proceso de carbonatación, la cal reacciona con el dióxido de carbono para formar carbonato de calcio, una sustancia que es estable y resistente a la intemperie. Esta capacidad de absorción de dióxido de carbono hace que la cal sea un material atractivo para la construcción de edificios sostenibles y de bajo impacto ambiental.

En resumen, la cal es un material de construcción ampliamente utilizado que cuenta con propiedades hidráulicas y capacidad de absorción de dióxido de carbono que lo hacen atractivo para la construcción sostenible. Aunque su capacidad para actuar como impermeabilizante es limitada, puede ser utilizado en aplicaciones en las que se requiere una capa delgada de material y una baja

permeabilidad, como en la impermeabilización de mampostería y en la reparación de fisuras y grietas.

2.2.7. Diseño de estructuras hidráulicas resistentes y duraderas: criterios y normativas aplicables

El diseño de estructuras hidráulicas es una tarea fundamental para garantizar su resistencia y durabilidad ante las condiciones ambientales y el uso al que están destinadas. Para ello, es necesario aplicar una serie de criterios y normativas que permitan una correcta planificación, construcción y mantenimiento de las mismas.

Entre los criterios fundamentales a considerar en el diseño de estructuras hidráulicas se encuentran los siguientes:

- Carga hidráulica: se refiere al caudal de agua que debe soportar la estructura y la presión ejercida por el agua sobre ella.
- Estabilidad: debe garantizarse que la estructura se mantenga estable ante las cargas hidráulicas y otros factores como la erosión del suelo o la acción del viento.
- Durabilidad: la estructura debe ser resistente a la corrosión, la abrasión, la acción de agentes químicos, entre otros factores que puedan afectar su integridad.
- Mantenibilidad: debe permitirse el acceso para realizar inspecciones, reparaciones y mantenimientos a la estructura.
- Economía: se deben considerar los costos asociados al diseño, construcción y mantenimiento de la estructura, buscando una solución óptima en términos de costos y beneficios.

Por otro lado, existen normativas aplicables en el diseño de estructuras hidráulicas, tales como las normas ISO (Organización Internacional de Normalización), ASTM (American Society for Testing and Materials) o ACI

(American Concrete Institute), entre otras. Estas normativas establecen criterios para el diseño de estructuras hidráulicas en cuanto a su resistencia, durabilidad, estabilidad y mantenibilidad.

Además, es importante considerar las condiciones ambientales a las que estará expuesta la estructura hidráulica, como la exposición a la humedad, la corrosión, la erosión, entre otros factores. Para ello, se pueden aplicar técnicas de protección y recubrimientos, como la aplicación de impermeabilizantes, pinturas, recubrimientos de epóxico, entre otros.

En resumen, el diseño de estructuras hidráulicas resistentes y duraderas requiere de una correcta aplicación de criterios y normativas, así como de la consideración de las condiciones ambientales a las que estará expuesta la estructura. De esta manera, se podrá garantizar su correcta funcionalidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

2.2.8. Métodos de ensayo para la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas

La evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas es fundamental para asegurar su durabilidad y resistencia. Para ello, existen diferentes métodos de ensayo que permiten medir la capacidad de un material o estructura para resistir la penetración de agua u otros fluidos. En esta sección, se describirán algunos de los métodos de ensayo más comunes utilizados en la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas.

Uno de los métodos más utilizados para medir la permeabilidad de los materiales es el método de ensayo de la taza de permeabilidad. Este método consiste en colocar una muestra de material en una taza de permeabilidad y someterla a una presión hidrostática constante durante un tiempo determinado. La cantidad de agua que atraviesa la muestra durante ese tiempo se mide y se utiliza para calcular la permeabilidad del material.

Otro método comúnmente utilizado es el ensayo de permeabilidad al agua bajo presión. En este método, se aplica una presión hidrostática constante al material y se mide la cantidad de agua que atraviesa la muestra en un tiempo determinado. Este método se utiliza principalmente para materiales que se utilizan en estructuras hidráulicas como tuberías, tanques y presas.

El ensayo de permeabilidad al aire es otro método utilizado en la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas. En este método, se mide la cantidad de aire que se filtra a través del material en un tiempo determinado. Este método es particularmente útil para evaluar la permeabilidad de materiales utilizados en sistemas de ventilación y aire acondicionado.

El ensayo de permeabilidad al gas también es un método comúnmente utilizado para la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas. Este método se utiliza para evaluar la permeabilidad de materiales que se utilizan en sistemas de tuberías y tanques de gas.

Además de los métodos de ensayo mencionados anteriormente, existen otros métodos que se utilizan en la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas. Algunos de estos métodos incluyen el ensayo de permeabilidad al vapor, el ensayo de permeabilidad al líquido y el ensayo de permeabilidad al agua a través de la carga.

En conclusión, la evaluación de la permeabilidad en estructuras hidráulicas es esencial para garantizar su durabilidad y resistencia. Existen diferentes métodos de ensayo que permiten medir la capacidad de un material o estructura para resistir la penetración de agua u otros fluidos. Es importante seleccionar el método de ensayo adecuado en función del tipo de material o estructura que se va a evaluar y los objetivos de la evaluación.

2.2.9. Mantenimiento y reparación de estructuras hidráulicas: importancia y técnicas disponibles

Las estructuras hidráulicas están sujetas a condiciones extremas y factores ambientales agresivos, como el agua, la humedad, la temperatura y los productos químicos. Estos factores pueden deteriorar la estructura con el tiempo, lo que hace necesario realizar mantenimiento y reparaciones regulares para asegurar su funcionamiento adecuado y prolongar su vida útil. En este apartado se abordarán los conceptos y técnicas relevantes relacionados con el mantenimiento y reparación de estructuras hidráulicas.

2.2.9.1. Importancia del mantenimiento y la reparación de estructuras hidráulicas

El mantenimiento y reparación de las estructuras hidráulicas es esencial para asegurar su adecuado funcionamiento y prolongar su vida útil. Las estructuras hidráulicas están expuestas a la intemperie y las condiciones ambientales extremas, lo que significa que su degradación es inevitable con el tiempo. Sin embargo, el mantenimiento y reparación regulares pueden prevenir o retrasar el deterioro, lo que reduce los costos a largo plazo y garantiza la seguridad y funcionalidad de la estructura.

El mantenimiento de las estructuras hidráulicas incluye inspecciones regulares para detectar signos de desgaste, corrosión y daño. Además, el mantenimiento también puede incluir la limpieza de la estructura, la eliminación de residuos y la aplicación de recubrimientos protectores para prevenir la corrosión y el desgaste. Por otro lado, la reparación se centra en la restauración de la integridad estructural, la eliminación de defectos y el reemplazo de las partes defectuosas.

La falta de mantenimiento y reparación puede tener consecuencias graves, como la falla de la estructura hidráulica, lo que puede resultar en pérdida de vidas y daños materiales importantes.

Además, la falta de mantenimiento y reparación también puede afectar el rendimiento y la eficiencia de la estructura hidráulica, lo que resulta en costos más altos y una mayor inversión en la operación y el mantenimiento a largo plazo.

2.2.9.2. Técnicas de mantenimiento y reparación

Existen varias técnicas de mantenimiento y reparación disponibles para las estructuras hidráulicas, que se seleccionan en función del tipo y el alcance del daño. A continuación, se describen algunas de las técnicas comunes:

- Reparación de grietas y fisuras: Las grietas y fisuras en las estructuras hidráulicas son comunes debido al ciclo de congelamiento y descongelamiento, el asentamiento y el movimiento del suelo. La reparación de grietas y fisuras puede involucrar la inyección de resinas o morteros especiales para llenar las grietas y fisuras y restaurar la integridad estructural.
- Recubrimientos protectores: Los recubrimientos protectores se aplican a la superficie de las estructuras hidráulicas para prevenir la corrosión y el desgaste. Los recubrimientos pueden ser de diferentes tipos, como epoxi, uretano y poliurea, y se seleccionan en función de las condiciones ambientales y las propiedades requeridas.

2.2.10. Ejemplos de casos exitosos de impermeabilización en estructuras hidráulicas en contextos similares

La impermeabilización de estructuras hidráulicas es un tema clave en la construcción y mantenimiento de infraestructuras hidráulicas, ya que permite prevenir daños a largo plazo en las mismas. Es importante conocer ejemplos de casos exitosos de impermeabilización en estructuras hidráulicas en contextos similares para poder aplicar los mismos principios en la ciudad de Cerro de Pasco.

Un ejemplo de un caso exitoso de impermeabilización en estructuras hidráulicas se puede encontrar en la ciudad de São Paulo, Brasil. La ciudad ha experimentado problemas de inundaciones debido a la falta de infraestructuras adecuadas para la gestión de aguas pluviales. En 2014, la ciudad implementó un programa de mejora de la infraestructura de drenaje que incluyó la impermeabilización de estructuras hidráulicas. Se utilizaron diversos materiales, como membranas asfálticas y revestimientos de poliuretano, para lograr la impermeabilización de las estructuras.

Otro ejemplo de un caso exitoso de impermeabilización en estructuras hidráulicas se encuentra en la ciudad de Shenzhen, China. La ciudad ha experimentado un rápido crecimiento en los últimos años, lo que ha llevado a la construcción de numerosas infraestructuras hidráulicas. Para prevenir la pérdida de agua en los canales y mejorar la calidad del agua, se implementó un programa de impermeabilización que utilizó materiales como el geotextil y la membrana de PVC.

En ambos casos, la impermeabilización de las estructuras hidráulicas permitió prevenir daños a largo plazo en las mismas, y mejorar su funcionamiento y durabilidad. La elección de materiales y técnicas adecuadas para cada contexto fue clave para el éxito de los programas de impermeabilización. Además, la planificación y ejecución adecuada de los trabajos de impermeabilización permitió minimizar los costos y el impacto en la comunidad local.

Estos ejemplos ilustran la importancia de la impermeabilización en estructuras hidráulicas y muestran cómo la elección de materiales y técnicas adecuadas puede ser clave para el éxito de los programas de impermeabilización. Es importante tener en cuenta que cada contexto es diferente, y que la elección de materiales y técnicas debe basarse en un análisis detallado de las necesidades y limitaciones del contexto en cuestión.

2.2.11. Impermeabilizante tradicional unisel

(Villena, 2019) “El unisel es un producto derivado del petróleo y compuesto por poliestireno, entre sus propiedades no se descompone al estar constituido por sustrato nutritivo para microorganismos, estos materiales son fáciles de encontrar. El unisel es un material no fácil de reciclar, es un producto que tarda 500 años en descomponerse sería ideal reutilizarlo para evitar la contaminación del medio ambiente. La gasolina está compuesta por hidrocarburos alifáticos obtenidos del petróleo por destilación fraccionada, que se utiliza como combustible en motores de combustión interna con encendido por chispa convencional o por compresión, Este impermeabilizante está constituido por la mezcla de unisel con gasolina, en un recipiente hasta encontrar una masa plástica de fácil aplicación, se prosigue a realizar la limpieza de la probeta para que pueda estar libre de polvo o partícula que evite la adherencia de la mezcla”

2.2.12. Lechada de cemento

(Villena, 2019) “Este impermeabilizante está constituido por la mezcla de cemento arena graduada y agua, también es utilizado tradicionalmente como sellador e impermeabilizante, las propiedades que este impermeabilizante contiene son:

- Económicos
- No contiene materiales peligrosos
- Resistente y de fácil fraguado.
- Probado con años de uso”

2.2.13. Impermeabilizante comercial Sika

(Villena, 2019) “El impermeabilizante comercial que se utilizó en el presente proyecto, contiene las siguientes características y ventajas: tiene buena penetración en grietas y fisuras, resistente a la microfisuración, resistente al intemperismo y al ataque agresivo de la atmosfera, radiación UV y

envejecimiento, resistente al tránsito peatonal moderado, es fácil de aplicar. Este impermeabilizante comercial su proceso de su aplicación es de la siguiente manera:

- Se prepara la superficie que debe de estar firme limpia libre de polvo, partículas sueltas, grasa, eflorescencia u hongos que puedan impedir la normal adherencia del producto.
- Se agita el producto antes de aplicarlo para garantizar una consistencia homogénea y sin grumos.
- Se puede aplicar de manera directa, también se aplica en la mezcla de concreto o mortero”

2.2.14. Impermeabilizante a base de cal

(Villena, 2019) “Los componentes de este impermeabilizante son: jabón en barra, piedra alumbre, cal y agua de acuerdo a las proporciones que se calculan en base a ensayos, adecuados para impermeabilizar techos y otras estructuras, aquellos que no presenten juntas de expansión, este impermeabilizante tiene propiedades como:

- No le afecta la exposición al sol.
- Contiene materiales naturales.
- Adecuado para captación de agua pluvial, no tóxico.
- Económico.
- Impermeabilizante biodegradable.
- Durabilidad”

(Villena, 2019) “Este impermeabilizante es denominado a base de cal, compuesto por los componentes de cal, jabón en barra, piedra alumbre, son productos que son accesibles para cualquier persona que quiera adquirirlos, este impermeabilizante funciona formando una capa delgada de lechada de cal para que pueda tener una buena adherencia previa aplicación de la piedra alumbre disuelta en una cubeta o cualquier recipiente con agua, el jabón en barra disuelta

en agua se combina con la piedra alumbre que forman una goma impermeable, la cal toma la función de proteger del sol, a comparación del impermeabilizante jabonado que se hacen de manera anual, este impermeabilizante de cal, alumbre y jabón duran más de cinco años, el proceso de su aplicación es de la siguiente manera:

- Antes de la aplicación nos aseguramos de que las probetas estén libres de polvo, partículas que puedan interferir en la adherencia del impermeabilizante.
- Se disuelve la piedra alumbre en agua caliente al fuego y es aplicado al techo.
- Se disuelve el jabón en barra en agua caliente.
- En una cubeta se mezcla la cal con agua.
- Aplicar la solución de cal, piedra alumbre y jabón, esta mezcla debe de ser una lechada para facilitar su aplicación y dejar secar.
- Hacer una segunda aplicación de piedra alumbre y dejar secar.
- Hacer una segunda aplicación de cal, piedra alumbre y jabón y dejar secar.
- Hacer este procedimiento como mínimo tres capas de cada solución para obtener los resultados requeridos”

2.2.15. Permeabilidad

(SIMBA, 2007) “Es la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado. La velocidad con que el fluido atraviesa el material depende de tres factores básicos:

- La porosidad del material.
- La densidad del fluido considerado, afectada por su temperatura.
- La presión a que está sometido el fluido”

(SIMBA, 2007) “Para que un material sea permeable debe ser poroso, es decir, debe contener espacios vacíos o poros, que le permitan absorber fluido. A su vez tales deben estar interconectados para que el fluido disponga de caminos a través del material. La permeabilidad se puede determinar directamente mediante la Ley de Darcy o estimarla utilizando tablas empíricas derivadas de ella. La permeabilidad es una parte de la constante proporcional en la Ley de Darcy que se relaciona con las diferencias de la velocidad del fluido y sus propiedades físicas en un rango de presión aplicado al promedio de porosidad. La constante proporcional específica para el agua atravesando una porosidad media es la conductividad hidráulica. La permeabilidad intrínseca es una función de la porosidad, no del fluido. En geología la determinación de la permeabilidad del suelo tiene una importante incidencia en los estudios hidráulicos y de drenaje para regadíos, de capacidad portante del sustrato, para estudios de erosión y mineralogía, entre otras aplicaciones. La permeabilidad del suelo suele aumentar por la existencia de fallas, grietas, juntas u otros defectos estructurales. Algunos ejemplos de roca permeable son la caliza y la arenisca, mientras que la arenilla o el basalto son prácticamente impermeables. También los factores químicos tienen una influencia directa en la permeabilidad”

2.2.16. Impermeabilización

(SIMBA, 2007) “Es cuando la cantidad de fluido que atraviesa un determinado material es despreciable. Existen dos tipos de impermeabilizaciones:

Rígidas. - Se llaman así, porque se utiliza cemento + aditivos.

Flexibles. - Se encuentran los siguientes; Acrílicos, Elastoméricos, Láminas de PVC y Asfalto”

2.3. Definición de términos básicos

Estructuras hidráulicas

Son aquellas construcciones que se encargan de manejar el flujo de agua o líquidos en diferentes contextos, como por ejemplo presas, canales, tuberías, entre otros.

Permeabilidad

Es la capacidad de un material o sustancia para permitir el paso de fluidos a través de él. En el contexto de la investigación, se refiere a la capacidad de las estructuras hidráulicas para evitar filtraciones de agua o líquidos.

Impermeabilizantes

Son sustancias o materiales que se utilizan para evitar la filtración de agua o líquidos a través de las estructuras hidráulicas.

Poliestireno expandido

También conocido como "EPS", es un material plástico espumado que se utiliza en la construcción como aislante térmico y acústico, así como también para relleno en algunas estructuras.

Lechada de cemento

Es una mezcla de cemento, agua y aditivos que se utiliza para sellar y cubrir superficies de concreto, ladrillo u otros materiales.

Sika®-1

Es un producto de impermeabilización fabricado por la compañía Sika que se utiliza para proteger las estructuras de concreto contra la filtración de agua.

Cal

Es un material obtenido a partir de la calcinación de rocas calizas que se utiliza en la construcción para hacer morteros, estucos y otros revestimientos. En el contexto de la investigación, se utiliza como impermeabilizante en algunas estructuras hidráulicas.

2.4. Formulación de hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Utilizando impermeabilizantes tradicionales disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021

2.4.2. Hipótesis específicas

- Utilizando poliestireno disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021
- Utilizando lechada de cemento disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021
- Utilizando Sika®-1 disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021
- utilizando Cal disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021

2.5. Identificación de variables

2.5.1. Variable independiente

Las variables independientes son:

- Uso de Poliestireno
- Uso de Lechada de cemento
- Uso de Sika®-1
- Uso de cal

2.5.2. Variable dependiente

La variable dependiente es: impermeabilización de estructuras

Para ser más preciso en la identificación de las variables en la investigación, es importante especificar que la variable dependiente no es solamente la "impermeabilización de estructuras", sino que se debe considerar también su efectividad en la reducción de la permeabilidad. Por lo tanto, la

variable dependiente se define como "Reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas".

Además, es necesario identificar las variables de control que pueden influir en el resultado de la investigación. Estas variables son aquellas que se mantienen constantes o que se controlan en el estudio para evitar su influencia en las variables independientes y dependientes. En este caso, algunas variables de control pueden ser:

- Tipo de estructura hidráulica (por ejemplo, canal, embalse, tanque de almacenamiento de agua, etc.).
- Materiales de construcción de la estructura.
- Condiciones climáticas y medioambientales (por ejemplo, temperatura, humedad, presencia de agentes corrosivos, etc.).
- Métodos de construcción y aplicación de los materiales impermeabilizantes.
- Tiempo de exposición y uso de la estructura hidráulica.

Al identificar y controlar estas variables, se puede aumentar la validez interna del estudio y tener una mayor confianza en los resultados obtenidos.

2.5.3. Variable interviniente

Las variables intervinientes son aquellas que pueden afectar la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. En este caso, algunas posibles variables intervinientes pueden ser:

- Condiciones climáticas: La lluvia, la temperatura y la humedad pueden influir en la eficacia de los materiales de impermeabilización.
- Calidad de la superficie a impermeabilizar: Si la superficie no está limpia o es irregular, los materiales de impermeabilización pueden no adherirse correctamente.
- Método de aplicación: La forma en que se apliquen los materiales de impermeabilización puede influir en su eficacia.

- Edad y estado de la estructura: Las estructuras más antiguas pueden tener daños que afecten su capacidad de retener el agua.
- Tipo de agua: La calidad y composición del agua que fluye a través de la estructura puede afectar su permeabilidad.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Variable	Definición	Indicador
Uso de Poliestireno	<p>Uso de Poliestireno: El poliestireno es un material plástico que se utiliza comúnmente como aislante térmico y acústico, así como también en la fabricación de envases y recipientes. En el campo de la construcción, el poliestireno expandido se utiliza como material impermeabilizante en la impermeabilización de estructuras hidráulicas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando poliestireno expandido en comparación con otras técnicas impermeabilizantes. • Costo-beneficio del uso de poliestireno expandido como material impermeabilizante en comparación con otras técnicas. • Tiempo de vida útil del poliestireno expandido como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas. • Dificultades en la aplicación y/o instalación del poliestireno expandido como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas.

<p>Uso de Lechada de cemento</p>	<p>Uso de Lechada de cemento: La lechada de cemento es una mezcla de cemento Portland, agua y aditivos que se utiliza en la construcción como un material para sellar o impermeabilizar superficies. La lechada de cemento se aplica en forma líquida y luego se seca y se endurece, formando una capa resistente y duradera.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando lechada de cemento en comparación con otras técnicas impermeabilizantes. • Tiempo de fraguado y de secado de la lechada de cemento en estructuras hidráulicas. • Durabilidad de la lechada de cemento como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas. • Costo-beneficio del uso de lechada de cemento como material impermeabilizante en comparación con otras técnicas.
<p>Uso de Sika®-1</p>	<p>Uso de Sika®-1: Sika®-1 es un producto químico fabricado por la empresa Sika AG, que se utiliza en la construcción como un aditivo impermeabilizante para mezclas de mortero y concreto. Sika®-1 se compone de una mezcla de silicatos, hidróxidos y otros compuestos químicos que reaccionan con</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Sika®-1 en comparación con otras técnicas impermeabilizantes. • Tiempo de fraguado y de secado de Sika®-1 en estructuras hidráulicas.

	<p>los componentes del mortero o concreto para formar una capa impermeable.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Durabilidad de Sika®-1 como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas. • Costo-beneficio del uso de Sika®-1 como material impermeabilizante en comparación con otras técnicas.
<p>Uso de cal</p>	<p>Uso de cal: La cal es un compuesto químico que se obtiene a partir de la calcinación de la piedra caliza. En la construcción, se utiliza la cal hidratada como material para la preparación de morteros y como aditivo para mejorar la impermeabilización y la resistencia de las estructuras. La cal hidratada tiene propiedades hidrófugas y ayuda a aumentar la durabilidad de las estructuras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando cal en comparación con otras técnicas impermeabilizantes. • Tiempo de fraguado y de secado de la cal en estructuras hidráulicas. • Durabilidad de la cal como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas. • Costo-beneficio del uso de cal como material impermeabilizante en comparación con otras técnicas.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Para el proyecto en cuestión, se puede identificar como un tipo de investigación aplicada, ya que tiene como objetivo aplicar los conocimientos teóricos sobre la impermeabilización de estructuras hidráulicas utilizando diferentes materiales y técnicas, en un contexto específico y real como es la ciudad de Cerro de Pasco.

Además, se trata de una investigación descriptiva, ya que busca describir las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando diferentes tipos de impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco. Se busca analizar y evaluar las diferentes opciones disponibles y sus respectivos resultados, lo que implica una descripción detallada de las estrategias y sus efectos.

Asimismo, se puede considerar que se trata de una investigación de campo, ya que se requiere recopilar datos y observar la realidad del lugar de estudio, a través de la realización de pruebas en estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Además, se pueden realizar encuestas y entrevistas a los profesionales involucrados en la construcción y mantenimiento de estructuras hidráulicas, con el fin de obtener información relevante para el proyecto.

En conclusión, el proyecto de determinar las estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021 se puede clasificar como una investigación aplicada, descriptiva y de campo, ya que busca aplicar los conocimientos teóricos en una situación real, describir las estrategias y evaluar sus efectos en el lugar de estudio, y recopilar datos a través de pruebas y entrevistas en el campo

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación de este proyecto se clasifica como aplicado. La investigación aplicada se caracteriza por la aplicación práctica de los conocimientos teóricos en un contexto específico para abordar problemas prácticos o mejorar situaciones existentes. En este caso, el objetivo del proyecto es aplicar los conocimientos teóricos sobre impermeabilización de estructuras hidráulicas utilizando diferentes materiales y técnicas en la ciudad de Cerro de Pasco.

La investigación aplicada busca generar soluciones concretas y prácticas para problemas del mundo real. En este proyecto, se pretende determinar estrategias específicas para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco utilizando impermeabilizantes tradicionales.

Además, la investigación también tiene características descriptivas, ya que se busca describir detalladamente las estrategias para disminuir la permeabilidad utilizando diferentes tipos de impermeabilizantes. Se analizan específicamente cuatro tipos: poliestireno expandido, lechada de cemento, Sika®-1 y cal.

En cuanto al enfoque metodológico, se utiliza la investigación de campo, lo que implica la recopilación de datos directamente en el lugar de estudio, en este caso, Cerro de Pasco. Se llevarán a cabo pruebas en estructuras hidráulicas, y se realizarán encuestas y entrevistas a profesionales involucrados en la construcción y mantenimiento de estas estructuras.

3.3. Método de investigación

El método de investigación es la forma en que se lleva a cabo el proceso de investigación para alcanzar los objetivos establecidos en el proyecto. En este caso, el método de investigación utilizado dependerá de la naturaleza del proyecto, los objetivos establecidos y las variables que se investigarán.

En general, los métodos de investigación se pueden clasificar en dos categorías: cuantitativos y cualitativos. Los métodos cuantitativos se basan en la medición numérica y el análisis estadístico de los datos, mientras que los métodos cualitativos se centran en la comprensión y descripción detallada de las experiencias y perspectivas de los participantes.

Para el proyecto en cuestión, es probable que se utilice un enfoque mixto que combine elementos de investigación cuantitativa y cualitativa. Esto se debe a que el proyecto tiene objetivos específicos de analizar diferentes estrategias para la impermeabilización de estructuras hidráulicas utilizando diferentes materiales. Por lo tanto, se pueden medir numéricamente variables como el costo, la duración y la eficacia de cada estrategia utilizando métodos cuantitativos, mientras que también se pueden recopilar datos cualitativos sobre la percepción y experiencia de los usuarios finales.

El método de investigación también puede incluir la revisión bibliográfica y la recopilación de datos de campo a través de encuestas, entrevistas o análisis de registros existentes. Se puede utilizar un diseño experimental en el que se comparen diferentes técnicas de impermeabilización en diferentes estructuras hidráulicas para determinar la más efectiva y eficiente.

En general, el método de investigación seleccionado para el proyecto dependerá de los objetivos específicos y las variables a investigar. Es importante que el método elegido sea adecuado para responder a las preguntas de investigación y proporcionar resultados válidos y fiables.

3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación del proyecto que estamos hablando es un diseño experimental. En este tipo de diseño, se manipulan una o más variables independientes para evaluar su efecto sobre una variable dependiente, en este caso, la impermeabilización de estructuras hidráulicas.

En este proyecto se propone analizar y comparar el uso de diferentes impermeabilizantes tradicionales en la ciudad de Cerro de Pasco, por lo que se podría diseñar un experimento en el que se seleccione un grupo de estructuras hidráulicas similares y se aplique cada tipo de impermeabilizante en una parte de ellas, manteniendo una parte como control sin aplicación de ningún impermeabilizante.

Posteriormente, se podrían evaluar las estructuras hidráulicas sometidas a los diferentes tratamientos, mediante métodos de ensayo para la evaluación de la permeabilidad, como los indicadores previamente definidos.

En este diseño, se deberá tener en cuenta la aleatorización y el control de variables intervinientes para asegurar la validez interna del experimento, y se podría aplicar también un diseño en bloque para controlar variables externas que pudieran afectar a los resultados.

En resumen, un diseño experimental podría ser una opción adecuada para evaluar y comparar la eficacia de diferentes impermeabilizantes tradicionales en la impermeabilización de estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco.

El diseño es nombrado empírico por tener un solo conjunto laboral que se representa de la siguiente forma:

$$R = Pt \rightarrow T \rightarrow PT$$

Donde:

- R = resultados
- Pt = pre test

- T = tratamiento
- Pt = post test o después del tratamiento

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

En el proyecto que estamos hablando, la población se refiere a todas las estructuras hidráulicas de la ciudad de Cerro de Pasco que presenten problemas de permeabilidad y que requieran de una solución a través del uso de impermeabilizantes tradicionales como el poliestireno expandido, la lechada de cemento, Sika®-1 y cal.

3.5.2. Muestra

La muestra, en este caso, será seleccionada de forma aleatoria y representativa de la población mencionada anteriormente. La muestra podría ser conformada por un número específico de estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco que presenten problemas de permeabilidad y que requieran de una solución a través del uso de los impermeabilizantes mencionados anteriormente.

La selección de la muestra debe ser cuidadosa y representativa de la población en términos de tamaño, características y ubicación geográfica. Además, la muestra debe ser lo suficientemente grande como para permitir la obtención de resultados confiables y significativos que puedan ser extrapolados a la población en general.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para el proyecto que estamos hablando, las técnicas e instrumentos de recolección de datos dependerán del diseño de investigación elegido y de los objetivos específicos planteados. Algunas de las posibles técnicas e instrumentos de recolección de datos que podrían utilizarse son:

- Observación directa: La observación directa puede ser una técnica útil para obtener información sobre el estado de las estructuras hidráulicas y el desempeño de los materiales de impermeabilización utilizados. Esta técnica puede realizarse in situ, durante la construcción o el mantenimiento de las estructuras, o a través de la observación de fotografías o videos.
- Análisis documental: Esta técnica implica la revisión y análisis de documentos relacionados con la construcción y mantenimiento de estructuras hidráulicas, tales como planos, especificaciones técnicas, informes de construcción, entre otros. El análisis documental puede ser útil para identificar las estrategias de impermeabilización utilizadas en proyectos anteriores y evaluar su eficacia.
- Pruebas de laboratorio: En algunos casos, puede ser necesario realizar pruebas de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y químicas de los materiales de impermeabilización utilizados en las estructuras hidráulicas. Estas pruebas pueden incluir pruebas de permeabilidad, resistencia mecánica, adherencia, entre otras.

Es importante señalar que la selección de las técnicas e instrumentos de recolección de datos dependerá de los objetivos específicos de la investigación, así como del tipo de información que se desea obtener. También es fundamental asegurarse de que los instrumentos de recolección de datos sean válidos y confiables para garantizar la calidad de los datos obtenidos.

3.7. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el proyecto de investigación sobre la disminución de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando diferentes impermeabilizantes en la ciudad de Cerro de Pasco, las técnicas de procesamiento y análisis de datos dependerán de la metodología específica elegida para la investigación. Sin embargo, se pueden mencionar algunas técnicas y herramientas comunes para el procesamiento y análisis de datos en investigaciones de este tipo.

Una vez que se ha creado la base de datos, se pueden aplicar diversas técnicas de análisis de datos. Por ejemplo, se pueden utilizar estadísticas descriptivas como la media, la mediana, la moda y la desviación estándar para resumir los datos y obtener una visión general de las características de la muestra. Además, se pueden utilizar gráficos y tablas para presentar visualmente la información.

Otra técnica de análisis de datos es la inferencia estadística, que se utiliza para generalizar los resultados obtenidos de la muestra a la población de interés. Esto implica la aplicación de pruebas de hipótesis, intervalos de confianza y análisis de regresión para determinar la significancia estadística de las relaciones entre las variables estudiadas.

Además, se pueden utilizar técnicas de análisis cualitativo para analizar la información obtenida de las entrevistas y observaciones. Esto puede incluir la identificación de patrones y temas emergentes, el análisis de discurso y la codificación de datos utilizando software especializado.

En resumen, las técnicas de procesamiento y análisis de datos para el proyecto de investigación sobre la disminución de la permeabilidad en estructuras hidráulicas dependerán de la metodología específica utilizada, pero pueden incluir la digitación y codificación de datos, estadísticas descriptivas, inferencia estadística y análisis cualitativo.

3.8. Tratamiento estadístico

El tratamiento estadístico en un proyecto de investigación implica el uso de diversas técnicas y métodos estadísticos para analizar los datos recopilados y obtener resultados significativos que permitan cumplir los objetivos de la investigación.

En el caso del proyecto de investigación sobre la disminución de la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando diferentes

impermeabilizantes, se pueden utilizar varias técnicas estadísticas para procesar y analizar los datos recopilados. Algunas de estas técnicas son:

- Pruebas de hipótesis: estas pruebas permiten determinar si existen diferencias significativas entre dos o más grupos de datos. Por ejemplo, se podría utilizar una prueba t para comparar la eficacia de diferentes impermeabilizantes en la reducción de la permeabilidad de las estructuras hidráulicas.
- Análisis de series temporales: este análisis permite estudiar la evolución de una variable a lo largo del tiempo y determinar patrones y tendencias. En el caso de este proyecto, se podría utilizar el análisis de series temporales para determinar si la eficacia de los diferentes impermeabilizantes varía con el tiempo y si existe una tendencia al aumento o la disminución de la permeabilidad de las estructuras hidráulicas.

3.9. Orientación ética filosófica y epistémica

La orientación ética es fundamental en cualquier proyecto de investigación, ya que nos ayuda a garantizar que se realice de manera responsable y con respeto hacia todas las personas involucradas. En mi proyecto, he tomado en cuenta varios aspectos éticos para asegurar que se lleve a cabo de manera adecuada.

En primer lugar, he garantizado que se cuente con el consentimiento informado de todas las personas que participen en el estudio, ya sean voluntarios o profesionales en el campo de la construcción. Además, he asegurado que se respeten sus derechos a la privacidad y confidencialidad, garantizando que los datos recopilados no sean compartidos con terceros sin su previo consentimiento.

También he tomado medidas para garantizar que se realice la investigación de manera responsable y segura, siguiendo todas las normativas y regulaciones establecidas en el campo de la construcción y la investigación

científica. Se ha asegurado que los materiales utilizados sean seguros y que los procedimientos de evaluación de la permeabilidad en las estructuras hidráulicas se realicen de manera adecuada y con precaución.

Por último, se ha asegurado que se respeten los derechos de autor y propiedad intelectual de cualquier información o material utilizado en la investigación. Además, se ha citado adecuadamente cualquier fuente utilizada en el proyecto y se ha evitado cualquier forma de plagio o apropiación indebida.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

La descripción general del trabajo de campo para el proyecto de investigación "Estrategias Para Disminuir La Permeabilidad En Estructuras Hidráulicas Utilizando Impermeabilizantes Tradicionales En La Ciudad De Cerro De Pasco – 2021" podría incluir los siguientes aspectos:

4.1.1. Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando poliestireno expandido

El trabajo de campo para este objetivo específico es un componente esencial del proyecto, donde se aplica el poliestireno expandido en condiciones reales y se evalúa su efectividad como impermeabilizante. Este trabajo debe seguir un proceso estructurado que comienza con la planificación cuidadosa y se extiende hasta la comparación con las condiciones basales y el análisis de impacto, todo en conformidad con las normas técnicas pertinentes.

- 1. Planificación del trabajo de campo:** Establecimiento de protocolos, selección de equipos y definición del alcance del trabajo de campo conforme a los objetivos del proyecto.
 - **Definición de Alcance y Objetivos:** Establecer los límites claros de la investigación y los resultados esperados del trabajo de campo,

incluyendo la especificación de las estructuras hidráulicas a tratar y la extensión del área de estudio.

- **Revisión de Normativas:** Asegurar una comprensión completa de las Normas Técnicas Peruanas (NTP) relacionadas con impermeabilización y métodos de ensayo, y las normas internacionales pertinentes para garantizar que todas las actividades se alineen con estos estándares.
- **Elaboración de un Cronograma:** Desarrollar un calendario detallado para cada fase del trabajo de campo, asignando tiempo suficiente para la preparación, la aplicación, el monitoreo y la recopilación de datos.
- **Selección de Estructuras Hidráulicas:** Determinar los criterios para la selección de las estructuras hidráulicas a estudiar, como la accesibilidad, representatividad y las condiciones previas de impermeabilización.
- **Adquisición de Materiales:** Gestionar la compra y el transporte del poliestireno expandido, asegurándose de que cumpla con las especificaciones técnicas requeridas por las normas aplicables.
- **Diseño de la Metodología de Aplicación:** Definir el proceso de aplicación del poliestireno expandido, incluyendo preparación de la superficie, técnicas de aplicación, tiempos de curado y cualquier otro paso relevante para la correcta instalación del material.
- **Capacitación del Personal:** Programar sesiones de capacitación para el equipo de trabajo de campo que estarán directamente involucrados en la aplicación y evaluación del poliestireno expandido.
- **Establecimiento de Protocolos de Seguridad:** Desarrollar y documentar procedimientos de seguridad para proteger al personal y a las estructuras durante el trabajo de campo.

- **Determinación de Parámetros de Evaluación:** Identificar y definir los parámetros que serán monitoreados y evaluados durante el trabajo de campo para medir la efectividad del poliestireno expandido.
 - **Logística y Coordinación en Sitio:** Organizar los aspectos logísticos, como el transporte, el alojamiento del personal si es necesario, y la coordinación con las autoridades locales o las partes interesadas.
 - **Creación de Documentación de Apoyo:** Preparar los formatos de recopilación de datos, diarios de campo y cualquier otra documentación necesaria para registrar las actividades y observaciones durante el trabajo de campo.
- 2. Selección de Estructuras y Zonas de Estudio:** Criterios para elegir las estructuras hidráulicas adecuadas y demarcación de las áreas específicas para la intervención.
- **Identificación Preliminar de Estructuras:** Compilar un inventario de todas las estructuras hidráulicas disponibles en Cerro de Pasco, basándose en registros públicos, bases de datos de ingeniería y consultas con entidades locales.
 - **Criterios de Selección:** Establecer criterios específicos para la selección de estructuras, que pueden incluir la edad de la estructura, el nivel de exposición a elementos, el historial de mantenimiento y reparaciones previas, y la relevancia para las comunidades locales.
 - **Inspección en Sitio:** Realizar visitas de campo para inspeccionar visualmente las estructuras preseleccionadas, evaluar su estado actual y recoger datos preliminares sobre las condiciones estructurales y ambientales.

- **Recopilación de Datos Históricos:** Obtener y analizar datos históricos de las estructuras que podrían influir en su permeabilidad actual y futura, como datos climatológicos, informes de daños anteriores y reparaciones.
 - **Evaluación de Accesibilidad:** Verificar la facilidad de acceso para el personal y el equipo necesario para la aplicación del poliestireno expandido, así como para el monitoreo posterior.
 - **Consultas con Expertos y Autoridades:** Dialogar con ingenieros estructurales, autoridades locales y otros expertos para obtener recomendaciones y asegurar el apoyo y los permisos necesarios para realizar el trabajo de campo.
 - **Selección Final de Estructuras:** Basándose en la información recopilada y las consultas realizadas, hacer una selección final de las estructuras que serán parte del estudio.
 - **Definición de Zonas de Estudio:** Dentro de las estructuras seleccionadas, demarcar las áreas específicas donde se aplicará el poliestireno expandido y se realizarán las pruebas de permeabilidad.
 - **Documentación y Aprobación:** Documentar el proceso de selección y las estructuras y zonas elegidas, y obtener las aprobaciones necesarias de las partes interesadas y los organismos reguladores.
 - **Preparación para la Aplicación:** Preparar las zonas seleccionadas para la aplicación, lo que puede incluir la limpieza de la superficie, la reparación de daños menores y la instalación de instrumentación para el monitoreo.
3. **Capacitación y Preparación de Equipos:** Formación técnica del personal involucrado en la aplicación y monitoreo del poliestireno expandido según las normativas vigentes.

- **Identificación de Necesidades de Capacitación:** Evaluar las habilidades y el conocimiento previo del equipo de campo para identificar las áreas específicas donde se requiere capacitación, en relación con la aplicación de poliestireno expandido y los protocolos de seguridad pertinentes.
- **Desarrollo de Material de Capacitación:** Crear o recopilar material didáctico que aborde los procedimientos de aplicación de poliestireno expandido, las normativas técnicas relevantes y las prácticas de seguridad laboral.
- **Programación de Sesiones de Capacitación:** Establecer un calendario para las sesiones de capacitación, asegurándose de que haya tiempo suficiente antes del inicio del trabajo de campo para una preparación adecuada.
- **Selección de Instructores Calificados:** Contratar o designar instructores que tengan un conocimiento profundo del uso de poliestireno expandido en aplicaciones de impermeabilización y que estén familiarizados con las normas técnicas aplicables.
- **Realización de Capacitaciones Teóricas:** Llevar a cabo sesiones de capacitación teórica que incluyan instrucciones sobre las propiedades del poliestireno expandido, las técnicas de aplicación y los estándares de calidad.
- **Capacitación Práctica en Sitio:** Organizar sesiones prácticas en un entorno controlado para que el equipo de campo adquiera experiencia directa en la aplicación del poliestireno expandido, incluyendo la preparación de la superficie y la técnica de aplicación.

- **Pruebas de Competencia:** Evaluar la competencia del equipo de campo mediante pruebas prácticas y escritas para asegurar que entiendan y puedan ejecutar correctamente los procedimientos de aplicación.
 - **Revisión de Protocolos de Seguridad:** Instruir al equipo en los protocolos de seguridad específicos para el manejo y la aplicación de poliestireno expandido, incluyendo el uso de equipo de protección personal (EPP).
 - **Confirmación de Entendimiento y Compromiso:** Verificar que todos los miembros del equipo comprendan sus roles y responsabilidades y se comprometan a seguir los procedimientos establecidos.
 - **Preparación y Verificación de Equipos:** Asegurar que todo el equipo necesario para la aplicación esté completo, en buen estado y sea el adecuado para las tareas previstas.
 - **Simulacros de Aplicación:** Realizar simulacros de aplicación para familiarizar al equipo con el proceso y ajustar cualquier aspecto de la técnica o del equipo antes del trabajo de campo real.
 - **Evaluación y Retroalimentación de la Capacitación:** Recoger comentarios del equipo sobre la capacitación para hacer ajustes y mejorar el programa según sea necesario.
 - **Documentación de la Capacitación:** Registrar la asistencia y el desempeño de los participantes en la capacitación para tener un registro oficial de su preparación.
4. **Aplicación de Poliestireno Expandido:** Documentación del proceso de aplicación, incluyendo técnicas, tiempos y condiciones ambientales durante la intervención.
- **Revisión de las Especificaciones Técnicas:** Antes de la aplicación, revisar detalladamente las especificaciones técnicas del poliestireno

expandido, incluyendo las instrucciones del fabricante y las normas técnicas aplicables.

- **Preparación de la Superficie de Aplicación:** Limpiar y preparar las superficies de las estructuras hidráulicas donde se aplicará el poliestireno expandido para asegurar una adhesión óptima y una impermeabilización efectiva.
- **Control de Calidad del Material:** Inspeccionar el poliestireno expandido antes de la aplicación para verificar que no haya defectos y que cumpla con todas las normativas y estándares de calidad.
- **Medición y Corte del Poliestireno Expandido:** Medir y cortar el poliestireno expandido de acuerdo con las dimensiones y formas requeridas para adaptarse a las áreas específicas de las estructuras hidráulicas.
- **Aplicación del Adhesivo o Mortero:** Si es necesario, aplicar un adhesivo o mortero compatible con el poliestireno expandido y la estructura de concreto para mejorar la adhesión y sellado.
- **Colocación del Poliestireno Expandido:** Colocar cuidadosamente el poliestireno expandido sobre las superficies preparadas, asegurando que no queden espacios o huecos que puedan comprometer la barrera impermeabilizante.
- **Verificación de la Aplicación:** Comprobar que la aplicación del poliestireno expandido esté alineada, nivelada y sin irregularidades, y realizar ajustes si es necesario.
- **Sellado de Juntas y Bordes:** Utilizar selladores adecuados para cerrar las juntas entre las piezas de poliestireno expandido y asegurar los bordes para prevenir filtraciones.

- **Inspección Post-Aplicación:** Realizar una inspección detallada después de la aplicación para asegurar que se cumplan los estándares de impermeabilización y no existan defectos.
 - **Documentación de la Aplicación:** Registrar todas las etapas del proceso de aplicación, incluyendo las condiciones ambientales, para asegurar la trazabilidad y la calidad del trabajo.
 - **Monitoreo Inicial de la Efectividad:** Observar las primeras respuestas de la estructura hidráulica a la aplicación del poliestireno expandido, como la adhesión y la ausencia de filtraciones iniciales.
 - **Reporte de Incidencias:** Documentar cualquier incidencia o desviación del proceso estándar, y tomar medidas correctivas si fuera necesario.
 - **Cura del Poliestireno Expandido:** Permitir que el poliestireno expandido se asiente y cure adecuadamente, siguiendo los tiempos recomendados por el fabricante y las normativas técnicas.
- 5. Monitoreo de Condiciones Durante la Aplicación:** Recopilación de datos in situ sobre las condiciones durante la aplicación para asegurar la replicabilidad y la adherencia a los estándares de aplicación.
- **Establecimiento de Parámetros de Monitoreo:** Definir los parámetros ambientales y de aplicación que serán monitoreados, incluyendo temperatura, humedad, viento, y otros factores que puedan afectar la aplicación.
 - **Implementación de Equipos de Monitoreo:** Instalar equipos de monitoreo, como termómetros, higrómetros y anemómetros, para registrar continuamente las condiciones durante el proceso de aplicación.

- **Capacitación en Uso de Equipos de Monitoreo:** Asegurar que el personal de campo esté adecuadamente entrenado en el manejo de los equipos de monitoreo y comprenda cómo interpretar los datos recogidos.
- **Registro Continuo de Datos:** Mantener un registro constante de las condiciones ambientales y del proceso de aplicación, usando hojas de datos o sistemas digitales para capturar información en tiempo real.
- **Control de Condiciones Ambientales:** Monitorear las condiciones ambientales para asegurar que permanecen dentro de los rangos aceptables para una aplicación óptima del poliestireno expandido.
- **Ajustes en Tiempo Real:** Hacer ajustes en el proceso de aplicación según sea necesario en respuesta a los datos del monitoreo, como pausar la aplicación si las condiciones se vuelven desfavorables.
- **Inspecciones de Calidad Durante la Aplicación:** Realizar inspecciones periódicas durante la aplicación para verificar la calidad del trabajo, incluyendo la adhesión del poliestireno expandido y la ausencia de defectos.
- **Documentación Detallada:** Registrar todos los eventos y condiciones significativas durante la aplicación, incluyendo cualquier desviación de los parámetros establecidos y las acciones correctivas tomadas.
- **Comunicación Efectiva:** Mantener una comunicación efectiva entre el equipo de monitoreo y el de aplicación para coordinar acciones y decisiones basadas en los datos recopilados.
- **Análisis Preliminar de Datos:** Realizar un análisis preliminar de los datos de monitoreo para identificar tendencias o problemas potenciales que puedan afectar la eficacia del poliestireno expandido.

- **Reporte de Finalización de Aplicación:** Al concluir la aplicación, compilar un informe completo que resuma las condiciones durante el proceso y cualquier incidencia relevante.
 - **Revisión Post-Aplicación:** Después de la aplicación, revisar el cumplimiento con los procedimientos establecidos y la adecuación de las condiciones durante el proceso.
- 6. Recolección y Documentación de Datos Post-Aplicación:** toma de medidas y obtención de muestras para evaluar la integridad y efectividad del poliestireno expandido.
- **Establecimiento de Métricas de Evaluación:** Definir las métricas específicas que se utilizarán para evaluar la efectividad de la impermeabilización por poliestireno expandido, como la permeabilidad, la adherencia y la integridad del material.
 - **Desarrollo de Formatos de Recolección de Datos:** Crear o adaptar formatos estandarizados para la recolección sistemática de datos post-aplicación, asegurándose de que capturen toda la información relevante.
 - **Capacitación en Técnicas de Recolección de Datos:** Instruir al personal de campo sobre cómo recoger y registrar los datos de manera precisa y coherente.
 - **Implementación de Procedimientos de Inspección:** Realizar inspecciones detalladas de las áreas tratadas con poliestireno expandido para evaluar su condición después de la aplicación, utilizando las métricas establecidas.
 - **Registro Fotográfico y de Video:** Documentar visualmente el estado post-aplicación del poliestireno expandido para proporcionar evidencia del rendimiento y de cualquier área de preocupación.

- **Recolección de Testimonios y Observaciones:** Recopilar observaciones de los trabajadores de campo y de cualquier parte interesada sobre el proceso de aplicación y el estado inicial post-aplicación del material.
 - **Mediciones de Permeabilidad:** Llevar a cabo pruebas de permeabilidad según las normas técnicas pertinentes para medir la efectividad del poliestireno expandido como impermeabilizante.
 - **Consolidación de Datos:** Agrupar todos los datos recogidos en una base de datos centralizada para su análisis, incluyendo detalles ambientales, técnicos y cualitativos.
 - **Análisis Inicial de Datos:** Realizar un análisis preliminar de los datos para identificar cualquier tendencia o discrepancia inmediatamente después de la aplicación.
 - **Elaboración de Informes Preliminares:** Preparar informes preliminares que resuman los hallazgos y proporcionen una evaluación inicial de la aplicación del poliestireno expandido.
 - **Revisión y Validación de Datos:** Revisar y validar los datos recogidos para garantizar su precisión y fiabilidad antes de proceder a un análisis más profundo.
 - **Identificación de Necesidades de Seguimiento:** Determinar si hay necesidades de seguimiento o pruebas adicionales basadas en los resultados iniciales y las observaciones del personal.
7. **Comparación con Condiciones Basales:** Análisis de las condiciones pre-aplicación versus post-aplicación para determinar los cambios y la efectividad del impermeabilizante.
- **Revisión de Datos Basales:** Antes de la comparación, revisar y comprender los datos basales recogidos antes de la aplicación del

poliestireno expandido, que deben incluir la permeabilidad inicial, las condiciones estructurales y ambientales.

- **Establecimiento de Criterios de Comparación:** Definir los criterios específicos y los indicadores clave de rendimiento que se utilizarán para comparar las condiciones post-aplicación con las basales.
- **Recolección de Datos Post-Aplicación:** Recopilar datos similares a los basales después de la aplicación del poliestireno expandido para realizar una comparación directa.
- **Análisis Estadístico:** Emplear métodos estadísticos para analizar las diferencias entre los conjuntos de datos basales y post-aplicación, buscando cambios significativos en la permeabilidad y otras métricas relevantes.
- **Evaluación de la Consistencia del Material:** Inspeccionar y documentar la consistencia y condición del poliestireno expandido aplicado en comparación con las expectativas y especificaciones iniciales.
- **Control de Variables Ambientales:** Considerar las condiciones ambientales durante la recopilación de datos basales y post-aplicación para asegurarse de que las comparaciones sean justas y válidas.
- **Documentación y Análisis Visual:** Utilizar la documentación fotográfica y de video para realizar un análisis visual comparativo del estado antes y después de la aplicación del poliestireno expandido.
- **Realización de Pruebas de Integridad:** Ejecutar pruebas de integridad y adherencia para comparar la condición física y la eficacia del poliestireno expandido con las condiciones previas a la aplicación.

- **Elaboración de Informes Comparativos:** Redactar informes detallados que muestren las comparaciones y resalten las diferencias o mejoras conseguidas con la aplicación del poliestireno expandido.
 - **Discusión de Resultados:** Reunirse con el equipo de proyecto y las partes interesadas para discutir los resultados de la comparación y entender las implicaciones para la efectividad del tratamiento impermeabilizante.
 - **Recomendaciones para Mejoras:** Basándose en la comparación, elaborar recomendaciones para cualquier mejora en el proceso de aplicación o en la selección de materiales.
 - **Planificación de Seguimiento a Largo Plazo:** Organizar cómo se llevarán a cabo las evaluaciones de seguimiento para monitorear la durabilidad y la efectividad a largo plazo del poliestireno expandido.
 - **Actualización de la Base de Datos:** Actualizar la base de datos del proyecto con los resultados de la comparación para asegurar un registro completo y actualizado.
8. **Análisis y Evaluación de Impactos:** Evaluación de los datos recogidos para determinar el impacto de la aplicación del poliestireno expandido en la permeabilidad de las estructuras y su conformidad con las normas técnicas establecidas.
- **Compilación de Datos Post-Applicación:** Reunir todos los datos recogidos después de la aplicación del poliestireno expandido, incluyendo mediciones de permeabilidad, integridad estructural y condiciones ambientales.
 - **Comparación con Benchmarks Industriales:** Contrastar los datos obtenidos con benchmarks y estándares industriales para determinar

cómo se compara el rendimiento del poliestireno expandido con las mejores prácticas y expectativas.

- **Evaluación de Desempeño:** Utilizar las métricas establecidas para evaluar el desempeño del poliestireno expandido en términos de reducción de permeabilidad y mejora de la durabilidad estructural.
- **Identificación de Patrones y Tendencias:** Analizar los datos para identificar patrones, tendencias o correlaciones que puedan indicar los factores que influyen en el éxito o el fracaso de la impermeabilización.
- **Estudio de Casos Específicos:** Examinar casos específicos donde el poliestireno expandido tuvo un rendimiento excepcional o insuficiente para entender las razones subyacentes de estos resultados.
- **Evaluación del Impacto Ambiental:** Valorar el impacto ambiental de la aplicación del poliestireno expandido, incluyendo cualquier efecto en la calidad del agua, la flora y la fauna locales.
- **Análisis Costo-Beneficio:** Realizar un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad económica de la aplicación del poliestireno expandido en comparación con otros métodos de impermeabilización.
- **Revisión de Cumplimiento Normativo:** Verificar que la aplicación del poliestireno expandido y los resultados obtenidos cumplan con las normativas técnicas nacionales e internacionales pertinentes.
- **Consulta con Expertos y Stakeholders:** Discutir los resultados del análisis con expertos en la materia y las partes interesadas para obtener una perspectiva más amplia y validar los hallazgos.
- **Preparación de Informes de Impacto:** Redactar informes detallados que presenten los resultados del análisis y la evaluación de impacto, destacando las conclusiones clave y las recomendaciones.

- **Seguimiento a Mediano y Largo Plazo:** Organizar un esquema de seguimiento para evaluar los efectos del poliestireno expandido a mediano y largo plazo, asegurando la sostenibilidad y la eficacia continuadas.

4.1.2. Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando lechada de cemento

Este segmento del proyecto involucra aplicar lechada de cemento en estructuras hidráulicas seleccionadas y evaluar su eficacia en la reducción de la permeabilidad. El trabajo de campo debe realizarse de manera metódica, siguiendo un plan que abarca desde la preparación hasta la comparación con las condiciones iniciales y la evaluación final del impacto, todo ello bajo las directrices de las normativas pertinentes.

1. Diseño del Plan de Trabajo de Campo: Desarrollo de un esquema detallado que incluya objetivos, metodología y cronograma para la implementación de la lechada de cemento. Aquí se presenta cómo podría estructurarse este proceso:

- **Definición de Objetivos y Alcance:** Establecer con claridad los objetivos específicos del trabajo de campo, incluyendo las metas de impermeabilización y las estructuras hidráulicas que serán tratadas con lechada de cemento.
- **Revisión de Normativas y Estándares:** Consultar y comprender las normas técnicas pertinentes, como la NTP 399.028:2015, NTP 399.029:2015, NTP 399.030:2015, ACI 318-19, ASTM C1585, e ISO 11664-1:2017, que regirán el trabajo de campo.
- **Selección de Sitios y Estructuras:** Identificar y seleccionar los sitios específicos y las estructuras hidráulicas dentro de Cerro de Pasco que serán objeto del estudio.

- **Desarrollo de Metodología:** Crear una metodología detallada para la aplicación de la lechada de cemento y la recolección de datos, que incluya procedimientos estandarizados para asegurar consistencia y calidad.
- **Planificación Logística:** Organizar todos los aspectos logísticos, incluyendo el transporte de materiales y equipos, cronogramas de trabajo, y asignación de recursos humanos.
- **Estrategias de Seguridad:** Desarrollar un plan de seguridad integral que aborde los riesgos asociados con el trabajo de campo y la aplicación de lechada de cemento.
- **Capacitación del Equipo de Campo:** Programar sesiones de capacitación para el personal involucrado en la aplicación de lechada y la recolección de datos para garantizar que todos comprendan el plan y los procedimientos.
- **Establecimiento de Protocolos de Monitoreo:** Definir los protocolos de monitoreo y seguimiento que acompañarán la aplicación de la lechada de cemento, incluyendo puntos de control y frecuencia de las mediciones.
- **Adquisición de Equipos y Materiales:** Asegurar la adquisición y preparación de todos los equipos y materiales necesarios para la aplicación de la lechada de cemento y la ejecución del plan de trabajo.
- **Desarrollo de Formularios de Documentación:** Elaborar formularios y registros para la documentación sistemática de las actividades de campo y los resultados obtenidos.
- **Plan de Comunicación:** Implementar un plan de comunicación efectivo para mantener informados a todos los miembros del proyecto y las partes interesadas sobre el progreso y los hallazgos del trabajo de campo.

- **Estrategias de Resolución de Problemas:** Preparar un plan para identificar y resolver problemas que puedan surgir durante la aplicación de la lechada de cemento o el trabajo de campo.
 - **Puesta en Marcha del Plan:** Finalmente, establecer una fecha de inicio y proceder con la implementación del plan de trabajo de campo conforme a lo planificado y aprobado.
- 2. Selección y Caracterización de Sitios de Aplicación:** Criterios utilizados para elegir las estructuras hidráulicas y descripción de sus condiciones iniciales. A continuación, se detalla este proceso:
- **Criterios de Selección de Sitios:** Establecer criterios claros para la selección de los sitios, que pueden incluir la accesibilidad, la representatividad de las condiciones típicas de Cerro de Pasco y la variabilidad de las estructuras hidráulicas.
 - **Identificación Preliminar de Sitios Potenciales:** Realizar un levantamiento de información para identificar posibles sitios que cumplan con los criterios establecidos.
 - **Evaluación en Campo de los Sitios Potenciales:** Visitar los sitios preseleccionados para evaluar su idoneidad, basándose en observaciones directas y mediciones preliminares.
 - **Recolección de Datos de Sitio:** Obtener datos específicos de cada sitio, como dimensiones de las estructuras, condiciones actuales, historial de problemas de impermeabilización y características ambientales.
 - **Análisis de Condiciones Basales:** Documentar las condiciones basales de las estructuras hidráulicas seleccionadas, incluyendo mediciones de permeabilidad existente y cualquier daño o deterioro presente.
 - **Caracterización Geotécnica y Estructural:** Llevar a cabo estudios geotécnicos y estructurales para comprender las propiedades del suelo

y la integridad de las estructuras donde se aplicará la lechada de cemento.

- **Evaluación Ambiental del Sitio:** Considerar factores ambientales que podrían influir en la aplicación o el desempeño de la lechada de cemento, como el clima, la hidrología y la ecología local.
- **Selección Final de Sitios:** Utilizar la información recopilada para hacer una selección final de los sitios que proporcionarán los datos más útiles y representativos para el estudio.
- **Documentación de la Selección de Sitios:** Registrar en detalle la justificación y la metodología utilizada para la selección de cada sitio, asegurando transparencia y replicabilidad.
- **Preparación de los Sitios para la Aplicación:** Coordinar las actividades necesarias para preparar los sitios seleccionados para la aplicación de la lechada de cemento, lo que puede incluir limpieza, reparaciones menores o la instalación de equipo de monitoreo.
- **Comunicación con Partes Interesadas Locales:** Informar y, si es necesario, obtener permisos o consentimiento de las autoridades locales, comunidades y otros stakeholders relevantes para el uso de los sitios seleccionados.
- **Elaboración de Planos y Esquemas:** Crear representaciones detalladas de los sitios de aplicación, incluyendo planos y esquemas que muestren las áreas específicas donde se aplicará la lechada de cemento.
- **Establecimiento de un Protocolo de Monitoreo Basal:** Definir cómo se llevará a cabo el monitoreo de las condiciones basales antes, durante y después de la aplicación de la lechada de cemento.

- **Revisión y Ajuste del Plan de Trabajo de Campo:** Ajustar el plan general de trabajo de campo basado en las características específicas y necesidades de los sitios seleccionados.
- 3. Capacitación del Personal de Campo:** Entrenamiento sobre técnicas de aplicación y medidas de seguridad para el uso de lechada de cemento conforme a las normativas.
- **Identificación de Necesidades de Capacitación:** Evaluar las habilidades y conocimientos previos del personal de campo para identificar áreas específicas donde se requiere capacitación.
 - **Desarrollo del Programa de Capacitación:** Crear un programa de capacitación que abarque desde la teoría de la impermeabilización hasta las técnicas prácticas de aplicación de la lechada de cemento, incluyendo el manejo de equipos y la seguridad en el trabajo.
 - **Preparación de Materiales Educativos:** Desarrollar o adquirir materiales didácticos, como manuales, presentaciones, vídeos y guías prácticas, para apoyar el proceso de aprendizaje.
 - **Organización de Sesiones Teóricas:** Programar y realizar sesiones teóricas para proporcionar al personal una sólida comprensión de los principios de impermeabilización y el propósito y uso de la lechada de cemento.
 - **Simulaciones y Prácticas:** Realizar simulaciones y prácticas con lechada de cemento para que el personal de campo pueda familiarizarse con la consistencia de la mezcla, las técnicas de aplicación y los métodos de trabajo.
 - **Entrenamiento en Seguridad:** Impartir formación específica en seguridad, enseñando al personal a identificar riesgos potenciales y a utilizar el equipo de protección personal adecuado.

- **Instrucción en Uso de Equipos:** Proporcionar instrucción detallada en el manejo, mantenimiento y solución de problemas del equipo utilizado en la preparación y aplicación de la lechada de cemento.
 - **Capacitación en Recolección de Datos:** Enseñar al personal los procedimientos para la recolección de datos precisos y confiables, así como el uso de cualquier software o herramienta de documentación.
 - **Evaluación de Competencias:** Al finalizar la capacitación, evaluar las competencias del personal mediante pruebas teóricas y prácticas para asegurar que han adquirido los conocimientos y habilidades necesarios.
 - **Retroalimentación y Mejora Continua:** Proporcionar retroalimentación constructiva al personal y utilizar las evaluaciones para mejorar continuamente los programas de capacitación.
 - **Certificación de Capacitación:** Emitir certificaciones o reconocimientos al personal que haya completado satisfactoriamente la capacitación, validando sus habilidades y conocimientos.
 - **Documentación y Registro de Capacitación:** Mantener un registro completo de todas las actividades de capacitación realizadas, incluyendo listas de asistencia, contenidos cubiertos y resultados de las evaluaciones.
- 4. Preparación de la Lechada de Cemento:** Procedimientos para la mezcla y preparación de la lechada siguiendo las especificaciones técnicas estandarizadas. Aquí se detallan los pasos para la preparación de la lechada de cemento en el requerimiento del trabajo de campo:
- **Revisión de Especificaciones Técnicas:** Consultar las normas técnicas como NTP 399.028:2015 y las internacionales pertinentes para determinar las proporciones y características requeridas de la lechada de cemento.

- **Selección de Materiales:** Elegir el tipo de cemento y los aditivos que cumplirán con los requisitos técnicos para la lechada, asegurando que sean de alta calidad y adecuados para el ambiente de Cerro de Pasco.
- **Diseño de la Mezcla:** Definir la proporción adecuada de cemento, agua y cualquier aditivo, basándose en pruebas de laboratorio y los estándares de la industria.
- **Control de Calidad de Ingredientes:** Verificar la calidad de todos los ingredientes antes de la mezcla, incluyendo el análisis del agua para asegurarse de que no contenga sustancias que puedan afectar la calidad de la lechada.
- **Calibración de Equipos de Mezclado:** Asegurarse de que el equipo de mezclado esté en buen estado de funcionamiento y calibrado para producir una mezcla homogénea de la lechada de cemento.
- **Capacitación del Personal:** Instruir a los operadores y trabajadores sobre el manejo correcto de la lechada de cemento y las precauciones de seguridad durante la preparación y aplicación.
- **Preparación de la Mezcla:** Mezclar los ingredientes en las proporciones determinadas, siguiendo un procedimiento estandarizado para obtener una lechada de la consistencia deseada.
- **Pruebas de Consistencia y Calidad:** Realizar pruebas de la lechada recién mezclada para confirmar que cumple con las especificaciones de consistencia y calidad, ajustando la mezcla si es necesario.
- **Registro y Documentación:** Mantener un registro detallado de la preparación de la lechada, incluyendo las proporciones de la mezcla, las condiciones ambientales y los resultados de las pruebas de calidad.
- **Almacenamiento y Manejo:** Almacenar la lechada de cemento preparada de manera que se preserve su calidad hasta su aplicación,

asegurando que el transporte al sitio de aplicación se realice sin demora para evitar la sedimentación o el fraguado prematuro.

- **Planificación del Suministro:** Coordinar el suministro y la preparación de la lechada para que coincida con el cronograma de aplicación, evitando interrupciones o retrasos en el proceso.
- **Inspección Pre-Aplicación:** Inspeccionar la lechada antes de la aplicación para asegurar que no haya habido cambios en la consistencia o en las propiedades desde su preparación.
- **Ajustes de Último Momento:** Estar preparados para realizar ajustes de último momento en la mezcla en función de las condiciones específicas del sitio o de la retroalimentación inmediata del proceso de aplicación.

5. Implementación y Aplicación de la Lechada: Proceso detallado de cómo se aplica la lechada en las estructuras, incluyendo el seguimiento de los parámetros de aplicación. A continuación, se detallan los pasos para esta fase:

- **Revisión del Plan de Aplicación:** Antes de iniciar, revisar el plan detallado de aplicación que se ha desarrollado, asegurando que todo el equipo y personal esté al tanto de sus roles y responsabilidades.
- **Verificación de Condiciones de Sitio:** Inspeccionar el sitio de aplicación para confirmar que las condiciones coinciden con las expectativas y que no hay impedimentos para la aplicación.
- **Preparación Final de la Superficie:** Limpiar y preparar la superficie de la estructura hidráulica para la aplicación, lo que puede incluir la eliminación de residuos, la reparación de grietas y la humidificación del concreto.

- **Mezcla de la Lechada de Cemento:** Preparar la lechada de cemento según las especificaciones establecidas, utilizando los equipos y procedimientos calibrados.
- **Control de Calidad Previo a la Aplicación:** Realizar pruebas rápidas de control de calidad para asegurar que la lechada de cemento esté dentro de las especificaciones antes de su aplicación.
- **Aplicación de la Lechada:** Usar métodos adecuados, como bombas de inyección o sistemas de espray, para aplicar la lechada de cemento de manera uniforme sobre la superficie o dentro de las estructuras, conforme a las prácticas recomendadas.
- **Monitoreo Durante la Aplicación:** Vigilar continuamente la aplicación para asegurarse de que se mantenga la consistencia y calidad de la lechada, y para ajustar la aplicación en tiempo real si es necesario.
- **Documentación del Proceso:** Registrar meticulosamente todo el proceso de aplicación, incluyendo volúmenes de lechada aplicados, tiempos, condiciones climáticas y cualquier incidencia.
- **Inspección Post-Aplicación:** Una vez aplicada la lechada, inspeccionar la superficie para asegurar una cobertura adecuada y la ausencia de defectos como burbujas de aire o áreas sin tratar.
- **Cuidado Inicial:** Implementar medidas de cuidado inicial, como la curación húmeda si es necesario, para optimizar el desempeño de la lechada de cemento.
- **Pruebas de Aceptación Iniciales:** Realizar pruebas iniciales para evaluar la adherencia y penetración de la lechada, así como su efectividad inicial en la reducción de la permeabilidad.

- **Solución de Problemas y Ajustes:** Estar preparado para solucionar cualquier problema que surja durante la aplicación y hacer ajustes rápidos para corregir los defectos.
 - **Reporte de Finalización:** Al concluir, compilar un reporte detallado de la aplicación, destacando cualquier desafío enfrentado y cómo se resolvieron, así como las lecciones aprendidas para futuras aplicaciones.
- 6. Monitoreo y Registro de Datos en Tiempo Real:** Documentación de las condiciones durante la aplicación, incluyendo temperatura, humedad y otros factores relevantes.
- **Establecimiento de Parámetros de Monitoreo:** Determinar qué variables serán monitoreadas, incluyendo la presión de aplicación, la temperatura, la humedad, y la cantidad de lechada de cemento aplicada.
 - **Despliegue de Instrumentación:** Instalar los dispositivos de monitoreo necesarios, como sensores de presión, termómetros y higrómetros, asegurándose de que estén calibrados y funcionando correctamente.
 - **Registro Continuo de Datos:** Durante la aplicación, registrar de manera continua los datos de monitoreo, asegurando que se capturen todos los eventos significativos.
 - **Evaluación y Ajuste en Tiempo Real:** Analizar los datos a medida que se recogen para identificar tendencias o problemas, permitiendo ajustes inmediatos en el proceso de aplicación si es necesario.
 - **Documentación Detallada de las Condiciones de Aplicación:** Mantener un registro de todas las condiciones ambientales y de aplicación que podrían afectar el rendimiento de la lechada de cemento.
 - **Revisión Periódica de Datos:** Programar revisiones periódicas de los datos recopilados para verificar la consistencia y precisión de los mismos.

- **Backup de Datos:** Asegurar que se realicen copias de seguridad regulares de los datos recopilados para prevenir la pérdida de información valiosa.
 - **Comunicación de Resultados:** Facilitar una comunicación eficaz entre el personal de campo y los supervisores o analistas para discutir los resultados del monitoreo en tiempo real.
 - **Reportes de Avance:** Generar reportes de avance basados en los datos de monitoreo para documentar el progreso y las condiciones de aplicación.
 - **Análisis Preliminar de Desempeño:** Usar los datos recopilados para realizar un análisis preliminar del desempeño de la lechada de cemento en términos de impermeabilización.
 - **Archivado de Datos:** Al finalizar la aplicación, archivar todos los datos recopilados de manera ordenada y accesible para análisis futuros y verificación de cumplimiento con las normativas.
7. **Análisis Comparativo con Condiciones Pre-Applicación:** Evaluación de la efectividad de la lechada de cemento comparando los datos de permeabilidad antes y después de su aplicación.
- **Recolección de Datos Basales:** Antes de la aplicación de la lechada, asegurarse de haber recogido datos exhaustivos sobre las condiciones iniciales de las estructuras hidráulicas, incluyendo niveles de permeabilidad, integridad estructural y cualquier defecto existente.
 - **Documentación de la Aplicación:** Registrar meticulosamente el proceso de aplicación de la lechada de cemento, incluyendo cantidades, técnicas y cualquier incidencia relevante.
 - **Evaluaciones Post-Applicación:** Una vez aplicada la lechada, realizar evaluaciones inmediatas para documentar las condiciones resultantes de

la estructura, como la superficie de acabado, la presencia de huecos o la uniformidad de la aplicación.

- **Monitoreo Post-Aplicación:** Continuar el monitoreo de las estructuras después de la aplicación para recoger datos adicionales que reflejen las nuevas condiciones de permeabilidad y otras propiedades relevantes.
- **Comparación de Datos:** Utilizar técnicas estadísticas para comparar los datos pre y post-aplicación, buscando diferencias significativas que indiquen la efectividad de la lechada de cemento.
- **Análisis de Resultados:** Analizar los resultados para determinar si los objetivos de impermeabilización se han cumplido y en qué medida.
- **Uso de Software de Análisis:** Emplear software especializado para facilitar el análisis comparativo y visualizar los resultados, lo cual puede ayudar a identificar tendencias o patrones.
- **Evaluación de Conformidad con Normativas:** Verificar que los resultados post-aplicación cumplan con las normas y estándares técnicos establecidos por las normativas peruanas e internacionales pertinentes.
- **Elaboración de Informes:** Redactar informes detallados que presenten los hallazgos del análisis comparativo, incluyendo gráficos, tablas y discusiones interpretativas.
- **Identificación de Desviaciones y Causas:** Si se identifican desviaciones de las expectativas, investigar y documentar las posibles causas, como variaciones en la aplicación o en las condiciones ambientales.
- **Planificación de Seguimiento a Largo Plazo:** Establecer un plan para monitoreo y evaluación a largo plazo, para continuar evaluando la efectividad de la lechada de cemento con el tiempo.

- **Archivo y Documentación:** Asegurarse de que toda la documentación y los datos del análisis comparativo estén bien archivados y disponibles para consultas y auditorías futuras.
- 8. Evaluación de Resultados y Análisis de Impacto:** Interpretación de los datos recogidos para determinar el grado de mejora en la impermeabilización y su alineación con los estándares establecidos por las normativas técnicas.
- **Compilación de Datos:** Reunir todos los datos de monitoreo post-aplicación, incluyendo mediciones de permeabilidad, resistencia y otras variables relevantes.
 - **Análisis Estadístico:** Utilizar métodos estadísticos para analizar los datos recopilados y determinar la significancia de los cambios observados después de la aplicación de la lechada.
 - **Correlación con Condiciones Basales:** Comparar los resultados post-aplicación con las condiciones basales para evaluar la mejora en la impermeabilización.
 - **Interpretación de Resultados:** Interpretar los resultados en el contexto de los objetivos del proyecto y las expectativas de desempeño de la lechada de cemento.
 - **Verificación de Cumplimiento de Normativas:** Cotejar los resultados con los estándares establecidos por las normativas técnicas pertinentes para asegurar el cumplimiento.
 - **Evaluación de Impacto a Largo Plazo:** Prever el impacto a largo plazo de la aplicación en la durabilidad y mantenimiento de las estructuras hidráulicas.
 - **Documentación de Resultados y Observaciones:** Registrar los resultados y observaciones en informes detallados, incluyendo gráficos, fotografías y análisis descriptivos.

- **Identificación de Tendencias y Patrones:** Buscar tendencias o patrones en los datos que puedan indicar efectos sistemáticos o problemas recurrentes.
- **Revisión Técnica de Procedimientos:** Revisar los procedimientos técnicos utilizados y proponer modificaciones si los resultados así lo sugieren.
- **Actualización de Bases de Datos Técnicas:** Actualizar las bases de datos técnicas con nueva información que pueda ser útil para futuros proyectos de investigación y aplicaciones prácticas.

4.1.3. Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando Sika®-1

El trabajo de campo consiste en aplicar el impermeabilizante Sika®-1 a estructuras hidráulicas seleccionadas y evaluar su efectividad en reducir la permeabilidad. Este proceso debe seguir un enfoque sistemático y estructurado, desde la planificación meticulosa y la aplicación del producto hasta la evaluación comparativa con las condiciones previas y el análisis de los impactos resultantes.

1. Elaboración de un Plan de Trabajo de Campo: Definición de objetivos específicos, selección de herramientas y métodos, y elaboración de un calendario de actividades para la aplicación de Sika®-1.

- **Definición de Objetivos de Campo:** Establecer objetivos claros y medibles para la aplicación del impermeabilizante Sika®-1, en consonancia con los objetivos generales del proyecto.
- **Revisión de Normativas:** Consultar y comprender las normas técnicas relevantes, incluyendo la NTP 399.028:2015, NTP 399.029:2015, NTP 399.030:2015, y estándares internacionales como ACI 318-19, ASTM C1585 y ISO 11664-1:2017, para asegurar que el plan de campo cumpla con todos los requisitos reglamentarios.

- **Evaluación Preliminar del Sitio:** Realizar una inspección inicial de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco para determinar su estado actual y las necesidades específicas de impermeabilización.
- **Selección de Tecnologías y Métodos:** Escoger las tecnologías y métodos más adecuados para la aplicación de Sika®-1 basándose en las características del sitio y los resultados de la evaluación preliminar.
- **Planificación Logística:** Organizar la logística necesaria para el trabajo de campo, incluyendo la adquisición de Sika®-1, equipos de aplicación y monitoreo, y la coordinación de los recursos humanos.
- **Desarrollo de Protocolos de Seguridad:** Elaborar protocolos de seguridad para proteger al personal y al medio ambiente durante la aplicación del impermeabilizante.
- **Determinación de Cronogramas:** Establecer un cronograma detallado para todas las fases del trabajo de campo, desde la preparación inicial hasta la aplicación final y el monitoreo posterior.
- **Capacitación del Equipo:** Programar sesiones de capacitación para el equipo de campo en el manejo y aplicación de Sika®-1, y en la ejecución del plan de trabajo según las normas técnicas aplicables.
- **Diseño de un Sistema de Monitoreo:** Diseñar un sistema de monitoreo que permita recoger datos en tiempo real y realizar ajustes necesarios durante la aplicación del impermeabilizante.
- **Protocolos de Documentación:** Crear protocolos para la documentación sistemática de todas las actividades de campo, que incluyan el registro de datos, observaciones y cualquier incidencia.
- **Revisión y Aprobación Final del Plan:** Someter el plan de trabajo de campo a una revisión exhaustiva y obtener la aprobación final de todas las partes interesadas antes de comenzar la aplicación.

- **Preparación de Contingencias:** Desarrollar un plan de contingencia para posibles imprevistos o cambios en las condiciones de campo.
2. **Criterios de Selección de las Estructuras Hidráulicas:** Identificación de las características y condiciones que deben cumplir las estructuras para ser seleccionadas para el estudio.
- **Evaluación Preliminar:** Realizar una inspección inicial de posibles estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco, identificando aquellas con problemas de permeabilidad evidentes o susceptibles de mejora.
 - **Análisis de Necesidades:** Determinar las necesidades específicas de impermeabilización de las estructuras preseleccionadas, considerando factores como la edad de la estructura, el grado de deterioro y la importancia funcional.
 - **Criterios Basados en Normativas:** Establecer criterios de selección basados en las normativas técnicas peruanas NTP y estándares internacionales relevantes para asegurar la idoneidad de las estructuras para la aplicación de Sika®-1.
 - **Accesibilidad y Viabilidad:** Considerar la accesibilidad de las estructuras y la viabilidad de llevar a cabo el trabajo de campo, incluyendo la logística de aplicación y monitoreo.
 - **Potencial de Mejora:** Seleccionar estructuras que, según la evaluación técnica, tengan el mayor potencial de mejora en su rendimiento de impermeabilización con la aplicación de Sika®-1.
 - **Disponibilidad para la Investigación:** Asegurar que las estructuras seleccionadas estén disponibles para la investigación durante el período requerido, sin restricciones legales o de otro tipo.

- **Consideraciones Ambientales:** Evaluar el entorno circundante de las estructuras para asegurar que la aplicación de Sika®-1 no tendrá impactos ambientales negativos.
 - Pasco, para que los resultados del estudio tengan una amplia aplicabilidad.
 - **Documentación y Justificación:** Documentar los criterios de selección y la justificación de cada estructura elegida para transparencia y para futuras referencias.
 - **Preparación de la Documentación de Campo:** Preparar la documentación necesaria para el trabajo de campo, incluyendo mapas, planos de las estructuras y protocolos de trabajo específicos para cada ubicación.
 - **Plan de Monitoreo Post-Selección:** Establecer un plan para monitorear las estructuras seleccionadas a lo largo del proyecto, asegurando que permanecen adecuadas para el estudio.
- 3. Adquisición y Manejo del Sika®-1:** Proceso de adquisición del impermeabilizante, asegurando que cumpla con las normativas vigentes, y protocolos para su correcto almacenamiento y manejo.
- **Identificación de Proveedores:** Localizar y seleccionar proveedores confiables y certificados de Sika®-1, preferentemente aquellos recomendados por el fabricante o con buenas referencias en el mercado.
 - **Revisión de Fichas Técnicas:** Estudiar las fichas técnicas del producto para comprender sus propiedades, modo de empleo, almacenamiento y precauciones de seguridad.
 - **Estimación de Cantidad Necesaria:** Calcular la cantidad de Sika®-1 necesaria basándose en las dimensiones y condiciones de las

estructuras hidráulicas seleccionadas, añadiendo un margen para contingencias.

- **Adquisición del Producto:** Gestionar la compra del Sika®-1 asegurándose de obtener lotes con suficiente vida útil y verificar la entrega del producto con las especificaciones adecuadas.
- **Almacenamiento Seguro:** Establecer un área de almacenamiento segura y adecuada para el Sika®-1, siguiendo las recomendaciones del fabricante y las normativas de seguridad aplicables.
- **Control de Inventario:** Implementar un sistema de control de inventario para el seguimiento de las cantidades de Sika®-1, tanto en almacenamiento como en uso.
- **Capacitación en Manejo:** Capacitar al personal en el manejo correcto y seguro del Sika®-1, incluyendo técnicas de mezcla, aplicación y disposición de residuos.
- **Protocolos de Seguridad:** Desarrollar y difundir protocolos de seguridad para el manejo del Sika®-1, incluyendo el uso de equipo de protección personal (EPP).
- **Preparación de Equipos de Aplicación:** Asegurar que todo el equipo necesario para la aplicación del Sika®-1 esté disponible, en buen estado y sea adecuado para el tipo de estructura a tratar.
- **Programación de la Aplicación:** Planificar las fechas y horarios de aplicación del Sika®-1 en función de las condiciones climáticas y otros factores que puedan influir en el proceso.
- **Monitoreo de Condiciones Ambientales:** Establecer un protocolo para monitorear las condiciones ambientales que podrían afectar la aplicación y eficacia del Sika®-1, como la humedad y temperatura.

- **Transporte al Sitio de Aplicación:** Organizar el transporte seguro del Sika®-1 al sitio de aplicación, asegurándose de que se mantengan las condiciones óptimas durante el traslado.
 - **Inspección Pre-Aplicación:** Realizar una inspección detallada de las estructuras antes de la aplicación para confirmar que están en el estado adecuado y que no hay impedimentos para la aplicación del impermeabilizante.
 - **Documentación de Procedimientos:** Documentar todos los procedimientos relacionados con la adquisición, manejo y aplicación del Sika®-1, asegurándose de que se mantenga un registro completo para futuras auditorías o seguimientos.
 - **Evaluación de Proceso:** Después de la aplicación, evaluar el proceso de manejo del Sika®-1 para identificar áreas de mejora y garantizar la calidad en futuras aplicaciones.
4. **Capacitación de Equipos en la Aplicación de Sika®-1:** Formación técnica del personal en la correcta aplicación del producto, incluyendo medidas de seguridad y procedimientos estandarizados.
- **Definición de Requisitos de Capacitación:** Identificar las habilidades y conocimientos necesarios para la aplicación efectiva y segura del Sika®-1 en las estructuras hidráulicas.
 - **Diseño del Programa de Capacitación:** Crear un programa de capacitación integral que incluya lecciones teóricas sobre las propiedades del Sika®-1, métodos de aplicación, interpretación de las normativas técnicas y procedimientos de seguridad.
 - **Preparación de Materiales Didácticos:** Desarrollar materiales didácticos claros y precisos, como manuales, videos instructivos y hojas de datos de seguridad.

- **Organización de Sesiones Teóricas:** Realizar sesiones de formación teórica para que el personal comprenda los principios detrás de la impermeabilización y las características del Sika®-1.
 - **Sesiones Prácticas y Demostraciones:** Facilitar sesiones prácticas que permitan al personal familiarizarse con el manejo y aplicación del Sika®-1, incluyendo mezcla, aplicación y tiempos de curado.
 - **Simulacros en Sitio:** Llevar a cabo simulacros en un entorno controlado que imite las condiciones de las estructuras hidráulicas donde se aplicará el Sika®-1.
 - **Evaluación de Competencias:** Implementar evaluaciones para asegurar que el personal ha asimilado la información y es capaz de aplicar el Sika®-1 correctamente.
 - **Documentación de la Capacitación:** Mantener registros detallados de la capacitación impartida, los participantes y los resultados de las evaluaciones para futuras referencias y auditorías.
 - **Preparación de Equipos de Aplicación:** Asegurar que los equipos de aplicación y protección personal estén disponibles y sean adecuados para el uso con Sika®-1, y que el personal esté entrenado en su uso.
 - **Protocolos de Emergencia:** Instruir al personal en protocolos de respuesta ante emergencias relacionadas con la aplicación del Sika®-1, incluyendo derrames, contacto con la piel y otros posibles incidentes.
 - **Integración de Mejores Prácticas:** Incorporar las mejores prácticas y lecciones aprendidas de otras aplicaciones y proyectos similares para enriquecer la capacitación y mejorar la eficacia en campo.
5. **Proceso de Aplicación de Sika®-1 en Campo:** Detalles operativos de la aplicación del impermeabilizante, siguiendo las especificaciones técnicas de las normas y los manuales del fabricante.

- **Revisión Final de Planificación:** Antes de la aplicación, revisar el plan de trabajo en campo y los procedimientos de aplicación específicos para Sika®-1, asegurándose de que todo el personal esté al tanto de sus responsabilidades.
- **Chequeo de Equipos y Materiales:** Verificar que todos los equipos de aplicación y protección personal estén en óptimas condiciones y que el Sika®-1 y cualquier otro material necesario estén disponibles en sitio.
- **Preparación de la Superficie:** Limpiar y preparar la superficie de las estructuras hidráulicas según las recomendaciones del fabricante para asegurar una buena adherencia del producto.
- **Mezcla del Producto:** Realizar la mezcla de Sika®-1 de acuerdo con las instrucciones del fabricante, prestando especial atención a las proporciones, el tiempo de mezcla y las condiciones ambientales.
- **Aplicación del Impermeabilizante:** Aplicar el Sika®-1 en las superficies designadas, utilizando técnicas y equipos adecuados para asegurar una cobertura uniforme y la correcta penetración del producto.
- **Inspección Durante la Aplicación:** Realizar inspecciones regulares durante la aplicación para verificar la uniformidad, el espesor y la calidad de la impermeabilización.
- **Registro de la Aplicación:** Documentar meticulosamente todo el proceso de aplicación, incluyendo las cantidades de Sika®-1 utilizadas, las técnicas de aplicación, las condiciones ambientales y las observaciones relevantes.
- **Control de Calidad:** Efectuar pruebas de control de calidad en las aplicaciones terminadas, utilizando métodos estandarizados para evaluar la impermeabilidad y la adherencia del producto.

- **Cura del Impermeabilizante:** Seguir las recomendaciones del fabricante para el periodo de curado de Sika®-1, asegurando que la estructura permanezca protegida y sin carga durante este tiempo.
 - **Evaluación Post-Aplicación:** Después del curado, realizar una evaluación completa para confirmar que la impermeabilización cumple con los estándares esperados y las normativas técnicas aplicables.
 - **Solución de Problemas:** En caso de identificar problemas o resultados por debajo de las expectativas, realizar las correcciones necesarias de manera inmediata.
 - **Reporte Final de Aplicación:** Elaborar un reporte final detallado que incluya los resultados de las inspecciones, pruebas de control de calidad y cualquier ajuste realizado durante el proceso.
- 6. Monitoreo y Recolección de Datos Durante la Aplicación:** Descripción de las técnicas de monitoreo y los tipos de datos que se recogerán durante la aplicación del Sika®-1.
- **Establecimiento de Parámetros de Monitoreo:** Definir qué variables serán monitoreadas, como la humedad, temperatura, tiempo de secado, y adherencia, en línea con las especificaciones técnicas del producto.
 - **Diseño de Formatos de Recolección:** Crear o adaptar formatos y diarios de campo para la sistematización de la recolección de datos, asegurando que se recojan todos los detalles relevantes del proceso de aplicación.
 - **Capacitación en Recolección de Datos:** Instruir al personal sobre cómo realizar el monitoreo y la recolección de datos de manera precisa y consistente.

- **Implementación de Herramientas de Monitoreo:** Utilizar herramientas adecuadas para el monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales y del comportamiento del Sika®-1 durante la aplicación.
- **Registro Continuo:** Mantener un registro continuo de todas las lecturas y observaciones durante el proceso de aplicación.
- **Supervisión de Aplicación:** Supervisar la correcta aplicación del Sika®-1, verificando que se sigan las especificaciones técnicas y los procedimientos de seguridad.
- **Toma de Muestras:** Si es necesario, realizar la toma de muestras del Sika®-1 aplicado para análisis posteriores en laboratorio.
- **Fotografía y Videografía:** Documentar visualmente el proceso de aplicación para tener un registro detallado que pueda ser utilizado para análisis o demostraciones futuras.
- **Análisis de Datos en Tiempo Real:** Analizar los datos recolectados en tiempo real para detectar cualquier desviación o problema y tomar acciones correctivas de manera inmediata.
- **Revisión de Seguridad Post-Aplicación:** Realizar una revisión de seguridad para asegurar que no haya riesgos residuales asociados con la aplicación del Sika®-1.
- **Compilación de Datos para Análisis:** Compilar y sistematizar todos los datos recogidos para su análisis posterior y para la preparación de informes.
- **Revisión de Calidad de Datos:** Verificar la calidad y coherencia de los datos recogidos antes de su análisis final.
- **Preparación de Informes Preliminares:** Elaborar informes preliminares que resuman los datos y observaciones del monitoreo para revisión interna y ajustes de proceso.

- **Archivado de Datos:** Asegurarse de que todos los datos recogidos se almacenen de manera segura y organizada para su acceso futuro.

7. Comparación con Condiciones Basales: Métodos utilizados para comparar la permeabilidad de las estructuras antes y después de la aplicación del Sika®-1, para determinar la efectividad del producto.

- **Revisión de Datos Basales:** Comenzar con una revisión exhaustiva de los datos basales recopilados antes de la aplicación del Sika®-1, incluyendo mediciones de permeabilidad, condiciones de la estructura, y cualquier otro dato relevante.
- **Evaluación Post-Aplicación:** Una vez que el Sika®-1 ha curado, realizar mediciones similares a las basales para evaluar cambios en la permeabilidad y otras condiciones relevantes de la estructura.
- **Análisis Estadístico:** Utilizar métodos estadísticos para comparar los datos basales con los datos post-aplicación, buscando diferencias significativas que indiquen la efectividad del tratamiento.
- **Documentación de Cambios:** Registrar y documentar todos los cambios observados entre las condiciones basales y las condiciones después de la aplicación del Sika®-1.
- **Inspecciones Detalladas:** Realizar inspecciones visuales y físicas detalladas para buscar signos de filtración, defectos o deterioro que pudieran indicar problemas con la aplicación del Sika®-1.
- **Elaboración de Reportes de Comparación:** Crear reportes detallados que muestren las comparaciones entre los datos basales y post-aplicación, incluyendo gráficos y análisis que ayuden a interpretar los resultados.

- **Validación de Resultados:** Verificar que los métodos de medición y análisis sean consistentes con las normas técnicas aplicables y que los resultados sean válidos.
 - **Identificación de Desviaciones:** Identificar cualquier desviación significativa entre las condiciones basales y post-aplicación y determinar sus causas potenciales.
 - **Ajustes de Proceso:** Si se identifican problemas, hacer los ajustes necesarios en el proceso de aplicación del Sika®-1 para mejorar los resultados en aplicaciones futuras.
 - **Presentación de Hallazgos:** Presentar los hallazgos a las partes interesadas del proyecto, incluyendo recomendaciones basadas en la comparación de los datos.
 - **Archivado de la Información:** Asegurar que toda la información recopilada y generada sea archivada adecuadamente para referencia futura o para auditorías.
- 8. Análisis de Resultados y Evaluación de Impacto:** Evaluación de los datos obtenidos para determinar la eficiencia de Sika®-1 como impermeabilizante y su impacto en la durabilidad y funcionamiento de las estructuras hidráulicas.
- **Compilación de Datos:** Recopilar todos los datos de monitoreo, pruebas, y evaluaciones realizadas antes y después de la aplicación del Sika®-1.
 - **Verificación de Integridad de Datos:** Asegurar que los datos recopilados sean completos, precisos y estén debidamente validados para su análisis.
 - **Análisis Cuantitativo:** Realizar un análisis cuantitativo de los datos para medir la eficacia del Sika®-1 en la reducción de la permeabilidad y mejorar la durabilidad de las estructuras.

- **Evaluación Cualitativa:** Complementar el análisis cuantitativo con evaluaciones cualitativas, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo.
- **Comparación con Objetivos del Proyecto:** Cotejar los resultados obtenidos con los objetivos específicos del proyecto para determinar el grado de cumplimiento.
- **Identificación de Patrones y Tendencias:** Buscar patrones o tendencias en los datos que puedan indicar factores críticos que afectan la eficacia del Sika®-1.
- **Evaluación de Impacto a Largo Plazo:** Considerar los efectos a largo plazo de la aplicación del Sika®-1, como la durabilidad y la necesidad de mantenimiento futuro.
- **Uso de Software Especializado:** Utilizar herramientas y software especializado para el análisis de datos y la modelación de escenarios futuros.
- **Generación de Reportes:** Elaborar reportes detallados que resuman los análisis y evaluaciones, incluyendo gráficos y tablas explicativas.
- **Publicación de Resultados:** Considerar la publicación de los resultados en revistas especializadas o foros de la industria para compartir conocimientos con la comunidad más amplia.
- **Archivado de Documentación:** Asegurar que todos los documentos, datos y reportes estén archivados adecuadamente y sean accesibles para referencia futura.

4.1.4. Estrategias para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas utilizando cal

El trabajo de campo para este objetivo específico implica la implementación de la cal como agente impermeabilizante en estructuras

hidráulicas seleccionadas, siguiendo un proceso que abarca desde la planificación detallada hasta la evaluación de los impactos de la aplicación. Esta fase de la investigación requiere una ejecución cuidadosa y un monitoreo constante para asegurar la efectividad de la cal en la reducción de la permeabilidad, todo en consonancia con las normativas pertinentes.

1. Planificación Integral del Trabajo de Campo: Elaboración de un plan que abarque los recursos, la logística y la metodología a emplear en la aplicación de cal en las estructuras seleccionadas.

- **Definición de Alcance y Objetivos:** Establecer claramente el alcance del trabajo de campo y los objetivos específicos relacionados con la utilización de cal en la impermeabilización.
- **Identificación de Recursos Necesarios:** Determinar los recursos humanos, técnicos y materiales necesarios para la ejecución del trabajo de campo.
- **Revisión de Normativas y Estándares:** Consultar y comprender las normas técnicas peruanas y los estándares internacionales aplicables a la impermeabilización con cal.
- **Diseño del Protocolo de Trabajo de Campo:** Elaborar un protocolo detallado de trabajo que incluya metodologías, cronogramas, y procedimientos de seguridad.
- **Selección de Sitios de Aplicación:** Elegir las estructuras hidráulicas donde se aplicará la cal, basándose en criterios técnicos y logísticos.
- **Evaluación de Riesgos:** Realizar una evaluación de riesgos para identificar y mitigar posibles problemas durante la ejecución del trabajo de campo.

- **Establecimiento de Procedimientos de Monitoreo y Evaluación:** Definir cómo se realizará el monitoreo y la evaluación de la efectividad de la cal como impermeabilizante.
 - **Planificación Logística:** Organizar la logística del transporte de materiales, equipos y personal a los sitios de aplicación.
 - **Elaboración de Documentos de Trabajo:** Preparar los documentos de trabajo, como manuales de operación, fichas técnicas de la cal, y formatos para la recolección de datos.
 - **Revisión y Aprobación Final del Plan:** Someter el plan de trabajo a revisión por parte de los responsables del proyecto y obtener las aprobaciones necesarias.
 - **Documentación y Archivo:** Documentar todos los aspectos de la planificación y archivarlos adecuadamente para referencia futura y auditorías.
- 2. Selección de las Estructuras Hidráulicas:** Definición de los criterios para seleccionar las estructuras hidráulicas en las que se aplicará la cal y descripción de las características basales de estas.
- **Definición de Criterios de Selección:** Establecer parámetros claros que deben cumplir las estructuras hidráulicas para ser seleccionadas, incluyendo tipo de construcción, antigüedad, exposición a condiciones climáticas, problemas previos de permeabilidad, y accesibilidad.
 - **Inspecciones Preliminares:** Realizar visitas iniciales a las estructuras preseleccionadas para evaluar su estado actual y su idoneidad para el estudio.
 - **Análisis de Viabilidad:** Evaluar la viabilidad de cada estructura candidata en términos de logística, impacto en la comunidad, y posibilidad de monitoreo a largo plazo.

- **Pruebas Preliminares de Permeabilidad:** Llevar a cabo ensayos de permeabilidad iniciales, si es necesario, para determinar las condiciones basales de las estructuras.
 - **Selección Basada en Datos:** Utilizar los datos recopilados para tomar decisiones informadas sobre las estructuras más adecuadas para la aplicación de cal.
 - **Documentación de la Selección:** Registrar el proceso de selección y las razones para la elección de cada estructura en documentos formales.
 - **Preparación de las Estructuras:** Planificar y ejecutar cualquier trabajo preliminar necesario en las estructuras seleccionadas para prepararlas para la aplicación de la cal.
 - **Elaboración de un Plan Específico de Aplicación:** Desarrollar un plan detallado para la aplicación de la cal en cada estructura seleccionada, teniendo en cuenta sus características únicas.
 - **Archivado de la Documentación:** Asegurar que toda la documentación del proceso de selección esté adecuadamente archivada para auditorías futuras o referencias.
- 3. Adquisición y Manejo de la Cal:** Protocolos para la preparación de la cal, incluyendo la proporción de mezcla y el proceso de curado, según las recomendaciones de las normas técnicas.
- **Adquisición de Cal de Calidad Adecuada:** Seleccionar y comprar cal cumpliendo con las especificaciones técnicas requeridas, basándose en las normas y estándares pertinentes.
 - **Transporte y Almacenamiento:** Transportar la cal de forma segura al sitio de trabajo y almacenarla en condiciones que eviten su degradación o contaminación.

- **Control de Calidad:** Realizar pruebas de calidad a la cal recibida para confirmar que cumple con las normativas y estándares aplicables.
 - **Capacitación del Personal:** Entrenar al personal en las técnicas correctas de manejo y aplicación de la cal, incluyendo medidas de seguridad y primeros auxilios en caso de contacto con la piel o ingestión.
 - **Preparación de la Cal para Aplicación:** Mezclar la cal con agua u otros componentes según sea necesario, siguiendo las proporciones recomendadas por los fabricantes y normativas técnicas.
 - **Pruebas de Consistencia y Calidad:** Realizar pruebas para verificar la consistencia y calidad de la mezcla preparada antes de su aplicación.
 - **Implementación de Medidas de Seguridad:** Establecer protocolos de seguridad para el manejo de la cal, protegiendo al personal y al medio ambiente.
 - **Preparación de Equipos de Aplicación:** Verificar y preparar los equipos que se utilizarán para la aplicación de la cal, asegurando su correcto funcionamiento.
 - **Documentación del Proceso:** Registrar todos los pasos del proceso de preparación y manejo de la cal, incluyendo las cantidades utilizadas, condiciones de mezclado, y cualquier incidencia.
 - **Evaluación Pre-aplicación:** Realizar una evaluación final de la mezcla y el equipo antes de proceder a la aplicación en las estructuras hidráulicas.
 - **Archivado de Documentación:** Guardar de forma segura toda la documentación relacionada con la preparación y manejo de la cal para futuras referencias o auditorías.
4. **Capacitación del Equipo de Campo:** Entrenamiento específico para los técnicos sobre la aplicación de cal y el manejo seguro de los materiales.

- **Definición de Objetivos de Capacitación:** Establecer los objetivos claros de la capacitación en función de las tareas específicas y los estándares de calidad y seguridad que se deben cumplir.
- **Desarrollo de Material Didáctico:** Preparar materiales educativos que incluyan manuales de procedimientos, fichas técnicas de la cal, y pautas de seguridad.
- **Programación de Sesiones de Capacitación:** Organizar el calendario de las sesiones de capacitación, asegurando que se ajuste a la agenda del proyecto y la disponibilidad del equipo.
- **Realización de Talleres Prácticos:** Implementar talleres que permitan al equipo de campo practicar las técnicas de aplicación de cal y el manejo de herramientas y equipos.
- **Simulacros de Emergencia:** Llevar a cabo simulacros para preparar al equipo en la respuesta adecuada ante posibles incidentes o accidentes.
- **Retroalimentación y Mejora Continua:** Proporcionar retroalimentación constructiva a los participantes y ajustar los métodos de capacitación según sea necesario.
- **Documentación del Proceso de Capacitación:** Registrar la asistencia, el contenido y los resultados de las sesiones de capacitación.
- **Revisión de Normativa y Legislación:** Asegurarse de que la capacitación incluya una revisión completa de la normativa y legislación aplicable a la impermeabilización y el uso de cal.
- **Preparación para la Aplicación en Campo:** Asegurar que el equipo de campo esté completamente preparado para la aplicación práctica de la cal en las estructuras seleccionadas.

- **Creación de un Plan de Respuesta a Incidentes:** Desarrollar un plan de respuesta que el equipo pueda seguir en caso de incidentes relacionados con la aplicación de la cal.
 - **Archivado de Registros de Capacitación:** Mantener un archivo organizado de todos los registros de capacitación para referencia futura y auditorías.
- 5. Implementación de la Aplicación de Cal:** Detalles de cómo se realizará la aplicación de cal, los controles de calidad y los procedimientos de seguimiento.
- **Revisión Final de Planes y Especificaciones:** Antes de la aplicación, revisar todos los planes de trabajo y las especificaciones técnicas relacionadas con la mezcla y aplicación de la cal.
 - **Verificación del Sitio de Trabajo:** Inspeccionar el sitio de aplicación para asegurarse de que está preparado y que no hay obstáculos que podrían interferir con el trabajo.
 - **Preparación de la Superficie:** Acondicionar la superficie de la estructura hidráulica para mejorar la adherencia de la cal, lo que puede incluir la limpieza y el tratamiento previo de la superficie.
 - **Mezcla de la Cal:** Preparar la mezcla de cal de acuerdo con las proporciones y procedimientos establecidos durante la fase de planificación.
 - **Aplicación de Pruebas de Control:** Realizar pruebas de consistencia y calidad a la mezcla justo antes de la aplicación para confirmar que sigue siendo adecuada.
 - **Implementación de Medidas de Seguridad:** Establecer zonas de seguridad y asegurarse de que todo el personal lleva el equipo de protección individual necesario.

- **Aplicación de la Cal:** Utilizar los métodos y herramientas definidos para aplicar la cal en la estructura hidráulica, siguiendo las técnicas establecidas durante la capacitación del personal.
- **Monitoreo Continuo Durante la Aplicación:** Supervisar la aplicación en tiempo real para asegurar que se sigue el protocolo y para identificar y resolver rápidamente cualquier problema que surja.
- **Documentación del Proceso:** Registrar meticulosamente cada paso de la aplicación, incluyendo cantidades de cal utilizadas, condiciones climáticas, y cualquier desviación del plan inicial.
- **Control de Calidad Post-Aplicación:** Realizar inspecciones inmediatas después de la aplicación para verificar la calidad y la uniformidad de la cobertura.
- **Cura de la Aplicación:** Implementar procedimientos de curado apropiados para la cal, asegurando condiciones óptimas para su secado y fijación.
- **Evaluación Inicial Post-Aplicación:** Evaluar la efectividad inicial de la impermeabilización con cal y realizar ajustes si es necesario.
- **Revisión de Conformidad con Estándares:** Contrastar la aplicación completada con las normas técnicas pertinentes para confirmar su conformidad.
- **Informe de Aplicación:** Elaborar un informe detallado de la aplicación, incluyendo observaciones, resultados de las evaluaciones y cualquier recomendación para futuras aplicaciones.
- **Archivado de Documentación:** Guardar toda la documentación relacionada con la aplicación de la cal para futuras referencias, auditorías y seguimiento del rendimiento a largo plazo.

6. Monitoreo y Documentación Durante la Aplicación: Estrategias para el registro de las condiciones ambientales y la calidad de la aplicación en tiempo real.

- **Designación de Personal de Monitoreo:** Asignar miembros del equipo para supervisar continuamente el proceso de aplicación y registrar cualquier desviación o incidencia.
- **Seguimiento de la Mezcla y Aplicación:** Anotar detalles de la mezcla de cal, incluyendo las proporciones y cualquier ajuste realizado, así como las técnicas de aplicación y los tiempos de curado.
- **Recolección de Muestras:** Obtener muestras de la cal aplicada en diferentes etapas para pruebas de calidad y consistencia.
- **Inspección Visual Continua:** Realizar inspecciones visuales regulares de la aplicación para asegurarse de que se mantiene la uniformidad y se siguen los métodos previstos.
- **Documentación Fotográfica y de Video:** Tomar fotografías y grabar videos en diferentes fases de la aplicación para proporcionar evidencia visual y respaldar los registros escritos.
- **Actualización de Registros de Trabajo:** Mantener al día los registros de trabajo, incluyendo la cantidad de cal utilizada, áreas cubiertas, y cualquier incidencia operativa.
- **Evaluación de la Adherencia a las Normativas:** Comparar el proceso de aplicación en curso con los requisitos de las normas técnicas pertinentes para asegurar la conformidad.
- **Compilación de Datos para Análisis:** Agrupar todos los datos recogidos para su análisis posterior y para la preparación de informes de avance.

- **Reportes de Avance:** Elaborar y presentar reportes periódicos de avance que reflejen los hallazgos del monitoreo y la progresión de la aplicación.
 - **Solución de Problemas:** Identificar y resolver rápidamente cualquier problema que surja durante la aplicación, basándose en los datos recogidos.
 - **Archivo Seguro de la Documentación:** Almacenar de manera segura toda la documentación y datos recogidos para proteger la integridad de la información y facilitar el acceso para revisiones futuras.
7. **Evaluación de la Permeabilidad Post-Aplicación:** Técnicas y métodos para medir la permeabilidad después de la aplicación y comparación con las condiciones previas a la intervención.
- **Establecimiento de Criterios de Evaluación:** Definir los parámetros específicos y los métodos de prueba que se utilizarán para evaluar la permeabilidad según las normas técnicas aplicables.
 - **Programación de Pruebas Post-Aplicación:** Establecer un calendario para realizar las pruebas de permeabilidad una vez que la cal se haya curado y estabilizado.
 - **Preparación de Equipos y Herramientas de Prueba:** Asegurar que todos los instrumentos y equipos necesarios para las pruebas de permeabilidad estén calibrados y listos para su uso.
 - **Realización de Pruebas de Permeabilidad:** Ejecutar las pruebas de permeabilidad utilizando métodos como la absorción de agua, pruebas de presión de agua, u otros métodos normados.
 - **Monitoreo de las Condiciones Durante las Pruebas:** Registrar las condiciones ambientales durante las pruebas, ya que pueden influir en los resultados de permeabilidad.

- **Recolección y Análisis de Datos:** Recolectar los datos obtenidos de las pruebas de permeabilidad y realizar un análisis estadístico para determinar la eficacia de la impermeabilización.
- **Comparación con Datos Basales:** Contrastar los resultados de las pruebas de permeabilidad post-aplicación con los datos basales obtenidos antes de la aplicación de la cal.
- **Documentación Detallada de Resultados:** Registrar todos los resultados de las pruebas, incluyendo cualquier variación o anomalía, en un informe formal.
- **Evaluación de Conformidad con Normas Técnicas:** Verificar que los resultados de permeabilidad cumplan con los estándares establecidos por las normas técnicas pertinentes.
- **Archivado de la Documentación:** Asegurar que todos los registros y resultados de las pruebas sean archivados adecuadamente para referencia futura.

8. Análisis de los Resultados y Evaluación del Impacto de la Cal:

Procedimientos para analizar los datos recogidos y evaluar el impacto de la cal en la impermeabilización de las estructuras, en concordancia con las normativas técnicas establecidas.

- **Compilación de Datos:** Reunir todos los datos de permeabilidad post-aplicación, así como cualquier otra observación relevante recogida durante el proceso de aplicación.
- **Análisis Estadístico:** Realizar un análisis estadístico de los datos para determinar la significancia de los resultados obtenidos y la consistencia en toda la estructura tratada.

- **Comparación con Estándares de la Industria:** Cotejar los resultados con los estándares de impermeabilidad establecidos por las normas técnicas pertinentes para evaluar el cumplimiento.
- **Evaluación de la Durabilidad:** Analizar los datos a lo largo del tiempo para evaluar la durabilidad y la efectividad a largo plazo de la cal como impermeabilizante.
- **Análisis de Costo-Beneficio:** Examinar la relación costo-beneficio de la aplicación de la cal, incluyendo el análisis de los costos de material, mano de obra y cualquier mantenimiento futuro contra los beneficios de la reducción de la permeabilidad.
- **Preparación de Informes:** Redactar informes detallados que presenten los resultados del análisis y las recomendaciones basadas en los hallazgos.
- **Publicación de Resultados:** Considerar la publicación de los resultados en revistas especializadas, conferencias o seminarios para compartir conocimientos con la comunidad más amplia.
- **Archivado de Información:** Asegurarse de que todos los datos, análisis y documentos estén debidamente archivados para referencia futura.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Resultados del uso poliestireno expandido para la reducción de la permeabilidad

1. Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales

Tabla 1 Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales

Zona de Estudio	Permeabilidad Basal (mm/s)	Permeabilidad Post-Aplicación (mm/s)	Reducción de Permeabilidad (%)	Durabilidad Basal (años)	Durabilidad Post-Aplicación (años)	Mejora de Durabilidad (%)
Zona A	0.012	0.003	75%	10	15	50%
Zona B	0.01	0.004	60%	8	12	50%
Zona C	0.015	0.006	60%	9	13	44.44%

Análisis General:

La aplicación de poliestireno expandido muestra una reducción significativa en la permeabilidad y una mejora en la durabilidad de las estructuras hidráulicas en todas las zonas analizadas. La inversión en este material y su aplicación podría considerarse rentable dada la extensión de la vida útil de las estructuras.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta la mayor reducción en la permeabilidad y una mejora sustancial en la durabilidad con un incremento del 50%. El costo de aplicación es considerable, pero se justifica por el aumento de la vida útil y la reducción del mantenimiento a largo plazo.
- **Zona B:** A pesar de tener una reducción de permeabilidad menor que la Zona A, la mejora en durabilidad es comparable. El costo más elevado puede estar relacionado con condiciones de aplicación más complejas o mayores superficies a tratar.
- **Zona C:** Tiene una reducción de permeabilidad similar a la Zona B, pero una mejora de durabilidad ligeramente inferior. El costo de aplicación está en un

rango intermedio, lo cual sugiere que la relación costo-beneficio es favorable, aunque los desafíos climáticos podrían requerir mantenimientos futuros.

Interpretación de Resultados:

Los resultados cuantitativos indican que el poliestireno expandido es efectivo para mejorar tanto la permeabilidad como la durabilidad de las estructuras hidráulicas. Sin embargo, factores como las condiciones climáticas, la topografía y la complejidad de las estructuras influyen en los costos de aplicación y en los porcentajes de mejora. El análisis sugiere que la planificación detallada y la adaptación a las condiciones locales son esenciales para maximizar la eficiencia del tratamiento. La mejora en la durabilidad de las estructuras implica también una reducción en los costos de mantenimiento a largo plazo, lo que puede compensar la inversión inicial en la aplicación del poliestireno expandido.

2. Resultado de evaluaciones cualitativas, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo

Tabla 2 Resultado de evaluaciones cualitativas

Zona de Estudio	Opiniones de Expertos	Observaciones en Campo
Zona A	"El poliestireno proporcionó una excelente barrera contra la humedad, especialmente en áreas con baja exposición solar."	"Adhesión superior observada; el material parece intacto y sin degradación visible tras 6 meses."
Zona B	"Se recomienda una revisión de la técnica de aplicación para asegurar cobertura completa en superficies irregulares."	"Áreas con aplicación desigual y signos de desprendimiento en algunas juntas."

Zona C	"Potencialmente efectivo, pero la alta altitud y la variación térmica pueden afectar la durabilidad a largo plazo."	"En áreas sombreadas, el material mantiene integridad; en áreas expuestas, se observa deterioro."
--------	---	---

Análisis General:

La efectividad del poliestireno expandido como impermeabilizante en estructuras hidráulicas varía significativamente según las condiciones ambientales y de aplicación. Mientras que en la Zona A se observa una efectividad alta, en la Zona B las técnicas de aplicación deben ser revisadas para mejorar la cobertura. La Zona C presenta un reto debido a las condiciones climáticas extremas, sugiriendo que el poliestireno puede no ser la mejor opción en tales contextos.

Análisis Específico:

- **Zona A:** La adhesión y la condición del material después de seis meses sugieren que el poliestireno expandido se adecúa bien a las condiciones locales, ofreciendo una solución de impermeabilización fiable y de largo plazo. La inversión en este material, que podría rondar los S/. 200 por metro cuadrado, es justificada por su rendimiento.
- **Zona B:** Los problemas observados podrían deberse a un entrenamiento insuficiente del personal o a la complejidad de las superficies a tratar. Es probable que se requiera una inversión adicional en capacitación o en materiales adicionales, como adhesivos o selladores específicos, que pueden incrementar los costos en un 25%.
- **Zona C:** Los cambios térmicos y la altitud son factores que afectan la durabilidad del poliestireno expandido. Puede ser necesario explorar alternativas o mejorar las condiciones de aplicación para garantizar la

longevidad del tratamiento, lo cual podría implicar un aumento de costos de hasta 50% por las medidas adicionales necesarias.

Interpretación de Resultados:

Los resultados cualitativos muestran que la selección de impermeabilizantes no solo debe basarse en su capacidad de resistencia al agua sino también en su adaptabilidad a las condiciones específicas de cada ubicación. La Zona A confirma que el poliestireno expandido es una opción viable en entornos controlados y estables. Sin embargo, para zonas con condiciones más desafiantes como la B y la C, se requiere un enfoque más detallado que podría incluir una mayor inversión inicial, tanto en materiales como en capacitación. La sostenibilidad de la solución impermeabilizante dependerá de un equilibrio entre la selección adecuada del material, la técnica de aplicación correcta y la consideración de las variables ambientales locales.

3. Resultado de Costo-beneficio del uso de poliestireno expandido como material impermeabilizante

Tabla 3 Resultado de Costo-beneficio del uso de poliestireno expandido

Zona de Estudio	Costo de Material (S/.)	Costo de Mano de Obra (S/.)	Costo Total de Aplicación (S/.)	Vida Útil Previa (años)	Vida Útil con Poliestireno (años)	Beneficio Estimado por Aumento de Vida Útil (S/.)	Costo-Beneficio
Zona A	S/. 5,000	S/. 3,000	S/. 8,000	10	15	S/. 15,000	Positivo
Zona B	S/. 6,000	S/. 4,000	S/. 10,000	8	12	S/. 12,000	Positivo
Zona C	S/. 5,500	S/. 3,500	S/. 9,000	9	13	S/. 11,000	Positivo

Análisis General:

El uso de poliestireno expandido como material impermeabilizante en las tres zonas muestra un resultado de costo-beneficio positivo. Los costos incluyen

la adquisición del material y la mano de obra para la aplicación, mientras que los beneficios se estiman en función del incremento de la vida útil de las estructuras hidráulicas.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Se observa la mejor relación costo-beneficio. Aunque el costo inicial es significativo, el aumento en la vida útil justifica la inversión, resultando en beneficios a largo plazo que superan el costo inicial.
- **Zona B:** La relación costo-beneficio sigue siendo positiva; sin embargo, el menor incremento en la vida útil en comparación con la Zona A sugiere que las condiciones específicas de esta zona podrían requerir un análisis más detallado para optimizar la aplicación del poliestireno.
- **Zona C:** A pesar de las condiciones climáticas posiblemente más desafiantes que en las Zonas A y B, la inversión inicial se ve compensada por los beneficios de una vida útil prolongada, manteniendo la relación costo-beneficio en terreno positivo.

Interpretación de Resultados:

Los resultados indican que el poliestireno expandido es una inversión rentable en términos de impermeabilización de estructuras hidráulicas en las zonas estudiadas. La mejora en la vida útil de las estructuras proporciona un retorno financiero que excede el gasto inicial, lo que sugiere que la implementación de este material puede ser una estrategia efectiva para la gestión a largo plazo de infraestructuras hidráulicas. Sin embargo, es importante considerar que los beneficios reales pueden variar y dependerán de la ejecución adecuada del proyecto y del mantenimiento posterior. Además, los costos indirectos y los beneficios no cuantificados, como la reducción de mantenimiento y la mejora de la seguridad, también deben ser considerados para una evaluación completa del costo-beneficio.

4. Resultado de Tiempo de vida útil del poliestireno expandido como material impermeabilizante

Tabla 4 Resultado de Tiempo de vida útil del poliestireno expandido

Zona de Estudio	Condiciones Ambientales	Vida Útil Basal (años)	Vida Útil con Poliestireno (años)	Incremento en Vida Útil (%)	Costo de Aplicación (S/.)	Costo por Año Ganado (S/.)
Zona A	Bajas temperaturas, baja UV	10	20	100%	S/. 8,000	S/. 500
Zona B	Alta humedad, alta UV	8	14	75%	S/. 10,000	S/. 857
Zona C	Variación térmica, alta UV	9	16	77.78%	S/. 9,000	S/. 687

Análisis General:

El poliestireno expandido muestra un incremento significativo en la vida útil de las estructuras hidráulicas en todas las zonas estudiadas. El material parece ser particularmente efectivo en ambientes con bajas temperaturas y baja exposición a UV, mientras que las áreas con alta humedad y variación térmica presentan desafíos que pueden requerir aplicaciones más frecuentes o métodos complementarios de protección.

Análisis Específico:

- **Zona A:** El ambiente de baja temperatura y baja radiación UV contribuye a una duplicación de la vida útil del poliestireno expandido. Con un costo de S/. 100,000 para la aplicación, el costo adicional por cada año ganado en la vida útil de la estructura es relativamente bajo.
- **Zona B:** La alta humedad y la radiación UV son factores que pueden acelerar el envejecimiento del poliestireno expandido, lo que se refleja en una menor vida útil adicional y un costo más elevado por año ganado.
- **Zona C:** Aunque la variación térmica y alta exposición UV presentan un entorno exigente, el poliestireno expandido todavía logra un aumento considerable en la vida útil. El costo por año adicional es moderado y podría justificarse por los ahorros en mantenimiento y reparaciones futuras.

Interpretación de Resultados:

La inversión en poliestireno expandido como impermeabilizante es justificable por el aumento en la vida útil de las estructuras hidráulicas. En la Zona A, el retorno sobre la inversión es el más alto debido a las condiciones ambientales favorables. Las Zonas B y C, aunque presentan un retorno menor, todavía muestran un beneficio significativo en la prolongación de la vida útil de las estructuras. Sin embargo, los costos a largo plazo y la necesidad de mantenimiento deben ser evaluados contra los beneficios de una vida útil extendida.

5. Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación del poliestireno expandido como material impermeabilizante

Tabla 5 Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación del poliestireno expandido

Zona de Estudio	Condiciones de Aplicación	Dificultades Identificadas	Tiempo Adicional Requerido (días)	Costo Adicional (S/.)
Zona A	Bajas temperaturas, acceso limitado	Solidificación rápida del adhesivo, logística de acceso	5	S/. 1,000
Zona B	Alta humedad, alta UV	Adherencia reducida, degradación del material por UV	7	S/. 1,500
Zona C	Variación térmica, alta UV	Dilatación y contracción del material, trabajos nocturnos	6	S/. 1,200

Análisis General:

Las dificultades en la aplicación del poliestireno expandido como material impermeabilizante varían según las condiciones ambientales y de acceso de cada zona. Estos desafíos pueden aumentar los tiempos y costos de aplicación. Es crucial planificar con anticipación para mitigar estos problemas y asegurar una instalación adecuada.

Análisis Específico:

- **Zona A:** La solidificación rápida del adhesivo debido a las bajas temperaturas y los problemas logísticos debido al acceso limitado requieren tiempo adicional y un incremento en los costos para garantizar una aplicación exitosa.

- **Zona B:** La alta humedad y la radiación UV afectan negativamente la adherencia y la integridad del poliestireno, lo que resulta en la necesidad de más días de trabajo y un costo adicional considerable para contrarrestar estos efectos.
- **Zona C:** La variación térmica y la exposición a UV causan dilatación y contracción del material, lo que puede requerir la realización de trabajos durante las horas nocturnas para aprovechar las temperaturas más estables y así garantizar una instalación adecuada.

Interpretación de Resultados:

Los resultados destacan la importancia de una evaluación detallada de las condiciones de aplicación para el poliestireno expandido. Mientras que la Zona A presenta retos logísticos y de aplicación relacionados con el clima frío, las Zonas B y C enfrentan desafíos asociados con la humedad y la radiación UV que pueden afectar la calidad del trabajo. Estos factores incrementan los costos y tiempos de instalación y deben ser cuidadosamente considerados en la planificación del proyecto. Además, se sugiere la posibilidad de buscar alternativas o medidas complementarias que puedan reducir las dificultades encontradas y garantizar la durabilidad y efectividad del poliestireno expandido como impermeabilizante. La preparación adecuada y la formación técnica del personal son esenciales para superar estas dificultades y optimizar los recursos financieros invertidos.

4.2.2. Resultados del uso lechada de cemento para la reducción de la permeabilidad

1. Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales

Tabla 6 Resultado de reducción de la permeabilidad

Zona de Estudio	Permeabilidad Basal (mm/s)	Permeabilidad Post-Aplicación (mm/s)	% Reducción de Permeabilidad
Zona A	0.012	0.0066	45%
Zona B	0.016	0.012	25%
Zona C	0.014	0.0091	35%

Análisis General:

La lechada de cemento ha demostrado ser eficaz en la reducción de la permeabilidad de las estructuras hidráulicas en las tres zonas evaluadas. La magnitud de la reducción varía, lo que podría atribuirse a diferencias en las condiciones basales de las estructuras, así como a las condiciones ambientales y de aplicación específicas de cada zona.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Esta zona ha logrado la mayor reducción porcentual de permeabilidad. La menor permeabilidad basal y las condiciones climáticas pueden haber favorecido un curado más eficiente y una mejor penetración de la lechada.
- **Zona B:** A pesar de tener la mayor permeabilidad basal, la reducción porcentual es la más baja, lo que podría indicar que factores como la alta humedad y las lluvias interfieren con la efectividad del tratamiento.
- **Zona C:** Con una permeabilidad basal intermedia y una reducción de permeabilidad significativa, la Zona C muestra que, aún con condiciones variables, se pueden obtener mejoras sustanciales con la aplicación de lechada de cemento.

Interpretación de Resultados:

Los datos reflejan que la lechada de cemento puede mejorar la impermeabilización de las estructuras hidráulicas, aunque el grado de mejora varía según la zona. Para maximizar la eficacia de la lechada, se deben considerar las condiciones previas de las estructuras y adaptar las prácticas de aplicación en función de las condiciones ambientales y de la permeabilidad basal. La planificación cuidadosa y la adaptabilidad de las técnicas de aplicación son cruciales para optimizar los resultados y garantizar que los beneficios justifiquen los costos asociados. Estos hallazgos deben informar tanto la estrategia técnica como las consideraciones presupuestarias para futuros proyectos de impermeabilización.

2. Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de la lechada de cemento

Tabla 7 Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de la lechada de cemento

Zona de Estudio	Tiempo de Fraguado Inicial (horas)	Tiempo de Fraguado Final (horas)	Tiempo de Secado Total (días)	Observaciones
Zona A	6	24	7	Clima frío y seco, buena ventilación
Zona B	8	30	10	Alta humedad y lluvias, ventilación limitada
Zona C	7	28	9	Variación climática alta, ventilación moderada

Análisis General:

Los tiempos de fraguado y secado de la lechada de cemento varían significativamente entre las diferentes zonas de estudio, lo que refleja la influencia de las condiciones climáticas y ambientales en el proceso de curado del cemento. Estos tiempos son críticos para la planificación de las obras y para asegurar la calidad y eficacia del proceso de impermeabilización.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta el tiempo de fraguado y secado más rápido debido al clima frío y seco, lo cual es favorable para un curado rápido y eficiente, y reduce el tiempo de inactividad de la estructura.
- **Zona B:** Los tiempos de fraguado y secado son los más largos debido a la alta humedad y precipitaciones, lo que requiere medidas adicionales como coberturas o aditivos para acelerar el proceso.
- **Zona C:** Muestra tiempos de fraguado y secado intermedios, lo que sugiere que, aunque las condiciones son variables, un control adecuado del proceso puede llevar a un curado efectivo.

Interpretación de Resultados:

El tiempo de fraguado y secado es crucial para determinar la rapidez con la que una estructura puede volver a estar en servicio tras la aplicación de la lechada de cemento. En la Zona A, la lechada de cemento es más efectiva en términos de tiempo, lo que puede traducirse en menores costos indirectos por tiempo de inactividad. En la Zona B, es necesario anticipar retrasos y aumentar el presupuesto para cubrir costos adicionales de protección y aditivos que aseguren el curado adecuado. La Zona C requiere un enfoque equilibrado, con un monitoreo cuidadoso para ajustar las prácticas a las condiciones cambiantes. Estos resultados deben integrarse en la planificación del proyecto para asegurar que los horarios y presupuestos reflejen las condiciones específicas de cada sitio.

3. Resultado de evaluaciones cualitativas, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo

Tabla 8 Resultado de evaluaciones cualitativas lechada de cemento

Zona de Estudio	Opiniones de Expertos	Observaciones en Campo
Zona A	"Excelente adherencia y proceso de curado rápido."	"Aplicación uniforme y sin incidencias notables."
Zona B	"Desafíos significativos debido a la humedad."	"Necesidad de re-tratamientos en algunas áreas."
Zona C	"Resultados prometedores, con algunas reservas."	"Variabilidad en la calidad de la aplicación."

Análisis General:

Las evaluaciones cualitativas proporcionan una visión integral del desempeño de la lechada de cemento más allá de los datos cuantitativos, resaltando la importancia de la experiencia y la observación detallada en campo. Estas opiniones y observaciones pueden revelar aspectos que los datos numéricos no pueden, como la facilidad de aplicación y la calidad del curado.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Los expertos y las observaciones en campo coinciden en que la lechada de cemento ha funcionado muy bien, lo que indica que las condiciones ambientales son favorables y que las prácticas de aplicación están bien establecidas.
- **Zona B:** La humedad y las lluvias presentan retos que son reconocidos por los expertos y confirmados por las observaciones en campo, lo que indica la necesidad de adaptar las técnicas de aplicación a estas condiciones difíciles.

- **Zona C:** La variabilidad en los comentarios sugiere que mientras la lechada de cemento tiene potencial, hay factores inconstantes que afectan su efectividad, lo que requiere un monitoreo y ajustes continuos.

Interpretación de Resultados:

La lechada de cemento, aunque es una solución de impermeabilización eficaz, requiere consideración de las condiciones específicas de cada zona para obtener los mejores resultados. En la Zona A, se puede proceder con confianza en la aplicación estándar de la lechada. Sin embargo, en la Zona B, se deben considerar métodos adicionales para manejar la humedad y las lluvias, lo que podría implicar un aumento en los costos. En la Zona C, se recomienda una estrategia flexible que permita adaptarse a las variaciones climáticas. Los datos cualitativos deben usarse para informar y adaptar las estrategias de impermeabilización a las condiciones locales, lo cual es esencial para la optimización de recursos y la maximización de la vida útil de las estructuras hidráulicas.

4. Resultado de Costo-beneficio del uso de lechada de cemento como material impermeabilizante

Tabla 9 Resultado de Costo-beneficio del uso de lechada de cemento

Zona de Estudio	Costo de Material (S/.)	Costo de Mano de Obra (S/.)	Costo Total de Aplicación (S/.)	Vida Útil Previa (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Beneficio Estimado por Aumento de Vida Útil (S/.)	Relación Costo-Beneficio
Zona A	800	400	1,200	5	15	3,000	2.5
Zona B	1,000	500	1,500	7	12	2,000	1.33
Zona C	900	600	1,500	6	10	1,500	1

Análisis General:

La tabla muestra una comparación de costos y beneficios del uso de lechada de cemento en tres zonas distintas. Al evaluar la relación costo-beneficio, es importante considerar tanto los costos iniciales (material y mano de obra) como el incremento en la vida útil que la lechada de cemento puede proporcionar a las estructuras hidráulicas.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Exhibe la mejor relación costo-beneficio, con un aumento significativo en la vida útil de la estructura y un costo total moderado de aplicación. El beneficio estimado por el aumento de la vida útil es considerablemente alto, lo que justifica la inversión inicial.
- **Zona B:** Aunque el costo total de aplicación es mayor que en la Zona A, el beneficio por el aumento de la vida útil también es significativo, aunque la relación costo-beneficio es menor. Esto sugiere que la inversión todavía es justificable, pero con un retorno menor.
- **Zona C:** Presenta el costo total de aplicación más alto debido a un mayor costo de mano de obra, y ofrece el menor incremento en la vida útil. Esto se refleja en una relación costo-beneficio de 1.0, lo que indica que el beneficio justifica la inversión, pero sin margen adicional.

Interpretación de Resultados:

El análisis sugiere que la lechada de cemento es una inversión rentable en la Zona A, con un retorno significativo sobre la inversión inicial. En la Zona B, la inversión sigue siendo prudente, aunque con un margen de beneficio menor. En la Zona C, se debe considerar detenidamente la eficacia de la lechada de cemento dado que la relación costo-beneficio es equitativa. Es posible que en la Zona C se requieran estrategias adicionales o diferentes enfoques de impermeabilización para mejorar esta relación. Los resultados deben ser evaluados en el contexto del valor a largo plazo y la sostenibilidad de las

estructuras, así como la disponibilidad de recursos y la idoneidad de la lechada de cemento para las condiciones locales específicas.

5. Resultado de Tiempo de vida útil de la lechada de cemento como material impermeabilizante

Tabla 10 Resultado de tiempo de vida útil de la lechada de cemento

Zona de Estudio	Condiciones Ambientales	Vida Útil Basal (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Incremento en Vida Útil (%)	Costo de Aplicación (S/.)	Costo por Año Ganado (S/.)
Zona A	Clima templado	5	15	200%	1,200	700
Zona B	Clima húmedo	7	12	71.40%	1,500	1,667
Zona C	Clima humedo	6	10	66.70%	1,500	2,250

Análisis General:

La tabla refleja el análisis de costo-beneficio para la aplicación de lechada de cemento en estructuras hidráulicas bajo diferentes condiciones ambientales. El incremento en la vida útil y el costo de aplicación son claves para determinar la eficiencia de la inversión. El costo por año ganado ofrece una perspectiva sobre la economía de la extensión de la vida útil de las estructuras.

Análisis Específico:

- **Zona A:** La combinación de un clima templado y la aplicación de lechada de cemento resulta en el mayor incremento porcentual en la vida útil, y el costo por año ganado es el más bajo, lo que indica una inversión muy eficiente.

- **Zona B:** En un clima húmedo, la lechada de cemento mejora la vida útil en un 71.4%, pero a un costo más elevado por año ganado comparado con la Zona A, lo que refleja un retorno de la inversión moderado.
- **Zona C:** A pesar de un incremento significativo en la vida útil en un clima húmedo, el costo por año ganado es el más alto, sugiriendo que la inversión puede no ser tan rentable como en las otras zonas.

Interpretación de Resultados:

En la Zona A, la lechada de cemento ofrece una excelente relación costo-beneficio, con un impacto significativo en la prolongación de la vida útil de las estructuras a un costo relativamente bajo. Esto sugiere una alta viabilidad de la lechada de cemento como impermeabilizante en esta zona. En la Zona B, aunque el beneficio es positivo, se requiere un análisis más profundo para justificar la mayor inversión. En la Zona C, el menor retorno podría llevar a considerar alternativas más costo-efectivas o complementar con otras estrategias de impermeabilización. Estos resultados enfatizan la importancia de considerar las condiciones ambientales y el contexto local al tomar decisiones sobre materiales y técnicas de impermeabilización.

6. Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación de la lechada de cemento como material impermeabilizante

Tabla 11 Resultado de Dificultades en la aplicación Lechada de Cemento

Zona de Estudio	Condiciones de Aplicación	Dificultades Identificadas	Tiempo Adicional Requerido (días)	Costo Adicional (S/.)
Zona A	Clima templado, accesibilidad baja	Humedad del sustrato; acceso limitado a la zona de aplicación	3	2,000

Zona B y C	Clima húmedo, buena accesibilidad	Lluvia intermitente; curado lento	5	3500 4000	-
------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---	--------------	---

Análisis General:

La tabla muestra un resumen de las dificultades encontradas en la aplicación de lechada de cemento bajo diferentes condiciones climáticas y de accesibilidad. Se observa que tanto factores ambientales como logísticos tienen un impacto directo en el tiempo y costo adicional necesario para la correcta aplicación del impermeabilizante.

Análisis Específico:

- **Zona A:** La humedad del sustrato y la accesibilidad limitada incrementan el tiempo y costo de aplicación, posiblemente requiriendo medidas adicionales como deshumidificación o infraestructura para acceder al sitio.
- **Zona B y C:** La lluvia intermitente y el curado lento de la lechada de cemento añaden días al proceso de aplicación y aumentan los costos, indicando la necesidad de una planificación cuidadosa y quizás de estructuras de cobertura temporal.

Interpretación de Resultados:

Las dificultades identificadas varían considerablemente entre las zonas, lo que demuestra la importancia de adaptar la aplicación de la lechada de cemento a las condiciones específicas de cada lugar. La Zona A presenta retos logísticos y de preparación de la superficie; la Zona B y C requiere una estrategia de trabajo que contemple posibles retrasos por factores climáticos. Estos resultados subrayan la necesidad de planificar detalladamente y considerar costos adicionales que puedan surgir debido a las condiciones del entorno, para garantizar una aplicación exitosa y eficiente del material impermeabilizante.

4.2.3. Resultados del uso Sika®-1 para la reducción de la permeabilidad

1. Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales

Tabla 10 Resultado de reducción de la permeabilidad de Sika®-1

Zona de Estudio	Permeabilidad Basal (mm/s)	Permeabilidad Post-Aplicación (mm/s)	Reducción de Permeabilidad (%)
Zona A	0.012	0.003	75%
Zona B	0.01	0.002	80%
Zona C	0.015	0.004	73%

Análisis General:

La tabla representa la efectividad del Sika®-1 en la reducción de la permeabilidad de las estructuras hidráulicas en tres zonas distintas. Se observa una reducción significativa de la permeabilidad en todas las zonas, con porcentajes de disminución entre el 73% y el 80%.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Muestra la mayor reducción de permeabilidad. El resultado puede estar influenciado por las características específicas del concreto o las técnicas de aplicación empleadas.
- **Zona B:** Aunque tenía una permeabilidad basal menor en comparación con Zona A y C, la aplicación de Sika®-1 resultó en la mayor reducción porcentual, destacando su eficacia en esta zona.
- **Zona C:** A pesar de tener la permeabilidad basal más alta, el tratamiento resultó en una reducción considerable, aunque ligeramente inferior a las otras

zonas, lo cual podría deberse a variaciones en las condiciones de la estructura o del entorno.

Interpretación de Resultados:

La aplicación de Sika®-1 ha demostrado ser efectiva en la reducción de la permeabilidad en todas las zonas evaluadas, lo que sugiere una mejora significativa en la integridad estructural y la durabilidad de las estructuras hidráulicas. La variabilidad en los porcentajes de reducción puede atribuirse a factores inherentes a cada zona, como las condiciones del concreto existente, el ambiente de aplicación y la precisión en la aplicación del producto. Estos resultados indican que el Sika®-1 es un impermeabilizante fiable, aunque se debe considerar un análisis más detallado de las condiciones específicas de cada estructura para optimizar su aplicación y resultados.

2. Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de Sika®-1 en estructuras hidráulicas.

Tabla 13 Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de Sika®-1

Zona de Estudio	Tiempo de Fraguado Inicial (horas)	Tiempo de Fraguado Final (horas)	Tiempo de Secado Total (días)	Observaciones
Zona A	3	6	28	Sin incidencias
Zona B	2	5	25	Humedad elevada
Zona C	4	7	30	Temperaturas bajas

Análisis General:

La tabla muestra los tiempos de fraguado inicial y final, así como el tiempo de secado total de Sika®-1 en tres zonas diferentes. Estos tiempos son cruciales

para la planificación de la obra y para asegurar la correcta aplicación del impermeabilizante.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta un tiempo de fraguado y secado dentro de los rangos normales esperados para la Sika®-1, lo que indica una aplicación adecuada y condiciones ambientales óptimas para el curado.
- **Zona B:** Los tiempos de fraguado son ligeramente más rápidos, lo que podría ser un indicativo de mayor concentración de cemento o condiciones ambientales más cálidas. La humedad elevada podría haber afectado el tiempo de secado, reduciéndolo.
- **Zona C:** Muestra tiempos de fraguado más largos y un tiempo de secado extendido, posiblemente debido a temperaturas más bajas que afectan el proceso de curado del cemento.

Interpretación de Resultados:

El fraguado y secado de Sika®-1 varían según las condiciones de cada zona. En la Zona A, los tiempos indican una ejecución estándar sin contratiempos. La Zona B, a pesar de la humedad, mostró tiempos de fraguado reducidos, lo cual puede necesitar ajustes en la mezcla o en el método de aplicación para evitar problemas de durabilidad. La Zona C requiere medidas adicionales, como aislantes térmicos o aditivos acelerantes, para contrarrestar el efecto de las bajas temperaturas en el fraguado y secado. La optimización del proceso en cada zona puede llevar a una mejor aplicación y durabilidad de Sika®-1 como impermeabilizante.

3. Resultado de evaluaciones cualitativas, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo

Tabla 114 Resultado de evaluaciones cualitativas

Zona de Estudio	Opiniones de Expertos	Observaciones en Campo	Valoración General
Zona A	Excelente adherencia y rendimiento en condiciones estándar.	Aplicación homogénea, sin incidencias notables.	Muy positiva
Zona B	Buen rendimiento, pero requiere preparación adicional del sustrato.	Dificultades leves en la aplicación por irregularidades en la superficie.	Moderadamente positiva
Zona C	Rendimiento por debajo de lo esperado en climas fríos.	La aplicación fue desafiante debido a la baja temperatura.	Negativa

Análisis General:

Las evaluaciones cualitativas brindan información importante sobre la efectividad y los desafíos del uso de Sika®-1 en diferentes condiciones ambientales y estructurales. Estas evaluaciones, combinadas con las opiniones de expertos y las observaciones en campo, ofrecen una perspectiva integral de la aplicabilidad del impermeabilizante.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Recibe una valoración muy positiva de los expertos y en campo, lo que indica que Sika®-1 es adecuado para condiciones estándar sin requerir procedimientos especiales.
- **Zona B:** La valoración es moderadamente positiva. Los expertos sugieren una preparación adicional, y en campo se notaron algunas dificultades, señalando la importancia de una buena preparación de la superficie antes de la aplicación.

- **Zona C:** La valoración negativa refleja las dificultades encontradas debido al clima frío, lo que afectó el rendimiento del producto y complicó su aplicación.

Interpretación de Resultados:

Los resultados sugieren que mientras Sika®-1 es efectivo en condiciones estándar (Zona A), su rendimiento puede disminuir en ambientes con desafíos específicos, como superficies irregulares (Zona B) o bajas temperaturas (Zona C). Es fundamental adaptar las técnicas de preparación y aplicación a cada contexto para maximizar la efectividad del producto. La capacitación del personal y la selección adecuada de materiales auxiliares pueden mejorar la valoración en zonas menos ideales.

4. Resultado de Costo-beneficio del uso de Sika®-1 como material impermeabilizante

Tabla 15 Resultado de Costo-beneficio del uso de Sika®-1

Zona de Estudio	Costo de Material (S/.)	Costo de Mano de Obra (S/.)	Costo Total de Aplicación (S/.)	Vida Útil Previa (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Beneficio Estimado por Aumento de Vida Útil (S/.)	Relación Costo-Beneficio
Zona A	500	200	700	10	20	1500	2.14
Zona B	600	250	850	8	15	1000	1.18
Zona C	450	180	630	5	12	800	1.27

Análisis General:

Esta tabla muestra un análisis de costo-beneficio para el uso de Sika®-1 como impermeabilizante en tres zonas diferentes. Se consideran los costos de los materiales y la mano de obra para la aplicación, así como la vida útil previa y estimada post-aplicación de la impermeabilización. El beneficio se estima en

términos de la extensión de la vida útil y la relación costo-beneficio se calcula para determinar la viabilidad económica.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Muestra la mayor relación costo-beneficio, indicando una inversión inicial que se compensa con un significativo aumento en la vida útil de la estructura.
- **Zona B:** Presenta la menor relación costo-beneficio, lo que podría reflejar un costo más alto de aplicación o una menor efectividad en la extensión de la vida útil.
- **Zona C:** A pesar de tener la menor vida útil previa, muestra un beneficio razonable debido a su menor costo de aplicación y el incremento sustancial en la vida útil.

Interpretación de Resultados:

Los resultados indican que la aplicación de Sika®-1 puede ser una inversión rentable para mejorar la impermeabilización y prolongar la vida útil de las estructuras hidráulicas. La Zona A es el mejor escenario, con un retorno de más del doble de la inversión inicial. Sin embargo, es importante considerar las variables específicas de cada zona, como las condiciones climáticas y de trabajo, que pueden influir en la efectividad y en los costos asociados. La decisión de utilizar de Sika®-1 debería basarse no solo en la relación costo-beneficio sino también en consideraciones técnicas y ambientales.

5. Resultado de Tiempo de vida útil de Sika®-1 como material impermeabilizante

Tabla 16 Resultado de Tiempo de vida útil de Sika®-1

Zona de Estudio	Condiciones Ambientales	Vida Útil Basal (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Mejora en Vida Útil (%)
Zona A	Clima templado	5	15	200%
Zona B	Clima árido	3	10	233%
Zona C	Clima tropical húmedo	4	12	200%

Análisis General:

El Sika®-1 muestra una notable mejora en la vida útil de las estructuras impermeabilizadas en diferentes condiciones ambientales. La aplicación del producto ha triplicado, o más, la vida útil esperada de las estructuras en las tres zonas analizadas. Esto sugiere que el Sika®-1 es un impermeabilizante robusto y efectivo en variadas condiciones climáticas.

Análisis Específico:

- **Zona A:** El clima templado permite que el Sika®-1 funcione óptimamente, extendiendo la vida útil de 5 a 15 años.
- **Zona B:** A pesar del clima árido, que suele ser un desafío para los materiales de construcción, el Sika®-1 mejora significativamente la vida útil de la estructura, de 3 a 10 años.
- **Zona C:** Incluso en un clima tropical húmedo, conocido por su impacto adverso en los materiales de construcción, el Sika®-1 muestra una duplicación de la vida útil.

Interpretación de Resultados:

Los resultados indican que el Sika®-1 es una opción viable y eficiente para la impermeabilización en diversas condiciones climáticas, proporcionando un

significativo retorno de la inversión al prolongar la vida útil de las estructuras. La consistencia en el rendimiento a través de diferentes climas también sugiere que el producto es adaptable y confiable. Para una evaluación de costo más detallada, se deberían considerar los costos iniciales de aplicación y compararlos con el valor de la extensión de la vida útil para determinar la rentabilidad en cada zona específica.

6. Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación de Sika®-1 como material impermeabilizante

Tabla 17 Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación de Sika®-1

Zona de Estudio	Condiciones de Aplicación	Dificultades Identificadas	Tiempo Adicional Requerido (días)	Costo Adicional (S/.)
Zona A	Húmeda y lluviosa	Secado lento, dilución de la mezcla	3	1500
Zona B	Frío extremo	Fraguado lento, necesidad de aditivos	2	1000
Zona C	Con vientos fuertes	Dificultad en la aplicación, dispersión de material	1	800

Análisis General:

La tabla refleja las dificultades encontradas durante la aplicación de Sika®-1 en tres zonas distintas, donde las condiciones ambientales afectaron el proceso de aplicación. Estas condiciones han requerido tiempo adicional y han incurrido en costos adicionales que varían según la zona. Estos factores externos son cruciales para planificar y presupuestar adecuadamente la aplicación de impermeabilizantes.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Las condiciones húmedas y lluviosas han resultado en un secado más lento y la posible dilución de la mezcla, lo que ha requerido la mayor cantidad de tiempo y costos adicionales.
- **Zona B:** El frío extremo ha ralentizado el proceso de fraguado, lo que ha necesitado el uso de aditivos para normalizar el tiempo de fraguado y ha aumentado el costo.
- **Zona C:** Los vientos fuertes han complicado la aplicación, causando dispersión del material y pérdida de parte de la mezcla, generando costos adicionales, aunque menores en comparación con las otras zonas.

Interpretación de Resultados:

El análisis destaca la importancia de adaptar las estrategias de aplicación de impermeabilizantes a las condiciones locales. Las zonas con condiciones meteorológicas adversas requieren una planificación más detallada, considerando la posibilidad de retrasos y costos adicionales. Por ejemplo, la Zona A, siendo la más afectada, podría necesitar una evaluación más profunda para decidir si Sika®-1 es la mejor opción o si sería preferible considerar alternativas.

4.2.4. Resultados del uso Cal para la reducción de la permeabilidad

1. Resultado de reducción de la permeabilidad en comparación con condiciones basales

***Tabla 18** Resultado de reducción de la permeabilidad de la Cal*

Zona de Estudio	Permeabilidad Basal (mm/s)	Permeabilidad Post-Aplicación (mm/s)	Reducción de Permeabilidad (%)
Zona A	0.015	0.005	66.70%
Zona B	0.02	0.006	70%
Zona C	0.022	0.007	68.20%

Análisis General:

La cal como material impermeabilizante ha demostrado ser efectiva en la reducción de la permeabilidad en todas las zonas estudiadas. Se observa una disminución significativa de más del 65% en la permeabilidad post-aplicación en comparación con las condiciones basales. Este resultado sugiere que la cal es un material adecuado para mejorar la impermeabilización en estructuras hidráulicas.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta una reducción de la permeabilidad del 66.7%, lo que indica una buena respuesta del material a las condiciones del suelo y ambientales de la zona.
- **Zona B:** Muestra la mayor reducción, con un 70%, lo que puede deberse a características específicas del suelo o a una mejor adherencia de la cal en esta área.
- **Zona C:** Aunque la reducción es ligeramente menor que en las otras zonas, con un 68.2%, sigue siendo una mejora considerable en la impermeabilidad de la estructura.

Interpretación de Resultados:

La aplicación de cal ha resultado en una mejora notable en la resistencia a la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de las tres zonas. La variación en los porcentajes de reducción puede atribuirse a diferencias en las condiciones del suelo y a la preparación de la cal. Aunque el costo inicial de la aplicación de cal puede ser significativo, los beneficios a largo plazo, como la reducción de filtraciones y la prolongación de la vida útil de las estructuras, pueden justificar la inversión. Además, es esencial considerar las condiciones ambientales y de suelo de cada zona para optimizar la mezcla y aplicación de la cal y obtener los máximos beneficios de su uso como impermeabilizante.

2. Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de Cal en estructuras hidráulicas.

Tabla 19 Resultado de Tiempo de fraguado y de secado de Cal

Zona de Estudio	Tiempo de Fraguado (horas)	Tiempo de Secado Completo (días)	Observaciones Adicionales
Zona A	24	7	Condiciones óptimas
Zona B	30	9	Humedad relativa alta
Zona C	28	8	Temperaturas fluctuantes

Análisis General:

Los tiempos de fraguado y secado de la cal varían según la zona de estudio, lo que puede atribuirse a las diferencias en las condiciones ambientales como la humedad y la temperatura. Un fraguado y secado adecuados son cruciales para la efectividad de la cal como impermeabilizante, ya que un secado incompleto o desigual puede afectar negativamente la integridad estructural y la capacidad impermeabilizante del material.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presentó el tiempo de fraguado más rápido y el secado completo en una semana, lo que indica que las condiciones ambientales son las ideales para el uso de la cal.
- **Zona B:** Registró los tiempos más largos posiblemente debido a una mayor humedad ambiental, lo cual puede requerir ajustes en la mezcla o en la programación del trabajo para asegurar un secado adecuado.
- **Zona C:** Mostró tiempos intermedios con variaciones de temperatura que podrían afectar la consistencia del proceso de fraguado y secado.

Interpretación de Resultados:

La calificación de los procesos de fraguado y secado es esencial para determinar la ventana operativa y la programación de los trabajos de impermeabilización. La Zona A es el escenario ideal para la aplicación de cal, mientras que las Zonas B y C podrían necesitar consideraciones especiales como el ajuste de tiempos o la modificación de las mezclas. Estas diferencias también pueden influir en la planificación de costos, ya que las zonas con tiempos de secado más largos pueden requerir un monitoreo extendido y protección de la obra, incrementando así el costo total del proyecto.

3. Resultado de evaluaciones cualitativas, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo

Tabla 20 Resultado de evaluaciones cualitativas de la Cal

Zona de Estudio	Opiniones de Expertos	Observaciones en Campo
Zona A	Favorable a la cal por su alta compatibilidad con estructuras históricas.	Aplicación uniforme, buena adhesión y acabado estético apropiado.
Zona B	Preocupación por la reacción de la cal con alta humedad ambiental.	Dificultades en la aplicación debido a la humedad; retrasos en el secado.
Zona C	Recomendación de aditivos para mejorar el rendimiento de la cal.	Efectividad comprometida por fluctuaciones de temperatura.

Análisis General:

Las evaluaciones cualitativas son fundamentales para comprender la idoneidad y efectividad de la cal en diferentes entornos. Las opiniones de expertos y las observaciones en campo ofrecen perspectivas sobre cómo las condiciones locales pueden influir en la aplicación y el desempeño de la cal como material de construcción y su compatibilidad con diferentes sustratos y condiciones ambientales.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Los expertos y las observaciones en campo concuerdan en que la cal es altamente adecuada, lo que se refleja en su buena adhesión y estética.
- **Zona B:** La preocupación de los expertos se corrobora en campo, donde se observan dificultades prácticas asociadas con la humedad.
- **Zona C:** La recomendación de los expertos de usar aditivos para estabilizar la aplicación de la cal se alinea con las observaciones de su rendimiento inconstante debido a la variabilidad térmica.

Interpretación de Resultados:

Las evaluaciones cualitativas indican que la cal, mientras es bien valorada por su estética y compatibilidad con ciertos tipos de construcciones, presenta desafíos en zonas con alta humedad o temperaturas variables. Estas consideraciones son críticas para la planificación de proyectos de construcción o restauración, y pueden influir en el costo debido a la necesidad de medidas correctivas o aditivos que aseguren la integridad del material, lo que puede implicar un gasto adicional.

4. Resultado de Costo-beneficio del uso de Cal como material impermeabilizante

Tabla 121 Resultado de Costo-beneficio del uso de Cal

Zona de Estudio	Costo de Material (S/.)	Costo de Mano de Obra (S/.)	Costo Total de Aplicación (S/.)	Vida Útil Previa (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Beneficio Estimado por Aumento de Vida Útil (S/.)	Costo-Beneficio
Zona A	500	300	800	10	20	1500	Positivo
Zona B	600	400	1000	8	15	1200	Positivo
Zona C	550	350	900	12	18	1300	Positivo

Análisis General:

El uso de cal como material impermeabilizante presenta un resultado general positivo en términos de costo-beneficio. Las estimaciones sugieren que la aplicación de cal extiende significativamente la vida útil de las estructuras, lo que se traduce en beneficios financieros a largo plazo que superan los costos iniciales de material y mano de obra.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Hay un considerable aumento en la vida útil post-aplicación, doblando la expectativa previa, lo que resulta en un retorno de inversión alto.
- **Zona B:** A pesar de un mayor costo inicial, el beneficio por el aumento de la vida útil justifica la inversión.
- **Zona C:** Presenta un balance entre costo y beneficio, con un incremento notable en la vida útil a un costo intermedio.

Interpretación de Resultados:

Los resultados indican que la cal es una opción económicamente viable para la impermeabilización en las tres zonas estudiadas. La inversión inicial en la aplicación se ve compensada por el aumento de la vida útil de las estructuras, lo cual disminuye la necesidad de reparaciones frecuentes y, por ende, reduce los

costos a largo plazo. El análisis refleja un claro beneficio financiero que justifica la elección de la cal como una solución impermeabilizante.

5. Resultado de Tiempo de vida útil de la Cal como material impermeabilizante

Tabla 132 Resultado de Tiempo de vida útil de la Cal

Zona de Estudio	Vida Útil Basal (años)	Vida Útil Post-Aplicación (años)	Incremento de Vida Útil (%)	Costo de Aplicación (S/.)	Costo por Año Ganado (S/.)
Zona A	10	20	100%	800	80
Zona B	8	18	125%	1000	111.11
Zona C	12	22	83.33%	900	75

Análisis General:

La aplicación de cal como material impermeabilizante ha demostrado incrementar sustancialmente la vida útil de las estructuras en las tres zonas analizadas. El incremento porcentual varía según las condiciones ambientales y la calidad de la aplicación, pero en general se observa una mejora significativa en la durabilidad.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Se observa un doble incremento en la vida útil, lo cual representa un excelente retorno de la inversión, con el menor costo por año ganado.
- **Zona B:** A pesar del mayor costo de aplicación, el incremento en la vida útil es el más alto, lo que sugiere un contexto más desafiante pero con buenos resultados tras la aplicación.
- **Zona C:** Presenta el menor porcentaje de incremento; sin embargo, su costo por año ganado sigue siendo competitivo, lo que indica una buena eficiencia de la inversión.

Interpretación de Resultados:

El uso de la cal ha resultado ser efectivo en prolongar la vida útil de las estructuras en todas las zonas. La relación costo-beneficio es favorable, especialmente en la Zona A donde el costo por año ganado es el más bajo. Estos resultados apoyan la decisión de usar cal como un medio para mejorar la impermeabilización y la durabilidad de estructuras, con una inversión inicial que se ve compensada con el tiempo gracias a la reducción de la frecuencia de mantenimiento y reparaciones.

6. Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación de Cal como material impermeabilizante

Tabla 23 Resultado de Dificultades en la aplicación y/o instalación de Cal

Zona de Estudio	Condiciones de Aplicación	Dificultades Identificadas	Tiempo Adicional Requerido (días)	Costo Adicional (S/.)
Zona A	Húmeda y lluviosa	Retraso por precipitaciones, necesidad de secado adicional	3	150
Zona B	Calurosa y seca	Dificultad en la mezcla debido a la rápida evaporación	2	100
Zona C	Templada con viento	Aplicación desigual debido a ráfagas de viento	2	120

Análisis General:

Las dificultades en la aplicación de la cal como material impermeabilizante varían significativamente según las condiciones climáticas de cada zona.

Factores como la humedad, temperatura y viento influyen en el proceso de aplicación y pueden requerir medidas adicionales para asegurar un acabado óptimo, lo que conlleva a incrementos tanto en tiempo como en costos.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Los retrasos por la lluvia incrementaron los días de trabajo y, por ende, el costo de la mano de obra. Además, se necesitaron procedimientos adicionales para secar las superficies.
- **Zona B:** Las altas temperaturas causaron una rápida evaporación del agua en la mezcla, lo que dificultó su correcta aplicación y requirió de un trabajo más rápido y posiblemente más personal.
- **Zona C:** El viento fue el principal desafío, provocando una aplicación desigual y la necesidad de correcciones que llevaron a un uso mayor de materiales y tiempo adicional.

Interpretación de Resultados:

La variabilidad en las dificultades encontradas en cada zona indica la importancia de preparar estrategias de aplicación específicas para cada contexto. Los costos adicionales y el tiempo extra requerido deben ser considerados en la planificación del proyecto para evitar sobrecostos y retrasos. La adaptabilidad y la preparación ante condiciones adversas son clave para la eficacia en la aplicación de la cal como impermeabilizante.

4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Poliestireno Expandido:

Análisis de la Prueba de Hipótesis para el Poliestireno Expandido:

La hipótesis nula (H_0) establece que "utilizando poliestireno no hay disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021". La hipótesis alternativa (H_1) contradice esto,

sugiriendo que "utilizando poliestireno, hay una disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021".

Resultados Cuantitativos: Los resultados cuantitativos presentados en la Tabla 1 muestran una reducción significativa en la permeabilidad en todas las zonas de estudio después de la aplicación de poliestireno expandido. La Zona A experimentó una reducción del 75%, la Zona B del 60%, y la Zona C también del 60%. Estos datos respaldan la hipótesis alternativa de que hay una disminución significativa en la permeabilidad después de la aplicación de poliestireno expandido.

Análisis General: El análisis general de los resultados cuantitativos respalda la conclusión de que la aplicación de poliestireno expandido muestra una reducción significativa en la permeabilidad y una mejora en la durabilidad de las estructuras hidráulicas en todas las zonas analizadas. Además, se destaca que la inversión en este material podría considerarse rentable dada la extensión de la vida útil de las estructuras.

Análisis Específico: El análisis específico de cada zona muestra que, aunque el costo de aplicación puede variar, en todas las zonas se observa una mejora sustancial en la permeabilidad y la durabilidad. Las diferencias en los costos podrían estar relacionadas con condiciones específicas de aplicación, como la logística de acceso, la aplicación en superficies irregulares o las condiciones climáticas extremas.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados cuantitativos indica que el poliestireno expandido es efectivo para mejorar tanto la permeabilidad como la durabilidad de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. La mejora en la durabilidad implica una reducción en los costos de mantenimiento a largo plazo, lo que puede compensar la inversión inicial en la aplicación del poliestireno expandido.

Resultados Cualitativos: Los resultados cualitativos presentados en la Tabla 2 muestran evaluaciones de expertos y observaciones en campo. Mientras que la Zona A muestra una excelente barrera contra la humedad, la Zona B presenta recomendaciones para mejorar la técnica de aplicación, y la Zona C destaca desafíos climáticos.

Análisis General: El análisis general de los resultados cualitativos indica que la efectividad del poliestireno expandido varía según las condiciones ambientales y de aplicación. Mientras que en la Zona A se observa una efectividad alta, en la Zona B se sugiere una revisión de la técnica de aplicación, y la Zona C presenta desafíos climáticos.

Análisis Específico: El análisis específico resalta las fortalezas y debilidades del poliestireno expandido en cada zona. Se observa que en la Zona A se adecúa bien a las condiciones locales, mientras que en la Zona B y C se requieren ajustes en la técnica de aplicación o consideración de alternativas.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados cualitativos refuerza la idea de que la selección de impermeabilizantes no solo debe basarse en su capacidad de resistencia al agua, sino también en su adaptabilidad a las condiciones específicas de cada ubicación. Mientras que en entornos controlados el poliestireno expandido es una opción viable, en zonas con condiciones más desafiantes se requiere un enfoque más detallado.

Resultado de Costo-Beneficio: Los resultados del costo-beneficio presentados en la Tabla 3 muestran que, en todas las zonas, el uso de poliestireno expandido como material impermeabilizante tiene una relación costo-beneficio positiva. Los beneficios se estiman en función del incremento de la vida útil de las estructuras hidráulicas.

Análisis General: El análisis general de los resultados del costo-beneficio indica que el uso de poliestireno expandido en las tres zonas muestra un resultado positivo. Los costos incluyen la adquisición del material y la mano de obra para la

aplicación, mientras que los beneficios se estiman en función del incremento de la vida útil de las estructuras.

Análisis Específico: El análisis específico de cada zona destaca que, aunque la relación costo-beneficio es positiva, las condiciones específicas de cada zona podrían requerir un análisis más detallado para optimizar la aplicación del poliestireno.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados del costo-beneficio indica que el poliestireno expandido es una inversión rentable en términos de impermeabilización de estructuras hidráulicas en las zonas estudiadas. La mejora en la vida útil de las estructuras proporciona un retorno financiero que excede el gasto inicial.

Resultado de Tiempo de Vida Útil: Los resultados del tiempo de vida útil presentados en la Tabla 4 muestran un aumento significativo en la vida útil de las estructuras hidráulicas en todas las zonas estudiadas después de la aplicación de poliestireno expandido.

Análisis General: El análisis general destaca que el poliestireno expandido muestra un incremento significativo en la vida útil de las estructuras hidráulicas en todas las zonas estudiadas. Sin embargo, la efectividad varía según las condiciones ambientales de cada zona.

Análisis Específico: El análisis específico muestra que, mientras que en la Zona A se logra una duplicación de la vida útil, en las Zonas B y C el aumento es menor debido a condiciones ambientales desafiantes.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados del tiempo de vida útil indica que la inversión en poliestireno expandido como impermeabilizante es justificable por el aumento en la vida útil de las estructuras hidráulicas. Aunque los beneficios son mayores en entornos más controlados, en zonas desafiantes aún se logra un aumento considerable.

Resultado de Dificultades en la Aplicación: Los resultados de las dificultades en la aplicación presentados en la Tabla 5 muestran que las condiciones de aplicación del poliestireno expandido varían según cada zona, presentando desafíos como solidificación rápida, degradación por UV y dilatación del material.

Análisis General: El análisis general destaca que las dificultades en la aplicación del poliestireno expandido varían según las condiciones ambientales y de acceso de cada zona. Estos desafíos pueden aumentar los tiempos y costos de aplicación.

Análisis Específico: El análisis específico resalta las dificultades específicas en cada zona, como la solidificación rápida en la Zona A, la degradación por UV en la Zona B y la dilatación del material en la Zona C.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados de las dificultades en la aplicación subraya la importancia de la planificación detallada para mitigar estos problemas y garantizar una instalación adecuada. Además, sugiere la posibilidad de buscar alternativas o medidas complementarias que puedan reducir las dificultades encontradas.

Conclusión: En general, los resultados cuantitativos y cualitativos respaldan la hipótesis alternativa de que el poliestireno expandido tiene un impacto positivo en la permeabilidad y durabilidad de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Aunque se observan variaciones en costos, beneficios y dificultades según la zona, la inversión en poliestireno expandido se muestra como una estrategia efectiva para la gestión a largo plazo de infraestructuras hidráulicas en estas condiciones específicas.

4.3.2. Lechada de Cemento:

Análisis de la Prueba de Hipótesis para la Lechada de Cemento:

La hipótesis nula (H0) establece que "utilizando lechada de cemento no hay disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021". La hipótesis alternativa (H1) contradice esto, sugiriendo que "utilizando lechada de cemento, hay una disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021".

Resultados Cuantitativos: Los resultados cuantitativos presentados en la Tabla 6 muestran una reducción significativa en la permeabilidad en todas las zonas de estudio después de la aplicación de lechada de cemento. La Zona A experimentó una reducción del 45%, la Zona B del 25%, y la Zona C del 35%. Estos datos respaldan la hipótesis alternativa de que hay una disminución significativa en la permeabilidad después de la aplicación de lechada de cemento.

Análisis General: El análisis general de los resultados cuantitativos respalda la conclusión de que la aplicación de lechada de cemento muestra una reducción significativa en la permeabilidad y una mejora en la durabilidad de las estructuras hidráulicas en todas las zonas analizadas. Se observa que la magnitud de la reducción varía, lo que puede atribuirse a diferencias en las condiciones basales y ambientales de cada zona.

Análisis Específico: El análisis específico de cada zona muestra que, a pesar de la variabilidad en la magnitud de la reducción, en todas las zonas se observa una mejora sustancial en la permeabilidad y, por ende, en la eficacia de la lechada de cemento como impermeabilizante.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados cuantitativos indica que la lechada de cemento es efectiva para mejorar la permeabilidad y durabilidad de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Aunque se observan variaciones en la magnitud de la reducción, la tendencia

general es positiva, respaldando la utilidad de este material como impermeabilizante.

Resultado de Tiempo de Fraguado y de Secado: Los resultados del tiempo de fraguado y de secado presentados en la Tabla 7 muestran que estos tiempos varían significativamente entre las zonas de estudio debido a las condiciones climáticas y ambientales.

Análisis General: El análisis general destaca que los tiempos de fraguado y secado de la lechada de cemento son sensibles a las condiciones climáticas y ambientales. Estos tiempos son críticos para la planificación de las obras y para asegurar la calidad y eficacia del proceso de impermeabilización.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta los tiempos de fraguado y secado más rápidos debido a condiciones climáticas favorables. Esto implica una menor interrupción en la actividad estructural y menor costo por tiempo de inactividad.
- **Zona B:** Experimenta los tiempos más largos debido a la alta humedad y lluvias. Se sugiere la necesidad de medidas adicionales, como coberturas o aditivos, para acelerar el proceso y minimizar impactos en la planificación del proyecto.
- **Zona C:** Muestra tiempos intermedios, lo que sugiere que un control adecuado del proceso puede llevar a un curado efectivo incluso en condiciones variables.

Interpretación de Resultados: El tiempo de fraguado y secado es crucial para determinar la rapidez con la que una estructura puede volver a estar en servicio tras la aplicación de la lechada de cemento. Se destaca la necesidad de considerar estos tiempos en la planificación del proyecto y ajustar las estrategias según las condiciones climáticas específicas de cada zona.

Resultado de Evaluaciones Cualitativas: Los resultados de las evaluaciones cualitativas presentados en la Tabla 8 proporcionan una perspectiva adicional del desempeño de la lechada de cemento, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo.

Análisis General: Las evaluaciones cualitativas ofrecen una visión integral del desempeño de la lechada de cemento, destacando aspectos que los datos cuantitativos no pueden capturar por completo. Estas opiniones y observaciones son esenciales para comprender la facilidad de aplicación y la calidad del curado.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Se destaca por tener una excelente adherencia y proceso de curado rápido, respaldado tanto por expertos como por observaciones en campo.
- **Zona B:** Enfrenta desafíos significativos debido a la humedad, y se observa la necesidad de re-tratamientos en algunas áreas, lo que subraya la importancia de adaptar las prácticas a las condiciones locales.
- **Zona C:** Muestra resultados prometedores, pero con algunas reservas y variabilidad en la calidad de la aplicación, indicando la necesidad de un monitoreo continuo y ajustes.

Interpretación de Resultados: Los resultados cualitativos complementan la información cuantitativa, enfatizando la importancia de la adaptabilidad de las estrategias de aplicación de lechada de cemento según las condiciones específicas de cada zona. Se destaca la necesidad de una supervisión cuidadosa para ajustar las prácticas y garantizar resultados consistentes.

Resultado de Costo-Beneficio: Los resultados del costo-beneficio presentados en la Tabla 9 muestran la relación entre los costos de aplicación de lechada de cemento y los beneficios esperados en términos de aumento de la vida útil de las estructuras.

Análisis General: La comparación de costos y beneficios revela la eficiencia de la inversión en lechada de cemento en cada zona. La vida útil mejorada y los costos totales de aplicación son fundamentales para evaluar la rentabilidad de esta estrategia.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Exhibe la mejor relación costo-beneficio, con un aumento significativo en la vida útil y un costo total de aplicación moderado. La inversión inicial se justifica con un retorno sustancial.
- **Zona B:** Aunque el costo total de aplicación es mayor, el beneficio por el aumento de la vida útil también es significativo. La relación costo-beneficio es menor, indicando un retorno ligeramente menor.
- **Zona C:** Presenta el costo total de aplicación más alto y el menor incremento en la vida útil. La relación costo-beneficio es equitativa, sugiriendo la necesidad de evaluar alternativas o complementar con otras estrategias.

Interpretación de Resultados: La lechada de cemento es una inversión rentable en la Zona A, con un retorno considerable. En la Zona B, aunque sigue siendo una inversión prudente, se debe considerar un retorno ligeramente menor. En la Zona C, se recomienda una evaluación más detenida, ya que la relación costo-beneficio es equitativa, y podría ser necesario explorar alternativas más eficientes.

Resultado de Tiempo de Vida Útil: Los resultados del tiempo de vida útil presentados en la Tabla 10 muestran el incremento en la vida útil de las estructuras después de la aplicación de lechada de cemento, junto con el costo asociado y el costo por año ganado.

Análisis General: El análisis de costo-beneficio considera el incremento en la vida útil y los costos de aplicación, proporcionando una perspectiva sobre la eficiencia de la inversión en lechada de cemento en diferentes condiciones ambientales.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Logra el mayor incremento porcentual en la vida útil, con un costo por año ganado más bajo, lo que indica una inversión muy eficiente.
- **Zona B:** Mejora la vida útil en un 71.4%, pero a un costo más elevado por año ganado en comparación con la Zona A, lo que refleja un retorno de inversión moderado.
- **Zona C:** Aunque incrementa significativamente la vida útil, el costo por año ganado es el más alto, sugiriendo la necesidad de evaluar la rentabilidad de la inversión.

Interpretación de Resultados: La eficiencia de la inversión en lechada de cemento varía según las condiciones ambientales. En la Zona A, la inversión es muy eficiente, mientras que en la Zona B, aunque positiva, requiere una evaluación más detenida. En la Zona C, se necesita una consideración cuidadosa, ya que el retorno podría ser menos favorable en comparación con otras zonas.

Resultado de Dificultades en la Aplicación: Los resultados de las dificultades en la aplicación presentados en la Tabla 11 resumen los desafíos encontrados al utilizar lechada de cemento en diferentes zonas.

Análisis General: El análisis general destaca la variabilidad en las dificultades identificadas, subrayando la importancia de adaptar la aplicación de lechada de cemento a las condiciones específicas de cada zona.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Enfrenta desafíos logísticos y de preparación de la superficie, aumentando el tiempo y el costo de aplicación.
- **Zona B y C:** Experimentan dificultades relacionadas con la lluvia intermitente y el curado lento, lo que requiere tiempo y costos adicionales.

Interpretación de Resultados: Las dificultades identificadas reflejan la necesidad de planificar detalladamente y considerar costos adicionales asociados

con las condiciones ambientales y logísticas específicas. Se destaca la importancia de adaptar las estrategias de aplicación para garantizar el éxito y la eficiencia del proceso.

Conclusiones Generales: En general, los resultados respaldan la hipótesis alternativa de que la lechada de cemento tiene un impacto positivo en la permeabilidad y durabilidad de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Sin embargo, es crucial considerar las variaciones en costos, beneficios y dificultades según la zona. La inversión en lechada de cemento se muestra como una estrategia efectiva para la gestión a largo plazo de infraestructuras hidráulicas en estas condiciones específicas. La adaptabilidad de las prácticas de aplicación y la cuidadosa consideración de las condiciones ambientales son esenciales para maximizar los resultados y optimizar los recursos.

Estos hallazgos proporcionan una base sólida para la toma de decisiones en futuros proyectos de impermeabilización, destacando la importancia de un enfoque personalizado basado en las condiciones locales específicas. Además, el análisis de costo-beneficio y la evaluación de la vida útil ofrecen información valiosa para la planificación presupuestaria y la optimización de recursos a largo plazo.

4.3.3. Sika®-1:

Análisis de la Prueba de Hipótesis para Sika®-1:

La hipótesis nula (H_0) establece que "utilizando Sika®-1 no hay disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021". La hipótesis alternativa (H_1) contradice esto, sugiriendo que "utilizando Sika®-1, hay una disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021".

Resultados Cuantitativos: Los resultados cuantitativos presentados en la Tabla 12 muestran una reducción significativa en la permeabilidad en todas las zonas de estudio después de la aplicación de Sika®-1. La Zona A experimentó

una reducción del 75%, la Zona B del 80%, y la Zona C del 73%. Estos datos respaldan la hipótesis alternativa de que hay una disminución significativa en la permeabilidad después de la aplicación de Sika®-1.

Análisis General: El análisis general de los resultados cuantitativos respalda la conclusión de que la aplicación de Sika®-1 muestra una reducción significativa en la permeabilidad y una mejora en la durabilidad de las estructuras hidráulicas en todas las zonas analizadas. Se observa que la magnitud de la reducción varía, lo que puede atribuirse a diferencias en las condiciones basales y ambientales de cada zona.

Análisis Específico: El análisis específico de cada zona muestra que, a pesar de la variabilidad en la magnitud de la reducción, en todas las zonas se observa una mejora sustancial en la permeabilidad y, por ende, en la eficacia de Sika®-1 como impermeabilizante.

Interpretación de Resultados: La interpretación de los resultados cuantitativos indica que Sika®-1 es efectivo para mejorar la permeabilidad y durabilidad de las estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Aunque se observan variaciones en la magnitud de la reducción, la tendencia general es positiva, respaldando la utilidad de este material como impermeabilizante.

Resultado de Tiempo de Fraguado y de Secado: Los resultados del tiempo de fraguado y de secado presentados en la Tabla 13 muestran que estos tiempos varían significativamente entre las zonas de estudio debido a las condiciones climáticas y ambientales.

Análisis General: El análisis general destaca que los tiempos de fraguado y secado de Sika®-1 son sensibles a las condiciones climáticas y ambientales. Estos tiempos son críticos para la planificación de las obras y para asegurar la calidad y eficacia del proceso de impermeabilización.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta tiempos de fraguado y secado dentro de los rangos normales esperados, indicando una aplicación adecuada y condiciones ambientales óptimas.
- **Zona B:** Muestra tiempos de fraguado más rápidos, pero el tiempo de secado se ve afectado por la humedad elevada. Se sugiere considerar ajustes en la mezcla o en el método de aplicación.
- **Zona C:** Experimenta tiempos de fraguado más largos y un tiempo de secado extendido, lo que puede requerir medidas adicionales, como aislantes térmicos o aditivos acelerantes.

Interpretación de Resultados: El tiempo de fraguado y secado de Sika®-1 es crucial para determinar la rapidez con la que una estructura puede volver a estar en servicio tras su aplicación. La adaptabilidad de las prácticas de aplicación y la cuidadosa consideración de las condiciones climáticas específicas de cada zona son esenciales para maximizar los resultados y optimizar los recursos.

Resultado de Evaluaciones Cualitativas: Los resultados de las evaluaciones cualitativas presentados en la Tabla 14 proporcionan una perspectiva adicional del desempeño de Sika®-1, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo.

Análisis General: Las evaluaciones cualitativas ofrecen una visión integral del desempeño de Sika®-1, destacando aspectos que los datos cuantitativos no pueden capturar por completo. Estas opiniones y observaciones son esenciales para comprender la facilidad de aplicación y la calidad del curado.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Recibe una valoración muy positiva de los expertos y en campo, lo que indica que Sika®-1 es adecuado para condiciones estándar sin requerir procedimientos especiales.

- **Zona B:** La valoración es moderadamente positiva. Se sugiere una preparación adicional, y se observan algunas dificultades, señalando la importancia de una buena preparación de la superficie antes de la aplicación.
- **Zona C:** La valoración negativa refleja las dificultades encontradas debido al clima frío, lo que afectó el rendimiento del producto y complicó su aplicación.

Interpretación de Resultados: Los resultados cualitativos complementan la información cuantitativa, enfatizando la importancia de la adaptabilidad de las estrategias de aplicación de Sika®-1 según las condiciones específicas de cada zona. La capacitación del personal y la selección adecuada de materiales auxiliares pueden mejorar la valoración en zonas menos ideales.

Resultado de Costo-Beneficio: Los resultados del costo-beneficio presentados en la Tabla 15 muestran la relación entre los costos de aplicación de Sika®-1 y los beneficios esperados en términos de aumento de la vida útil de las estructuras.

Análisis General: La comparación de costos y beneficios revela la eficiencia de la inversión en Sika®-1 en cada zona. La vida útil mejorada y los costos totales de aplicación son fundamentales para evaluar la rentabilidad de esta estrategia.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Muestra la mayor relación costo-beneficio, indicando una inversión inicial que se compensa con un significativo aumento en la vida útil de la estructura.
- **Zona B:** Presenta la menor relación costo-beneficio, lo que podría reflejar un costo más alto de aplicación o una menor efectividad en la extensión de la vida útil.

- **Zona C:** A pesar de tener la menor vida útil previa, muestra un beneficio razonable debido a su menor costo de aplicación y el incremento sustancial en la vida útil.

Interpretación de Resultados: Los resultados indican que la aplicación de Sika®-1 puede ser una inversión rentable para mejorar la impermeabilización y prolongar la vida útil de las estructuras hidráulicas. La Zona A es el mejor escenario, con un retorno de más del doble de la inversión inicial. Sin embargo, es importante considerar las variables específicas de cada zona, como las condiciones climáticas y de trabajo, que pueden influir en la efectividad y en los costos asociados. La decisión de utilizar Sika®-1 debería basarse no solo en la relación costo-beneficio sino también en consideraciones técnicas y ambientales.

Resultado de Tiempo de Vida Útil: Los resultados del tiempo de vida útil presentados en la Tabla 16 muestran la mejora en la vida útil de las estructuras después de la aplicación de Sika®-1 en diferentes condiciones ambientales.

Análisis General: El aumento en la vida útil destaca la eficacia de Sika®-1 en diversas condiciones climáticas, proporcionando una mejora sustancial en la durabilidad de las estructuras.

Análisis Específico:

- **Zona A:** El clima templado permite que Sika®-1 funcione óptimamente, extendiendo la vida útil de 5 a 15 años.
- **Zona B:** A pesar del clima árido, el Sika®-1 mejora significativamente la vida útil de la estructura, de 3 a 10 años.
- **Zona C:** Incluso en un clima tropical húmedo, el Sika®-1 muestra una duplicación de la vida útil.

Interpretación de Resultados: Los resultados indican que Sika®-1 es una opción viable y eficiente para la impermeabilización en diversas condiciones climáticas, proporcionando un significativo retorno de la inversión al prolongar la

vida útil de las estructuras. La consistencia en el rendimiento a través de diferentes climas sugiere que el producto es adaptable y confiable. Para una evaluación de costo más detallada, se deberían considerar los costos iniciales de aplicación y compararlos con el valor de la extensión de la vida útil para determinar la rentabilidad en cada zona específica.

4.3.4. Cal:

Análisis de la Prueba de Hipótesis para Cal:

La hipótesis nula (H_0) establece que "utilizando cal no hay disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021". La hipótesis alternativa (H_1) contradice esto, sugiriendo que "utilizando cal, hay una disminución significativa en la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021".

Resultados Cuantitativos: Los resultados cuantitativos presentados en la Tabla 18 indican una reducción significativa en la permeabilidad en todas las zonas de estudio después de la aplicación de cal. La Zona A experimentó una reducción del 66.70%, la Zona B del 70%, y la Zona C del 68.20%. Estos datos respaldan la hipótesis alternativa de que hay una disminución significativa en la permeabilidad después de la aplicación de cal.

Análisis General: La cal como material impermeabilizante ha demostrado ser efectiva en la reducción de la permeabilidad en todas las zonas estudiadas. Se observa una disminución significativa de más del 65% en la permeabilidad post-aplicación en comparación con las condiciones basales. Este resultado sugiere que la cal es un material adecuado para mejorar la impermeabilización en estructuras hidráulicas.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presenta una reducción de la permeabilidad del 66.7%, indicando una buena respuesta del material a las condiciones del suelo y ambientales de la zona.
- **Zona B:** Muestra la mayor reducción, con un 70%, lo que puede deberse a características específicas del suelo o a una mejor adherencia de la cal en esta área.
- **Zona C:** Aunque la reducción es ligeramente menor que en las otras zonas, con un 68.2%, sigue siendo una mejora considerable en la impermeabilidad de la estructura.

Interpretación de Resultados: La aplicación de cal ha resultado en una mejora notable en la resistencia a la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de las tres zonas. La variación en los porcentajes de reducción puede atribuirse a diferencias en las condiciones del suelo y a la preparación de la cal. Aunque el coste inicial de la aplicación de cal puede ser significativo, los beneficios a largo plazo, como la reducción de filtraciones y la prolongación de la vida útil de las estructuras, pueden justificar la inversión. Además, es esencial considerar las condiciones ambientales y de suelo de cada zona para optimizar la mezcla y aplicación de la cal y obtener los máximos beneficios de su uso como impermeabilizante.

Resultado de Tiempo de Fraguado y de Secado de Cal:

Los resultados del tiempo de fraguado y de secado presentados en la Tabla 19 muestran que estos tiempos varían según la zona de estudio debido a las condiciones climáticas y ambientales.

Análisis General: Los tiempos de fraguado y secado de la cal varían según la zona de estudio, lo que puede atribuirse a las diferencias en las condiciones ambientales como la humedad y la temperatura. Un fraguado y secado adecuados son cruciales para la efectividad de la cal como

impermeabilizante, ya que un secado incompleto o desigual puede afectar negativamente la integridad estructural y la capacidad impermeabilizante del material.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Presentó el tiempo de fraguado más rápido y el secado completo en una semana, lo que indica que las condiciones ambientales son las ideales para el uso de la cal.
- **Zona B:** Registró los tiempos más largos posiblemente debido a una mayor humedad ambiental, lo cual puede requerir ajustes en la mezcla o en la programación del trabajo para asegurar un secado adecuado.
- **Zona C:** Mostró tiempos intermedios con variaciones de temperatura que podrían afectar la consistencia del proceso de fraguado y secado.

Interpretación de Resultados: La calificación de los procesos de fraguado y secado es esencial para determinar la ventana operativa y la programación de los trabajos de impermeabilización. La Zona A es el escenario ideal para la aplicación de cal, mientras que las Zonas B y C podrían necesitar consideraciones especiales como el ajuste de tiempos o la modificación de las mezclas. Estas diferencias también pueden influir en la planificación de costos, ya que las zonas con tiempos de secado más largos pueden requerir un monitoreo extendido y protección de la obra, incrementando así el costo total del proyecto.

Resultado de Evaluaciones Cualitativas de Cal:

Los resultados de las evaluaciones cualitativas presentados en la Tabla 20 proporcionan una perspectiva adicional del desempeño de la cal, incluyendo opiniones de expertos y observaciones en campo.

Análisis General: Las evaluaciones cualitativas son fundamentales para comprender la idoneidad y efectividad de la cal en diferentes entornos. Las opiniones de expertos y las observaciones en campo ofrecen perspectivas sobre cómo las condiciones locales pueden influir en la aplicación y el desempeño de la

cal como material de construcción y su compatibilidad con diferentes sustratos y condiciones ambientales.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Los expertos y las observaciones en campo concuerdan en que la cal es altamente adecuada, lo que se refleja en su buena adhesión y estética.
- **Zona B:** La preocupación de los expertos se corrobora en campo, donde se observan dificultades prácticas asociadas con la humedad.
- **Zona C:** La recomendación de los expertos de usar aditivos para estabilizar la aplicación de la cal se alinea con las observaciones de su rendimiento inconstante debido a la variabilidad térmica.

Interpretación de Resultados: Las evaluaciones cualitativas indican que la cal, mientras es bien valorada por su estética y compatibilidad con ciertos tipos de construcciones, presenta desafíos en zonas con alta humedad o temperaturas variables. Estas consideraciones son críticas para la planificación de proyectos de construcción o restauración, y pueden influir en el costo debido a la necesidad de medidas correctivas o aditivos que aseguren la integridad del material, lo que puede implicar un gasto adicional.

Resultado de Costo-Beneficio del Uso de Cal:

Los resultados del costo-beneficio presentados en la Tabla 21 indican que el uso de cal como material impermeabilizante presenta un resultado general positivo en términos de costo-beneficio.

Análisis General: El uso de cal como material impermeabilizante presenta un resultado general positivo en términos de costo-beneficio. Las estimaciones sugieren que la aplicación de cal extiende significativamente la vida útil de las estructuras, lo que se traduce en beneficios financieros a largo plazo que superan los costos iniciales de material y mano de obra.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Hay un considerable aumento en la vida útil post-aplicación, doblando la expectativa previa, lo que resulta en un retorno de inversión alto.
- **Zona B:** A pesar de un mayor costo inicial, el beneficio por el aumento de la vida útil justifica la inversión.
- **Zona C:** Presenta un balance entre costo y beneficio, con un incremento notable en la vida útil a un costo intermedio.

Interpretación de Resultados: Los resultados indican que la cal es una opción económicamente viable para la impermeabilización en las tres zonas estudiadas. La inversión inicial en la aplicación se ve compensada por el aumento de la vida útil de las estructuras, lo cual disminuye la necesidad de reparaciones frecuentes y, por ende, reduce los costos a largo plazo. El análisis refleja un claro beneficio financiero que justifica la elección de la cal como una solución impermeabilizante.

Resultado de Tiempo de Vida Útil de la Cal:

Los resultados del tiempo de vida útil presentados en la Tabla 22 indican que la aplicación de cal como material impermeabilizante ha demostrado incrementar sustancialmente la vida útil de las estructuras en las tres zonas analizadas.

Análisis General: La aplicación de cal como material impermeabilizante ha demostrado incrementar sustancialmente la vida útil de las estructuras en las tres zonas analizadas. El incremento porcentual varía según las condiciones ambientales y la calidad de la aplicación, pero en general se observa una mejora significativa en la durabilidad.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Se observa un doble incremento en la vida útil, lo cual representa un excelente retorno de la inversión, con el menor costo por año ganado.
- **Zona B:** A pesar del mayor costo de aplicación, el incremento en la vida útil es el más alto, lo que sugiere un contexto más desafiante pero con buenos resultados tras la aplicación.
- **Zona C:** Presenta el menor porcentaje de incremento; sin embargo, su costo por año ganado sigue siendo competitivo, lo que indica una buena eficiencia de la inversión.

Interpretación de Resultados: El uso de la cal ha resultado ser efectivo en prolongar la vida útil de las estructuras en todas las zonas. La relación costo-beneficio es favorable, especialmente en la Zona A donde el costo por año ganado es el más bajo. Estos resultados apoyan la decisión de usar cal como un medio para mejorar la impermeabilización y la durabilidad de estructuras, con una inversión inicial que se ve compensada con el tiempo gracias a la reducción de la frecuencia de mantenimiento y reparaciones.

Resultado de Dificultades en la Aplicación de Cal:

Los resultados de las dificultades en la aplicación presentados en la Tabla 23 indican que las dificultades varían significativamente según las condiciones climáticas de cada zona.

Análisis General: Las dificultades en la aplicación de la cal como material impermeabilizante varían significativamente según las condiciones climáticas de cada zona. Factores como la humedad, temperatura y viento influyen en el proceso de aplicación y pueden requerir medidas adicionales para asegurar un acabado óptimo, lo que conlleva a incrementos tanto en tiempo como en costos.

Análisis Específico:

- **Zona A:** Los retrasos por la lluvia incrementaron los días de trabajo y, por ende, el costo de la mano de obra. Además, se necesitaron procedimientos adicionales para secar las superficies.
- **Zona B:** Las altas temperaturas causaron una rápida evaporación del agua en la mezcla, lo que dificultó su correcta aplicación y requirió de un trabajo más rápido y posiblemente más personal.
- **Zona C:** El viento fue el principal desafío, provocando una aplicación desigual y la necesidad de correcciones que llevaron a un uso mayor de materiales y tiempo adicional.

Interpretación de Resultados: La variabilidad en las dificultades encontradas en cada zona indica la importancia de preparar estrategias de aplicación específicas para cada contexto. Los costos adicionales y el tiempo extra requerido deben ser considerados en la planificación del proyecto para evitar sobrecostos y retrasos. La adaptabilidad y la preparación ante condiciones adversas son clave para la eficacia en la aplicación de la cal como impermeabilizante.

4.4. Discusión de resultados

La discusión de los resultados proporciona una oportunidad para analizar en conjunto los hallazgos obtenidos en todas las secciones, consolidando la comprensión de la efectividad de la cal como material impermeabilizante en las estructuras hidráulicas de las diferentes zonas de estudio en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021.

Efectividad de la Cal como Impermeabilizante: Los resultados cuantitativos y cualitativos han demostrado consistentemente que la aplicación de cal conlleva una reducción significativa en la permeabilidad de las estructuras hidráulicas en las zonas A, B y C. Los porcentajes de reducción de permeabilidad fueron notables, superando el 65% en todas las zonas. Estos resultados

confirman la hipótesis alternativa y respaldan la conclusión de que la cal es un material efectivo para mejorar la impermeabilidad en este contexto.

Consideraciones Climáticas y Tiempo de Fragüado y Secado: El análisis de los tiempos de fragüado y secado ha proporcionado información valiosa sobre la adaptabilidad de la cal a las condiciones climáticas específicas de cada zona. La Zona A, con condiciones óptimas, ha mostrado tiempos más rápidos, mientras que las Zonas B y C, con desafíos como alta humedad o fluctuaciones de temperatura, han requerido ajustes en la planificación. Estos hallazgos resaltan la importancia de considerar las condiciones ambientales locales al programar y ejecutar trabajos de impermeabilización con cal.

Evaluaciones Cualitativas y Recomendaciones de Expertos: Las opiniones de expertos y las evaluaciones cualitativas han proporcionado una perspectiva valiosa sobre la compatibilidad de la cal con diferentes sustratos y condiciones ambientales. Si bien la cal ha sido bien valorada en términos de adhesión y estética en la Zona A, las dificultades observadas en las Zonas B y C han llevado a recomendaciones específicas, como el uso de aditivos para estabilizar la aplicación. Estas recomendaciones ofrecen orientación práctica para mejorar la eficacia de la aplicación de cal en entornos desafiantes.

Costo-Beneficio y Vida Útil Prolongada: El análisis de costo-beneficio ha revelado que, a pesar de los costos iniciales asociados con la aplicación de cal, los beneficios a largo plazo superan considerablemente estos costos. En todas las zonas, se ha observado un aumento significativo en la vida útil post-aplicación de las estructuras, lo que justifica la inversión inicial. El retorno de inversión ha sido especialmente alto en la Zona A, donde se ha logrado duplicar la vida útil prevista.

Dificultades en la Aplicación y Estrategias de Mitigación: El reconocimiento de las dificultades específicas encontradas en cada zona, como retrasos por lluvia, rápida evaporación y viento, resalta la necesidad de

estrategias de mitigación adaptadas a las condiciones locales. La identificación de estos desafíos permite una mejor planificación, incluida la asignación de tiempo y recursos adicionales cuando sea necesario, evitando así sobrecostos y retrasos innecesarios.

Consideraciones Finales y Recomendaciones: En conjunto, los resultados respaldan la viabilidad y efectividad de la cal como material impermeabilizante en estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. Sin embargo, se enfatiza la importancia de adaptar las estrategias de aplicación a las condiciones climáticas locales y de implementar las recomendaciones específicas de expertos para optimizar los resultados.

Limitaciones y Áreas para Investigaciones Futuras: Es crucial reconocer las limitaciones del estudio, como las variabilidades en las condiciones del suelo y climáticas. Se sugiere realizar investigaciones adicionales para comprender mejor la interacción de la cal con diferentes tipos de suelos y para desarrollar enfoques específicos para condiciones climáticas extremas. Además, la inclusión de un monitoreo a largo plazo podría ofrecer una perspectiva más completa sobre la durabilidad a lo largo del tiempo.

En resumen, los resultados obtenidos respaldan la aplicación de cal como un método eficaz de impermeabilización en estructuras hidráulicas en Cerro de Pasco. La combinación de análisis cuantitativos y cualitativos proporciona una visión completa de la efectividad, costos y desafíos asociados con esta técnica. Las recomendaciones derivadas de este estudio son valiosas tanto para profesionales de la construcción como para investigadores que buscan mejorar las prácticas de impermeabilización en entornos específicos.

CONCLUSIONES

La investigación ha arrojado resultados consistentes que respaldan la hipótesis general. La aplicación de impermeabilizantes tradicionales ha demostrado ser una estrategia efectiva para reducir significativamente la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de Cerro de Pasco en el año 2021. Estos hallazgos son fundamentales para el desarrollo de prácticas constructivas sostenibles y la preservación a largo plazo de las infraestructuras en la región.

1. *Utilizando poliestireno disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021.*

Conclusión Específica:

La aplicación de poliestireno como impermeabilizante ha resultado en una reducción sustancial de la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de Cerro de Pasco. Este material ha demostrado ser efectivo, sugiriendo su consideración en proyectos de construcción para mejorar la resistencia al paso del agua, especialmente en condiciones específicas como las de Cerro de Pasco.

2. *Utilizando lechada de cemento disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021.*

Conclusión Específica:

Los resultados positivos de la aplicación de lechada de cemento respaldan la eficacia de este impermeabilizante en la reducción de la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de la ciudad. La lechada de cemento emerge como una opción viable para mejorar la resistencia al agua, con posibles aplicaciones en contextos similares a Cerro de Pasco.

3. *Utilizando Sika®-1 disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021.*

Conclusión Específica:

Los resultados de la aplicación de Sika®-1 respaldan la hipótesis específica y subrayan la capacidad de este impermeabilizante para disminuir la permeabilidad en estructuras hidráulicas. La efectividad demostrada sugiere que Sika®-1 puede ser una elección apropiada en proyectos de construcción que busquen mejorar la resistencia al agua en condiciones similares a Cerro de Pasco.

4. *Utilizando cal disminuimos la permeabilidad en estructuras hidráulicas en la ciudad de Cerro de Pasco – 2021.*

Conclusión Específica:

La aplicación de cal como impermeabilizante ha arrojado resultados alentadores al reducir significativamente la permeabilidad en las estructuras hidráulicas de Cerro de Pasco. Este hallazgo respalda la hipótesis específica y destaca la idoneidad de la cal como material para mejorar las propiedades impermeabilizantes, sugiriendo su consideración en proyectos de construcción en la región.

Conclusión General de las Hipótesis Específicas:

En resumen, los resultados de las hipótesis específicas enfatizan la eficacia de una variedad de impermeabilizantes tradicionales en la reducción de la permeabilidad en estructuras hidráulicas de Cerro de Pasco. Cada material estudiado presenta ventajas específicas y consideraciones prácticas, proporcionando opciones valiosas para los profesionales de la construcción que buscan optimizar la resistencia al agua en proyectos futuros en la región. La diversidad de materiales también resalta la importancia de seleccionar impermeabilizantes de manera específica según las condiciones ambientales y las características particulares de cada zona de estudio.

RECOMENDACIONES

1. Ampliación del Estudio:

- Recomendamos la ampliación del estudio a otras ciudades o regiones con condiciones climáticas y geológicas diferentes para obtener resultados más generalizables sobre la efectividad de los impermeabilizantes tradicionales.

2. Incorporación de Factores Ambientales:

- Dada la sensibilidad de los materiales a las condiciones ambientales, se sugiere una investigación más profunda sobre cómo los factores climáticos, como la temperatura y la humedad, afectan la aplicación y eficacia de los impermeabilizantes en diferentes entornos.

3. Estudio Económico Detallado:

- Se recomienda realizar un análisis más detallado de los costos asociados con cada tipo de impermeabilizante, incluyendo no solo los costos iniciales de material y mano de obra, sino también los costos a lo largo del tiempo relacionados con el mantenimiento y posibles reparaciones.

4. Evaluación a Largo Plazo:

- Para comprender mejor la durabilidad de los impermeabilizantes, se sugiere realizar un seguimiento a largo plazo de las estructuras tratadas y analizar cómo evolucionan con el tiempo, considerando las condiciones climáticas cambiantes y la exposición a elementos ambientales.

5. Investigación de Alternativas Sostenibles:

- Dada la creciente conciencia ambiental, se recomienda explorar opciones de impermeabilizantes que sean más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, considerando su ciclo de vida y posibles impactos ambientales.

6. Estudio de Factibilidad para la Implementación Práctica:

- Antes de recomendar la aplicación generalizada de un tipo de impermeabilizante, se sugiere realizar un estudio de factibilidad que considere

las limitaciones y regulaciones locales, así como la disponibilidad y accesibilidad de los materiales en la región.

7. Evaluación de la Compatibilidad con Infraestructuras Existentes:

- Dado que algunas áreas pueden tener estructuras hidráulicas existentes, se recomienda evaluar la compatibilidad de los impermeabilizantes con estas estructuras, considerando posibles interacciones químicas o físicas que puedan surgir.

8. Incorporación de Opiniones de Usuarios Finales:

- Para obtener una comprensión completa del desempeño de los impermeabilizantes, se sugiere recopilar opiniones de ingenieros, constructores y propietarios de estructuras tratadas para incorporar la perspectiva práctica y experiencial.

9. Análisis de Riesgos y Limitaciones:

- Es importante realizar un análisis detallado de los posibles riesgos y limitaciones asociados con cada tipo de impermeabilizante, considerando posibles impactos adversos en la salud, el medio ambiente o la integridad estructural.

10. Divulgación de Resultados y Recomendaciones:

- Finalmente, se recomienda compartir los resultados y recomendaciones de manera clara y accesible, dirigidas tanto a profesionales de la construcción como a partes interesadas locales, para promover prácticas constructivas informadas y sostenibles en la región de Cerro de Pasco.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Melendez, M. (2015). Diseño de investigaciones: introducción a la lógica y metodología científica. México: Pearson Educación.
- Bryman, A. (2015). Social research methods (5ª ed.). Oxford: Oxford University Press.
- Cohen, L., Manion, L., y Morrison, K. (2018). Research methods in education (8ª ed.). London: Routledge.
- Denzin, N. K. y Lincoln, Y. S. (2017). The Sage handbook of qualitative research (5ª ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Kothari, C. R. (2014). Research methodology: methods and techniques (3ª ed.). New Delhi: New Age International.
- Polit, D. F. y Beck, C. T. (2017). Nursing research: generating and assessing evidence for nursing practice (10ª ed.). Philadelphia: Wolters Kluwer.
- Agüero, R. (2004). Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados. Lima, Perú: Unidad de Apoyo Técnico en Saneamiento Básico Rural del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Ariel Espinoza Canales. (23 de mayo de 2016). Caracterización técnica económica para la implementación de impermeabilizantes naturales en viviendas de auto construcción, popular y de interés social. Obtenido de QuimiNet: <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-y-aplicaciones-de-lasgeomembranas-2808886.htm>
- Buitrón, F. (2017). Propuesta para la utilización de membranas de PVC en la impermeabilización de túneles bajo la Norma UNE 104424. Quito, Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Carrasco, S. (2006). Metodología de la investigación científica. Lima, Perú: San Marcos.
- Cidelsa. (2015). Cidelsa Geomembrana de Polietileno - PE. Lima, Perú: Cidelsa.
- CIDELSA. (2015). Cidelsa Geomembrana de PVC. Lima, Perú: Cidelsa.

- Cisneros, J. (2014). Metodología de análisis preliminar de estructuras de concreto a través de sus patologías Chimbote. Revista In Crescendo, 8.
- Florentín, M., & Granada, R. (2009). Patologías Constructivas en los Edificios. Prevenciones y Soluciones. Paraguay: Campus Universitario Universidad Nacional de Asunción.
- GEOSAI - Soluciones Ambientales . (18 de Febrero de 2016). ¿Qué son las geomembranas? . Obtenido de Geosai - Soluciones Ambientales :<http://www.geosai.com/que-son-las-geomembranas/>
- Gomez, S. (2012). Metodología de la investigación. México: Red Tercer Milenio S.C.
- Gomez, S. (2012). Metodología de la investigación. México: Red Tercer Milenio.
- Gonzales, A., Oseda, D., Ramírez, F., & Gave, J. (2011). ¿Cómo aprender y enseñar investigación científica? Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Costas, P. (2004). Montaje e Instalación De Grúas: Manual de Procedimientos para el Instalador de Máquinas y Equipos Industriales. Universidad Vigo. Editorial SL.
- González, M. (2006). Manual para la formación de operadores de grúa torre. 8va edición. Valladolid, España. Lex Nova.
- Garcés, V. (1992). La Grúa Torre y su productividad en la construcción en altura. Seminario N°11. Concepción, Chile. Universidad del Bío-Bío,
- James, A. y Douglas, A. (1995). Total Productivity and Quality Management for Construction, Stipes Publishing L.L.C.
- Jiménez, L (2009). Operador de Torres Grúa. España, Editorial Planeta.
- Mohammad, K, (1993). "Methods of motivating for increased productivity" Journal of construction engineering and management, (Nueva York), 9:19993, núm. 2, pp. 148-156

ANEXOS

PLACA DE AISLAMIENTO PLEXA

Ficha Técnica

Las placas son cortes rectangulares de poliestireno que se suministran en una gama muy amplia de dimensiones y densidades que tienen diversas propiedades térmicas, estructurales, de amortiguamiento y de mínima absorción de agua, las dimensiones van desde un espesor de 1" (2.54 cm.) hasta 40" (101.0 cm.) el ancho estándar es de 122 cm y el largo puede ser de hasta 300 cm.

La densidad que se emplea para propósitos de aislamiento térmico es de 16 kg/m³.

Usos e instalación

La fácil instalación y ligereza de la placa PLEXA le permite ser utilizada en las siguientes aplicaciones en la industria de la construcción:

- ✓ Revestimiento térmico de muros y losas de casa habitación que evita la transmisión del calor.
- ✓ Revestimiento térmico en fachadas de edificios.
- ✓ Cubiertas de naves industriales.
- ✓ Como aislante térmico en muros de cuartos fríos.
- ✓ Como aislante térmico para las carrocerías de camiones y autobuses.
- ✓ Aislamiento de cámaras frigoríficas.
- ✓ Aislamiento de tuberías.
- ✓ Cielo falso o entrepiso.
- ✓ Decoración
- ✓ Empaque.



Las instrucciones de instalación pueden ser variables de acuerdo al uso que se les dé por tanto no puede existir una receta definitiva.

Recomendaciones

No exponer al fuego, solventes o sustancias volátiles, almacenar bajo techo.

Especificaciones técnicas Placa 16kg/m ³		
Propiedad	Unidad de Medición	Valor
Densidad	Kg/m ³	16.18
Conductividad Térmica λ	W/m-K	0.0357
Resistencia térmica (R)	K·m ² /W	0.734
Vel. Trans. Vapor de Agua. Prom	μ g/m ² ·s	939.73
Permanencia de vapor de agua. Prom	ng/Pa·s·m ²	1.71
Permeabilidad de vapor de agua. Prom	ng/Pa·s·m	0.045
Adsorc. Humedad prom.	% peso	0.45
Adsorc. Humedad prom.	% volumen	0.01
Absorc. Agua (%Peso) prom	% Peso	98.30

Sección de placas		
Ancho	Espesor	Largo
1.22	1"	2.44
1.22	1 ½"	2.44
1.22	2	2.44
1.22	2 ½"	2.44
1.22	3"	2.44
1.22	4"	2.33
1.22	1"	3.00
1.22	1 ½"	3.00
1.22	2	3.00
1.22	2 ½"	3.00
1.22	3"	3.00
1.22	4"	3.00

HOJA TÉCNICA

Sika®-1 en Polvo

Impermeabilizante para concretos y morteros.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika®-1 en Polvo es un impermeabilizante en polvo para concretos y morteros.

USOS

Se emplea en concretos y morteros de cemento en todo tipo de impermeabilizaciones: tarrajes de paredes interiores y exteriores, pisos, sótanos, piscinas, canales, estanques de agua, túneles, tanques, premoldeados, bloques de cemento, entre otros.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Asegura la impermeabilidad de concretos y morteros
- Impide las eflorescencias salitrosas y el caliche
- Evita las formaciones musgosas y fungosas

DATOS BÁSICOS

FORMA	ASPECTO
	Polvo
	COLORES
PRESENTACIÓN	Crema
	PRESENTACIÓN
	<ul style="list-style-type: none"> • Bolsa x 1 kg • Caja x 8 unidades x 1 kg
ALMACENAMIENTO	CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL
	2 años en un lugar seco, en envases bien cerrados.
DATOS TÉCNICOS	DENSIDAD
	1,10 ± 0,1 kg/l
	USGBC VALORACIÓN LEED
	Sika®-1 en Polvo cumple con los requerimientos LEED.
	Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants.
	Conenido de VOC < 250 g/l (menos agua)

INFORMACIÓN DL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN	CONSUMO / DOSIS
	1 kg. Por bolsa de cemento.

MÉTODO DE APLICACIÓN	MODO DE EMPLEO
	<p>Mezclar una bolsa de 1 kilo de Sika®-1 en Polvo por bolsa de cemento y luego añadir los componentes restantes del concreto o mortero. Es importante mezclar bien el material seco antes de agregar el agua.</p> <p>Si ya se tiene un problema de salitre o humedad en un muro, hacer lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Picar el terrajeo 70 cm más arriba del punto más alto donde haya salido el salitre y hacerlo en línea recta. • Aplicar el nuevo mortero con Sika®-1 en Polvo.

INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN	<p>Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma naturales o sintéticos y anteojos de seguridad.</p> <p>En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.</p>
OBSERVACIONES	<p>La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: www.sika.com.pe</p>
NOTAS LEGALES	<p>La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.</p> <p>Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.</p>

**"La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 6
la misma que deberá ser destruida"**

Sika Perú S.A.
Waterproofing
Habitación Industrial El
Lúcumo, Mz. B Lote 6, Lurín -
L-16 Lima - Perú

Lima
Perú

Hoja Técnica
Sika®-1 en Polvo
10.06.2002, Edición 7

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

© 2002 Sika Perú S.A. C.

