



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND CON ALTA
RESISTENCIA A LOS SULFATOS TIPO HS PARA LA
CONSTRUCCIÓN DE RESERVORIO EN EL PROYECTO DE
SANEAMIENTO DEL ESQUEMA VÍCTOR RAÚL HAYA DE LA
TORRE EN EL DISTRITO DEL CALLAO**

**PRESENTADA POR
FRANK BELLIDO LUNA**

**ASESOR
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

LIMA – PERÚ

2019



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**APLICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND CON ALTA RESISTENCIA
A LOS SULFATOS TIPO HS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE
RESERVORIO EN EL PROYECTO DE SANEAMIENTO DEL
ESQUEMA VÍCTOR RAÚL HAYA DE LA TORRE EN EL DISTRITO
DEL CALLAO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**PRESENTADA POR
BELLIDO LUNA, FRANK**

LIMA – PERÚ

2019

Dedicatoria

El presente trabajo se lo dedico a mis padres. A mi padre, por ser un ejemplo de vida, porque gracias a él se lo que es ser perseverante y cumplir mis objetivos. A mi madre, por su apoyo constante, sobre todo por los ánimos brindados en los momentos más difíciles. También, a todos mis seres queridos por hacer de esta etapa, una de las más hermosas de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la suerte de brindarnos salud y bienestar familiar para poder tener la oportunidad de realizar la presente investigación.

A la vida, por enseñarnos día a día que todo sacrificio tiene una gran recompensa, en especial verse realizado profesionalmente cumpliendo con nuestras metas que alguna vez de niño soñamos.

A la Universidad San Martín de Porres, por darnos la oportunidad de disfrutar nuestra carrera universitaria, la misma que llevaremos eternamente en nuestros pensamientos.

A los docentes, por enseñarnos y exigirnos a ser cada día mejores en este mundo competitivo.

A nuestros asesores, Mgtr. Ernesto Antonio Villar Gallardo y Mgtr. Juan Manuel Oblitas Santa María, por brindarnos sus valiosos conocimientos en el campo de la ingeniería civil para obtener mejores resultados en el desarrollo de nuestra investigación.

En general, a todas las personas que directa o indirectamente nos apoyaron para poder elaborar la presente investigación; pues cada aporte que nos brindaron fue de mucha importancia para alcanzar nuestros objetivos.

ÍNDICE

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación problemática.....	1
1.2 Formulación del problema	4
1.2.1 Problema general.....	4
1.2.2 Problemas específicos	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación e importancia de la investigación	5
1.4.1 Impacto teórico.....	5
1.4.2 Impacto práctico.....	6
1.5 Alcance de la investigación.....	6
1.6 Limitaciones	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Antecedentes de la investigación	7
2.1.1 Antecedentes nacionales	7
2.1.2 Antecedentes internacionales	9
2.2 Bases teóricas	11
2.2.1 Cemento.....	11
2.2.2 El clínker	11
2.2.3 Las puzolanas.....	11
2.2.4 Proceso de fabricación del cemento	12
2.2.5 Cemento Portland	14
2.2.6 Cemento con alta resistencia a los sulfatos tipo HS.....	21

2.3 Definición de términos básicos	29
2.4 Formulación de la hipótesis	29
2.4.1 Hipótesis general.....	29
2.4.2 Hipótesis específicas	29
2.5 Variables.....	30
2.5.1 Operacionalización de variables	30
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	32
3.1 Diseño de la investigación y muestreo.....	32
3.2 Tipo de investigación	33
3.3 Nivel de la investigación	33
3.4 Caso de la investigación	33
3.5 Técnicas de la investigación	33
3.6 Población y muestra	34
3.7 Instrumentación y procedimiento	34
CAPÍTULO IV DESARROLLO.....	35
4.1 Descripción del estudio.....	35
4.2 Ubicación del material.....	35
4.3 Granulometría	36
4.4 Diseño de mezcla para una $f'c=350$ kg/cm ² con cemento Portland tipo V y cemento Portland tipo HS.....	41
4.5 Resistencia a la compresión de probetas de concreto elaboradas con cemento Portland tipo V y cemento Portland tipo HS	44
4.6 Ensayo de expansión en autoclave de los cementos Portland Tipo V y Tipo HS.....	47
4.7 Tiempo de fraguado.....	51
4.8 Ensayo de permeabilidad al agua por profundidad de penetración	55
4.9 Costo de la aplicación del cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS.....	58

4.9.1 Precio de cemento.	58
4.9.2 Cotización para sustitución de cemento.....	60
CAPÍTULO V RESULTADOS.....	62
5.1 Resultados de granulometría para diseño de mezcla.....	62
5.1.1 Granulometría del agregado fino.....	62
5.1.2 Granulometría del agregado grueso.....	64
5.1.3 Cálculo del módulo de fineza de los agregados.....	65
5.2 Diseño de mezcla con cemento tipo V para una $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	68
5.2.1 Método de diseño del comité 211 del ACI.....	69
5.3 Diseño de mezcla con cemento Tipo HS para una $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$	71
5.3.1 Método de diseño del comité 211 del ACI.....	72
5.4 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión.....	74
5.4.1 Concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Portland tipo V	74
5.4.2 Concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Portland tipo HS	75
5.4.3 Resultado comparativo de resistencia a la compresión	76
5.5 Resultados de porcentaje de expansión en autoclave.....	79
5.5.1 Resultados del porcentaje de expansión en autoclave del cemento tipo V.....	79
5.5.2 Resultados del porcentaje de expansión en autoclave del cemento tipo HS	80
5.5.3 Resultado comparativo del porcentaje de expansión en autoclave..	81
5.6 Resultados del tiempo de fraguado	82
5.6.1 Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo V.....	82
5.6.2 Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo HS ..	83
5.6.3 Resultado comparativo del tiempo de fraguado	84
5.7 Ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua	87
5.7.1 Ensayo para determinar la permeabilidad al agua del concreto elaborado con cemento tipo V.....	87

5.7 Ensayo para determinar la permeabilidad al agua del concreto elaborado con cemento Portland tipo HS	88
5.7 Comparación de la permeabilidad al agua de los concretos elaborados con cemento Portland tipo HS y tipo V	89
5.8 Diferencia en la cotización de cambio de cemento	90
5.8.1 Diferencia de precio por bolsa de cemento	91
5.8.2 Diferencia en la cotización para sustitución de cemento.....	91
CAPÍTULO VI DISCUSION DE RESULTADOS	93
6.1 Discusión de resultados y antecedentes.....	93
6.2 Discusión de resultados e hipótesis.....	95
6.2.1 Hipótesis general.....	95
6.2.2 Hipótesis específicas.....	96
CONCLUSIONES.....	100
RECOMENDACIONES	102
FUENTES DE INFORMACION	103
ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Venta de bolsas de cemento Andino tipo HS en Lima</i>	1
Tabla 2	<i>Componentes del cemento</i>	15
Tabla 3	<i>Resumen de los compuestos principales del cemento</i>	17
Tabla 4	<i>Componentes del cemento</i>	21
Tabla 5	<i>Componentes del cemento tipo HS</i>	22
Tabla 6	<i>Proceso del cemento tipo HS</i>	22
Tabla 7	<i>Porcentaje del cemento tipo HS</i>	24
Tabla 8	<i>Componentes del cemento tipo v</i>	26
Tabla 9	<i>Proceso del cemento tipo V</i>	26
Tabla 10	<i>Porcentaje del cemento tipo V</i>	27
Tabla 11	<i>Operacionalización del estudio</i>	31
Tabla 12	<i>Resultados del ensayo granulométrico de agregado fino</i>	62
Tabla 13	<i>Resultados del ensayo granulométrico de agregado grueso</i>	64
Tabla 14	<i>Módulo de fineza de los agregados</i>	65
Tabla 15	<i>Peso unitario del agregado fino de la cantera de Jicamarca</i>	65
Tabla 16	<i>Peso unitario compactado del agregado fino de la cantera de Jicamarca</i>	66
Tabla 17	<i>Peso unitario del agregado grueso de la cantera de Jicamarca</i>	66
Tabla 18	<i>Peso unitario compactado del agregado grueso de la cantera de Jicamarca</i>	67
Tabla 19	<i>Análisis del peso específico y absorción del agregado grueso</i>	67
Tabla 20	<i>Análisis del peso específico y absorción del agregado fino</i>	68
Tabla 21	<i>Datos de la caracterización de los agregados</i>	68
Tabla 22	<i>Factor de corrección sin ensayos</i>	69
Tabla 23	<i>Volúmenes absolutos</i>	70
Tabla 24	<i>Datos de la caracterización de los agregados</i>	71
Tabla 25	<i>Factor de corrección sin ensayos</i>	72
Tabla 26	<i>Volúmenes absolutos</i>	73
Tabla 27	<i>Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo V</i>	74
Tabla 28	<i>Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo HS</i>	75
Tabla 29	<i>Comparación de las muestras a los 3 días</i>	76

Tabla 30	<i>Comparación de las muestras a los 7 días</i>	76
Tabla 31	<i>Comparación de las muestras a los 14 días</i>	77
Tabla 32	<i>Comparación de las muestras a los 21 días</i>	78
Tabla 33	<i>Expansión de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V</i>	79
Tabla 34	<i>Diferencia de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V</i>	79
Tabla 35	<i>Porcentaje promedio de expansión</i>	80
Tabla 36	<i>Expansión de longitud de las probetas del cemento tipo Portland HS</i>	80
Tabla 37	<i>Diferencia de longitud de las probetas del cemento tipo Portland HS</i>	80
Tabla 38	<i>Porcentaje promedio de contracción</i>	81
Tabla 39	<i>Cantidad de agua – cemento Portland tipo V</i>	82
Tabla 40	<i>Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo V</i>	83
Tabla 41	<i>Cantidad de agua – cemento Portland tipo HS</i>	83
Tabla 42	<i>Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland HS</i>	84
Tabla 43	<i>Comparación del fraguado inicial.</i>	84
Tabla 44	<i>Comparación del fraguado final</i>	85
Tabla 45	<i>Porcentajes de densidad, absorción y vacíos del cemento tipo V</i>	87
Tabla 46	<i>Ensayo de permeabilidad del cemento Portland tipo V</i>	87
Tabla 47	<i>Porcentajes de densidad, absorción y vacíos de cemento Portland tipo HS</i>	88
Tabla 48	<i>Ensayo de permeabilidad del cemento Portland tipo HS</i>	88
Tabla 49	<i>Comparación de porcentajes de densidad, absorción y vacíos</i>	89
Tabla 50	<i>Comparativa del ensayo de Permeabilidad</i>	89
Tabla 51	<i>Comparación de precios por bolsa de cemento</i>	91
Tabla 52	<i>Comparación en la cotización para la sustitución de cemento</i>	91
Tabla 53	<i>Diferencias entre el cemento tipo HS y tipo 5</i>	95
Tabla 54	<i>Resumen de la comparación de los cementos tipo V y tipo HS</i>	99

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ventas de bolsas de cemento Andino tipo HS en Lima.....	2
<i>Figura 2.</i> Consecuencias de químicos externos.....	3
<i>Figura 3.</i> Deterioro de concreto por agentes externos	3
<i>Figura 4.</i> Fábrica cementera UNACEM.....	13
<i>Figura 5.</i> Producción del cemento Portland.....	14
<i>Figura 6.</i> Componentes del cemento Portland	15
<i>Figura 7.</i> Cemento Portland tipo HS.....	22
<i>Figura 8.</i> Proceso de fabricación del cemento tipo HS.....	25
<i>Figura 9.</i> Proceso de fabricación del cemento V.....	28
<i>Figura 10.</i> Ubicación de cantera.....	35
<i>Figura 11.</i> Cantera de Jicamarca	36
<i>Figura 12.</i> Tamizado de agregado grueso	36
<i>Figura 13.</i> Peso de agregado grueso suelto.....	37
<i>Figura 14.</i> Peso de agregado grueso para peso unitario	37
<i>Figura 15.</i> Peso de agregado grueso compactado.....	38
<i>Figura 16.</i> Peso de agregado grueso compactado.....	38
<i>Figura 17.</i> Peso de agregado fino para peso unitario.....	39
<i>Figura 18.</i> Caracterización de cemento tipo V.....	39
<i>Figura 19.</i> Peso del cemento tipo V	40
<i>Figura 20.</i> Caracterización de cemento tipo HS	40
<i>Figura 21.</i> Comparativo entre cemento tipo V y tipo HS	41
<i>Figura 22.</i> Diseño de mezcla.....	42
<i>Figura 23.</i> Mezcla plástica.....	42
<i>Figura 24.</i> Cono de Abrams	43
<i>Figura 25.</i> Moldes de testigos	43
<i>Figura 26.</i> Testigos de concreto tipo HS	44
<i>Figura 27.</i> Rotura de probeta a compresión	45
<i>Figura 28.</i> Rotura de probeta a compresión	45
<i>Figura 29.</i> Rotura de probeta a compresión	46
<i>Figura 30.</i> Rotura de probeta a compresión	46
<i>Figura 31.</i> Limpieza de moldes para ensayo de expansión	47
<i>Figura 32.</i> Máquina para ensayo de expansión.....	48

<i>Figura 33.</i> Máquina para ensayo de expansión.....	49
<i>Figura 34.</i> Asegurar la cápsula.....	49
<i>Figura 35.</i> Máquina de expansión a 300 psi.....	50
<i>Figura 36.</i> Aparato de medición de longitud	51
<i>Figura 37.</i> Acarreo de materiales	52
<i>Figura 38.</i> Tamizado en malla #20	52
<i>Figura 39.</i> Pesaje de cemento.....	53
<i>Figura 40.</i> Mezcla de mortero.....	53
<i>Figura 41.</i> consistencia de mezcla	54
<i>Figura 42</i> Calcular consistencia de mezcla	54
<i>Figura 43</i> Fraguado final	55
<i>Figura 44</i> Pintado de epoxico.....	56
<i>Figura 45</i> Ensayo de permeabilidad.....	56
<i>Figura 46</i> Retiro de dispositivo	57
<i>Figura 47</i> Probeta fuera del dispositivo	57
<i>Figura 48</i> Bolsa de cemento Portland tipo V	58
<i>Figura 49</i> Bolsa de cemento Portland tipo HS.....	59
<i>Figura 50</i> Boleta de compra de cementos.....	59
<i>Figura 51</i> Cotización con cemento Portland tipo HS	60
<i>Figura 52</i> Cotización con cemento Portland tipo V.....	61
<i>Figura 53</i> Curva granulométrica de agregado fino	63
<i>Figura 54</i> Curva granulométrica del agregado grueso	64
<i>Figura 55</i> Comparación de muestras a los 3 días	76
<i>Figura 56</i> Comparación de las muestras a los 7 días	77
<i>Figura 57</i> Comparación de las muestras a los 14 días	77
<i>Figura 58</i> Comparación de las muestras a los 21 días	78
<i>Figura 59</i> Comparación promedio de resistencia a la compresión.....	78
<i>Figura 60</i> Variación de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V .	79
<i>Figura 61</i> Variación de longitud de las probetas del cemento Portland tipo HS81	
<i>Figura 62</i> Comparación del porcentaje de expansión en autoclave	82
<i>Figura 63</i> Comparación del fraguado inicial	85
<i>Figura 64</i> Comparación del fraguado final	86
<i>Figura 65</i> Comparación del tiempo de fraguado	86
<i>Figura 66</i> Comparativa del ensayo de permeabilidad	90

<i>Figura 67</i> Comparación de precios por bolsa de cemento	91
<i>Figura 68</i> Comparación en la cotización para la sustitución de cemento	92
<i>Figura 69.</i> Resistencia a la comprensión F'C vs. Días de rotura.....	96
<i>Figura 70.</i> Diferencia en la cotización para sustitución de cemento	97
<i>Figura 71.</i> Porcentaje de expansión en autoclave.....	97
<i>Figura 72.</i> Tiempo de fraguado: minutos vs. fraguado total	98
<i>Figura 73.</i> Comparación de los centímetros de penetración de los cementos tipos V y HS	99
<i>Figura 74</i> Acarreo de materiales para la ejecución de ensayos	113
<i>Figura 75</i> Elaboración del concreto para fabricación de probetas.....	113
<i>Figura 76</i> Cálculo de slump para el diseño de mezcla	114
<i>Figura 77</i> Cálculo de Slump para el diseño de mezcla.	114
<i>Figura 78</i> Colocación de probeta en compresora hidráulica.	115
<i>Figura 79</i> Ejecución de ensayo de resistencia a la comprensión.....	115
<i>Figura 80</i> cierre de capsula para ensayo de porcentaje de expansión en autoclave.....	116
<i>Figura 81</i> Apagado de primera válvula para conseguir una presión constante dentro de la capsula.	116
<i>Figura 82</i> Probetas para ensayo de porcentaje de expansión en autoclave..	117
<i>Figura 83</i> Calculo de porcentaje de expansión de probeta.	117
<i>Figura 84</i> Toma de datos para ensayo de tiempo de fraguado.....	118
<i>Figura 85</i> Separamos la parte final del cemento con la malla n° 20.....	118
<i>Figura 86</i> Con el aparato Vicat, calculamos el tiempo de fraguado final del cemento.....	119
<i>Figura 87</i> Cálculo de permeabilidad de concreto.	119
<i>Figura 88</i> Concluye los 4 días de ensayo.	120
<i>Figura 89</i> Calculo de mm de penetración.....	120

Índice de anexos

Anexo 1 Matriz de consistencia.....	106
Anexo 2 Características de materiales y granulometría	107
Anexo 3 Resultados de ensayo a la compresión.....	108
Anexo 4 Resultados de ensayo de porcentaje en autoclave.....	109
Anexo 5 Resultados de ensayo de tiempo de fraguado vicat.....	110
Anexo 6 Ensayo de permeabilidad	111
Anexo 7 Análisis de costo	112
Anexo 8 Panel fotográfico	113

RESUMEN

La presente investigación parte de la observación de la ventaja económica y técnica del cemento Portland antisulfato, llamado tipo HS, frente al empleo del cemento Portland tipo V. Debido a ello se planteó el objetivo principal de establecer la viabilidad técnica y económica de la aplicación del cemento Portland tipo HS para la construcción de un reservorio del proyecto de saneamiento del esquema en el distrito del Callao, de esta manera se incentiva una nueva forma de aplicación de estos cementos para evitar la generación de daños a causas de los sulfatos. Se utilizó el método experimental, es decir analizar los resultados del cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS y compararlos con el cemento Portland tipo V en los laboratorios de la Universidad Nacional de Ingeniería y de la Universidad Federico Villarreal para determinar el cemento con mejores características físicas y químicas. Una vez obtenidos los resultados de resistencia a los sulfatos, resistencia a la compresión, tiempo de fraguado y permeabilidad, se realizó el diseño de mezcla para la elaboración del concreto para la construcción del reservorio. Luego se elaboró el estudio económico y técnico en la viabilidad al utilizar el cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS, se identificó cual sería el costo al utilizar este cemento con respecto a otro de similares características. Finalmente, se evaluaron los resultados de la resistencia a la compresión, resistencia a los sulfatos, permeabilidad y tiempo de fraguado que presenta este cemento con alta resistencia a los sulfatos tipo HS y se comparó con el cemento Portland tipo V de tal manera que con los sulfatos obtenidos beneficié a las empresas constructoras, tanto en la parte del presupuesto y la construcción de nuevas estructuras.

Palabra clave: cemento con alta resistencia a los sulfatos tipo HS, resistencia al ataque de los sulfatos, tiempo de fraguado, permeabilidad, resistencia a la compresión

ABSTRACT

This research is based on the observation of the economic and technical advantage of Portland antisulfate cement, called type HS, compared to the use of Portland cement type V. Due to this, the main objective of establishing the technical and economic feasibility of the application of Portland cement type HS for the construction of a reservoir of the sanitation project of the scheme in the district of Callao, in this way a new form of application of these cements is encouraged to avoid the generation of damages due to sulfates. The experimental method was used, that is, to analyze the results of Portland cement with high resistance to sulfates type HS and compare them with Portland cement type V in the laboratories of the National University of Engineering and the Federico Villareal University to determine the cement with Better physical and chemical characteristics. Once the results of sulfate resistance, compressive strength, setting time and permeability were obtained, the mixture design was made for the preparation of the concrete for the construction of the reservoir. Then, the economic and technical study on the viability was elaborated when using Portland cement with high resistance to sulfates type HS, it was identified what the cost would be when using this cement with respect to another of similar characteristics. Finally, the results of the compressive strength, sulfate resistance, permeability and setting time presented by this cement with high resistance to sulfates type HS were evaluated and compared with Portland cement type V in such a way that with the Sulfates obtained benefit the construction companies, both in the budget and the construction of new structures.

Keyword: cement with high sulfate resistance type HS, sulfate attack resistance, setting time, permeability, compressive strength

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen suelos o terrenos con alta concentración de sulfatos y otros componentes químicos que dañan las estructuras de concreto. Con el tiempo, estos afectan la durabilidad y la resistencia de las estructuras construidas. Este problema plantea la necesidad de producir un cemento que garantice que el concreto resista al ataque de los sulfatos; es decir, que alcance un porcentaje bajo de expansión. Dicha resistencia a la compresión debe estar dentro de los estándares requeridos: un moderado tiempo de fraguado y una permeabilidad baja para mitigar los agentes químicos que son agresivos con el concreto.

En el mercado, existe un nuevo cemento de última generación, es el Portland tipo HS. Este cemento moderno, cada vez más, se está volviendo muy comercial, debido a que soporta la acción de los sulfatos: a un determinado tiempo de fraguado, resistente a la compresión y asegura una baja permeabilidad.

Existen diversos agentes químicos que atacan el concreto. Estas pertenecen al ecosistema de las sales; específicamente, a la denominada etringita, ya que surge de los sulfatos y los aluminatos. El cemento Portland tipo HS combate la etringita; sin embargo, aún no se ha evaluado su viabilidad técnica y económica en la construcción de reservorios de agua potable. Así, esta investigación busca medir dicha factibilidad en un proyecto de saneamiento VRHT, en el distrito del Callao.

El cemento presenta una gran variedad aplicaciones que dan origen a diversos concretos. Los mismos que varían en sus atributos físicos: resistencia a la compresión, calor de hidratación, tiempo de fraguado, permeabilidad y, sobre todo, resistencia al ataque de sulfatos. Debido a esto, la presente investigación

busca determinar nuevas formas de construir, de brindar seguridad y de garantizar el desarrollo de un proyecto civil.

La presente tesis se compone de seis capítulos y sus partes complementarias: resumen, introducción, conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos. Los seis apartados se detallan a continuación.

En el primer capítulo, se plantea el problema general y los problemas específicos; además de desarrollar el escenario problemático, determinar los objetivos y justificar la investigación.

En el segundo capítulo, se desarrolla lo concerniente al marco teórico: los antecedentes, las bases teóricas, los términos básicos y la hipótesis general y las hipótesis específicas.

En el tercer capítulo, se da a conocer la metodología empleada en la investigación: el tipo, el nivel y el diseño de la investigación; asimismo se presentan las variables de estudio. Por último, se realiza la operacionalización de las variables.

En el cuarto capítulo, se aborda sobre el desarrollo de la investigación: los diseños de mezcla de los concretos elaborados con los cementos Portland tipo V y HS; y los ensayos a los que se sometieron.

En el quinto capítulo, se presentan los resultados a los que arribó este estudio: los datos recopilados de cada ensayo, las que sirven para el logro de los objetivos.

En el sexto capítulo, se discuten los resultados: el contraste entre los resultados de esta investigación y otras realizadas por otros especialistas sobre el mismo asunto.

Finalmente, se muestran las conclusiones y las recomendaciones a partir de la presente tesis.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Este estudio se ambienta en una obra de saneamiento que fue ejecutado como un proyecto de inversión de Sedapal. Se presentó una solicitud para sustituir el cemento Portland tipo V por otro cemento Portland que cumpla con los requisitos dirigidos en el expediente técnico: Portland tipo HS, la cual resultó altamente resistente a los sulfatos. El proveedor de cemento, que abastece a las empresas de venta de concreto premezclado, indica que solo produce el cemento tipo V de forma limitada, debido a que su fabricación resulta muy contaminante. Por eso, solo atiende pedidos especiales que superen las 20000 toneladas. Asimismo, a las empresas de venta de concreto premezclado tipo V, que suministran cantidades pequeñas, no les resulta rentable.

A continuación, se mostrará un cuadro con la venta de bolsas de cemento Andino ultra tipo HS, entre los años 2017 y 2018 en Lima.

Tabla 1
Venta de bolsas de cemento Andino tipo HS en Lima

AÑO	VENTAS (bls)
Enero-Febrero (2017)	125,345
Marzo-Abril (2017)	113,234
Mayo-Junio (2017)	97,454
Julio-Agosto (2017)	101,236
Septiembre-Octubre (2017)	109,347
Noviembre-Diciembre (2017)	100,485
Enero-Febrero (2018)	134,456
Marzo-Abril (2018)	154,675
Mayo- Junio (2018)	138,639
Julio-Agosto (2018)	152,964
Septiembre-Octubre (2018)	146,864
Noviembre-Diciembre (2018)	130,538

Fuente: UNACEM S.A. (2018)

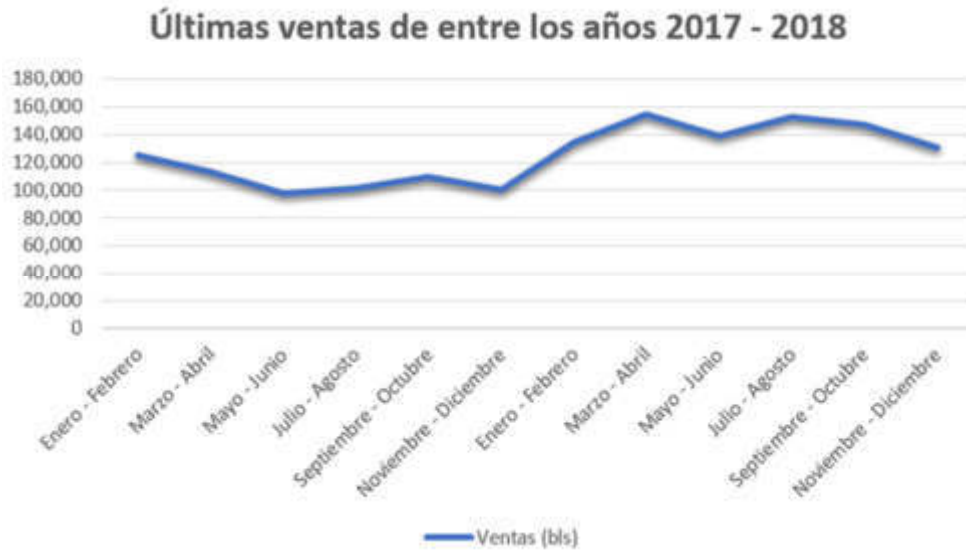


Figura 1. Ventas de bolsas de cemento Andino tipo HS en Lima
Fuente: UNACEM S.A.(2018)

Como se puede observar en la figura 1, la venta de bolsas de cemento Andino tipo HS, entre los años 2017 y 2018, no tuvo una continuidad constante ni mucho menos ascendente; debido a que los consumidores potenciales no han llegado a conocer este producto, lo cual genera una baja demanda del mismo.

En el Perú, existe una gran cantidad de proyectos civiles que se están realizando como muestra de inversión y desarrollo socioeconómico. Sin embargo, tales obras civiles se ven afectadas por el salitre; particularmente, por el sulfato y el cloruro que dañan el concreto al endurecerse.

Ante la necesidad de paliar este daño, existen intentos por elaborar nuevos tipos de cemento con alta resistencia a sulfatos tipo HS; el mismo que no solo combate tales daños, sino que también genera un cuidado con el medio ambiente, debido a que en su fabricación se produce una cantidad mínima de CO², contribuyendo así a la reducción de los gases de efecto invernadero.

Esta clase de cemento es elaborado a base de clínker de alta calidad: puzolana natural de origen volcánico con alta reactividad y contenedora de yeso.

De lo mencionado líneas atrás, se puede afirmar que la precariedad muchas obras de concreto a causa del salitre plantea la necesidad de combatirlos por medio de una renovación en la construcción civil. En el Perú, existen zonas con alto contenido de salitre; específicamente, un conjunto de

agentes químicos que atacan al concreto, debilitándolas estructuralmente. Así, se debe de combatirlos para evitar que las estructuras no resulten debilitadas al momento de la ejecución de un proyecto de construcción.



Figura 2. Consecuencias de químicos externos.

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3. Deterioro de concreto por agentes externos

Fuente: Elaboración propia.

Como podemos observar en las figuras 2 y 3, se evidencian los daños que genera los sulfatos (sales) al afectar las estructuras y el acero. Esto provoca la debilitación de toda la estructura de obra civil, trayendo consigo daños irreparables. Es por ello que, antes de iniciar una construcción, es bueno analizar los factores que puedan afectar la estructura con el fin de encontrar soluciones,

trabajo que podría realizarse en colaboración entre los ingenieros y el los maestros de obra.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general

¿Con qué fin se opta por comparar las propiedades de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland tipo V en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao?

1.2.2 Problemas específicos

¿Con qué fin se opta por comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao?

¿Con qué fin se opta por comparar la resistencia a los sulfatos de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao?

¿Con qué fin se opta por comparar el tiempo de fraguado de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao?

¿Con qué fin se opta por comparar la permeabilidad de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Comparar las propiedades de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V a fin de obtener una viabilidad

técnica y económica en el proyecto de saneamiento Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao a través de ensayos de laboratorio.

1.3.2 Objetivos específicos

Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V a fin de obtener la mejor cotización de concreto para el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.

Comparar la resistencia a los sulfatos de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V a fin de obtener el concreto con mayor durabilidad de la estructura en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao

Comparar el tiempo de fraguado de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V a fin de obtener el concreto con mejor trabajabilidad en estado fresco para el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.

Comparar la permeabilidad de los concretos elaborados con el cemento Portland tipo HS y el cemento Portland Tipo V a fin de obtener la mayor vida útil de la estructura en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.

1.4 Justificación e importancia de la investigación

Esta investigación busca ser un aporte en la construcción de obras civiles; ya que busca evidenciar que la durabilidad, resistencia a la compresión y tiempo de fraguado del cemento Portland tipo HS supera al de un cemento de similares características. Este tipo de cemento satisface los requerimientos técnicos: es viable y previene daños estructurales futuros causados por el salitre.

1.4.1 Impacto teórico

Sin duda, esta investigación es innovadora, debido a que fomenta el uso del cemento HS, resistente al ataque de los sulfatos. Este tipo de cemento permite elaborar concretos con un porcentaje bajo de expansión; es decir, con un número menor de fisuras y con una mayor vida útil.

1.4.2 Impacto práctico

El cemento HS, al analizar sus propiedades y su proceso de fabricación, resulta más barato que el cemento tipo V, lo cual se traduce en un ahorro económico considerable para las compañías de ventas y de consumo; en otras palabras, implica una reducción en los precios al momento de evaluar los presupuestos de obra.

1.5 Alcance de la investigación

Se buscó una nueva opción de aplicación del cemento Portland, con alta resistencia a los sulfatos tipo HS, en la construcción de un reservorio. Este formó parte del proyecto de saneamiento del Esquema VRHT del distrito del Callao. El empleo de este tipo de cemento en esta obra no solo implica un ahorro económico considerable, sino también permite reducir la contaminación ambiental.

1.6 Limitaciones

En el proceso de la investigación, se presentó la dificultad de no contar con la disponibilidad del laboratorio de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad San Martín de Porres, debido a la gran cantidad de alumnos, por lo cual se optó por recurrir a la búsqueda de otro más cercano. Una vez que se empezó a utilizar el laboratorio, se realizaron modificaciones en el diseño con el propósito de evaluar con mayor exactitud la variación de ambos concretos: en resistencia a la compresión, en tiempo de fraguado, porcentaje de expansión y porcentaje permeabilidad. Esto permitió obtener conclusiones más precisas y de acuerdo al requerimiento de la NTP. Además, otra razón para cambiar de laboratorio estuvo motivada porque el laboratorio de la facultad no contaba con los equipos necesarios para realizar los ensayos de medición de la expansión en autoclave, la permeabilidad al agua y el tiempo de fraguado Vitac.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Los antecedentes de este estudio son investigaciones que se centran en determinar los beneficios de aplicar al concreto un cemento con alta resistencia a los sulfatos. Tales investigaciones fueron realizadas tanto en el Perú como en el extranjero. Estos se resumen a continuación en los siguientes dos apartados.

2.1.1 Antecedentes nacionales

Cabrera (2017), en su investigación *Evaluación del comportamiento del Concreto, elaborados con cementos: Tipo I y Tipo HS, modificados con aditivos Naftalenos y Policarboxilatos*, señala que el cemento Andino HS es más trabajable que el cemento Sol T-I; ya que, en las pruebas de laboratorio, el primer tipo de cemento superó al segundo en un 16% en otorgar más versatilidad en el trabajo.

El Perú es un país con una gran variedad de climas, lo que hace que existan diversos tipos de construcciones según su ubicación, es por ello que el cemento Portland HS entra en acción al momento de combatir los sulfatos que afectan muchas de estas obras civiles.

Según los ensayos, este tipo de cemento presenta bajo porcentaje de álcalis como de aluminatos, lo que hace un cemento muy fuerte y resistente a ambientes agresivos. Normalmente estos tipos de cemento son utilizados en construcciones para estructuras hidráulicas, como son las losas de hidrante, losas de filtrado, para hacer floculadores en reservorios. Estas estructuras están expuestas al agua y sales que continuamente generan el salitre y la oxidación del acero.

Por otra parte, Tello y Tello (2018), en su tesis *Influencia del uso de agua del pozo irhs-42 del balneario los palos en la resistencia a la compresión del concreto utilizado en el distrito de la Yarada – los palos de la provincia de Tacna*, señala que de los resultados obtenidos en el laboratorio la mezcla M-3 (Agregados+ Cemento HS + Agua de Pozo), permitió determinar que la evolución de la resistencia a los 7,14 y 28 día puede variar de acuerdo al tipo de cemento utilizado. En ese caso, el cemento tipo HS con alta resistencia a los sulfatos obtuvo porcentajes de crecimiento llegando a obtener un 10% de mayor resistencia a sulfatos que a los de la mezcla M-2 (agregados+ cemento HE + agua de pozo). Estuvo dentro del promedio de crecimiento esperado, siendo apto el uso de cemento HS para el mezclado con agua de pozo.”

Es importante considerar los problemas que se generan al momento de producir mortero ya que debemos de evitar el contacto con sales, tal como lo menciona en la tesis *Corrosión del mortero de cemento con armadura, por ataque del cloruro de sodio* (Rimarachin,2013). Este señala que el ataque de cloruros y sulfatos, producen degradación por expansión y fisuración; sino también, un decrecimiento de la resistencia a la compresión, debido a la pérdida de cohesión en la pasta de cemento, con privación de consistencia entre la pasta y las partículas del agregado.

De otra manera (Alfaro & Laura,2014), en *Estudio comparativo para la sustitución de un cemento Portland tipo v entre un cemento puzolánico con especificaciones de la performance tipo HS en la fábrica de cemento Yura S.A*, menciona que las propiedades fisicoquímicas del cemento, que se determinaron por medio de los ensayos en el laboratorio, con rendimiento de tipo HS modifican el porcentaje de puzolana con respecto al cemento tipo V; con estos cambios, se define que el cemento con el 23% de puzolana, con especificaciones tipo HS, la que puede reemplazar al del tipo V, a causa de ser altamente resistente a los sulfatos, presentar resistencia a la compresión. Todo lo mencionado debe estar dentro de la NTP 344.009 “Cementos Portland. Requisitos” y con la NTP 334.082 “Cementos Portland. Especificaciones de la Performance”.

Los cementos Portland tipo HS son considerados para ambientes donde presentan gran contenido de humedad y por consecuente es considerado óptimo para combatir estos agentes durante la ejecución del proyecto. Como por

ejemplo las obras hidráulicas, como canales, floculadores de reservorios, caja de bombas en caseta de filtrado, estas últimas están continuamente asechadas con el agua, es por ello, que durante su ejecución se realiza la prevención con los tipos de cemento que existen en el mercado, con la finalidad de combatir la corrosión del concreto y sobre todo que dañe al acero, para evitar futuras pérdidas.

Por otra parte (Ruiz & Vasallo,2018), en su investigación *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos elaborados con cementos ICO, MS y UG, Trujillo 2018*, mediante el laboratorio que “se ejecutó el ensayo de resistencia a los sulfatos del concreto en estado endurecido elaborado con cementos ICO, MS y UG; señala que al utilizar el cemento tipo MS se logra características similares que al utilizar el cemento tipo HS, la cual también presenta una alta resistencia a los sulfatos, sobre todo utilizados en estructuras de suelos salitrosos. Asimismo, señala que algunos cementos anti salitres que presentan mejor desempeño son menos costosos que los tradicionales.

2.1.2 Antecedentes internacionales

Es bueno saber que para preparar estos tipos de cemento es importante que cada componente se desarrolle de la mejor manera, para garantizar un producto de calidad, tal como lo menciona López (2000) en su investigación *Estudio de aditivos aluminosos en el clínker y propiedades del cemento Portland*; estudio donde se señala que las fábricas dedicadas a la producción de cementos representa un avance tecnológico para el uso de residuos peligrosos como los que no son. La razón primordial son las altas temperaturas de los hornos y el tiempo en que se encuentran perennes, con lo cual se afianza la separación de los componentes orgánicos e inorgánicos.

Por tal motivo los cementos tipo HS son elaborados para obtener un moderado calor de hidratación y baja reactividad con agregados álcali; reactivos. Cabe señalar que en algunos casos al utilizar el cemento tipo HS para el tarrajeo de paredes ya no es necesario el uso de pintura, debido al acabado que se obtiene.

De otra manera, Hernandez (2006), en su estudio *Concreto en la Obra, Problemas, causas y soluciones. Cemento y concreto Resistencias a los*

sulfatos, sostiene que el concreto elaborado con cementos anti salitre, ejercen mayor fluidez en su pasta, presentan mayor resistencia a la compresión, y altamente a los sulfatos siempre y cuando su diseño este bien elaborado. Según lo obtenido en el laboratorio la resistencia a la compresión para una $f'c=175\text{kg/cm}^2$ fue de $f'c=182\text{kg/cm}^2$ de una probeta elaborado con cemento tipo HS mientras que con uno elaborado con un tipo v fue de $f'c=178\text{kg/cm}^2$. Al igual que el cemento tipo HS presenta un porcentaje menor de expansión (0.020%) que otro tradicional (0.021%).

Vilanova (2009), en su tesis *Influencia de la dosificación y empleo de diferentes tipos de cemento Y adiciones en las propiedades mecánicas del hormigón autocompactante*, señala que “los cementos para alta resistencia a las sales presentan menor tiempo de fraguado y en algunos casos mayor resistencia de compresión que un cemento convencional, esto debido a su composición y a su producción. Esto debido a que en los ensayos de laboratorio se demostró que el cemento Portland tipo HS presenta menor porcentaje de expansión (0.021%) que el del cemento tipo V (0.023%). Por consecuencia a esto, el cemento tipo HS presentan mayor fortaleza con resto a otro y es óptimo para ambientes húmedos”.

De otra manera Ponce y Tapia (2015), en su estudio *Comportamiento de cementos ecuatorianos con humo de sílice y aditivo super plastificante*, afirma que estos aditivos se aumentan con el fin de mejorar las propiedades físicas del hormigón, generando aumentos en la resistencia y otras propiedades mecánicas. En Ecuador, se han desarrollado principalmente, tres empresas fabricante de cemento HS. Cada una de ellas, desarrollan sus productos con los distintos estándares internacionales, con la finalidad primordial de ofrecer el mejor cemento ecuatoriano.

Cabe señalar que el cemento Holcim, presenta una alta resistencia a los sulfatos en comparación con otros tipos, esto debido a que su porcentaje de expansión es menor con respecto a los demás y varía entre 0.021% y 0.023%”.

Finalmente, Castillo (2015), en *Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice*, menciona que existen cementos altamente resistentes a los sulfatos y a la humedad y sobre todo ideal para todo tipo de suelo, como los cementos tipo MS y HS, la cual es

esencial para utilizarse en obras hidráulicas, acueductos, canales, así como edificaciones que soportan ataques químicos. Según los resultados obtenidos en los ensayos el cemento tipo HS presenta menor porcentaje de expansión (0.022%) que un cemento convencional (0.024%), lo cual lo hace muy resistente a los sulfatos.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Cemento

El cemento se obtiene por trituración y cocción, a altas temperaturas, cercanas a 1450°C, de una mezcla mineral denominada clínker, que está compuesta por arcillas y calizas. Estos polvos, están formados por sales minerales, anidares inestables, en particular silicatos y aluminatos de cal, que forman al mezclarse con el agua, una pasta ávida de hidratarse, endureciéndose progresivamente por el fraguado que se origina al reaccionar el cemento con el agua, de ahí su denominación de conglomerante hidráulico (ASTM C-150).

2.2.2 El clínker

Es producido por la cocción hasta la fusión parcial, proceso denominado clínkerización, de una mezcla de calizas y arcillas, dosificadas y homogeneizadas que se componen principalmente de óxido de calcio (CaO), sílice (SiO₂) y alúmina (Al₂O₃). La mezcla adquiere eso a partir de productos naturales de cantera, tal como la caliza, arcilla, marga, etc. Al clínker, una vez triturado, se le adiciona en pequeñas cantidades de sulfato de calcio, más conocido como yeso, que actúa como catalizador en la fragua violenta del C3A, a este producto se le denomina Cemento Portland (ASTM C-150).

2.2.3 Las puzolanas.

Son materias que comprenden minerales silíceos y aluminosos que, cada uno de ellos, tienen casi o poco o carece de valor cementoso, pero, en la forma fraccionada y en asistencia de humedad, responde con el hidróxido de calcio a las temperaturas ordinarias, para crear agregados que tienen participaciones cementosas.

Las puzolanas de uso más común son la ceniza muy fina, el humo silíceo y puzolanas naturales (Alfaro & Laura, 2014).

2.2.3.1 Clasificación de las Puzolanas a. Puzolanas Naturales

Las puzolanas naturales de procedente de los volcanes son todas originarios del acopio de polvos, cenizas o barros irritantes que han conseguido las particularidades de una piedra. También consiguen sus atributos puzolánicos por las acciones químicas del vapor de agua recalentado, del bióxido de carbono dentro de la corteza terrestre y del brusco enfriamiento al ser arrojados al exterior. Están surtido por sílice, alumínicos y alcalinas hidratadas, parecida a la arcilla, en forma vítrea o cristalina (Alfaro y Laura, 2014).

La puzolana artificial es elaborado para reemplazar la falta de los minerales naturales, esta es producto de la cocción y pulverización de las arcillas y pizarras a temperaturas que oscilan entre los 600° a 900° C, según contengan más o menos calizas; estas, a una pulverización análoga a la del cemento Portland, también pueden ser: cenizas volantes, arcillas activadas o calcinadas artificialmente, escorias de fundición y cenizas de residuos agrícolas (Alfaro y Laura, 2014).

2.2.4 Proceso de fabricación del cemento

a) Elaboración del cemento Portland

Para iniciar el proceso de elaboración del cemento, se tiene que extraer las materias primas que se encuentran en las canteras, la utilización de piedra caliza o greda va a depender de su proceso de fabricación, esto debido a la disponibilidad del material o su bajo costo. Estas dos son similares, pero sus propiedades físicas son las que las distinguen en menor cantidad. Con lo cual, su procesamiento sea mínimamente diferente.

La greda, se convierte en pequeñas partículas, se combina con agua y arcilla, y se retira el barro es filtrado para desechar toda partícula gruesa. Posteriormente es molida con bolas de acero y regresada a la corriente principal. La piedra caliza, una vez extraída de la cantera, es molida, combinado con arcilla y agua; el barro que resulta es pasado por las bolas de acero para volver a triturarlo. (ASTM C-150)



Figura 4. Fábrica cementera UNACEM

Fuente: UNACEM S.A.

b) Formación del clínker

Este material es formado por la combinación húmeda de componentes básicos. Después de ello, se le lleva al horno donde se va a producir varios cambios químicos y se formará el clínker. Inicialmente, se realiza el secado por evaporación del agua. La mezcla continua, a lo largo del horno, creciendo cada vez su temperatura.

La arcilla una vez calentada se deshidrata justo al momento que el carbonato de calcio pierde dióxido de carbono para convertirse en cal viva. Parecido a lo que pasa en un horno de cal. Cuando se encuentran a cortas distancias del horno se convierten en rojo blanco, debido a su alta temperatura, y generan nuevas combinaciones químicas que dan como producto el clínker.

El horno presenta, una pequeña pendiente para que pueda pasar los materiales fácilmente. Las altas temperaturas al extremo se generan quemando combustible, que normalmente es carbón pulverizado. Aunque también podría utilizarse gas natural o petróleo. Lo que normalmente produce un horno rotativo es de 500 toneladas/día de clínker y puede consumir hasta 450 kg de carbón.

El clínker es enfriado, a temperatura ambiente, antes de salir del horno. Para obtener un producto de buena calidad, esta debe pasar por ensayos en cada etapa de su producción. (ASTM C-150)

c) Del clinker al Cemento

El clinker está guardado mientras no se triture. Mediante la molienda del clinker se agrega una determina cantidad de yeso, la cual va servir para equilibrar el tiempo de fraguado del cemento después de echarle agua.

En casi todas las moliendas, el clinker es pulverizado para que después se transporte por medio de bombas neumáticas a grandes silos. Su peso en el mercado es de 42.5 kg el saco (ASTM C-150).



Figura 5. Producción del cemento Portland

Fuente: elaboración propia

2.2.5 Cemento Portland

Aglomerante hidrófilo generado artificialmente por la trituración del clinker, con la adición de 5% en peso de yeso natural (sulfato de calcio); que al mezclarse con el agua, produce una masa capaz de endurecer como la piedra, el fenómeno químico conocido como hidratación, cuya rapidez de reacción, está influenciada por la finura del cemento y es inversamente proporcional al tiempo, por lo que inicialmente, es muy rápido y va decreciendo paulatinamente, el proceso es exotérmico, porque produce calor hacia afuera denominado calor de hidratación (NTP 334.009).

2.2.5.1 Composición del cemento Portland

Los componentes principales de la materia prima, para la fabricación del cemento, Portland son:

	COMPONENTE	PROCEDENCIA
95%	Oxido de Calcio (CaO)	rocas calizas
	Oxido de Sílice (SiO)	areniscas
	Oxido de Aluminio (AlO)	arcillas
	Oxido de Hierro (FeO)	arcillas, mineral de hierro, pirita.
5%	Oxido de Magnesio, Sodio,	minerales varios
	Potasio, Titanio, Azufre,	
	Fósforo y Magnesio.	

Figura 6. Componentes del cemento Portland

Fuente: Santa Cruz, 2001

Los porcentajes típicos en que intervienen los óxidos en cemento Portland son los que representan en la siguiente tabla.

Tabla 2
Componentes del cemento

Compuesto	Porcentaje (%)	Abreviatura
CaO	1-67	C
SiO	20-27	S
AlO	4-7	A
FeO	2-4	F
SO	1-3	
MgO	1-5	
KO y NaO	0.25- 1.5	

Fuente: Santa cruz, 2001

Sobre la base de sus óxidos principales (los cuatro primeros óxidos), se calculan los probables compuestos del cemento. El método generalizado es el de Bogue, la que permite establecer los compuestos principales del cemento.

Es durante la operación de horneado, en la preparación del clínker del cemento Portland, que el Óxido de Calcio se combina con los componentes ácidos de la mezcla fresca, para formar cuatro principales compuestos que

contemplan el 90% del cemento por peso, el sulfato de calcio y otros materiales también están presentes.

Los siguientes son los principales componentes, su fórmula química y abreviación:

a) Silicato tricálcico:

Es el compuesto que señala la resistencia inicial y es importante en el calor de hidratación.

b) Silicato dicálcico:

Es el compuesto que señala la resistencia a largo plazo y no es tan importante en el calor de hidratación.

c) Aluminato Tricálcico:

En forma aislada no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento, actuando como catalizador, por lo que se requiere añadir yeso para controlarlo. Disminuye la resistencia del cemento a los sulfatos.

d) Aluminoferrito tetracálcico:

Tiene alcance en la velocidad de hidratación y en forma secundaria en el calor de hidratación.

Además de estos compuestos principales, para completar el análisis se incluyen los llamados compuestos secundarios:

- Calibre CaO
- Alcalis $K_2O + Na_2O$
- Oxido de Magnesio: MgO
- Residuo Insoluble: RI
- Anhídrido Sulfúrico: SO_3 .

La variación de los compuestos en el cemento Portland es muy grande, el ASTM, para el cemento Portland tipo I de uso ordinario, no da límites de compuestos, por lo que se considera si un cemento satisface los requerimientos físicos y está dentro de los requerimientos químicos, sus óxidos principales y sus

compuestos pueden tener cualquier valor, en caso de otros tipos de cemento da ciertos límites en algunos óxidos y compuestos.

Luego del proceso de fabricación del clínker y trituración final, se obtiene una serie de compuestos que son los que definen el comportamiento del cemento hidratado. Estos se nombran a continuación (ASTM C-150):

- Silicato tricálcico
- Silicato dicálcico
- Aluminato tricálcico
- Aluminato ferritotetracálcico
- Oxido de Mg Oxido de K y
- Na Oxido de Mg y Ti

Tabla 3

Resumen de los compuestos principales del cemento

	Silicato dicálcico	Silicato tricálcico	Aluminato tricálcico	Perroaluminato tetracálcico
Composición	65% de cal 34.9% sílice	73% cal 27% sílice	63% cal 37% aluminio	46% cal 32% fierro 22% aluminio
Constitución mineralógica	Se presenta en diversas formas redondas	Cristales poligonales en los bordes	Componente interfásial	Material interfásial clara
Veolicidad de hidratación	Lento calor de hidratación	Rápido calor de hidratación	El primero de los 4 en hidratarse	Rápido calor de hidratación
Resistencias mecánicas	Principal contribuyente a resistencia a largo plazo	Contribuyente en forma fuerte a las resistencias iniciales	Desarrollo de resistencias a las primeras 24 horas	No está claramente definida
Estabilidad en volumen	Regular	Buena	Muy mala	Mala

Fuente: Santa Cruz, 2001

2.2.5.2 Características físicas y mecánicas del cemento Portland

a) Peso específico

Este parámetro está de acorde con un material compactado y su valor se encuentra entre 3.0 y 3.2. La norma norteamericana, considera un promedio de 3.15, este valor es considerado en un cemento normal. Con los valores señalados, se realizarán parámetros de evaluación (NTP 334.005).

b) Tiempo de fraguado

Es el tiempo que se demora el concreto en endurecer, por lo cual generalmente se toma varios tiempos para realizar la comparación con otros cementos, y así obtener datos precisos de evaluación. (NTP 334.006)

- **Fraguado inicial**

Es el momento inicial en el que el concreto empieza a tomar consistencia, a endurecerse; por tal, a perder plasticidad. En esta etapa se genera el proceso exotérmico o también conocida calor de hidratación.

Según el ensayo de tiempo de fraguado Vitac, tiempo de fraguado inicial se determina cuando la aguja del aparato Vicat haya penetrado hasta los 25 mm (NTP 334.006).

- **Fraguado final**

El momento final, en el que concluye el fraguado, se caracteriza por tener un endurecimiento completo con deformaciones permanentes, pérdida total de plasticidad y trabajabilidad.

Según el ensayo de tiempo de fraguado Vitac, tiempo de fraguado inicial, se puede determinar cuando la aguja del aparato Vicat ya no pueda penetrar la masa (NTP 334.006).

c) Calor de hidratación

La fragua y el cemento endurecido, son producto de las reacciones dadas entre las unidades del cemento y el agua. Estas reacciones generan una cantidad de calor conocida con el nombre de calor de hidratación, la que depende de la composición química y la fineza del cemento. En lo referente a la composición química, la cal es el compuesto que ejerce mayor influencia. Se

sabe que, en cuanto a su fineza, un incremento de esta produce un mayor calor de hidratación. Asimismo, las elevadas temperaturas, al inicio del curado, acelera el desarrollo del calor de hidratación. La utilidad del conocimiento de esta propiedad química radica en que, en base ella, se puede determinar qué tipo de cemento usar en la construcción de determinadas obras. El calor de hidratación cumple funciones de auto protección cuando se trata de un medio de clima frío (NTP 334.064).

d) Resistencia a los sulfatos

La presencia de sulfatos más solubles es más nociva al concreto. La exposición del concreto hacia los sulfatos tiene lugar cuando la solución de sulfato en el concreto y reacciona químicamente con sus elementos, especialmente con la matriz de cemento.

Las causas que afectan la resistencia a sulfatos del concreto no son únicamente aquellas que intervienen en la reacción química con la matriz de cemento, sino también aquellos que influyen en la permeabilidad y calidad total del concreto (NTP 334.094).

e) Expansión autoclave o estabilidad de longitud

Son las variaciones de longitudes que tiene lugar en la pasta de cemento cuando persiste en el gabinete húmedo por un periodo de dos días antes que se realice el desencofrado del molde para la medición de su longitud.

La determinación de estas diferenciaciones nos señala la capacidad de cambio de longitud de los componentes estructurales, pronosticando así los posibles agrietamientos o descaramientos cuando estos cambios son trascendentales.

La expansión no debe superar el 0.80% (NTP 334.004).

f) Resistencia a la compresión

Es el proceso por el cual los moldes de concreto son llevados a la máquina de compresión para obtener sus valores: a los 3, 7, 14, 21 y 28 días de estar curado los moldes (estar bajo el agua). Estos parámetros sirven para poder analizar si el diseño es el más óptimo a utilizar para futuras construcciones. Las resistencias mecánicas del cemento están en función a la finura de los

componentes químicos, el porcentaje de hidratación y agua agregadas a la pasta (NTP 334.051).

2.2.5.3 Clasificación de los cementos Portland

Los distintos tipos de cemento que se encuentran en el mercado son los que se listan a continuación.

a) Cemento Portland tradicionales

- Tipo 1: Son comúnmente utilizados.
- Tipo 2: Tienen moderada resistencia a los sulfatos y calor de hidratación.
- Tipo 3: Son los que se desarrollan rápidamente con alto calor de hidratación, usados para climas fríos.
- Tipo 4: Calor de hidratación bajo
- Tipo 5: Altamente resistente a los sulfatos, usados para ambientes muy agresivos. (NTP 334.009)

b) Cementos mezclados o adicionados

- Tipo IS: Este tipo de cemento, se le añade entre 25% a 70%, de escorias de altos hornos, del peso total.
- Tipo IP: Este tipo de cemento, se le añade entre 15% y 40% de puzolana, del peso total.
- Tipo IPM: Estos cementos se le añaden un porcentaje menor a 15% de puzolana, del peso total. (NTP 334.090)

c) Cemento Portland adicionados con especificaciones a la performance

Se clasifican según sus propiedades:

- Tipo GU: Construcciones generales.
- Tipo HE: Resistencia iniciales altas.
- Tipo MS: Moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo HS: Altamente resistente a los sulfatos.
- Tipo MH: De moderado calor de hidratación.
- Tipo LH: De bajo calor de hidratación. (NTP 334.082)

Si no se especifica el tipo de cemento, se considera el de GU en la lista que se muestra en la tabla 4, referente a los componentes del cemento.

Tabla 4
Componentes del cemento

Clase	Terminos genéricos
Cemento	Cemento portland, clinker de cemento portland
Componente de Calcio	Carbonato de calcio, caliza, cal, cal hidratada
Puzolanas	Clase cenizas volantes, puzolana natural no calcinada, puzolana calcinada, microsíllica
Escoria	Triturada de alto horno
Otras Adicionales	Sulfato de calcio

Fuente (Santa Cruz, 2001).

2.2.6 Cemento con alta resistencia a los sulfatos tipo HS

Este tipo de cementos presenta poco calor de hidratación y, como su nombre lo dice, otorga alta resistencia a los sulfatos, así como poca reactividad con agregados álcali y reactivos. Estas características resultan ideales para cualquier construcción en zonas húmedas salitrosas y expuestas al agua de mar. Por ello, debe cumplir con las normas técnicas peruanas: NTP 334.082 y la ASTM C-1157.

Los minerales activos, como en este caso es la puzonalana, complementadas con una molienda extrafina, disminuyen la posibilidad del ingreso de cualquier agente agresor. Asimismo, protegen los aceros de refuerzo contra la acción de los cloruros, lo que garantiza una mayor durabilidad de la obra.

Ventajas

- Resistencia alta al ataque de los sulfatos
- Resistencia a los cloruros
- Alta resistencia a la compresión
- Reducido calor de hidratación
- Mayor trabajabilidad y plasticidad
- Aumento de impermeabilidad (NTP 334.082)



Figura 7. Cemento Portland tipo HS

Fuente: Elaboración propia

2.2.6.1 Diferencia de balance en la molienda entre el cemento Portland tipo V y el cemento Portland HS

a) Balance total del cemento Portland tipo HS

Producción de 180.00 tn/hr

Tabla 5

Componentes del cemento tipo HS

Materias Primas	Toneladas	%
Clinker	130.5	72.5
Puzolana	41.4	23.0
Yeso	8.1	4.5

Fuente: (Alfaro & Laura, 2014)

En la tabla 5, se observa que las dosificaciones del cemento Portland tipo HS, por medio de porcentajes, a diferencia del cemento Portland tipo V, contiene 23% de puzolana, la cual cumple una función importante: al tener contacto con el agua, esta se convierte en hidróxido del calcio, obstruyendo así la penetración de los sulfatos y otros compuestos químicos que atacan al concreto, la dosificación se determinará por medio de la producción del cemento a 180 tn/h.

Tabla 6

Proceso del cemento tipo HS



Fuente: (Alfaro & Laura,2014)

En la tabla 6, se observa que el proceso de producción del cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, varía en la etapa de molienda, en donde al clíner, acompañado de yeso, se añade puzolana para formar este tipo de cemento de última generación.

Tabla 7

Porcentaje del cemento tipo HS

Balance total (kg/kg cemento)	Ingresos	Salidas
clinker	0.72	
puzolana	0.23	
yeso	0.045	
CO2 en gas	0.00056	
cemento		1
suma	1.00056	1
diferencia	-0.00056	

Fuente: (Alfaro & Laura,2014)

En la tabla 7, se puede observar, detalladamente, el balance total del cemento Portland tipo HS, respecto a sus componentes, por medio de porcentajes, la cual cuenta con un 23% de puzolana, 4.5% de yeso, 72% de clinker y un porcentaje menor de desechos y gases de CO₂.

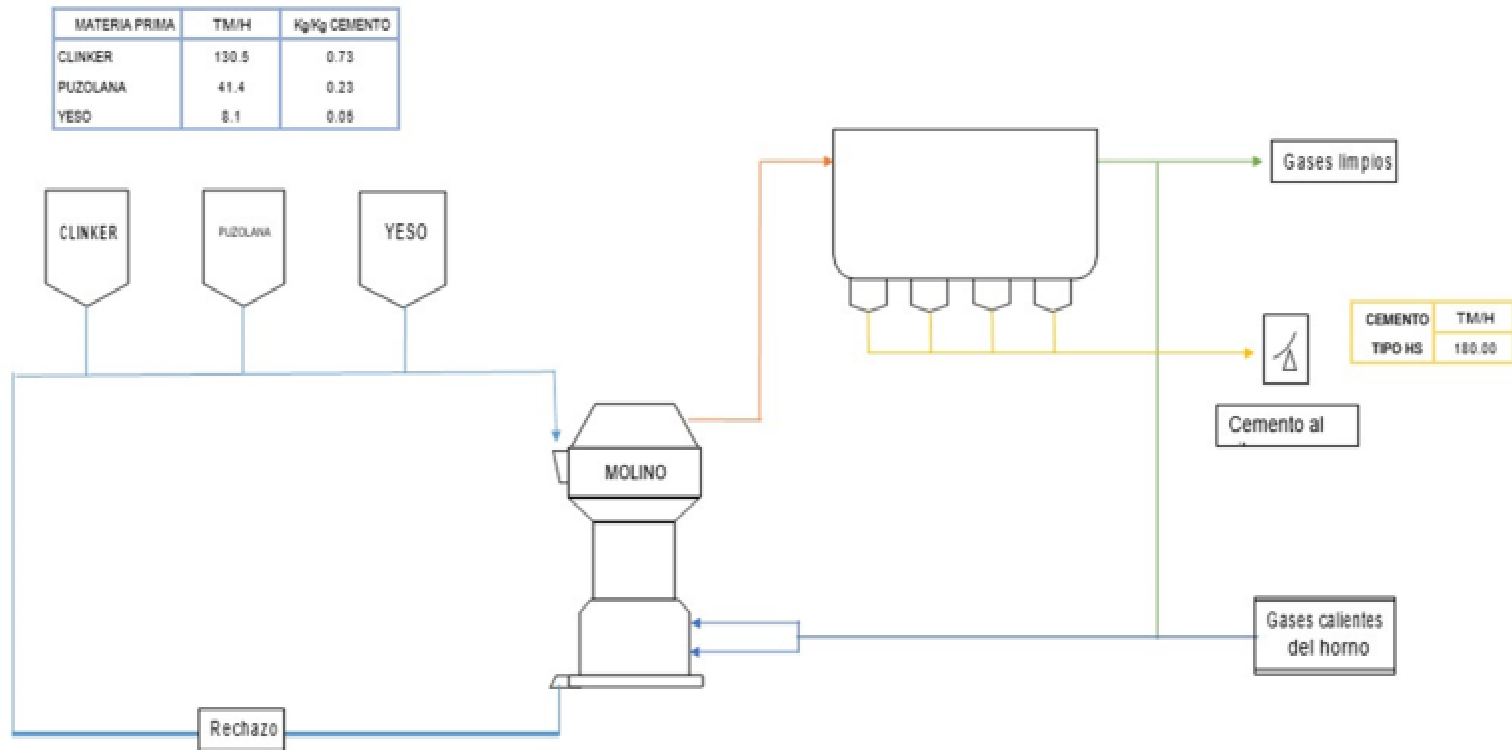


Figura 8. Proceso de fabricación del cemento tipo HS

Fuente: Alfaro y Laura, 2014

b) Balance total del cemento Portland tipo V

La producción del cemento se determina por medio de la fórmula siguiente: 172 tn/hr.

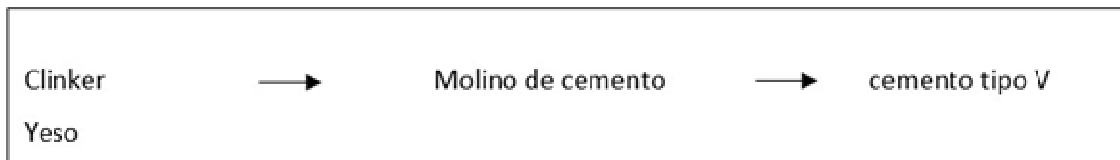
Tabla 8
Componentes del cemento tipo v

Materias primas	Toneladas	%
Clinker	164.26	95.5
Yeso	7.74	4.5

Fuente: Alfaro y Laura, 2014

En la tabla 8, se puede observar las dosificaciones del cemento Portland tipo V por medio de porcentajes, este, a diferencia del cemento Portland tipo V, contiene 95.5% de clíinker tipo V, la cual tiene propiedades importantes y beneficiosas para la elaboración de concreto como es la resistencia, tanto a la compresión como también a los sulfatos. La dosificación se determina por medio de la producción del cemento a 180 tn/h.

Tabla 9
Proceso del cemento tipo V



Fuente: (Alfaro & Laura, 2014)

En la tabla 9, se puede observar que el proceso de producción del cemento Portland tipo V varía en la etapa de molienda, en donde al clíinker tipo V solo es acompañado de yeso, a diferencia del tipo HS a la que se añade puzolana.

Tabla 10
Porcentaje del cemento tipo V

Balance total(kg/kg cemento)	Ingresos	Salidas
clinker	0.95	
yeso	0.045	
CO2 en gas	0.00056	
cemento		1
suma	1	1
diferencia	-0.00056	

Fuente: (Alfaro & Laura, 2014)

En la tabla 10, podemos observar, detalladamente, que el balance total del cemento Portland tipo V, respecto a sus componentes, por medio de porcentajes, cuenta con un 4.5% de yeso, 95% de clinker y un porcentaje pequeño de deshechos y gases de CO₂.

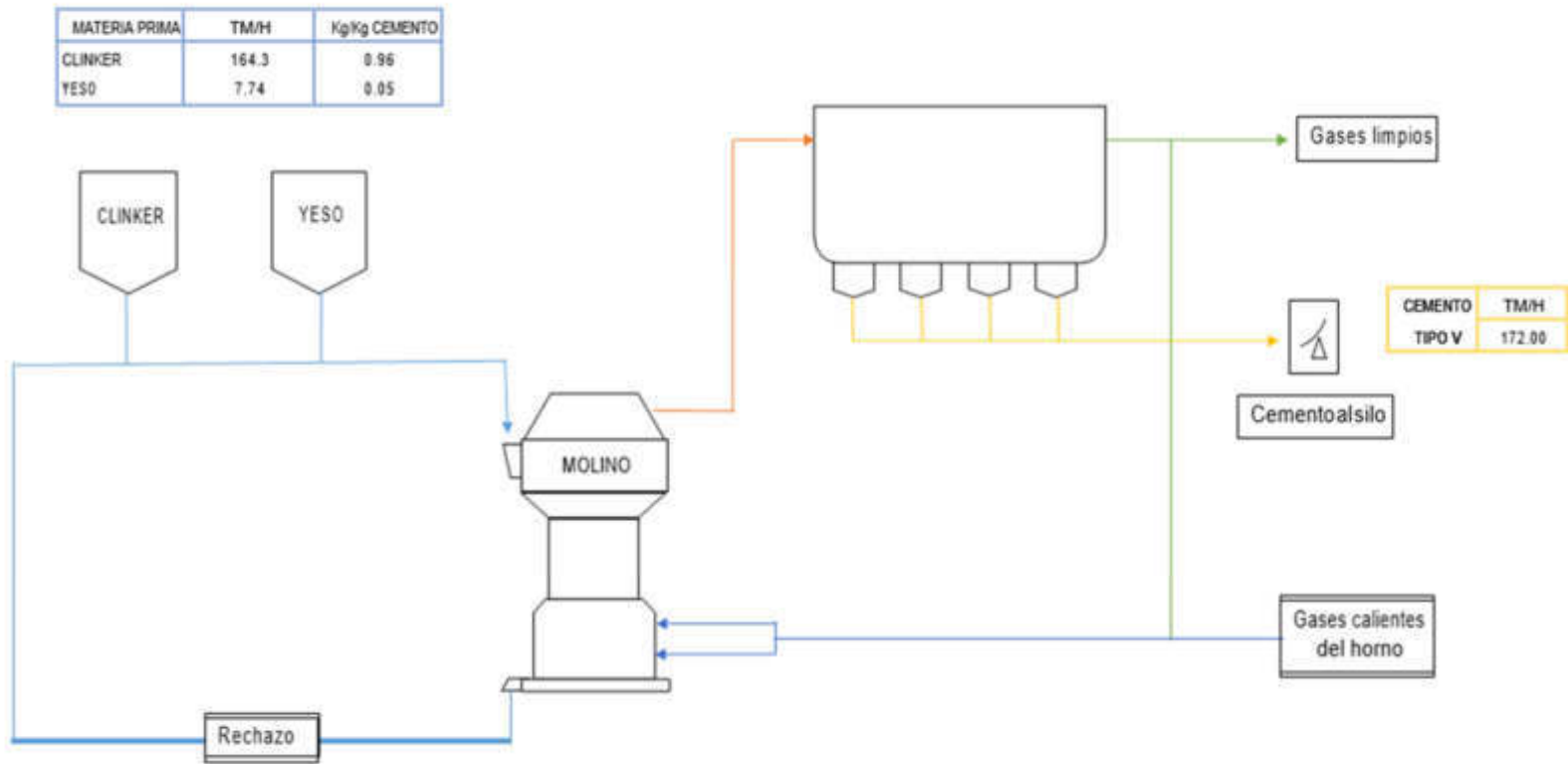


Figura 9. Proceso de fabricación del cemento V.

Fuente: Alfaro y Laura, 2014

2.3 Definición de términos básicos

Concreto: Material que resulta de combinar arena fina, piedra, cemento y agua, para ser utilizado en la construcción.

Cemento: Material que resulta de combinar caliza con arcilla, que dejándolo al medio ambiente en un cierto tiempo se va a endurecer.

Cemento tipo HS: Tipo de cemento altamente resistente a agente químicos que atacan al concreto.

Dosificación: Es la proporción que se requiere de cada material para obtener una resistencia determinada.

Granulometría: Es el análisis de la organización de tamaños de los materiales.

Muestra: Cantidad pequeña que se extrae de un importe total.

Resistencia: Acción o capacidad de aguantar, tolerar u oponerse.

2.4 Formulación de la hipótesis

2.4.1 Hipótesis general

La aplicación del cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, permite obtener una mayor viabilidad técnica y económica en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao que optando por el cemento Portland tipo V.

2.4.2 Hipótesis específicas

- El concreto elaborado con el cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, tiene similar o mayor resistencia a la compresión comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene una mejor cotización de concreto.
- El concreto elaborado con el cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, tiene mayor resistencia a los sulfatos comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto con mayor durabilidad para estructura.
- El concreto elaborado con el cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, tiene un mayor tiempo de fraguado comparado con el concreto elaborado

con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto con mejor trabajabilidad en estado fresco.

- El concreto elaborado con el cemento Portland, resistente a los sulfatos tipo HS, es menos permeable comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto con una mayor vida útil.

2.5 Variables

La variable dependiente, la que no se manipular, es la viabilidad técnica y económica de usar cemento tipo HS en la producción de concreto.

Mientras que la variable independiente es las propiedades del concreto que recibe al estar elaborado con cemento tipo HS.

2.5.1 Operacionalización de variables

En la tabla 11, se muestra el resumen de la operacionalización de las variables utilizadas en la presente investigación:

Tabla 11
Operacionalización del estudio.

Objetivos	Variables	
Objetivo General	Variable independiente	Variable dependiente
Comparar las propiedades de los concretos elaborados con el cemento portland tipo HS y el cemento portland Tipo V a fin de obtener una viabilidad técnica y económica en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao a través de ensayos de laboratorio.	X: Propiedades de los concretos	Y: Viabilidad técnica y económica
	Dimensiones de X	Dimensiones de Y
	X1: Resistencia a la compresión x2: Resistencia a los sulfatos x3: Tiempo de fraguado x4: Permeabilidad	y1: Cotización de concreto. Y2: Durabilidad Y3: Trabajabilidad Y4: Vida Útil
	Indicadores de X	Indicadores de Y
	x11: Carga x12: Diseño de mezcla x21: Expansión x22: Fisuración x31: Calor de hidratación x32: exudación x41: Penetración x42: Porosidad	y11: Demanda y12: Cantidad y21: Resistencia y22: Calidad y31: Transporte y32: Colocación y41: Periodo y42: Calidad
Objetivo Específico 1	Comparar la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con el cemento portland tipo HS y el cemento portland Tipo V a fin de obtener la mejor cotización de concreto para el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.	
Objetivo Específico 2	Comparar la resistencia a los sulfatos de los concretos elaborados con el cemento portland tipo HS y el cemento portland Tipo V a fin de obtener el concreto con mayor durabilidad de la estructura en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.	
Objetivo Específico 3	Comparar el tiempo de fraguado de los concretos elaborados con el cemento portland tipo HS y el cemento portland Tipo V a fin de obtener el concreto con mejor trabajabilidad en estado fresco para el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.	
Objetivo Específico 4	Comparar la permeabilidad de los concretos elaborados con el cemento portland tipo HS y el cemento portland Tipo V a fin de obtener la mayor vida útil de la estructura en el proyecto de saneamiento del Esquema Víctor Raúl Haya de la Torre en el distrito del Callao.	

Elaboración: Fuente propia.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

La presente exploración se desarrolló con el propósito de conocer las características del cemento Portland tipo HS al contrarrestar el ataque de los sulfatos que dañan las estructuras hidráulicas en su mayoría.

3.1 Diseño de la investigación y muestreo

La presente investigación emplea un diseño experimental; dado que se tuvo que recopilar datos tras realizar diversas pruebas de laboratorio. Su análisis estadístico permitió arribar a resultados importantes que evidencian la veracidad y la exactitud de las conclusiones. Este aporte es significativo para la ejecución de futuros proyectos que necesiten realizar los siguientes ensayos: el ensayo granulométrico, para saber la fineza de cada agregado; el ensayo de resistencia a la compresión mediante roturas de probetas; el ensayo de resistencia a los sulfatos mediante la medición del porcentaje de expansión en autoclave; y el ensayo del tiempo de fraguado para determinar la permeabilidad al agua del concreto.

Es longitudinal, porque se recolectaron datos a lo largo del tiempo, es decir, mediante las roturas de probetas, a los 3, 7, 14, 21 y 28 días. De este modo se pudo analizar sus resultados y obtener conclusiones que ayuden a responder los problemas y los objetivos de la presente investigación: aplicar el cemento Portland con alta firmeza a los sulfatos tipo HS para la construcción de un reservorio en el proyecto de saneamiento en el distrito del Callao.

Es prospectivo, porque los datos y la información empleados para realizar la aplicación de la argamasa Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS son de resultados actuales, obtenidos de los ensayos de laboratorio y de algunos datos que se obtienen de estudios recientes.

3.2 Tipo de investigación

Es de tipo aplicada, porque busca obtener conocimientos para ponerlos en práctica posteriormente. El problema es establecido y conocido por el investigador, por lo que se utiliza la investigación para dar respuestas a las interrogantes específicas.

Emplea un planteamiento cuantitativo, en razón a los datos obtenidos en el laboratorio; ya que están basados en valores numéricos y son susceptibles de interpretación. Estos datos obtenidos son sometidos a análisis y ensayos que permitieron obtener el diseño y la metodología adecuados para la aplicación del cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS en la construcción del reservorio (proyecto de saneamiento del distrito del Callao).

3.3 Nivel de la investigación

La presente investigación logra alcanzar el nivel explicativo, debido a que ayuda a proponer el hecho más relevante de la investigación a través de la acumulación y procesamiento de datos, estos parámetros permitieron buscar la explicación de las causas que generaron el tema de estudio.

3.4 Caso de la investigación

El presente estudio tiene como fin realizar un análisis de la aplicación del cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS para la construcción de obras civiles. Por tal, para desarrollar esta investigación se tomó como caso la construcción del reservorio en el proyecto de saneamiento en el distrito del Callao. Esta búsqueda busca beneficiar a las empresas constructoras al realizar obras tanto en el sector privado como en el público, demostrando una reducción en el presupuesto y aumento de vida útil de las estructuras.

3.5 Técnicas de la investigación

Para realizar una investigación aplicada, es recomendable elegir un tema que vaya de acorde a la experiencia laboral del investigador; la que permitirá darles solución a los problemas. Para ello, se utiliza una técnica documental referente a la observación de laboratorio, debido a que los datos fueron obtenidos de los diversos ensayos para detallar las particularidades del caso de estudio, además se emplearon gráficos y tablas para mayor entendimiento.

3.6 Población y muestra

Este estudio buscó beneficiar a la población del esquema VRHT, en el distrito del Callao.

La población estaba conformada por 80000 habitantes aproximadamente, según las estadísticas del último censo elaborado por I.N.E.G.I. (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). Estas personas buscan ser beneficiadas por agua potable para sus viviendas.

En la actualidad, la población puede haber ascendido a 83000 habitantes en la zona menciona.

Los criterios de inclusión permiten el beneficio que obtendrán los pobladores del esquema VRHT cuando se realice la construcción del reservorio para realizar el saneamiento en dicha zona.

Mientras que los criterios de exclusión serán irrelevantes, ya que dicha población desea que se ejecute el proyecto para verse beneficiado y así avalar una mejor disposición con el fin de afrontar el día a día.

El tipo de muestreo es no aleatorio, puesto que para la muestra se delimitó intencionalmente toda el área de la Región Constitucional del Callao.

3.7 Instrumentación y procedimiento

En la presente investigación se emplearon como instrumentos básicos la recolección de muestras y de datos de los siguientes ensayos: de resistencia a la compresión, de resistencia a los sulfatos, de tiempo de fraguado y de permeabilidad obtenidos en el laboratorio; además de los datos obtenidos de los antecedentes. Posteriormente el estudio se realizó mediante el siguiente procedimiento: diseño de mezcla para elaboración del concreto con cemento Portland tipo HS y cemento Portland tipo V. Se realizó los ensayos en laboratorio ya mencionados, con ello, se buscó analizar los efectos y las causas que puedan afectar en las futuras estructuras, por ejemplo, al ataque de sulfatos, las fisuras en el concreto, la penetración por presión de agua, el tiempo de fraguado final, etc.

CAPÍTULO IV DESARROLLO

4.1 Descripción del estudio

En esta investigación se dan a conocer las propiedades físicas y químicas del cemento Portland tipo V y el cemento Portland resistente a los sulfatos tipo HS. Cabe mencionar que se utilizaron los mismos agregados y las mismas proporciones de agua y cemento determinados en el diseño de mezcla.

4.2 Ubicación del material

Los agregados se llevaron al laboratorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal para realizar su respectiva caracterización. Estos fueron extraídos de la cantera de Jicamarca, ubicada en el distrito de Lurigancho-Chosica.



Figura 10. Ubicación de cantera

Fuente: Google Maps



Figura 11. Cantera de Jicamarca
Fuente: Elaboración propia

4.3 Granulometría

En el laboratorio de la Universidad Villareal se realizó la caracterización de agregados para poder hallar el peso unitario, el compactado, el módulo de fineza tanto de la arena como del agregado grueso.



Figura 12. Tamizado de agregado grueso
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 12, también se realizó el tamizado de agregados gruesos para calcular la granulometría y obtener un diseño óptimo.



Figura 13. Peso de agregado grueso suelto
Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se muestra el pesado del agregado grueso suelto previo al diseño de mezcla.



Figura 14. Peso de agregado grueso para peso unitario
Fuente: Elaboración propia



Figura 15. Peso de agregado grueso compactado
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en las figuras 14 y 15, se realizó el cálculo del peso del agregado grueso con el fin de caracterizar cada componente.



Figura 16. Peso de agregado grueso compactado
Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la figura 16, el peso de una de las muestras es de 21.86 kg. Dato que se empleó para obtener el módulo de fineza de cada

agregado: se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.



Figura 17. Peso de agregado fino para peso unitario
Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 17, se determinó el peso del agregado fino para el diseño de mezcla de concreto.



Figura 18. Caracterización de cemento tipo V
Fuente: Elaboración propia

Como se evidencia en la figura 18 se realizó la caracterización del cemento tipo 5 para el diseño de mezcla por medio del cálculo de su peso.



Figura 19. Peso del cemento tipo V
Fuente: Elaboración propia



Figura 20. Caracterización de cemento tipo HS
Fuente: Elaboración propia

Tal como se muestra en las figuras 19 y 20 se realizó el pesado del cemento tipo HS para analizar sus características antes de hacer el diseño para su futura evaluación con respecto al cemento tipo V.



Figura 21. Comparativo entre cemento tipo V y tipo HS

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21, se puede observar los distintos tipos de color que presentan ambos cementos, donde el cemento tipo V (de la derecha) resulta ser más oscuro que el cemento tipo HS (el de la izquierda). Esto se debe a la intervención de la puzolana.

Para el desarrollo de este proyecto de investigación, se analizó y se llevó a cabo la caracterización de los agregados con el fin de elaborar testigos de concreto con los cementos Portland tipo V y tipo HS.

4.4 Diseño de mezcla para una $f'c=350$ kg/cm² con cemento Portland tipo V y cemento Portland tipo HS

Se desarrolló el diseño de mezcla basado en el comité ACI 211. Para lo cual, fue necesario el empleo del Huso #5, agregado grueso necesario para poder llegar a la FC deseada.

Para la elaboración del concreto, se utilizó en mismo diseño de mezcla, ya que no se puede cambiar la relación agua y cemento para no afectar a la fuerza de compresión requerida.



Figura 22. Diseño de mezcla

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se puede observar que se realizó una mezcla para la elaboración del concreto con el cemento tipo V. Lo que sirvió para llenarlo en probetas con el objetivo de obtener resultados al momento de realizar su rotura.



Figura 23. Mezcla plástica

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 23, una vez elaborado el concreto con cemento tipo V se utilizó su *slump* para que posteriormente se llene en probetas.



Figura 24. Cono de Abrams

Fuente: Elaboración propia

La figura 24 recrea la medición del *slump* realizada al concreto elaborado con cemento Portland tipo HS.



Figura 25. Moldes de testigos

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la figura 25, las probetas se acondicionaron para ser llenadas con concreto; posteriormente, se las dejó reposar durante 24 horas.



Figura 26. Testigos de concreto tipo HS

Fuente: Elaboración propia

En la figura 25, se puede observar cómo las probetas fueron llenadas de concreto elaborado con cemento tipo V.

4.5 Resistencia a la compresión de probetas de concreto elaboradas con cemento Portland tipo V y cemento Portland tipo HS

El ensayo de resistencia a la compresión, de las probetas de concreto con cemento tipo V y HS, consiste en determinar el esfuerzo máximo que soportará el material según la norma ASTM C-140 y la NTP 399.034.

Para la realización de este ensayo se necesitó de una máquina de prueba de compresión. La que permitió medir la resistencia a la compresión a partir del cálculo de la división de la carga sobre el área de la probeta.

Donde:

L = largo de la probeta.....A = área de la probeta = LxW

Pmax = carga máxima.....W = ancho de la probeta

Rc =resistencia a la compresión.....Rc = Pmáx/A



Figura 27. Rotura de probeta a compresión
Fuente: Elaboración propia



Figura 28. Rotura de probeta a compresión
Fuente: Elaboración propia

De las figuras 27 y 28, se puede observar que la probeta fue colocada en la maquina compresora para la realización del ensayo de rotura.



Figura 29. Rotura de probeta a compresión
Fuente: Elaboración propia



Figura 30. Rotura de probeta a compresión
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con las figuras 29 y 30, se observa que la probeta fue quebrada al ser sometida a la presión de la compresora hidráulica. Posteriormente, se volverán a realizar dichas pruebas a las probetas los días 7,

14, 21 y 28, con el objetivo de determinar el índice y calcular la resistencia a la compresión.

4.6 Ensayo de expansión en autoclave de los cementos Portland Tipo V y Tipo HS

El ensayo de expansión en autoclave, bajo las condiciones normalizadas en ASTM C-151-69 y la NTP 334.004 para el cemento Portland, buscó determinar, de forma acelerada, la expansión que experimenta el cemento. Asimismo, del mortero en el que se utiliza al ser sometido durante largo tiempo a condiciones de humedad constante.

Para iniciar el ensayo, primero se limpiaron y engrasaron los moldes con aceite mineral. El siguiente paso consistió en fabricar una pasta con 650 g de cemento, arena normalizada por NTP 334.004 y agua; la cual se debe de calcular hasta que la mezcla tenga una consistencia adecuada. A continuación, se procedió a colocar la mezcla en las probetas de mortero, la cual constó de dos capas, las que fueron compactadas con los dedos muy fuertemente.

Terminado el encofrado, los especímenes tuvieron que permanecer en el cuarto de curado durante 24 horas.



Figura 31. Limpieza de moldes para ensayo de expansión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 31, se puede observar las probetas desencofradas, ya endurecidas, listas para tomar la medida inicial en el aparato de medición de longitud.



Figura 32 Máquina para ensayo de expansión

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, se observa la máquina de autoclave, la misma que permite obtener el porcentaje de expansión del cemento por medio de la presión constante; por lo que se debe de verter entre un 7% y 10% de agua a una temperatura aproximada entre 20° y 28°.



Figura 33. Máquina para ensayo de expansión
Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se visualizan las probetas que yacen dentro de la máquina de autoclave; estas, posteriormente, son colocadas en una misma posición para que se les tomen las respectivas medidas y se comparen sus longitudes



Figura 34. Asegurar la cápsula
Fuente: Elaboración propia

En la figura 34, se observa el encapsulado de las probetas, este se asegura mediante tornillos para evitar que se produzca alguna fuga, se emplea una llave cangreja. Luego se coloca el termómetro en el espacio correspondiente a la autoclave y se fija que el mando de ventilación indique cerrado.



Figura 35. Máquina de expansión a 300 psi

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35, se visualiza el manómetro a 300 psi, el cual debe ser constante durante 3 horas. Al culmen de las 3 horas del ensayo, se desconecta el interruptor principal para abrir la válvula de ventilación. Seguido, se deja enfriar el autoclave para que la presión sea de menos de hora y media.



Figura 36. Aparato de medición de longitud
Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 36, finalmente, se coloca la probeta en el medidor de longitud; luego, se toma los datos requeridos para después restar con la longitud inicial del espécimen, resultado dividido entre 100% para obtener el porcentaje de expansión.

Cabe reiterar que el mortero puede expandirse o contraerse. Sin embargo, según la norma NTP 334.004, no debe contraerse o expandirse más del 0.08 %.

4.7 Tiempo de fraguado

El presente ensayo se caracteriza por determinar el tiempo de fraguado, en las partes inicial y final, del cemento.

El fraguado es el momento en el que la mezcla empieza a endurecerse, a perder plasticidad y trabajabilidad. Por otra parte, el final de fraguado es el momento en el que la mezcla toma una consistencia rígida y se endurece por completo.



Figura 37. Acarreo de materiales

Fuente: Elaboración propia

En la figura 37, se observa cómo se obtuvo la cantidad necesaria de cemento para la ejecución del ensayo.



Figura 38. Tamizado en malla #20

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38, se deja constancia que se debe de tamizar correctamente el cemento en una malla #20 para evitar agentes externos en la mezcla y obtener datos exactos.



Figura 39. Pesaje de cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39, se observa que se elaboró una pasta de cemento con 650 g de cemento; según el procedimiento de mezclado de pastas, realizado en la práctica de determinación de consistencia normal del cemento, con la cantidad de agua que se determinada en cicha práctica.



Figura 40. Mezcla de mortero

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40, el cemento es mezclado con agua, cuya cantidad se se calcula por el método de tanteo hasta que la pasta tome una consistencia adecuada.



Figura 41. consistencia de mezcla

Fuente: Elaboración propia

Después de la finalización del mezclado, en la figura 41, se observa que se moldeó el espécimen de prueba haciendo una bola con los guantes de hule, pasándola seis veces de una mano a otra, manteniendo las manos apartada en 6" aproximadamente. El molde troncocónico fue colocado en su extremo mayor en una placa de vidrio H, además se cortó el exceso de pasta en la parte superior del extremo menor de una sola pasada.



Figura 42 Calcular consistencia de mezcla

Fuente: Elaboración propia

La figura 41 muestra que, para determinar la consistencia, se debe de calcular, en 30 segundos, los milímetros penetrados: la sonda de consistencia debe de marcar en el aparato vicat entre 9 y 11 mm; de no cumplir con los estándares requeridos, se debe volver a realizar la mezcla del cemento con agua.



Figura 43 Fraguado final

Fuente: Elaboración propia

De la figura 43, se observa el fraguado final de la mezcla, elaborada con los cementos Portland tipo HS y tipo V. Primero, para el fraguado inicial se calculó con el aparato Vicat por medio de la penetración de la aguja (25 mm). Luego, el fraguado final se calculó cuando la aguja ya no pudo penetrar el espécimen.

4.8 Ensayo de permeabilidad al agua por profundidad de penetración

Mediante este ensayo se logró determinar la durabilidad del concreto, el cual es expuesto a una presión alta de agua, la cual genera dos problemas muy significativos: la pérdida de líquido del reservorio y el ingreso dentro del concreto de componentes sulfatosos o agresivos que conducen al deterioro de la estructura con el pasar de los años.

El método comprendió en determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto endurecido, el cual se obtiene por medio del flujo constante del agua a presión y la profundidad de penetración causada por la misma.



Figura 44 Pintado de epoxico

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la figura 44, se coloca tres capas de pintura epoxi a las probetas para evitar que el agua se fugue por los poros de la misma, de esta manera se obtiene un resultado exacto y apropiado.



Figura 45 Ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 podemos observar las probetas expuestas a una presión constante de aproximadamente 0.50 MPa, por un periodo de 4 días. Luego, una vez concluido los días necesarios, se procede a retirar las probetas.



Figura 46 Retiro de dispositivo
Fuente: Elaboración propia

En la figura 46, se registra el retiro de un dispositivo que se compone de 4 varillas de acero y un plato superior. Para este ensayo, se utilizaron 6 probetas de 100 mm de diámetro y de 100 mm de altura, de los cuales 3 fueron elaborados con cemento Portland tipo V; y 3, con cemento Portland tipo HS.



Figura 47 Probeta fuera del dispositivo
Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la figura 47, se observa la probeta fuera del dispositivo, luego de ser expuesta a una presión constante de 0.50 MPa durante 4 días. Una vez saturado el concreto se procedieron a realizar las mediciones sucesivas del caudal, hasta verificar que dicho flujo es constante; cumplido los 4 días, se procedió a tomar las medidas de la penetración promedio de las probetas correspondientes con el fin de determinar el coeficiente de permeabilidad y los centímetros de penetración en el concreto.

4.9 Costo de la aplicación del cemento Portland con alta resistencia a los sulfatos tipo HS

A continuación, se presentan los precios por bolsa del cemento Portland tipo V y el cemento Portland tipo HS; asimismo, la cotización del concreto premezclado, ya sea elaborado con el cemento Portland tipo HS o con el cemento Portland tipo V.

4.9.1 Precio de cemento.



Figura 48 Bolsa de cemento Portland tipo V

Fuente: UNACEM S.A.

El cemento Portland tipo V, actualmente, en el mercado, tiene un precio de S/ 28.20 la bolsa de 42.5 kg.



Figura 49 Bolsa de cemento Portland tipo HS
Fuente: UNACEM S.A.

El cemento Portland tipo HS, actualmente, en el mercado, tiene un precio de S/ 24.50 la bolsa de 42.5 kg.

CANT.	DESCRIPCION	VALOR	% TOTAL
1	bts cemento Andino tipo II	28.20	
1	bts cemento Andino otro	24.50	
		TOTAL S/ 52.70	

Figura 50 Boleta de compra de cementos
Fuente: Elaboración propia

4.9.2 Cotización para sustitución de cemento.

MIXERCON S.A.		RUC 20380289360		Car. Panamericana Sur Km 17.9 - Mz C U 4 - Asoc La Concordia - Villa El Salvador, Lima		COD: TVE 00015	
Señores		CRISTIAN CHAVEZ		RUC/DNI N°			
Atencion:				Celular:			
DIRECCION: SAN MARTIN DE PORRES							
Referencia:							
email:		amelia.hernandez@mixercon.com		CORREO			
Estimados Señores:							
El motivo de la presente es para saludarla cordialmente y hacerle llegar nuestra cotización.							
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VOLUMEN	PREC. UNITARIO S/.	SUB TOTAL S/.	KOV S/.	TOTAL INC. KOV
1	FC 350 KG/CM2 HS 4"-6" HS	M3	100.0	243.00	24,300.00	4,374.00	S/ 28,674.00
2	BOMBA CONCRETERA (MINIMO 30 M3)	M3	0.0	32.00	0	0	S/ -
3	RECARGO POR TUBERIA (+5)	UNID.	0.0	20.00	0	0	S/ -
						SUBTOTAL	S/ 24,300.00
						I.G.V. 18%	S/ 4,374.00
						VALOR TOTAL	S/ 28,674.00
Aprovechamos la oportunidad para agradecerle la confianza depositada en nosotros para trabajar juntos este proyecto.							

Figura 51 Cotización con cemento Portland tipo HS

Fuente: Elaboración propia

Según como se observa en la figura 51, la cotización del concreto premezclado de cemento Portland tipo HS, obtenida en el año 2018, para el estudio comparativo del presente proyecto de investigación, tiene un precio total, incluido IGV, S. 28674 por 100 m³.



MIXERCON S.A.

RUC 20380280360

Carr. Panamericana Sur Km 17.5 - Mz C 114 - Asoc. La Concordia - Villa El Salvador, Lima

MIXERCON

Cotización: 2141-17

Villa El Salvador, 23 de Marzo del 2017

Señores

COD: TVE 0

RUC/DNI N°

Celular: 9957 88252 #

Atencion: Ing. Carlos Hervas Gutierrez - Asistente de Supervisión

DIRECCION DE OBRAS: Urb. San Diego - San Martín de Porres - Lima - Lima

Referencia:

email: docenteinfa@yahoo.com

Estimados Señores:

El motivo de la presente es para saludarla cordialmente y hacerle llegar nuestra cotización

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	VOLUMEN	PREC. UNITARIO S/.	SUB TOTAL S/.	IGV 5%	TOTAL INC. IGV
1	FC 280 KG/CM2 H67 6"-8" TIPO V	M3	3000.0	319.00	957,000.00	172,260.00	S/. 1,129,260.00
2	BOMBA CONCRETERA (MINIMO 25 M3)	M3	3000.0	35.00	105,000.00	18,900.00	S/. 123,900.00
3	TUBERIAS (A partir del 6to Tubo)	UNID.		20.00	0.00	0.00	S/. -
4					0.00	0.00	S/. -
					0.00	0.00	S/. -
							S/. -
SUBTOTAL						S/. 1,062,000.00	
I.G.V. 18%						S/. 193,160.00	
VALOR TOTAL						S/. 1,255,160.00	

Figura 52 Cotización con cemento Portland tipo V

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la figura 52, la cotización del concreto premezclado con cemento Portland tipo V, la cual fue obtenida en el año 2017. Esta pertenece al expediente técnico del proyecto de saneamiento ejecutada por SEDAPAL, el precio total, incluido IGV, fue de 3000 m³ por S/ 1129260; es decir, cada 100 m³ de concreto premezclado estuvo valorizado en S/ 37642..

CAPÍTULO V RESULTADOS

5.1 Resultados de granulometría para diseño de mezcla

Para establecer la caracterización de los agregados, se realizaron los procesos de lavado, secado, peso de los agregados, etc.

5.1.1 Granulometría del agregado fino

Tabla 12

Resultados del ensayo granulométrico de agregado fino

GRANULOMETRIA					CARACTERISTICAS FISICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos (b)	% RETENIDO (c)=(b)/(a)*100	% RETENIDO ACUMUL. (d)=SUMA (c)	% PASANTE ACUMUL. 100 - (d)	MODULO DE FINEZA	2.88
					TAMANO MAXIMO	
3"	-				(A) peso de tara (gr) :	262.3
2 1/2"	-				(B) peso de muestra original húmeda(gr):	564.7
2"	-				(C) peso de muestra seca(gr) :	560.2
1 1/2"	-				% HUMEDAD [B-C] * 100 / [C-A]	1.51
1"	-					
3/4"	-			100.0		
1/2"	-			94.6		
3/8"	-			77.8		
# 4	16.2			64.0	(D) peso de tara (gr) :	262.3
# 8	50.0			45.6	(E) peso de muestra seca (gr) :	560.2
# 16	41.0			27.0	(F) peso de muestra después de lavado seca (gr) :	547.2
#30	55.0		5.4	3.5	%PASANTE DE M # 200 [E-F] * 100 / [E-D]	4.36
#50	55.4		22.2	0.0		
#100	70.0		36.0			
FONDO	10.3		54.4			
		18.5	73.0			
		23.5	96.5			
		3.5	100.0			
TOTAL	297.9	100.0	MODULO FINEZA	2.88	OBSERVACIONES	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 12 se muestra los resultados del ensayo granulométrico del agregado fino; la misma que indica un módulo de fineza de 2.88.

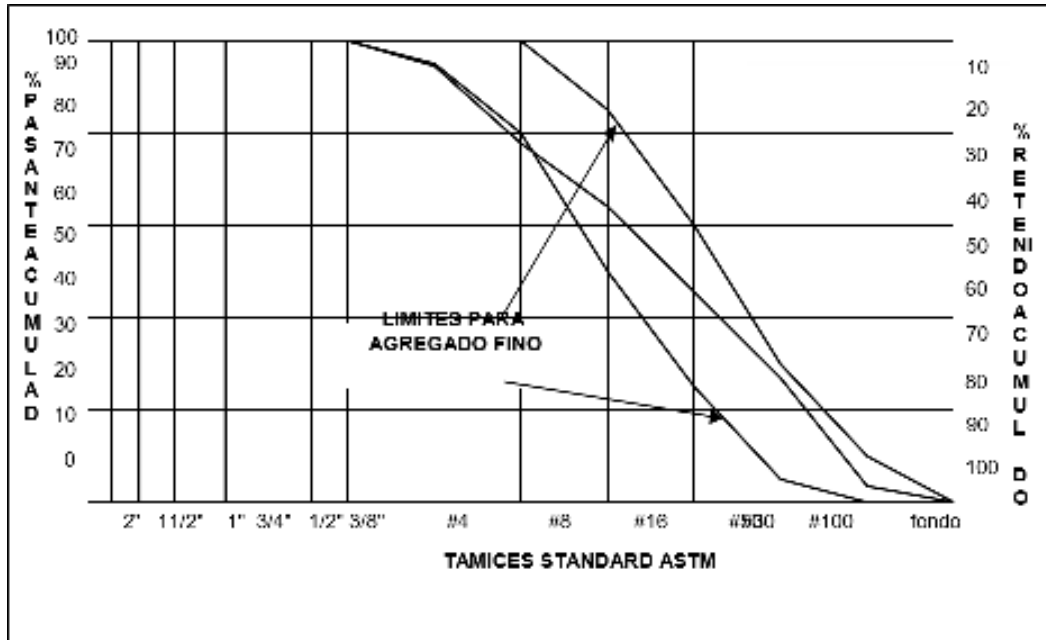


Figura 53 Curva granulométrica de agregado fino

Fuente: Elaboración propia.

El tamaño máximo es menor al tamiz por el que pasa el 100% del agregado tamizado.

5.1.2 Granulometría del agregado grueso

Tabla 13

Resultados del ensayo granulométrico de agregado grueso

GRANULOMETRIA					CARACTERISTICAS FISICAS	
MALLA	PESO RETENIDO en gramos	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMUL	% PASANTE ACUMUL	MODULO DE FINEZA	7.52
3"	-					
2 1/2"	-					
1 1/2"	-					
1"	-			100.0		
3/4"	2,426.0			86.1		
1/2"	7,859.0			41.0		
3/8"				10.3		
# 4	5,350.0			6.0		
# 8	745.0			1.1		
# 16	850.0					
#30	138.0					
#50	-					
#100	-					
FONDO	-		13.9			
	-		59.0			
	58.0		89.7	0.0		
			94.0			
		13.9 45.1	98.9			
		30.7				
		4.3 4.9				
		0.8				
		0.3	100.0			
TOTAL (a)	17426.0	100.0	MODULO FINEZA	7.52		

Fuente: Elaboración propia.

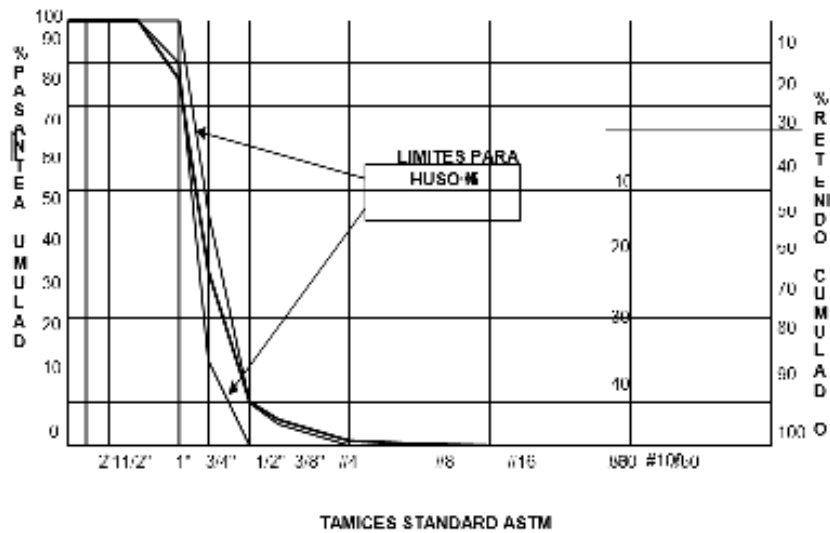


Figura 54 Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3 Cálculo del módulo de fineza de los agregados

Para calcular el módulo de fineza, se utiliza la siguiente relación:

$$\text{módulo de fineza} = \frac{\text{suma de \% retenidos acumulados}}{100}$$

Tabla 14

Módulo de fineza de los agregados

Módulo de fineza	Valor
Agregado grueso	7.52
Agregado fino	2.88

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.1 Pesos unitarios del agregado fino

Tabla 15

Peso unitario del agregado fino de la cantera de Jicamarca

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra (kg)	6.91	6.91	6.9
Peso de molde (kg)	2.833	2.833	2.833
Peso de muestra (kg)	4.07	4.08	4.07
Volumen de molde (m ³)	0.0028	0.0028	0.002
Peso unitario (kg/m ³)	1440	1442	1438
Contenido de humedad	0.019	0.019	0.019
Peso unitario promedio (kg/m ³)		1412	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.2 Peso unitario compactado del agregado fino

Tabla 16

Peso unitario compactado del agregado fino de la cantera de Jicamarca

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra (kg)	7.805	7.806	7.815
Peso de molde (kg)	2.833	2.833	2.833
Peso de muestra (kg)	4.972	4.973	4.982
Volumen de molde (m3)	0.0028	0.0028	0.0028
Peso unitario (kg/m3)	1756	1756	1759
Contenido de humedad	0.019	0.019	0.019
Peso unitario promedio (kg/m3)		1723	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.3 Peso unitario del agregado grueso

Tabla 17

Peso unitario del agregado grueso de la cantera de Jicamarca

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra (kg)	21.4	21.4	21.4
Peso de molde (kg)	6.22	6.22	6.22
Peso de muestra (kg)	15.18	15.22	15.20
Volumen de molde (m3)	0.0095	0.0095	0.0095
Peso unitario(kg/m3)	1586	1591	1588
Contenido de humedad (kg/m3)	0.0079	0.0079	0.0079
Peso unitario promedio (kg/m3)		1576	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.4 Peso unitario compactado del agregado grueso

Tabla 18

Peso unitario compactado del agregado grueso de la cantera de Jicamarca

Ensayo N°	01	02	03
Peso de molde + muestra (kg)	20.3	20.4	20.3
Peso de molde (kg)	6.22	6.22	6.22
Peso de muestra (kg)	14.14	14.18	14.16
Volumen de molde (m3)	0.0095	0.0095	0.0095
Peso unitario(kg/m3)	1476	1482	1479
Contenido de humedad (kg/m3)	0.0079	0.0079	0.0079
Peso unitario promedio (kg/m3)		1479	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.5 Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 19

Análisis del peso específico y absorción del agregado grueso

Muestra N°			Promedio
1	Peso muestra sumergida=A	g	832
2	Peso muestra <u>sss.</u> seca=B	g	1304
3	Peso muestra seca=C	g	1286.1
4	Peso específico <u>Bulk</u> (Base Seca) =B/B-A	g/cc	2.724
5	Peso específico <u>Bulk</u> (Base Saturada) =C/B-A	g/cc	2.771
6	Peso específico Aparente (Base Seca) =C/C-A	g/cc	2.830
7	Absorción= $((B-C) / C^*)100$	%	0.98

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3.6 Peso específico y absorción del agregado fino

Tabla 20

Análisis del peso específico y absorción del agregado fino

Muestra N°			Promedio
1	Peso específico <u>Bulk</u> (Base Seca)	g/cc	2.516
2	Peso específico <u>Bulk</u> (Base Saturada)	g/cc	2.564
3	Peso específico Aparente (Base Seca)	g/cc	2.644
4	Absorción	%	1.93

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Diseño de mezcla con cemento tipo V para una $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$

Para la preparación del diseño de mezcla, se utilizó el método del comité 211 del ACI, para lo cual, se emplearon los datos consignados en la siguiente tabla:

Tabla 21

Datos de la caracterización de los agregados

Agregado	Fino	Grueso	Unidad
Pasante malla N°200	4.36	0.87	%
Peso específico	2.516	2.724	g/cm ³
Absorción	1.93	0.98	%
Módulo de finura	2.88	7.52	adimensional
T.M.N		3/8	pulgadas
Peso unitario suelto	1412	1576	Kg/m ³
Peso unitario compactado	1723	1479	Kg/m ³
Contenido de humedad	1.51	0.79	%

Fuente: Elaboración propia.

5.2.1 Método de diseño del comité 211 del ACI

a) Especificaciones:

Para la presente investigación la resistencia requerida es de 350 kg/cm²

b) Resistencia requerida (f'_{cr}):

A consecuencia que no se conoce la desviación estándar, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 22
Factor de corrección sin ensayos

f_c	f'_{cr}
Menor a 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
Mayor a 350	$f_c + 98$

Fuente: American Concrete Institute (ACI)

Se tiene:

$$f'_{cr} = 350 + 98$$

$$f'_{cr} = 448 \text{ kg/cm}^2$$

c) Selección del Tamaño Máximo Nominal:

La dimensión máxima del agregado es de 3/8"

d) Selección del Asentamiento:

La mezcla que fue utilizado para la elaboración del concreto tiene un revenimiento de 3.5".

e) Volumen de agua

Teniendo el revenimiento de 4" al igual que el tamaño máximo nominal de 1", se determina el volumen de agua sin aire incorporado según la tabla.

$$V = 251.5 \text{ lts/m}^3$$

f) Contenido de aire

Se estima un 3% de aire atrapado en la mezcla

g) Relación agua/cemento

Conociendo la resistencia obtenida $f'_{cr} = 448 \text{ kg/cm}^2$ sin aire incorporado, la relación de agua cemento será de $a/c = 0.48$

h) Cálculo de cemento

$$a/c = 0.48$$

$$a = 251.5 \text{ l/m}^3$$

$$c = 524 \text{ kg}$$

$$\text{factor cemento} = 524/42.5 = 12.3 \text{ bolsas}$$

i) Peso absoluto del agregado grueso

Conociendo el MF = 5.67 del agregado grueso y su dimensión de 1" el volumen para el agregado grueso es de 0.401 m^3

$$\text{Masa del agregado grueso} = 1561 \text{ kg/m}^3 \times 0.401 \text{ m}^3 = 626 \text{ kg}$$

Cálculo de volúmenes absolutos:

Tabla 23
Volúmenes absolutos

Materiales	Peso(kg)	P.e(kg/m ³)	Volumen(m ³)
cemento	586	3100	0.189
Agua	205	1000	0.205
Aire atrapado	-----	-----	0.03
Agregado grueso	626	2725	0.230
Agregado fino	¿?	2701	X

Fuente: Elaboración propia

$$\text{TOTAL} = 0.654 \text{ m}^3$$

$$\text{Contenido de agregado fino} = 1 - 0.654 = 0.346$$

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 0.346 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa del agregado fino} = 2701 \times 0.346 = 934.55 \text{ kg}$$

j) Valores de diseño corregidos

cemento 524.0 kg/m³

agua efectiva 251.5 lt/m³

agregado fino 801.7 kg/m³

agregado grueso..... 807.0 kg/m³

k) Proporción en peso

524 : 801.7 : 807

524 524 524

l) Proporción en volumen

1: 1.63: 1.58 22.9 l / bolsa

5.3 Diseño de mezcla con cemento Tipo HS para una f'c=350 kg/cm²

Para la preparación del diseño de mezcla, se utilizó el método del comité 211 del ACI, con los datos consignados en la siguiente tabla:

Tabla 24

Datos de la caracterización de los agregados

Agregado	Fino	Grueso	Unidad
Pasante malla N°200	4.36	0.87	%
Peso específico	2.516	2.724	g/cm ³
Absorción	1.93	0.98	%
Módulo de finura	2.88	7.52	adimensional
T.M.N		3/8	pulgadas
Peso unitario suelto	1412	1576	Kg/m ³
Peso unitario compactado	1723	1479	Kg/m ³
Contenido de humedad	1.51	0.79	%

Fuente: Elaboración propia

5.3.1 Método de diseño del comité 211 del ACI

a) Especificaciones

Para la presente investigación se requirió de una resistencia de 350 kg/cm².

b) Resistencia requerida (f'_{cr})

A consecuencia de que no se conocía la desviación estándar, se utilizó la siguiente tabla:

Tabla 25
Factor de corrección sin ensayos

f_c	f'_{cr}
Menor a 210	$f_c + 70$
210 a 350	$f_c + 84$
Mayor a 350	$f_c + 98$

Fuente: American Concrete Institute (ACI)

Se tiene:

$$f'_{cr} = 350 + 98$$

$$f'_{cr} = 448 \text{ kg/cm}^2$$

c) Selección del Tamaño Máximo Nominal

La dimensión máxima del agregado es de 3/8".

d) Selección del Asentamiento

La mezcla utilizada para la elaboración del concreto tiene un revenimiento de 3.5".

e) Volumen de agua

Teniendo el revenimiento de 4", lo mismo que el tamaño máximo nominal de 1", se determinó el volumen de agua sin aire incorporado según la tabla.

$$V = 251.5 \text{ l/m}^3$$

f) Contenido de aire

Se estima un 3% de aire atrapado en la mezcla

g) Relación agua/cemento

Conociendo la resistencia obtenida $f'_{cr} = 448 \text{ kg/cm}^2$ sin aire incorporado, la relación de agua cemento será de $a/c = 0.48$

h) Cálculo de cemento

$$a/c = 0.48$$

$$a = 251.5 \text{ l/m}^3 \quad c = 524 \text{ kg}$$

$$\text{factor cemento} = 524/42.5 = 12.3 \text{ bolsas}$$

i) Peso absoluto del agregado grueso

Conociendo el MF (5.67) del agregado grueso y la dimensión de 1", el volumen del agregado grueso fue de 0.401 m^3 .

$$\text{Masa del agregado grueso} = 1561 \text{ kg/m}^3 \times 0.401 \text{ m}^3 = 626 \text{ kg}$$

Cálculo de volúmenes absolutos:

Tabla 26

Volúmenes absolutos

Materiales	Peso(kg)	P.e(kg/m3)	Volumen(m3)
cemento	586	3100	0.189
Agua	205	1000	0.205
Aire atrapado	-----	-----	0.03
Agregado grueso	626	2725	0.230
Agregado fino	¿?	2701	X

Fuente: Elaboración propia

$$\text{TOTAL} = 0.654 \text{ m}^3$$

$$\text{Contenido de agregado fino} = 1 - 0.654 = 0.346$$

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 0.346 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa del agregado fino} = 2701 \times 0.346 = 934.55 \text{ kg}$$

j) Valores de diseño corregidos

cemento524.0 kg/m³
 agua efectiva251.5 lt/m³
 agregado fino801.7 kg/m³
 agregado grueso.....807.0 kg/m³

k) Proporción en peso

524 : 801.7 : 807

524 524 524

l) Proporción en volumen

1: 1.63: 1.58 / 22.9 l / bolsa

5.4 Resultados del ensayo de la resistencia a la compresión

5.4.1 Concreto f'c=350 kg/cm² con cemento Portland tipo V

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los resultados de la resistencia a la compresión del cemento tipo V.

Tabla 27

Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo V

TESTIGO		SLUM (pulg.	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²
N.º	ELEMENTO		MOLDEO	ROTURA		
01	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	10/10/2019	3	180
02	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	10/10/2019	3	173
03	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	10/10/2019	3	179
04	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	14/10/2019	7	270
05	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	14/10/2019	7	277
06	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	14/10/2019	7	268
07	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	21/10/2019	14	318
08	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	21/10/2019	14	311
09	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	21/10/2019	14	314
10	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	04/11/2019	28	366
11	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	04/11/2019	28	357
12	CEMENTO TIPO V	-	14/10/2019	04/11/2019	28	361

Fuente: Elaboración propia

Según las especificaciones, los ensayos responden a la norma de diseño ASTM C-39.

En la tabla 27, se muestran los resultados de la compresión del cemento tipo V desde el día 3 hasta el día 28.

5.4.2 Concreto $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ con cemento Portland tipo HS

A continuación, en la siguiente tabla se muestra los resultados a la resistencia a la compresión del cemento tipo HS.

Tabla 28

Resultados de la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo HS

TESTIGO		SLUMP	FECHA		EDAD	FC
Nº	ELEMENTO	pulgadas	MOLDEO	ROTURA	DÍAS	Kg/cm ²
01	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	05/10/2019	3	159
02	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/201	05/10/2019	3	161
03	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	05/10/2019	3	164
0	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	09/10/2019	7	232
05	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	09/10/2019	7	238
06	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	09/10/2019	7	234
07	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	16/10/2019	14	295
08	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	16/10/2019	14	301
09	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	16/10/2019	14	305
10	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	30/11/2019	28	359
11	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	30/11/2019	28	356
12	CEMENTO TIPO HS	-	11/10/2019	30/11/2019	28	351

Fuente: Elaboración propia

Según las especificaciones, los ensayos responden a la norma de diseño ASTM C-39.

En la tabla 28, se muestra los resultados de la compresión del cemento tipo HS desde el día 3 hasta el día 28.

5.4.3 Resultado comparativo de resistencia a la compresión

A continuación, en el siguiente gráfico, se muestra la comparación de ambos concretos, elaborada con cada tipo de cemento.

Tabla 29

Comparación de las muestras a los 3 días

TIPO CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIPO V	180	173	179
TIPO HS	159	161	164

Fuente: Elaboración propia

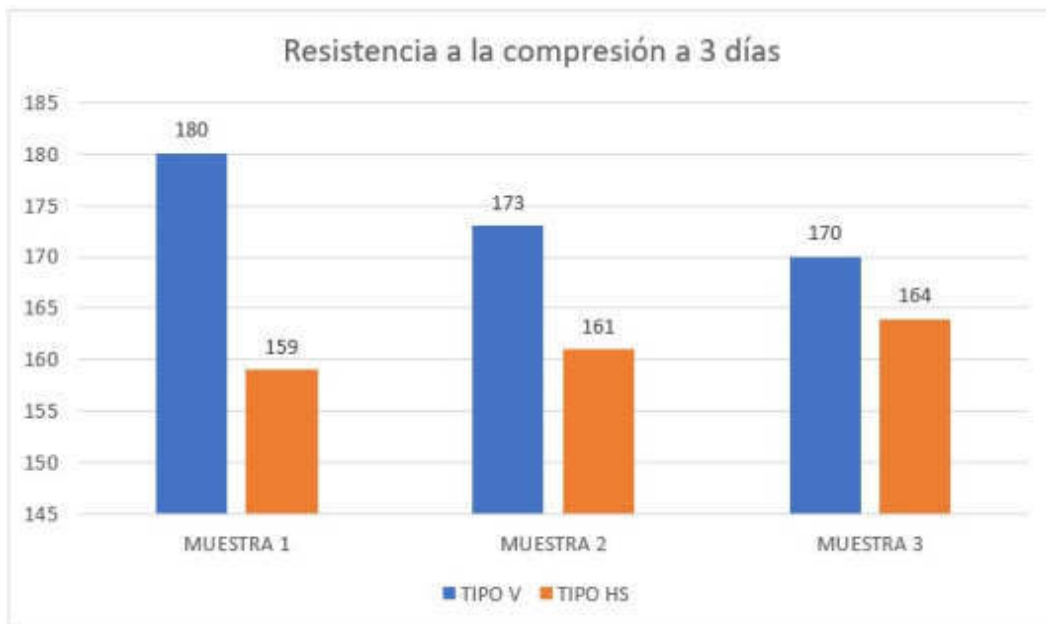


Figura 55 Comparación de muestras a los 3 días

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30

Comparación de las muestras a los 7 días

TIPO CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIPO V	270	277	268
TIPO HS	232	238	234

Fuente: Elaboración propia

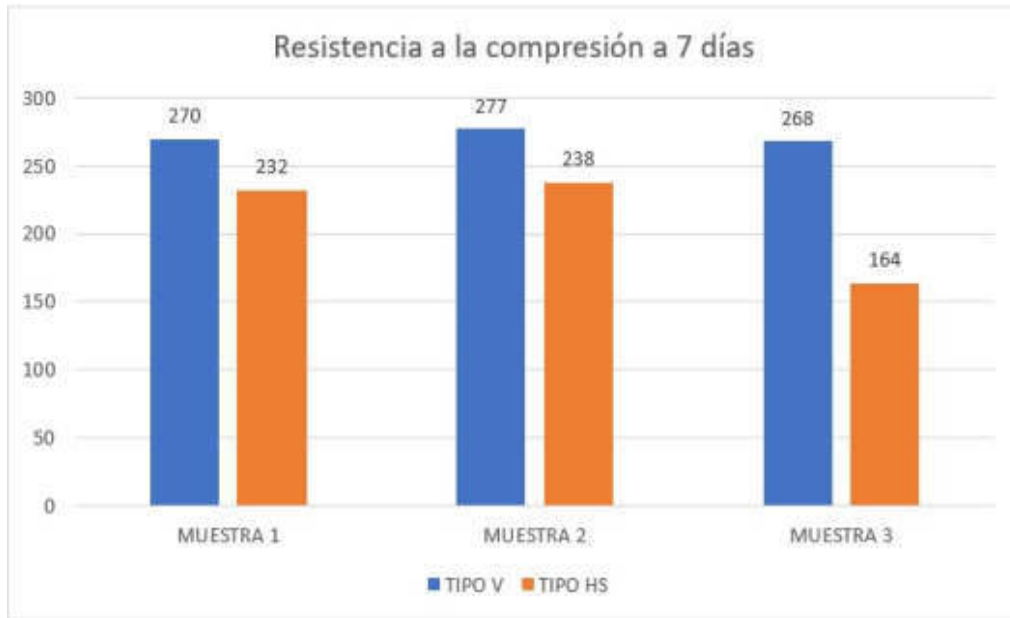


Figura 56 Comparación de las muestras a los 7 días
Fuente: Elaboración propia

Tabla 31

Comparación de las muestras a los 14 días

TIPO CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIPO V	318	314	311
TIPO HS	295	301	305

Fuente: Elaboración propia

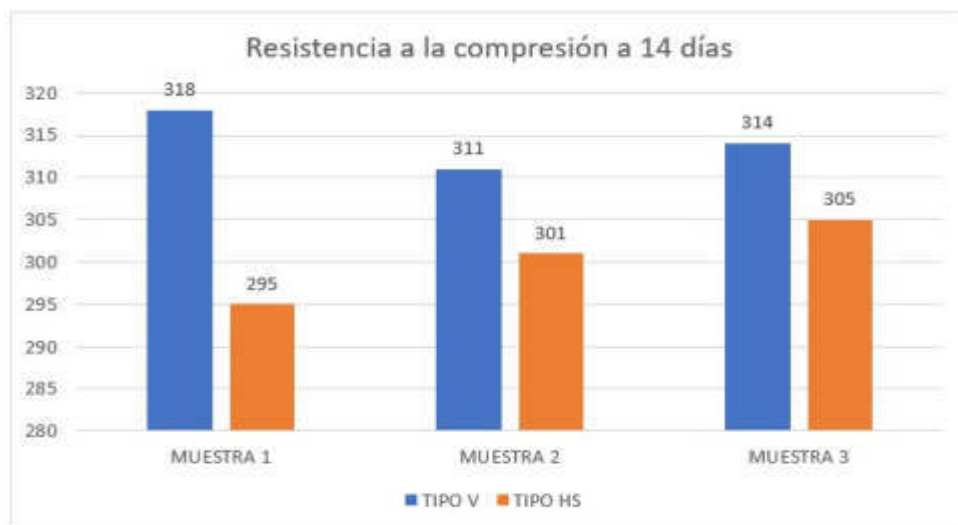


Figura 57 Comparación de las muestras a los 14 días
Fuente: Elaboración propia

Tabla 32

Comparación de las muestras a los 21 días

TIPO CEMENTO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
TIPO V	337	335	339
TIPO HS	332	334	333

Fuente: Elaboración propia

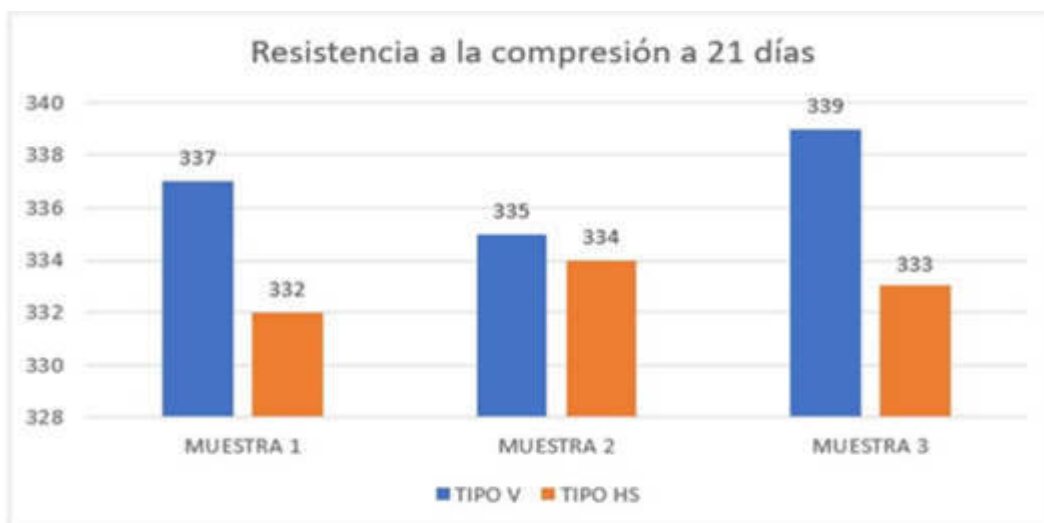


Figura 58 Comparación de las muestras a los 21 días

Fuente: Elaboración propia

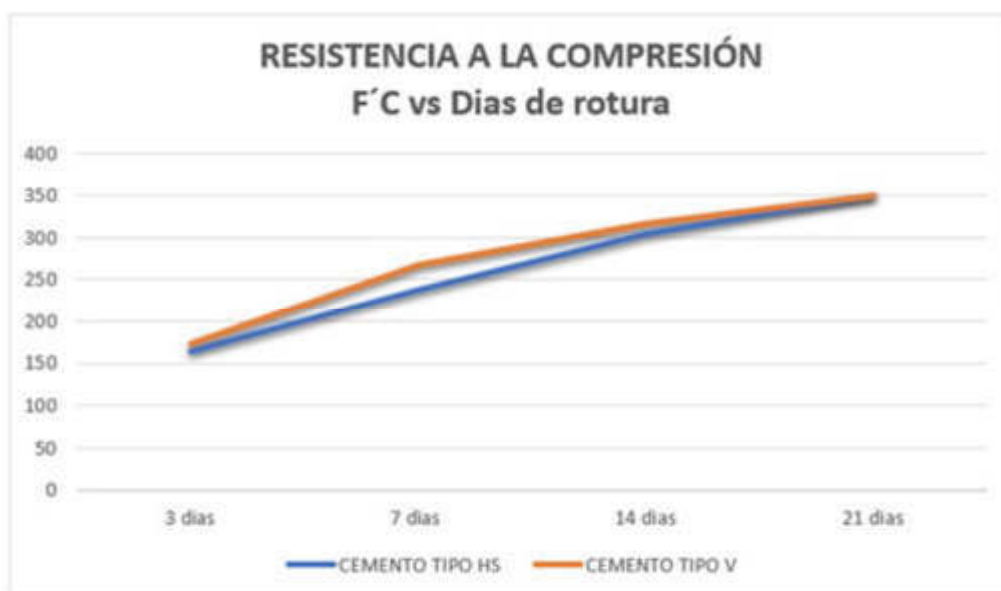


Figura 59 Comparación promedio de resistencia a la compresión

Fuente: Elaboración propia

5.5 Resultados de porcentaje de expansión en autoclave

5.5.1 Resultados del porcentaje de expansión en autoclave del cemento tipo V

Los resultados del porcentaje de expansión en autoclave de los cementos Portland tipo V se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 33

Expansión de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V

N° DE PROBETA	MEDIDA INICIAL	MEDIDA FINAL
1	4.177	4.274
2	4.407	4.502
3	3.944	4.040

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34

Diferencia de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V

N° DE PROBETA	DIFERENCIA LONGITUDINAL (mm)
1	0.097
2	0.095
3	0.096

Fuente: Elaboración propia

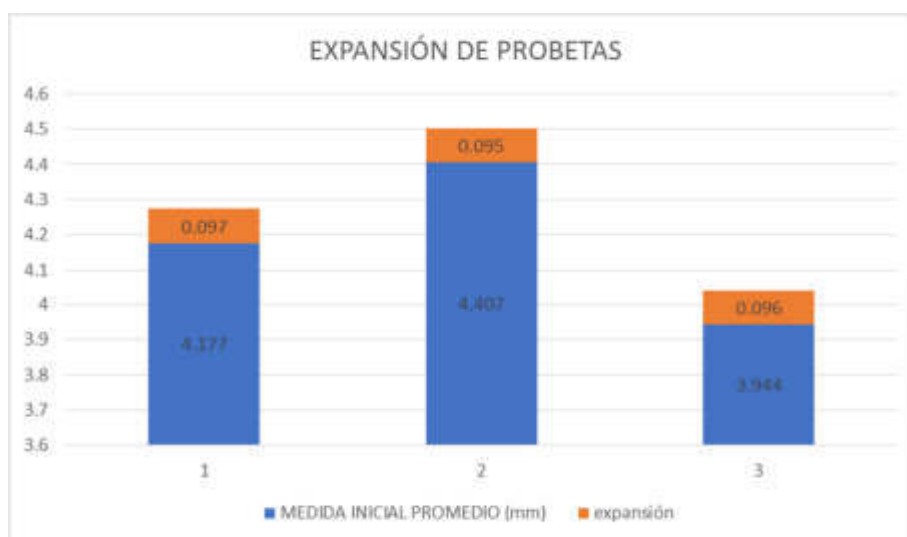


Figura 60 Variación de longitud de las probetas del cemento Portland tipo V

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35

Porcentaje promedio de expansión

N.º DE PROBETA	PORCENTAJE DE EXPANSIÓN
1	0.038
2	0.038
3	0.038
PROMEDIO	0.038

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 35, se puede observar el porcentaje de expansión en autoclave de cada probeta y su promedio, el que se obtiene de la división entre los metros de expansión y la longitud nominal de calibración (250 SI), según la NTP 334.004.

5.5.2 Resultados del porcentaje de expansión en autoclave del cemento tipo HS

Los resultados del porcentaje de expansión en autoclave de los cementos Portland tipo HS son mostrados en las siguientes tablas.

Tabla 36

Expansión de longitud de las probetas del cemento tipo Portland HS

Nº DE PROBETA	MEDIDA INICIAL	MEDIDA FINAL
1	4.174	4.137
2	3.741	3.720
3	3.937	3.919

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37

Diferencia de longitud de las probetas del cemento tipo Portland HS

Nº DE PROBETA	DIFERENCIA LONGITUDINAL (mm)
1	-0.037
2	-0.021
3	-0.018

Fuente: Elaboración propia



Figura 61 Variación de longitud de las probetas del cemento Portland tipo HS

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38

Porcentaje promedio de contracción

Nº DE PROBETA	% DE CONTRACCION
1	0.0148
2	0.0084
3	0.0072
PROMEDIO	0.010

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 38, se puede observar el porcentaje de expansión en autoclave de cada probeta y su promedio, el que se obtiene de la división entre los metros de expansión y 250, según la NTP 334.004. En este caso los resultados fueron valores negativos, lo que indica que se produjo una contracción de la probeta.

5.5.3 Resultado comparativo del porcentaje de expansión en autoclave

A continuación, se presenta la comparación de los morteros elaborados con ambos cementos.

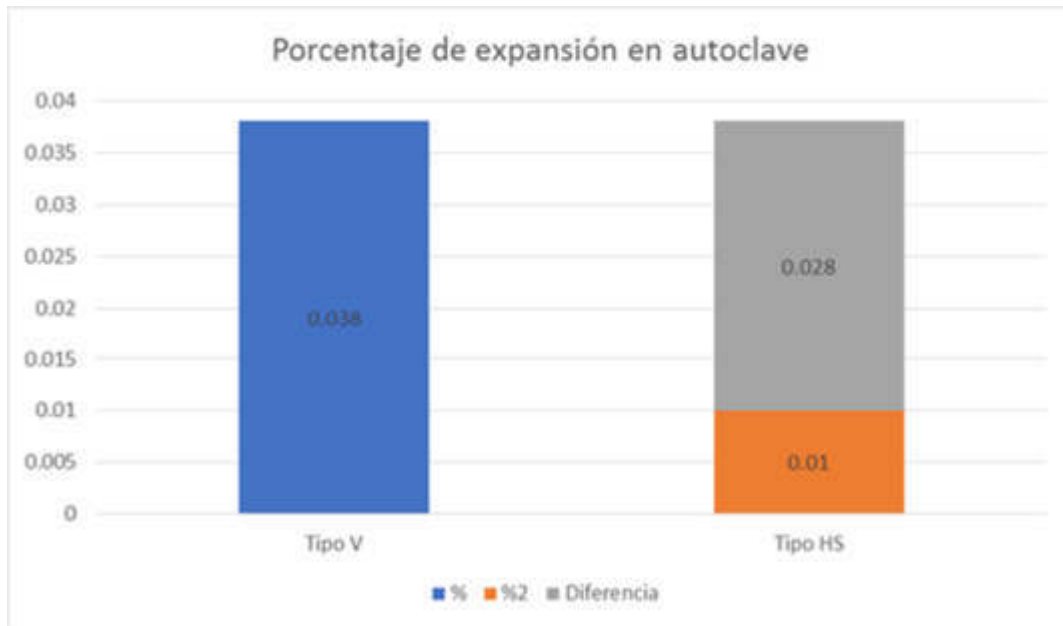


Figura 62 Comparación del porcentaje de expansión en autoclave

Fuente: Elaboración propia

En la figura 62, se puede observar el porcentaje promedio de expansión en autoclave. Para realizar esta prueba fabricó un mortero con cemento Portland tipo HS, resistente a los sulfatos. El resultado fue un bajo porcentaje de expansión, en comparación al mortero fabricado con el cemento Portland tipo V. Ambas cumplen con la NTP 334.004, la cual indica que el mortero no puede contraerse o expandirse a más de 0.08 %.

5.6 Resultados del tiempo de fraguado

5.6.1 Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo V

Los resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland Tipo V se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 39

Cantidad de agua – cemento Portland tipo V

Cemento (g)	Agua (ml)
Andino tipo V	162.8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40

Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo V

N.º	HORA	TIEMPO	PENETRACIÓN
1	12:30	30	40
2	12:30	60	40
3	13:30	90	40
4	13:30	120	40
5	13:37	127	37
6	13:43	133	35
7	13:50	140	32
8	13:58	148	25
9	14:00	150	20
10	14:20	170	6
11	14:30	180	2
12	14:40	190	1
13	14:45	195	1
14	14:45	205	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se muestra el tiempo de fraguado del cemento Portland tipo V, el cual, posteriormente, fue comparado con los resultados del cemento Portland tipo HS. Para este ensayo se utilizó 162.8 ml de agua de acuerdo al método del tanteo.

5.6.2 Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland tipo HS

Los resultados del tiempo de fraguado de los cementos Portland Tipo HS se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 41

Cantidad de agua – cemento Portland tipo HS

Cemento (g)	Agua (ml)
Andino Ultra HS	184.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42

Resultados del tiempo de fraguado del cemento Portland HS

N.º	HORA	TIEMPO	PENETRACIÓN
1	11:30	30	40
2	12:00	60	40
3	12:30	90	40
4	13:00	120	40
5	13:15	135	40
6	13:25	145	35
7	13:33	153	25
8	13:35	155	21
9	13:42	162	15
10	13:55	175	10
11	14:00	180	3
12	14:18	198	1
13	14:30	210	1
14	14:35	215	0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior, se muestra los tiempos de fraguado del cemento tipo V, datos que fueron comparados posteriormente con las del cemento Portland tipo HS. En este ensayo se utilizó 184.6 ml de agua de acuerdo al método del tanteo.

5.6.3 Resultado comparativo del tiempo de fraguado

A continuación, en el siguiente gráfico, se muestra la comparación de ambos cementos con respecto a su tiempo de fraguado.

Tabla 43

Comparación del fraguado inicial.

TIPO DE CEMENTO	FRAGUADO INICIAL
Tipo V	148 min.
Tipo HS	153 min.
NTP mínimo	45 min.

Fuente: Elaboración propia

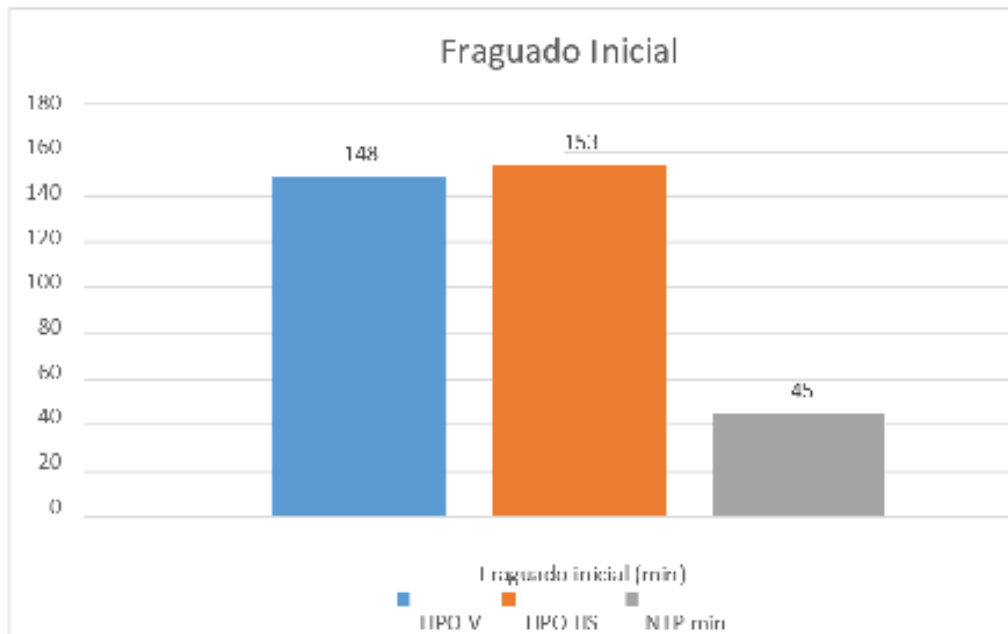


Figura 63 Comparación del fraguado inicial

Fuente: Elaboración propia

Tabla 44

Comparación del fraguado final

TIPO DE CEMENTO	FRAGUADO FINAL
Tipo V	205 min.
Tipo HS	215 min.
NTP Máx.	375 min.

Fuente: Elaboración propia

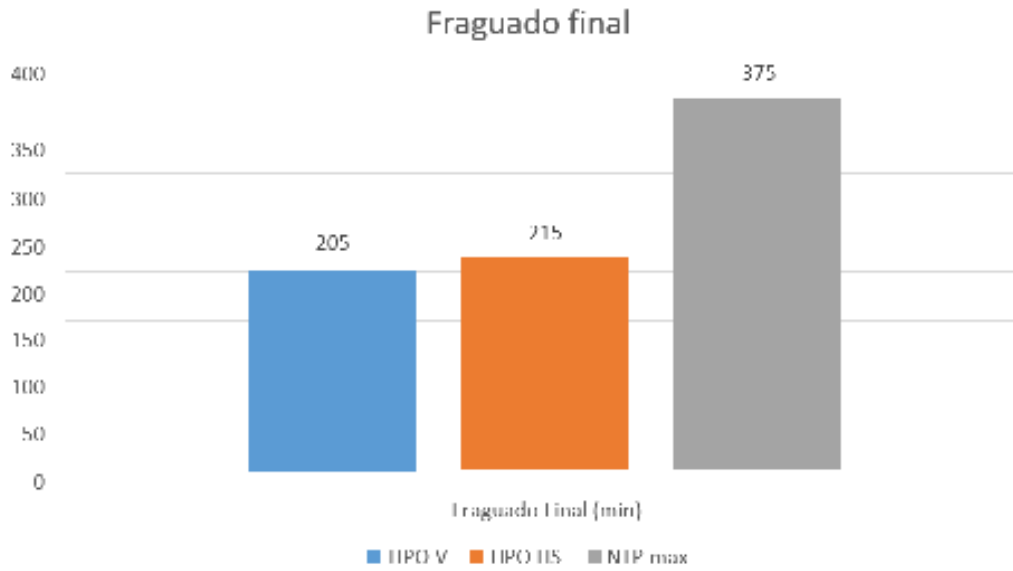


Figura 64 Comparación del fraguado final
Fuente: Elaboración propia



Figura 65 Comparación del tiempo de fraguado
Fuente: Elaboración propia

5.7 Ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua

5.7.1 Ensayo para determinar la permeabilidad al agua del concreto elaborado con cemento tipo V

Se utilizó como muestra tres probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura. La resistencia de cada concreto fue de un $f'c$ 350, durante un periodo de 4 días.

Tabla 45

Porcentajes de densidad, absorción y vacíos del cemento tipo V

Densidad, absorción y vacíos	Porcentaje
% absorción después de inmersión	3.07
% absorción después de inmersión y ebullición	3.24
Densidad global(bruta) seca	2.04
Densidad global(bruta) después de inmersión	2.10
Densidad global(bruta) después de inmersión y ebullición	2.10
Densidad aparente	2.18
% volumen de vacíos(espacio de poros permeables)	6.60

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 45, se aprecian los resultados porcentuales de la densidad, de la absorción del agua y de los vacíos del concreto endurecido, la cual fue elaborado con cemento tipo V. Estos datos son resultan necesarios para determinar la permeabilidad del concreto.

Tabla 46

Ensayo de permeabilidad del cemento Portland tipo V

Identificación	Fecha de inicio	Fecha final	Profundidad (cm)	Coef. Permeabilidad	permeabilidad
M-1	04/11/19	07/11/19	7.57	1.10E-11	MEDIA
M-2	04/11/19	07/11/19	6.83	8.91E-12	MEDIA
M-3	04/11/19	07/11/19	8.53	1.39E-11	MEDIA

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 46, se observan los resultados del ensayo de permeabilidad, la misma que indica que cuenta con una profundidad promedio de 7.64 cm, lo que señala que tiene una permeabilidad media.

5.7 Ensayo para determinar la permeabilidad al agua del concreto elaborado con cemento Portland tipo HS

Se utilizó como muestra tres probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 15 cm de altura. Donde la resistencia de cada concreto fue de un $f'c$ 350, durante un periodo de cuatro días.

Tabla 47

Porcentajes de densidad, absorción y vacíos de cemento Portland tipo HS

Densidad, absorción y vacíos	Porcentaje
% absorción después de inmersión	2.63
% absorción después de inmersión y ebullición	2.80
Densidad global(bruta) seca	2.30
Densidad global(bruta) después de inmersión	2.36
Densidad global(bruta) después de inmersión y ebullición	2.36
Densidad aparente	2.46
% volumen de vacíos(espacio de poros permeables)	6.44

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 47, se consignan los resultados porcentuales de la densidad, de la absorción del agua y de los vacíos del concreto endurecido, elaborado con cemento tipo HS. Estos ensayos fueron necesarios determinar la permeabilidad del concreto.

Tabla 48

Ensayo de permeabilidad del cemento Portland tipo HS

Identificación	Fecha de inicio	Fecha final	Profundidad (cm)	Coef. Permeabilidad	permeabilidad
M-1	04/11/19	07/11/19	6.12	6.97E-12	MEDIA
M-2	04/11/19	07/11/19	5.68	6.01E-12	MEDIA
M-3	04/11/19	07/11/19	7.19	9.63E-12	MEDIA

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 48, se observan los resultados del ensayo de permeabilidad, la que cuenta como una profundidad promedio de 6.33 cm, lo que indica que tiene una permeabilidad media.

5.7 Comparación de la permeabilidad al agua de los concretos elaborados con cemento Portland tipo HS y tipo V

A continuación, se presenta la comparación de los resultados obtenidos del ensayo de permeabilidad del concreto, donde se determinó su durabilidad por medio de los centímetros de penetración.

Tabla 49

Comparación de porcentajes de densidad, absorción y vacíos

Densidad, absorción y vacíos	Tipo V	Tipo HS
% absorción después de inmersión	3.07	2.63
% absorción después de inmersión y ebullición	3.24	2.80
Densidad global(bruta) seca	2.04	2.30
Densidad global(bruta) después de inmersión	2.10	2.36
Densidad global(bruta) después de inmersión y ebullición	2.10	2.36
Densidad aparente	2.18	2.46
% volumen de vacíos(espacio de poros permeables)	6.60	6.44

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 49, hay una minúscula diferencia en los porcentajes de absorción, densidad y vacíos, resultando el cemento Portland tipo HS con menor porcentaje de vacíos, lo cual indica que es menos poroso e impermeable.

Tabla 50

Comparativa del ensayo de Permeabilidad

Muestra	Tipo V	Tipo HS
M-1	7.57	6.12
M-2	6.83	5.68
M-3	8.53	7.19

Fuente: Elaboración propia

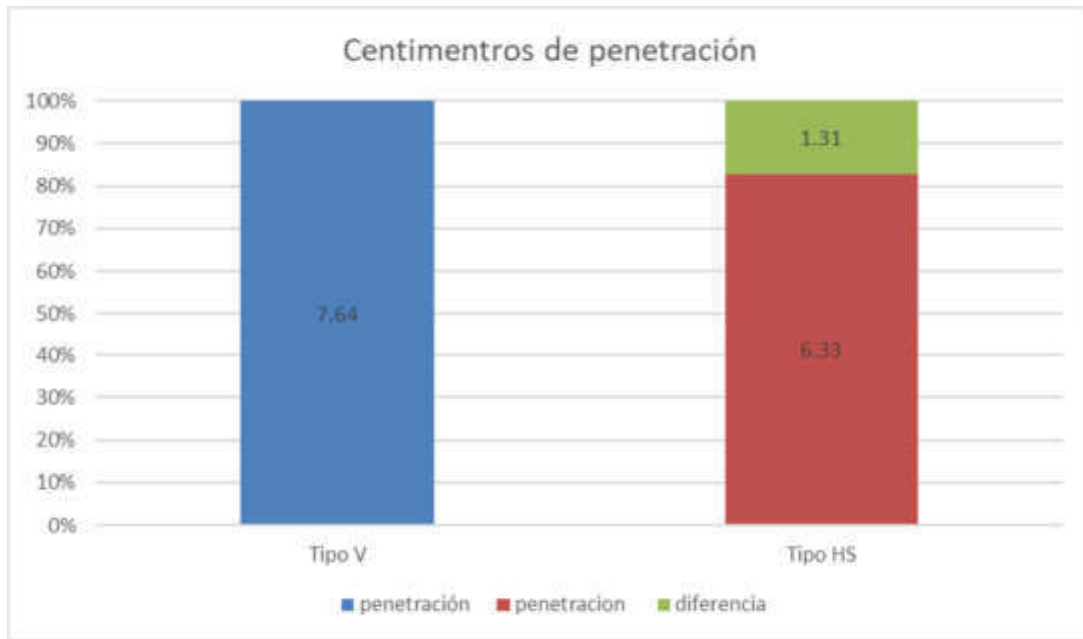


Figura 66 Comparativa del ensayo de permeabilidad

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 50 y en la figura 66, los centímetros de penetración del concreto, elaborado con el cemento Portland tipo V, tiene un promedio de 7.64 cm; mientras que el concreto, elaborado con el cemento Portland tipo HS, tiene un promedio de 6.33 cm. Esto quiere decir que hay una diferencia de 1.31 cm aproximadamente. Esto es un indicador de que el concreto elaborado con el cemento Portland tipo HS es más impermeable, resistente y duradero que el concreto elaborado con el cemento Portland tipo V.

5.8 Diferencia en la cotización de cambio de cemento

A continuación, se presentará la diferencia entre los precios por bolsa del cemento Portland tipo V y el cemento Portland tipo HS, de igual manera la cotización de concretos premezclados, tanto del concreto elaborado con el cemento Portland tipo HS como con el cemento Portland tipo V.

5.8.1 Diferencia de precio por bolsa de cemento

Tabla 51

Comparación de precios por bolsa de cemento

CEMENTO	PRECIO EN SOLES
Andino tipo V	28.20
Andino ultra tipo HS	24.50
Diferencia	3.70

Fuente: Elaboración propia

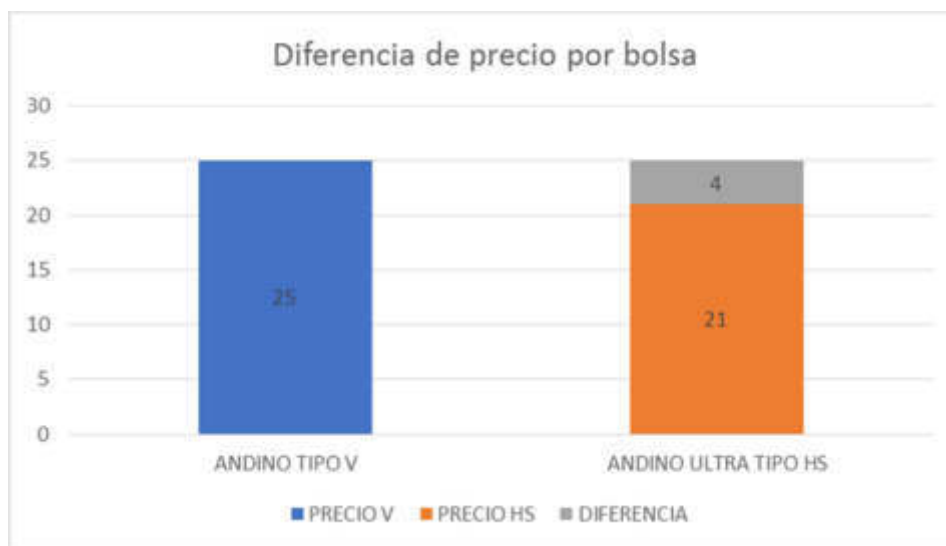


Figura 67 Comparación de precios por bolsa de cemento

Fuente: Elaboración propia

5.8.2 Diferencia en la cotización para sustitución de cemento

Tabla 52

Comparación en la cotización para la sustitución de cemento

CONCRETO PREMEZCLADO (M3)	PRECIO EN SOLES
Andino tipo V	37,642.00
Andino ultra tipo HS	28,674.00
Diferencia	8,968.00

Fuente: Elaboración propia



Figura 68 Comparación en la cotización para la sustitución de cemento

Fuente: Elaboración propia

Como podemos observar en la figura 68, hay un ahorro de S/ 8968 por cada 100 m³ de concreto premezclado elaborado con cemento Andino Ultra tipo HS (S/ 28674), respecto al cemento Andino tipo V (S/ 37642).

CAPÍTULO VI

DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 Discusión de resultados y antecedentes

El trabajo de investigación de Cabrera (2017) concluye que el cemento tipo HS permite un mejor trabajo de su manejo que el cemento Sol T-I. Esto se evidenció luego de que en los ensayos el cemento Andino HS superó en un 16% ser más trabajable respecto al cemento Sol tipo-I.

El trabajo de Cabrera y esta investigación arribaron a resultados similares; sin embargo, al comparar el cemento Andino HS con el de tipo V, el primero supera, en fraguado, al primero en 10 minutos.

Tello y Tello (2018), según los resultados arribados en su tesis, evidenciaron que el uso del cemento tipo HS añade una alta resistencia a los sulfatos; ya que tienen un 10% más de resistencia a sulfatos con respecto a una mezcla con el uso de cemento tipo HE.

Según este estudio, comparado con los resultados de Tello y Tello, se pudo verificar la validez de aquella investigación; dado que el concreto elaborado con cemento tipo HS presenta un menor porcentaje de expansión respecto al concreto producido con cemento tipo V.

Rimarachin (2013) señaló que el ataque de cloruros y sulfatos produce una reducción en la resistencia mecánica de la obra civil. Es por ello que la presente investigación busca resaltar la aplicación del cemento tipo HS, ya que la aplicación de esta mezcla está constantemente expuesta a cloruros y sulfatos.

Alfaro y Laura (2014), mediante la comparación y la modificación de mezclas, determinaron que es recomendable que el cemento Portland tipo HS reemplace al cemento Portland tipo V; debido a su alta resistencia a la compresión. Así, comparándola con la presente investigación, se observa que

hay cierta similitud, ya que la resistencia a la compresión a los 28 días es mejor a la del cemento Portland tipo V.

Ruiz y Vasallo (2018) señalan que el cemento tipo MS presenta características similares al cemento tipo HS: ambas evidencian una alta resistencia a los sulfatos. Dicha comparación al contrastarla con esta investigación se obtuvo como resultado que la aplicación del cemento tipo HS es superior al cemento tipo V; ya que el primero presenta menor porcentaje de expansión.

López (2000) señala que en algunos casos como en el empleo de cemento tipo HS para el tarrajeo de paredes ya no es necesario el uso de pintura. Esto se debe a que el acabado que se obtiene presenta moderado calor de hidratación y baja reactividad con agregados álcali y reactivos. Comparado con el presente estudio se observa cierta similitud, ya que, según los tiempos de fraguado, se puede comprobar que el cemento Portland tipo HS presenta un moderado calor de hidratación, lo que lo hace más trabajable y de mayor plasticidad.

Hernández (2006) señala que el cemento tipo HS presenta un porcentaje menor de expansión (0.020%) que uno tradicional (0.021%). En relación con esta investigación, luego comparar la aplicación del cemento tipo HS y el cemento tipo V, se observa que el uso del cemento tipo HS es superior al de tipo V; ya que este tiene menor porcentaje de expansión con respecto al tipo V y al tradicional tipo I.

Vilanova (2009) señala que los cementos de alta resistencia a las sales presentan menor tiempo de fraguado y, en algunos casos, mayor resistencia de compresión que un cemento convencional. Estableciendo una comparación con esta investigación, la afirmación resulta verídica; sin embargo, el cemento tipo HS presenta un tiempo de fraguado de 10 minutos adicionales respecto al cemento tipo V.

Ponce y Tapia (2015) señalan que el cemento Holcim (HS) presenta una alta resistencia a los sulfatos en comparación con otros tipos. Esto se debe a que su porcentaje de expansión es menor con respecto a los demás, la que varía entre 0.021% y 0.023%. Al contrastar dicha investigación con este estudio, se

puede afirmar que ambos corroboran que el cemento tipo HS es superior al de tipo V, porque presenta un bajo porcentaje de expansión.

Castillo (2015) señala que, según los resultados obtenidos en los ensayos, el cemento tipo HS presenta menor porcentaje de expansión (0.022%) que un cemento convencional (0.024%), lo cual lo hace muy resistente a los sulfatos. Comparado con la presente investigación, la afirmación es correcta, ya que el cemento Portland tipo HS tiene menor porcentaje de expansión, lo cual también lo hace resistente a los sulfatos.

6.2 Discusión de resultados e hipótesis

6.2.1 Hipótesis general

Mediante los ensayos en laboratorio se dictaminó que al aplicar el cemento Portland tipo HS se logra obtener un concreto con mayor viabilidad técnica y mayor beneficio económico. Beneficios que se pueden observar en la siguiente tabla, donde se detalla las diferencias entre el cemento tipo HS y tipo V, corroborando la validez de la hipótesis general.

Tabla 53
Diferencias entre el cemento tipo HS y tipo 5

I	CEMENTO TIPO V	CEMENTO TIPO HS	NTP
Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	350	350	-
Resistencia a los sulfatos (porcentaje de expansión)	0.038	0.010	<0.08
Tiempo de fraguado final (min)	205	215	<420
Cotización de concreto premezclado (S/)	37,642.00	28,674.00	-
Ensayo de permeabilidad (cm de profundidad)	7.64	6.33	-

Fuente: elaboración propia

6.2.2 Hipótesis específicas

El concreto elaborado con cemento Portland tipo HS, resistente a los sulfatos, tiene similar o mayor resistencia a la compresión que el concreto elaborado con cemento Portland tipo V; por lo que se obtiene una mejor cotización de concreto.

Al realizar las pruebas de resistencia a la compresión del día 3 al día 28, se determinó que el cemento Portland tipo V tiene una mayor resistencia inicial, la cual tiene una leve ventaja en comparación al cemento Portland tipo HS; sin embargo, al comparar la resistencia global, al final, ambos concretos obtienen el mismo índice de resistencia. Por lo tanto, esta hipótesis es válida, tal como se puede observar en la siguiente figura.

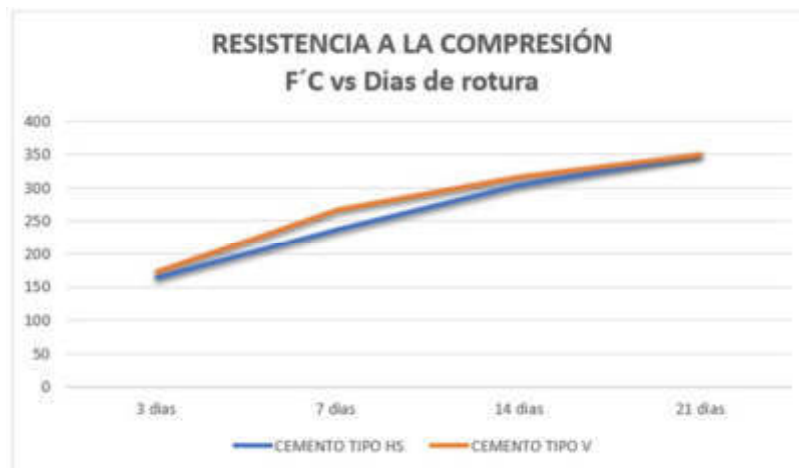


Figura 69. Resistencia a la compresión F'C vs. Días de rotura

Fuente: elaboración propia

De esta manera el proyecto goza de mayor rentabilidad al evaluar los precios de compra del concreto premezclado. Se observa que hay una diferencia de S/ 8,968.00 por cada 100 m³ de concreto premezclado de tipo HS (S/ 37,642.00), respecto al concreto elaborado con cemento Andino tipo V (S/ 28,674.00). Así, se valida la hipótesis de que la aplicación del cemento de tipo HS es mejor y más rentable, tal como se muestra en la siguiente figura.

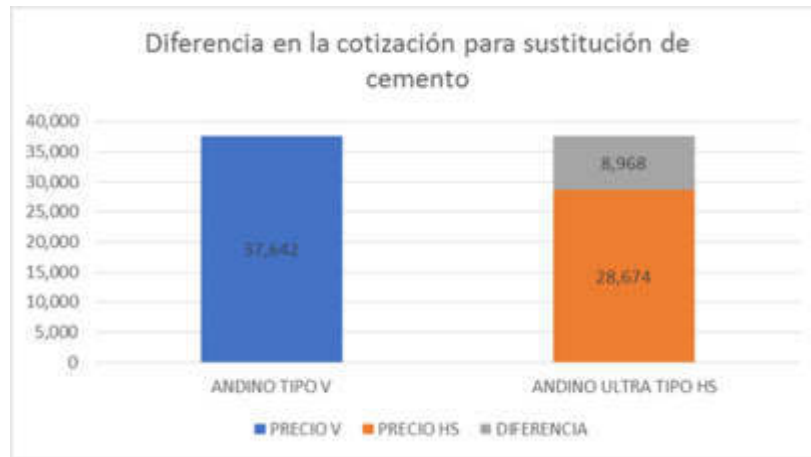


Figura 70. Diferencia en la cotización para sustitución de cemento

Fuente: elaboración propia

El concreto elaborado con el cemento Portland tipo HS, resistente a los sulfatos, tiene mayor resistencia a los sulfatos, comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto con mayor durabilidad estructural.

Al realizar el ensayo del porcentaje de expansión en autoclave, se determinó que el cemento tipo HS tiene menor porcentaje de expansión con respecto al tipo V, tienen una diferencia de 0.023% aproximadamente. Esto quiere decir que a mayor expansión mayor vulnerabilidad a los componentes externos. Por lo tanto, la hipótesis de que la aplicación de cemento Portland tipo HS garantiza un porcentaje bajo de autoexpansión es válida, tal como se indica en la siguiente figura.

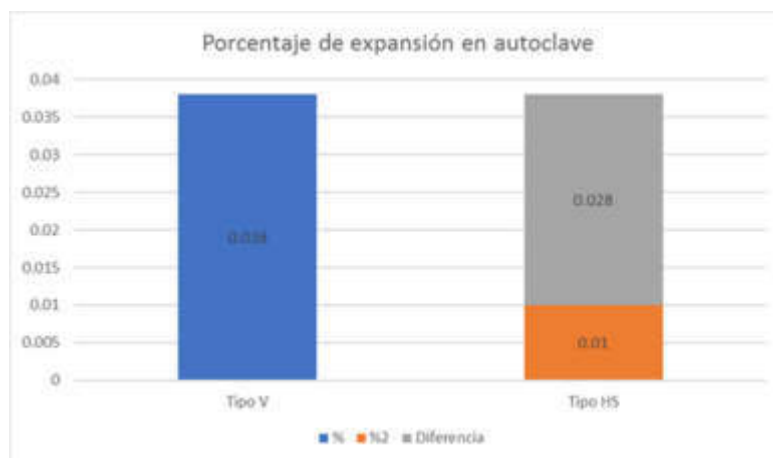


Figura 71. Porcentaje de expansión en autoclave

Fuente: elaboración propia

El concreto elaborado con el cemento Portland tipo HS, resistente a los sulfatos, presenta un mayor tiempo de fraguado, comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto más trabajable en estado fresco.

Concluidas las pruebas de laboratorio de materiales, con el fin de determinar el proceso de fraguado del cemento Portland tipo V y el cemento Portland resistente a los sulfatos tipo HS, se observa que existe una diferencia de 10 minutos en el fraguado final. Si bien es cierto que la diferencia es mínima, es por ello que se puede afirmar que el cemento Portland resistente a los sulfatos es mucho más trabajable y con menos calor de hidratación debido a que tarda más tiempo en endurecerse. Lo que permite afirmar que dicha hipótesis es válida, tal como se observa en la siguiente figura.



Figura 72. Tiempo de fraguado: minutos vs. fraguado total

Fuente: Elaboración propia

El concreto elaborado con cemento Portland HS es menos permeable que el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que se obtiene un concreto con una mayor vida útil.

Concluidos los ensayos de permeabilidad al agua (NTC 4483) de los concretos elaborados con cemento Portland tipo V y Portland HS, se determinó que existe una diferencia de 1.31 cm de profundidad de penetración, lo que permite arribar a la conclusión de que el cemento Portland es menos permeable que el cemento Portland tipo V. Por lo tanto, esta hipótesis es válida y se puede observar en la siguiente figura.

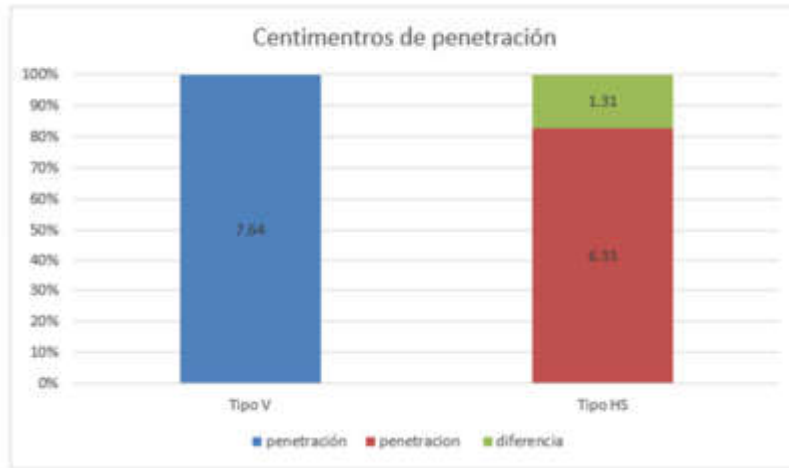


Figura 73. Comparación de los centímetros de penetración de los cementos tipos V y HS
Fuente: Elaboración propia.

De lo visto anteriormente, se puede resumir gráficamente en la siguiente tabla

Tabla 54
Resumen de la comparación de los cementos tipo V y tipo HS

	CEMENTO TIPO V	CEMENTO TIPO HS	NTP
Resistencia a la compresión a los 28 días (kg/cm ²)	350	350	-
Resistencia a los sulfatos (porcentaje de expansión)	0.038	0.010	<0.08
Tiempo de fraguado final (min)	205	215	<420
Cotización de concreto premezclado (S/.)	37,642.00	28,674.00	-
Ensayo de permeabilidad (cm. De profundidad)	7.64	6.33	-

Fuente:Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Una vez evaluado la viabilidad técnica y económica de los cementos tipo V y HS para la construcción del reservorio del proyecto de saneamiento del Esquema VRHT, en el distrito del Callao, se puede concluir que el cemento Portland tipo HS, resistente a los sulfatos, es más viable, debido a que tiene similar resistencia a la compresión, por el reducido porcentaje de expansión, el cual nos indica que es resistente a los sulfatos, su tiempo de fraguado final beneficia a la estructura y, principalmente, tiene un costo reducido. Los parámetros que se llevaron para llegar a la conclusión son las siguientes: resistencia a la compresión (350 kg/cm^2), resistencia a los sulfatos (0.010), tiempo de fraguado (215 min), cotización del concreto premezclado (S/ 28,674.00), ensayo de permeabilidad (6.33 cm).

2. En relación a la resistencia a la compresión, se puede afirmar como conclusión de que el concreto elaborado con cemento Portland tipo HS tiene similar o mayor resistencia a la compresión, comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, por lo que el cemento tipo HS permite obtener una mejor cotización de concreto. Para arribar dicha conclusión, en este ensayo se utilizó la misma relación agua/cemento para el diseño de mezcla, evitando así alterar las propiedades físicas de ambos cementos. Posteriormente, se solicitó una cotización de concreto premezclado elaborado con el cemento Andino Ultra tipo HS a la empresa Mixercon S.A para comparar precios con la cotización que se utilizó en el proyecto de saneamiento, el cual se ejecutó con concreto premezclado, elaborado con el cemento Andino tipo V. Por tal, de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que aplicar el cemento Portland tipo HS, en concreto premezclado del mismo, no solo es más resistente a la compresión, sino que resulta más económico que el concreto de cemento Andino tipo V, tomando en cuenta que el concreto elaborado con cemento Portland tipo HS tiene una resistencia similar a la compresión con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V, después de 28 días.

3. Respecto al porcentaje de expansión en autoclave, se puede concluir que el cemento Portland tipo HS otorga mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Portland tipo V. Esto permite obtener un concreto con mayor durabilidad

estructural, ya que ya que cuenta con menor porcentaje de expansión (0.10%), con una diferencia de 0.023% en comparación del cemento Portland tipo V.

4. De acuerdo con el tiempo de fraguado Vicat, para determinar que el concreto elaborado, se puede concluir que el cemento Portland tipo HS tiene un mayor tiempo de fraguado, comparado con el concreto elaborado con cemento Portland tipo V. Lo que permite obtener un concreto con mayor trabajabilidad en estado fresco; ya que tarda más tiempo en alcanzar el fraguado final (215 min), superando por 10 minutos al cemento Portland tipo V, evitando así posibles fisuras por el menor calor de hidratación.

5. Por su permeabilidad, se puede concluir que el concreto elaborado con cemento Portland tipo HS es menos permeable que el concreto elaborado con cemento Portland tipo V; ya que el primero permite obtener un concreto con una mayor vida útil: existe una diferencia de 1.31 cm en la profundidad de penetración.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar el cemento Portland resistente tipo HS para futuras obras de saneamiento y construcciones que estarán expuestas a suelos salitrosos o sulfatosos, ya que es la mejor opción en cuanto a resistencia a agentes químicos se refiere.
2. Realizar futuros diseños de mezcla variando la relación agua/cemento para mayor eficacia al realizar los ensayos de concreto, como son los de resistencia a la compresión y permeabilidad, con el fin de tener resultados exactos.
3. Realizar a futuro un estudio comparativo entre el cemento Portland tipo V y el cemento Portland tipo HS con resultados de los ensayos de resistencia a la compresión con distintos diseños de mezclas, variando la fuerza de compresión para obtener un índice más exacto.
4. Comparar el cemento Portland resistente a los sulfatos tipo HS con otros cementos álcali-resistentes; por ejemplo, cementos Portland tipo II y los cementos adicionados, con la finalidad adquirir un mejor material para futuras construcciones o edificaciones.
5. Evitar la comprar altas cantidades de cemento Portland tipo V, ya que perjudica económicamente al proyecto, en este caso es recomendable adquirir un cemento más económico y resistente: Portland tipo.

FUENTES DE INFORMACION

- Castillo, C. (2015). *Modificación de las propiedades de matrices cementantes mediante la adición de nanopartículas de sílice* (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de <http://eprints.uanl.mx/9270/1/1080215111.pdf>
- Cabrera, L. (2017). *Evaluación del comportamiento del Concreto, elaborados con cementos: Tipo I y Tipo HS, modificados con aditivos Naftalenos y Policarboxilatos* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo, Perú. Recuperado de <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/UCV/19938>
- Laura, L y Alfaro, T. (2014). *Estudio comparativo para la sustitución de un cemento Portland tipo v entre un cemento puzolánico con especificaciones de la performance tipo HS en la fábrica de cemento Yura S.A* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3984>
- López, C. (2000). *Estudio del Aditivo aluminosos en clínker y sus propiedades del cemento Portland* (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Nuevo León, México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/7664/1/1020130155.PDF>
- Rimarachin L.H (2013). *Corrosión del mortero de cemento con armadura, por ataque del cloruro de sodio* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Recuperado de: http://cybertesis.uni.pe/bitstream/uni/3445/1/rimarachin_sl.pdf
- Ruiz, R. y Vasallo, M. (2018). *Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los concretos elaborados con cementos ICO, MS y UG, Trujillo 2018* (Tesis de pregrado). Universidad Privada del Norte, Perú. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11537/14825>
- Santa Cruz N. (2001). *Influencia de la cantidad de agregado más fino que pasa la malla n°100 en la resistencia mecánica del concreto de baja y mediana resistencia fabricado con cemento Tipo I andino* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Perú. Recuperado de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4330/3/santacruz_bn.pdf.txt

Tello, J. & Tello, J. (2018). *Influencia del Uso de Agua del Pozo IRHS-42 del Balneario Los Palos en la Resistencia a la Compresión del Concreto Utilizado en el Distrito de la Yarada–Los Palos de la Provincia de Tacn* (Tesis de pregrado). Universidad Privada de Tacna, Perú. Recuperado de <http://repositorio.upt.edu.pe/handle/UPT/557>

ANEXOS

Anexo 1
Matriz de consistencia

Anexo 2
Características de materiales y granulometría

Anexo 3
Resultados de ensayo a la compresión

Anexo 4
Resultados de ensayo de porcentaje en autoclave

Anexo 5
Resultados de ensayo de tiempo de fraguado vicat

Anexo 6
Ensayo de permeabilidad

Anexo 7
Análisis de costo

Anexo 8
Panel fotográfico



Figura 74 Acarreo de materiales para la ejecución de ensayos
Fuente: elaboración propia



Figura 75 Elaboración del concreto para fabricación de probetas
Fuente: elaboración propia



Figura 76 Cálculo de slump para el diseño de mezcla
Fuente: elaboración propia



Figura 77 Cálculo de Slump para el diseño de mezcla.
Fuente: elaboración propia



Figura 78 Colocación de probeta en compresora hidráulica.

Fuente: elaboración propia



Figura 79 Ejecución de ensayo de resistencia a la compresión.

Fuente: elaboración propia



Figura 80 cierre de capsula para ensayo de porcentaje de expansión en autoclave.

Fuente: elaboración propia



Figura 81 Apagado de primera válvula para conseguir una presión constante dentro de la capsula.

Fuente: elaboración propia



Figura 82 Probetas para ensayo de porcentaje de expansión en autoclave.

Fuente: elaboración propia



Figura 83 Calculo de porcentaje de expansión de probeta.

Fuente: elaboración propia



Figura 84 Toma de datos para ensayo de tiempo de fraguado.
Fuente: elaboración propia



Figura 85 Separamos la parte final del cemento con la malla n° 20.
Fuente: elaboración propia



Figura 86 Con el aparato Vicat, calculamos el tiempo de fraguado final del cemento.

Fuente: elaboración propia



Figura 87 Cálculo de permeabilidad de concreto.

Fuente: elaboración propia



Figura 88 Concluye los 4 días de ensayo.

Fuente: elaboración propia



Figura 89 Calculo de mm de penetración.

Fuente: elaboración propia