

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

Guillermo Jose Davila Piscoya

ASESOR

Jose Alberto Acero Martinez

<https://orcid.org/0000-0003-4154-9510>

Chiclayo, 2024

Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²

PRESENTADA POR

Guillermo Jose Davila Piscoya

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Angel Alberto Lorren Palomino
PRESIDENTE

Hector Augusto Gamarra Uceda
SECRETARIO

Jose Alberto Acero Martinez
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por haberme guiado en todo momento y permitirme llegar hasta este momento importante de mi formación, por haberme dado unos padres tan maravillosos, con los que conté de un gran apoyo moral e incondicional. A mi hermana, sobrinos, abuela y tías una gran fuente de inspiración y motivación.

Agradecimientos

La universidad hizo un cambio de visión en mí, sentó valores y una construcción en mi vida.

A mi asesor el Ing. Jose Alberto Acero Martinez por su confianza depositada, su tiempo brindado y sus consejos que sirvieron de mucho para esta investigación.

A los docentes, ingenieros, compañeros por sus conocimientos compartidos.

TESIS DÁVILA PISCOYA GUILLERMO JOSÉ

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	8%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to uni Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	1%
7	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1%

Índice

Resumen.....	13
Abstract.....	14
Introducción	15
Revisión de literatura	20
Antecedentes	20
Bases teóricas	22
Materiales y métodos.....	44
Resultados y discusión	70
Conclusiones	109
Recomendaciones.....	111
Referencias.....	112
Anexos	115

Lista de tablas

Tabla 1 Composición de óxidos del cemento	23
Tabla 2 Principales compuestos del cemento	24
Tabla 3 Principales tipos de cementos Portland.....	26
Tabla 4 Tipos de cementos Portland adicionados	26
Tabla 5 Requerimientos granulométricos agregado fino	27
Tabla 6 Husos granulométricos agregado grueso	28
Tabla 7 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado.....	31
Tabla 8 Tolerancia de tiempo.....	41
Tabla 9 Muestreo ensayo de asentamiento	45
Tabla 10 Muestreo ensayo tiempo de fraguado	45
Tabla 11 Muestreo ensayo determinación de temperatura de mezcla	46
Tabla 12 Muestreo ensayos concreto endurecido (a/c=0.555).....	46
Tabla 13 Muestreo ensayo concreto endurecido (a/c=0.6).....	47
Tabla 14 Variable Independiente	50
Tabla 15 Variable Dependiente.....	50
Tabla 16 Variable Interviniente	51
Tabla 17 Matriz de consistencia.....	68
Tabla 18 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria	70
Tabla 19 Análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Chancadora Piedra Sicán	71
Tabla 20 Contenido de humedad del agregado fino	72
Tabla 21 Contenido de humedad del agregado grueso.....	72
Tabla 22 Pesos Unitarios del agregado fino	72
Tabla 23 Pesos Unitarios del agregado grueso	73
Tabla 24 Peso específico y absorción del agregado fino	73

Tabla 25	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	74
Tabla 26	Diseño de mezcla - $a/c=0.6$	75
Tabla 27	Diseño de mezcla - $a/c=0.555$	76
Tabla 28	Asentamiento del concreto $a/c=0.6$	77
Tabla 29	Asentamiento del concreto $a/c=0.555$	78
Tabla 30	Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.6$	79
Tabla 31	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - $a/c=0.6$	80
Tabla 32	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - $a/c=0.6$	81
Tabla 33	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - $a/c=0.6$	82
Tabla 34	Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.555$	83
Tabla 35	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - $a/c=0.555$	84
Tabla 36	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - $a/c=0.555$	85
Tabla 37	Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - $a/c=0.555$	86
Tabla 38	Temperatura del concreto $a/c=0.6$	89
Tabla 39	Temperatura del concreto $a/c=0.555$	90
Tabla 40	Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.6$	91
Tabla 41	Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.555$	92
Tabla 42	Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.6$	93
Tabla 43	Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.555$	94
Tabla 44	Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.6$	95
Tabla 45	Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.555$	96
Tabla 46	Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.6$	97
Tabla 47	Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.555$	98
Tabla 48	Comparativa crecimiento de resistencia a la compresión 28 días	99
Tabla 49	Porcentajes mínimos de resistencia alcanzados.....	99
Tabla 50	Porcentajes máximos de resistencia alcanzados.....	100
Tabla 51	Expansión concreto patrón $a/c=0.6$	103

Tabla 52 Expansión concreto $a/c=0.6$ - 1% G.S.	103
Tabla 53 Resultados de ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión concreto $a/c=0.6$	104
Tabla 54 Peso específico del gel de sílice.....	105
Tabla 55 Composición química del gel de sílice	106
Tabla 56 Costo m^3 de concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ – $a/c=0.6$	107
Tabla 57 Costo m^3 de concreto $f_c =210 \text{ kg/cm}^2$ - $a/c=0.6$ - G.S. 1%.....	108

Lista de figuras

Figura 1 Diagrama de planteamiento del problema	17
Figura 2 Proporciones de componentes del concreto	22
Figura 3 Tipos de fallas	41
Figura 4 Diseño de mezcla.....	48
Figura 5 Diagrama metodología de ensayos	49
Figura 6 Muestra ensayada	51
Figura 7 Tamizado del agregado fino.....	51
Figura 8 Pesaje de las muestras.....	52
Figura 9 Peso de agregado retenido	52
Figura 10 Muestra agregado grueso	52
Figura 11 Peso del agregado retenido	52
Figura 12 Muestra húmeda de agregado fino.....	53
Figura 13 Muestra puesta al horno	53
Figura 14 Retirado del horno	53
Figura 15 Muestra seca del agregado fino	53
Figura 16 Muestra húmeda de agregado grueso	54
Figura 17 Muestra seca de agregado grueso	54
Figura 18 Peso de la muestra	54
Figura 19 Fiola con agregado.....	54
Figura 20 Eliminación de las burbujas de aire atrapado.....	55
Figura 21 Peso de la muestra seca.....	55
Figura 22 Agregado sumergido en agua.....	55
Figura 23 Peso de la canastilla	55
Figura 24 Peso de agregado con canastilla	56
Figura 25 Peso de la muestra seca.....	56

Figura 26 Colocación de muestra de agregado fino	56
Figura 27 Colocación de muestra de agregado grueso	56
Figura 28 Peso del agregado fino en la probeta	57
Figura 29 Peso del agregado grueso en la probeta	57
Figura 30 Compactando la muestra de agregado fino	57
Figura 31 Compactando la muestra de agregado grueso	57
Figura 32 Peso del agregado fino en la probeta	58
Figura 33 Peso del agregado grueso en la probeta	58
Figura 34 Gel de sílice	58
Figura 35 Molienda del gel de sílice	58
Figura 36 Gel de sílice molido	59
Figura 37 Fiola con el gel	59
Figura 38 Eliminación de burbujas	59
Figura 39 Material puesto en el horno	59
Figura 40 Peso del material seco	59
Figura 41 Material a incorporar en la mezcla de concreto	60
Figura 42 Incorporación del gel de sílice a la mezcla de concreto	60
Figura 43 Medición del asentamiento	61
Figura 44 Asentamiento del concreto	61
Figura 45 Tamizado del concreto por la malla N° 4	61
Figura 46 Penetración de las agujas	62
Figura 47 Determinación del tiempo de fraguado	62
Figura 48 Control de temperatura del concreto	62
Figura 49 Elaboración de especímenes	63
Figura 50 Especímenes de concreto	63
Figura 52 Especímenes expuestos a la intemperie	63
Figura 53 Registro de medidas del espécimen	64

Figura 54	Espécimen colocado en la máquina.....	64
Figura 55	Carga obtenida.....	64
Figura 56	Falla del espécimen	64
Figura 57	Espécimen con deformímetro.....	65
Figura 58	Realización de ensayo.....	65
Figura 59	Molde para ensayo.....	65
Figura 60	Ensayo.....	66
Figura 61	Muestras para ensayo permeabilidad.....	66
Figura 62	Muestras ensayadas	67
Figura 63	Agregado grueso.....	152
Figura 64	Agregado fino.....	152
Figura 65	Gel de Sílice	152
Figura 66	Cemento Qhuna.....	152
Figura 67	Especímenes $a/c=0.6$	154
Figura 68	Curado de especímenes patrón.....	154
Figura 71	Elaboración de especímenes $a/c=0.555$	154
Figura 73	Especímenes adicionados expuestos al ambiente.....	154
Figura 74	Medición asentamiento $a/c=0.6$	155
Figura 75	Asentamiento del concreto patrón $a/c=0.6$	155
Figura 76	Asentamiento del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.1%$	155
Figura 77	Asentamiento del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.5%$	155
Figura 78	Asentamiento del concreto $a/c=0.6 + G.S. 1%$	155
Figura 79	Medición asentamiento $a/c=0.555$	156
Figura 80	Asentamiento del concreto patrón $a/c=0.555$	156
Figura 81	Asentamiento del concreto $a/c=0.555 + G.S. 0.1%$	156
Figura 82	Asentamiento del concreto $a/c=0.555 + G.S. 0.5%$	156
Figura 83	Asentamiento del concreto $a/c=0.555 + G.S. 1%$	156

Figura 84 Temperatura del concreto patrón $a/c=0.6$	157
Figura 85 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.1\%$	157
Figura 86 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.5\%$	157
Figura 87 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 1\%$	157
Figura 88 Temperatura del concreto patrón $a/c=0.555$	158
Figura 89 Temperatura del concreto $a/c=0.555 + G.S. 0.1\%$	158
Figura 90 Temperatura del concreto $a/c=0.555 + G.S. 0.5\%$	158
Figura 91 Temperatura del concreto $a/c=0.555 + G.S. 1\%$	158

Resumen

Con el actual incremento en las construcciones, el empleo de concreto cada vez es más frecuente y con ello la búsqueda por su mejora, encontrando variedad de alternativas de incorporaciones para este. Por ello, se propone el uso de un absorbente de humedad, similar a la función de un polímero superabsorbente, denominado gel de sílice (G.S.); pretendiendo analizar su influencia en algunas propiedades de concreto con relación a/c de 0.555 y 0.6, incorporando porcentajes de 0.1%, 0.5% y 1% de este material en función al peso de cemento. Resaltando que, con la relación a/c más alta, se presentan temperaturas más bajas, disminuye el tiempo de fragua, aumentos en trabajabilidad, resistencias a la compresión iniciales significativas con aumentos progresivos en el tiempo, mayor rigidez, disminuye la permeabilidad y presenta un mejor desempeño ante ataque de sulfatos, a medida que la cantidad de G.S. aumenta. Por otro lado, con la relación a/c más baja, se encontró aumentos en la temperatura, disminución en tiempo de fragua, disminución en trabajabilidad, incrementos en la resistencia a la compresión con algunas excepciones y disminuciones en la rigidez, a medida que la cantidad de G.S. disminuye. Sugiriendo que el porcentaje óptimo de G.S. varía en función de la relación a/c; una mezcla con una relación a/c de 0,6 se beneficia de mayores porcentajes de G.S., mientras que una mezcla con una relación a/c de 0,555 se beneficia de menores porcentajes de G.S.

Palabras clave: Gel de sílice, polímero superabsorbente, compresión, durabilidad.

Abstract

With the current increase in construction, the use of concrete is becoming more and more frequent and with it the search for its improvement, finding a variety of alternative incorporations for it. Therefore, the use of a moisture absorber, similar to the function of a superabsorbent polymer, called silica gel (S.G.), is proposed; trying to analyze its influence on some properties of concrete with a w/c ratio of 0.555 and 0.6, incorporating percentages of 0.1%, 0.5% and 1% of this material according to the weight of cement. It should be noted that, with the highest w/c ratio, lower temperatures are presented, setting time decreases, increases in workability, significant initial compressive strengths with progressive increases over time, higher stiffness, decreased permeability and better performance against sulfate attack, as the amount of S.G increases. On the other hand, with the lowest w/c ratio, increases in temperature, decreases in setting time, decreases in workability, increases in compressive strength with some exceptions and decreases in stiffness were found as the amount of S.G decreases. Suggesting that the optimum S.G. percentage varies as a function of the w/c ratio; a mix with a w/c ratio of 0.6 benefits from higher S.G. percentages, while a mix with a w/c ratio of 0.555 benefits from lower S.G. percentages.

Keywords: Silica gel, superabsorbent polymer, compression, durability.

Introducción

Vivimos en un mundo donde el predominio de la innovación, el avance de la tecnología y la búsqueda del desarrollo, permiten grandes adelantos en la sociedad y en el país, gran parte de esto influenciado por el área de las construcciones. Según [1], resalta el incremento en el sector, indicando que se encuentra en un progreso constante, presentando grandes avances en cuanto a crecimiento y alcance a nivel mundial, proyectando entre 2020 y 2030, crecimientos superiores al 50% en Asia-Pacífico, hasta un 32% en América del Norte, un 23% en Europa Occidental y en Latinoamérica se estima un aumento del 9.6%; todo esto concentrado principalmente en cuatro países, China, Estados Unidos, la India e Indonesia, los cuales de por sí representan el 58.3% de expansión, en general una recuperación y desarrollo del sector en un 42% a nivel global. Tal es así, que se pronostica para la década del 2030, crecimientos superiores al 35% en comparación con lo que se registre en la década del 2020.

Así pues, desde viviendas unifamiliares, edificios de diez, cincuenta, cien pisos, rascacielos y demás, se rigen a parámetros de diseño, siendo gran parte enfocados en uno de los materiales presentes desde el Imperio Romano, vigente hasta la actualidad, el concreto. Con su aparición, la búsqueda por su mejora es un boom, en vista de ello, surgen iniciativas por desarrollar y mejorar las visiones y estrategias encaminadas en optimizar características y sobre todo en la exploración de materiales, componentes y combinaciones para un incremento en las propiedades de este, buscando su perfeccionamiento.

En este contexto, [2] indica como esta búsqueda se ha encontrado presente siempre, aun contando con aditivos ya presentes en el mercado que brindan refuerzo y ciertas características al concreto, sobre todo desarrollado en países que se encuentran a la vanguardia en cuanto a avances tecnológicos, los cuales buscan emplear el uso de polímeros como adiciones, encontrándose una gran variedad de investigaciones en diferentes universidades sobre estos, como estudios en fibras de propileno, sílice coloidal, nanotubos de carbono, Nanopartículas de sílice, fibras de acero, de bagazo, de estopa de coco, reforzando al concreto para su mejora y reducir las patologías de este. A pesar de ello, en gran cantidad de países son poco usuales en construcciones, debido a los pocos estudios, ensayos y déficit en cuanto a avances investigativos.

Ahora bien, a nivel nacional, se resalta el uso de los aditivos superplastificantes, señalando que estos se van desarrollando constantemente, los cuales no solo favorecen las características y comportamiento del concreto en su fase plástica tanto como en su fase final, sino que de la misma forma mantienen su calidad, consiguiendo altas resistencias, siendo muy usuales y convenientes, principalmente los de tipo F, G [3]. Sin embargo, su aplicación resulta ser muy costosa, y pudiendo inclusive presentar resultados inferiores en comparación a los obtenidos con algún otro material de refuerzo como adición.

Asimismo, existe gran variedad de aditivos, entre ellos los curadores, por lo que [4] indica que, el fortalecimiento del concreto depende en gran medida del proceso de curado, por lo que resulta ser un proceso el cual hay que controlar, y aunque se disponga de curadores químicos estos no resultan ser más efectivos que los curados con agua. Aun así, a pesar de los distintos métodos de curado existentes, en obra estos no se utilizan por dificultades en su uso, tiempos de aplicación, costos, desconocimiento, entre otros; consecuencia de ello, se obtiene concretos que no alcanzan el 100% de su resistencia de diseño, una mala calidad y poca durabilidad.

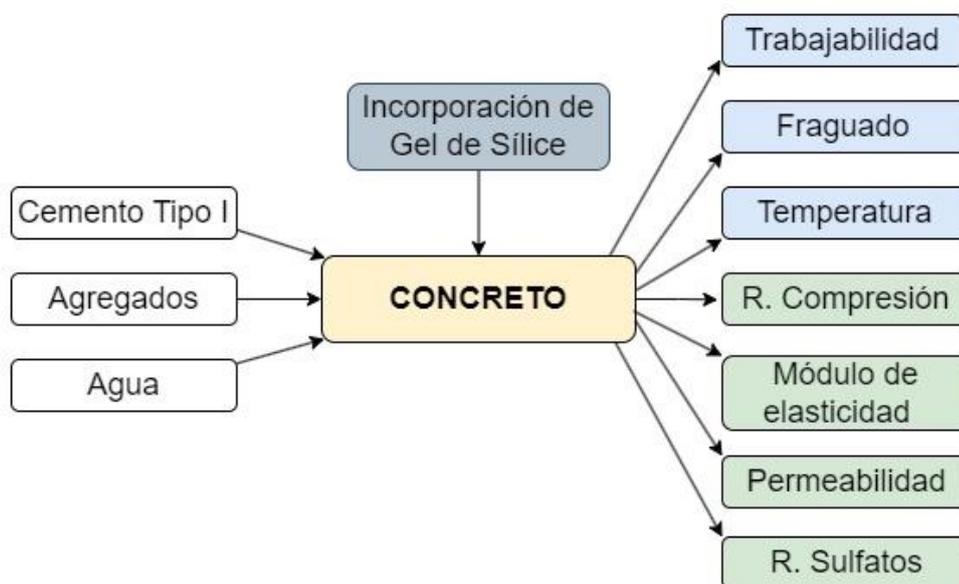
En resumen, en el Perú las construcciones son del día a día y como es notable estas van en aumento, en conjunto con el empleo de concreto, y el uso de adiciones para mejorar sus condiciones, siendo uno de estos mediante el uso de aditivos presentes en el mercado, sin embargo, eleva excesivamente los costos estructurales y los hacen poco factibles para viviendas; además de la informalidad, la autoconstrucción, las malas y precarias prácticas constructivas, como el deficiente curado en obra, no garantizan óptimos resultados y disminuyen la calidad en las infraestructuras del país, además de exponer riesgos como pérdidas de vidas ante desastres naturales.

Por ello, se propone el uso de gel de sílice, conocido comercialmente como "Silica Gel", un absorbente de humedad, similar a la función de un polímero superabsorbente, aplicado como medida de adición al concreto; por medio de la espera en la disminución del agua en mezcla, reduciendo con ello la relación a/c, en la búsqueda por optimizar la trabajabilidad, consistencia, acelerar tiempos de fragua, incrementar la resistencia o alcanzar resistencias diseñadas de manera temprana y sobre todo garantizar la vida útil mediante la durabilidad, en concretos con resistencia $f'c=210$ kg/cm² en función a dos relaciones a/c (0.555 y 0.6), una resistencia usual en la ciudad de Chiclayo; de esta forma economizar y aprovechar la investigación para ampliar la información e incitar futuras búsquedas.

Dicho esto, se sintetiza en: ¿Cómo influye la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$?

Donde se analizará la variable independiente gel de sílice; como variables dependientes las propiedades físicas y mecánicas del concreto; y como variables intervinientes el diseño del concreto, curado del concreto, tamaño de la incorporación y agregados.

Figura 1 Diagrama de planteamiento del problema



Fuente: Elaboración propia

Como **justificación tecnológica:**

Con las dificultades presentes resulta necesario plantear nuevas tecnologías de innovación e incorporaciones, que faciliten, propicien mejoras en trabajabilidad, consistencia, acelerar el tiempo de fragua, alcanzar resistencias diseñadas tempranas, aumentar la resistencia y sobre todo garantizar la vida útil mediante la durabilidad. Es por ello, que se planea la incorporación del gel de sílice, como un curador interno, en distintos porcentajes (0.1%, 0.5%, 1%), los cuales fueron tomados en base a resultados óptimos en estudios precedentes.

Siendo este gel de sílice un absorbente de humedad que reduciría el agua durante el mezclado, el cual reaccionaría con la mezcla de concreto, interactuando con el agua, cemento, sin presentar reacciones adversas evidenciado en un estudio precedente, produciendo así concretos con utilización y aprovechamiento para diferentes necesidades y aplicaciones constructivas.

Como justificación social:

Proporcionará una ampliación en la investigación de la optimización de las propiedades del concreto, optimizándolas con la incorporación del uso de un material no orgánico, un polímero absorbente, aplicándolo a una resistencia usual en Chiclayo ($f'c=210$ kg/cm²), pudiendo ser aprovechable en las viviendas utilizando las normas vigentes, solucionando los problemas y deficiencias durante el proceso constructivo, como alternativa por las ventajas que proporciona. Una propuesta que brindará bases y servirá como partida para futuras búsquedas que aporten al sector construcción.

Como justificación financiera / económica:

Esta investigación logrará economizar la elaboración de concreto, con la aplicación de gel de sílice en proporciones 0.1%, 0.5%, 1%, añadido por peso de cemento en la mezcla, como alternativa de sustitución a los aditivos presentes en el mercado. Disminución de costos, en el sentido de si es factible, obtener mayores resistencias con menor uso de materiales, obtener resistencias requeridas tempranas, evitando así gastos adicionales en agua para curado, menor costo por mano de obra puesta en curado, disminución en los tiempos de entrega; además de las ventajas en cuanto a durabilidad, evitando así costos posteriores por reparación o mantenimiento.

Como justificación ambiental:

A través de la investigación con la incorporación de gel de sílice, contando con mayores resistencias y obtenidas de manera temprana, se evitará el desperdicio del agua, al ser esta un recurso limitado y muy usado en la elaboración del concreto, mediante la reducción de su uso en la mezcla, asimismo evitando mayores gastos en curado; además de usar menor cantidad de materiales como los agregados y el cemento, tratando de reducir la sobre explotación de recursos y emisiones de CO₂.

La presente investigación presenta como **objetivo general**:

- Analizar la influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm².

Como **objetivos específicos**:

- Identificar las características de los agregados y el gel de sílice empleados en la fabricación del concreto.
- Elaborar diseños de mezcla con relaciones a/c de 0.555 y 0.6, para el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² y para concretos con la incorporación de gel de sílice en porcentajes 0.1%, 0.5% y 1% por peso de cemento.
- Comparar las propiedades físicas y mecánicas del concreto patrón y el concreto con incorporación de gel de sílice.
- Determinar la relación a/c adecuada y el porcentaje óptimo de incorporación de gel de sílice en el concreto, acorde con los estándares normativos.
- Comparar los costos al producir concreto con incorporación de gel de sílice respecto a un concreto convencional.

Revisión de literatura

Antecedentes

F. J. Rugel Pardo y D. G. Zamora Carbajal [5], demuestra la influencia de un material considerado un polímero absorbente, el gel de sílice, en la búsqueda de la mejora de los comportamientos mecánicos de un concreto hidráulico, mediante ensayos a flexión y compresión, con la inclusión de este polímero encontrado en el mercado como “sílica gel”, aplicado con una medida menor de 150 micras y en proporciones de 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4%; siendo evaluado a 7, 14, 21 y 28 días, considerando un $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$.

Determinando que, adicionando este polímero en un 3% brinda resultados óptimos, como el incremento de hasta un 32% en cuanto a compresión, pasando de 318.29 kg/cm^2 a 421.37 kg/cm^2 , disminuyendo en un 19% la relación a/c pasando de 0.50 a 0.42, reducción en los tiempos de fraguado de 165 minutos a tiempos menores de 30 minutos y disminución de temperatura de la mezcla hasta un 19%. De la misma forma se demuestra un aumento en el valor de módulo de la rotura hasta los 14 días, sin embargo, también se presentó un incremento en la porosidad del concreto.

Al-Ghaban et al. [6], investiga la actividad puzolánica de nanosílice, microsílice, gel de sílice en perlas y gel de sílice triturado desarrollado en muestras de pasta endurecida con dimensiones de 50 mm con un 10% de reemplazo de cemento. Determinando que los cuatro tipos de incorporaciones mejoraron tanto durabilidad como resistencia a la compresión de la pasta endurecida, siendo la nanosílice y gel de sílice triturado las incorporaciones que obtuvieron los mejores resultados; y determinando que con la adición de gel de sílice en perlas y triturado superaron la resistencia de la muestra de referencia en un 30% y 61% respectivamente, índice de una buena actividad puzolánica. Concluyendo que la incorporación de este tipo de sílices puede dar lugar a materiales de construcción más duraderos y sostenibles, y que este gel de sílice puede brindar mejoras similares a las nanosílices en las propiedades del concreto con un menor costo, confirmando su uso en mezcla para concreto como para pasta endurecida.

Vaičiukynienė et al. [7], comprueba el uso como aditivo del gel de sílice activado térmicamente, introducido como reemplazo del 10% de cemento en muestras de pasta endurecida. Determinando un aumento de 7 MPa en la resistencia de la pasta en comparación a la muestra de control después de 28 días de endurecimiento, además, aclara que se debe tener en cuenta variables como la cantidad de adición, así como las condiciones específicas en el proceso de endurecimiento. Concluyendo que a través de la reacción de este SiO_2 amorfo con Ca(OH)_2 se elaboran hidratos de silicato de calcio que refuerzan así esta pasta endurecida, además de mejorar la capacidad de transferencia de corte en la interfaz a lo largo de las grietas diagonales de tensión, pudiendo este gel de sílice ser útil para mejorar la resistencia, durabilidad y otras propiedades mecánicas.

K. Il-Sun et al. [8], investiga el efecto de un polímero con capacidad superabsorbente, adicionado en el concreto con dosificaciones de 1%, 1.5% y 2%.

Concluyendo que mediante pruebas realizadas, se obtuvieron los asentamientos planificados; en cuanto a compresión mediante probetas cilíndricas (100 x 200 mm), se evidencia mayores resistencias con una adición de 1.5 %, presentando a los 28 días de curado 40 MPa, y a los 91 días 43 MPa, en comparación con la muestra de referencia 36 MPa y 40 MPa respectivamente; además determinó que la contracción por secado y la penetración por cloruros disminuye a mayor contenido de SAP, por el efecto del curado interno y la disminución de la relación a/c, así como un aumento en la cantidad de los poros menores de 300 μm .

J. J. Martínez Bernabé [9] analiza el efecto de la aplicación de SAP en muestras de concreto con $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ evaluadas y curadas a 28 días, dosificadas por peso de cemento en porcentajes 0.025%, 0.050%, 0.075%, 0.10%.

Determinando que, a mayor cantidad de SAP en la muestra de concreto, mayor es la trabajabilidad que alcanza, obteniendo con 0.025% de adición, un asentamiento de 4.75" y con 0.10% de adición, un asentamiento de 6.25"; evidenciando que añadiendo 0.025%, la resistencia a compresión se incrementó a 375.57 kg/cm^2 (5.11%), respecto a la muestra de referencia 357.57 kg/cm^2 , indicando que el porcentaje óptimo de adición SAP tanto en trabajabilidad como en resistencia es el de 0.025% por peso de cemento.

R. R. Parizaca Quispe [10], evalúa la efectividad y eficacia de la inclusión de un polímero superabsorbente, junto con un aditivo superplastificante aplicado para concretos con resistencias iniciales altas, un diseño base de 350 kg/cm², el cual se añadió en dosificaciones respecto al peso del cemento en porcentajes 0.1%, 0.15% y 0.2%.

Concluyendo que con la adición en proporción de 0.1% de este polímero superabsorbente y presentando una relación a/c de 0.4, se consigue incrementos significativos, alcanzando en la prueba a compresión 399.16 kg/cm² en los primeros 7 días, un asentamiento de 9.73 cm; a diferencia de las adiciones de 0.15% y 0.2% las cuales fueron adversas, disminuyendo la resistencia base.

Bases teóricas

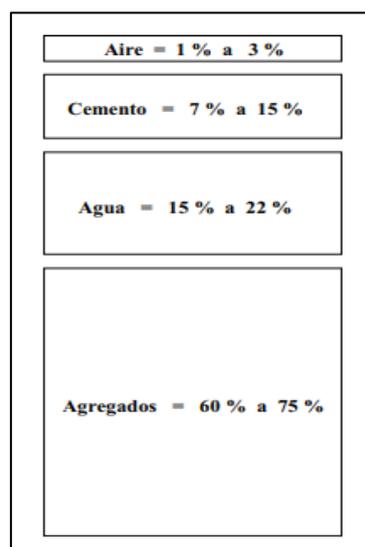
Concreto

Material, resultado artificial de la combinación de agregados, agua, cemento y de manera opcional aditivos, en un principio presenta una consistencia plástica, y posteriormente pasa a una estructura rígida con características resistentes y aislantes, haciéndolo excelente en la construcción [11].

Componentes del concreto

Está compuesto por la pasta, un medio ligante que combina químicamente el agua con el material cementante, donde se encuentran embebidas partículas de agregado; componentes los cuales, mediante sus características químicas y físicas, determinan las propiedades de este [12].

Figura 2 Proporciones de componentes del concreto



Fuente: [11]

- *Cemento*

El cemento está definido como material pulverizado, el cual, con la inclusión de la proporción adecuada de agua, posee la propiedad de elaborar una pasta capaz de formarse al aire, así como bajo el agua y producir composiciones estables. Exceptuando los yesos, cales aéreas e hidráulicas [12].

Composición química del cemento

Presenta una composición principalmente arcillosa y caliza. Fundamentalmente silicatos cálcicos, en las calizas y arcillas, contribuidoras de sílice; así como las margas, contribuidores de hierro y alúmina [12].

En cuanto cantidad el compuesto más importante y principal es la cal, siguiéndole la sílice, alúmina y por último óxido de hierro. La cal y la sílice representan juntas del total del clinker, entre el 70% al 75%; la alumina y el óxido férrico forman la fase líquida del clinker, facilitando las reacciones entre; formando con esto los aluminatos [12].

Tabla 1 Composición de óxidos del cemento

Componente	Fórmula	Porcentaje
Sílice (anhídrido silícico)	SiO ₂	60% al 67%
Cal (óxido cálcico)	CaO	17% al 25%
Alúmina (óxido alúmino)	Al ₂ O ₃	3% al 8%
Óxido Férrico	Fe ₂ O ₃	0.5% al 6%

Fuente: [12]

Durante el origen del clinker, mediante la fusión de la materia prima, se producen aluminatos cálcicos, silicatos cálcicos y ferritos. Las propiedades del cemento portland, quedan determinados por la proporción relativa de sus cuatro principales compuestos y dependen de la dimensión relativa entre los compuestos ácidos – sílice, óxido férrico, alúmina y la cal [12].

Tabla 2 Principales compuestos del cemento

Componente	Fórmula	Abreviatura	Porcentaje
Silicato tricalcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_3S	30% al 60%
Silicato bicalcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	C_2S	15% al 37%
Aluminato tricalcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	C_3A	7% al 15%
Ferroaluminato tricalcico	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	8% al 10%

Fuente: [12]

- a) Silicato Tricálcico (C_3S): También llamado Alita, compuesto de cal en un 73.7% y de ácido silícico en un 26.3%. Se trata de cristales poligonales cuya dimensión varía con el grado de cristalización, de secciones prismáticas rectangulares o hexagonales. Genera gran velocidad de hidratación, favoreciendo el endurecimiento rápido del cemento, estimando 120 cal/gr de calor de hidratación. Con ello, aporta a las resistencias mecánicas iniciales y en menor importancia en las resistencias mecánicas finales. Con características hidráulicas excelentes. Conforme aumenta el porcentaje de este, tiende a mejorar la resistencia a las fases de hielo y descongelación en el concreto. Siendo recomendados por ello en zonas de baja temperatura, y no recomendados para construcciones masivas por el riesgo de posibles cambios diferenciales de volumen y fisuraciones [12].
- b) Silicato bicalcico (C_2S): También llamado Belita, compuesto de cal en un 65.1% y de ácido silícico en un 34.9%. Se trata de cristales anchos, de tamaño variable y contornos redondeados, dispersos y agrupados por zonas. Presenta 62 cal/gr, un calor de hidratación bajo. Con muy poca participación en la resistencia mecánica inicial, sin embargo, después es la raíz sustancial del desarrollo de resistencia. Conforme aumenta el porcentaje de este, tiende a mejorar la resistencia a las fases de hielo y descongelación en el concreto. Siendo recomendados para zonas con climas cálidos y construcciones masivas, donde no se requiera altas resistencias iniciales [12].
- c) Aluminato tricalcico (C_3A): Compuesto de cal en un 62.3% y 37.7% de alúmina. Se presenta como un componente intersticial rectangular de color oscuro. Su fraguado se presenta a una velocidad de hidratación muy elevada, por ello que es imprescindible la inclusión de sulfato de calcio con el fin de controlarlo, estimado

en 207 cal/gr. Aporta en la formación de la resistencia durante las primeras 24 horas, después de esto su contribución es prácticamente inexistente. Siendo muy susceptible a la actividad química de cloruros y sulfatos presentes en las aguas. Conforme aumenta el porcentaje de este, mejora su capacidad de resistir al ataque de sulfatos, sin embargo, tiende a reducir la resistencia a las fases de hielo y descongelación en el concreto. Siendo recomendado un contenido máximo de este componente en un 7% [12].

- d) Ferroaluminato tetracalcico (C_4AF): También conocido como Celita o Celita clara, presenta cal en un 46.1%, alúmina en un 21% y óxido de hierro en un 32.9%. Presenta cristales de forma variable en concordancia al transcurso de enfriamiento, prismáticos generalmente, pardos de tono variable, encontrándose entre el intersticial oscuro o envolviendo a los cristales de los silicatos cálcicos. Mantiene 100 cal/gr, un calor de hidratación bajo. Empleados donde se requiera, importe y resalte más la durabilidad a los ataques químicos por encima a los aumentos en las resistencias mecánicas [12].

Tipos:

- a) Cemento Portland: Resultado del pulverizado del clinker portland incluyendo sulfato de calcio de forma eventual, así como la inclusión de otros compuestos teniendo en cuenta que no rebasen el 1% del peso total y que la Norma lo permita sin afectar las propiedades del cemento, siendo pulverizados en conjunto con el clinker [12].

Tabla 3 Principales tipos de cementos Portland

Tipo	Norma	Denominación
TIPO I	NTP 334.009 ASTM C 150	Para uso General
TIPO I A	ASTM C 150	Para uso General con aire incluido
TIPO II	NTP 334.009 ASTM C 150	Uso General con Moderada resistencia a los Sulfatos
TIPO II A	ASTM C 150	Uso General con Moderada resistencia a los Sulfatos con aire incluido
TIPO II (MH)	NTP 334.009 ASTM C 150	Uso General con Moderada resistencia a los Sulfatos y moderado calor de hidratación
TIPO II (MH) A	ASTM C 150	Uso General con Moderada resistencia a los Sulfatos y moderado calor de hidratación con aire incluido
TIPO III	NTP 334.009 ASTM C 150	Alta Resistencia Inicial
TIPO III A	ASTM C 150	Alta Resistencia Inicial con aire incluido
TIPO IV	NTP 334.009 ASTM C 150	Bajo Calor de Hidratación
TIPO V	NTP 334.009 ASTM C 150	Alta resistencia a los Sulfatos

Fuente: [15, 16]

- b) **Cemento Hidráulicos Combinados:** También se presentan los cementos adicionados, los cuales son una combinación de un material reactivo que cuenta con propiedades puzolánicas y clinker pulverizados de manera conjunta, además de sulfato de calcio como inclusión eventual; fijando hidróxido de calcio a temperatura ambiente, generando así las propiedades hidráulicas; en presencia del agua, estos pueden ser naturales como las rocas opalinas, pumitas, diatomeas, cenizas volcánicas, esquistos, entre otras; o artificiales como escoria de alto horno, cenizas y microsílices [12].

Tabla 4 Tipos de cementos Portland adicionados

Tipo	Norma	Denominación
TIPO IS	NTP 334.090	Cemento Portland de con Escoria de Alto Horno
TIPO IP	NTP 334.090	Cemento Portland Puzolánico
TIPO IL	NTP 334.090	Cemento Portland - Caliza
TIPO I(PM)	NTP 334.090	Cemento Portland Puzolánico Modificado
TIPO IT	NTP 334.090	Cemento Adicionado Ternario
TIPO ICo	NTP 334.090	Cemento Portland Compuesto

Fuente: [17]

- *Agregados*

Los agregados son materiales inertes que conforman en una mezcla de concreto aproximadamente el 75% en volumen, los cuales se combinan con el agua y los aglomerantes. Por lo que es necesario e importante que presenten adecuadas características como una buena durabilidad y resistencias a los elementos, libre de impurezas como materia orgánica, limos y barro, que debiliten el enlace con la pasta de cemento [13].

Clasificación de los agregados según su tamaño:

- Agregado fino: Trata de una arena manufacturada, arena natural o la mezcla de estas, las cuales cumplen los requerimientos normativos. Pasa el tamiz 3/8 pulg. (9,5 mm), quedando retenido en la malla N° 200 (75 μ m) [18].

Tabla 5 Requerimientos granulométricos agregado fino

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 μ m (No. 30)	25 a 60
300 μ m (No. 50)	5 a 30
150 μ m (No. 100)	0 a 10
75 μ m (No. 200)	0 a 3,0

Fuente: [18]

- Agregado grueso: Consiste en piedra chancada, grava, concreto reciclado, concreto chancado, o una mezcla de estos, procedente de la desintegración mecánica o natural de la roca y satisface los requerimientos de acuerdo a la norma. Retenido en la malla N° 4 (4,75 mm) [18].

Tabla 6 Husos granulométricos agregado grueso

Tamaño Nominal	% Pasa por los tamices normalizados												
	100mm (4")	90mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50mm (2")	37.5mm (1½")	25mm (1")	19mm (¾")	12.5mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75mm (Nº4)	2.36mm (Nº8)	1.18mm (Nº16)
90 mm a 37.5 mm (3½" a 1½")	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
63 mm a 37.5 mm (2½" a 1½")	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
50 mm a 25 mm (2" a 1")	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--
50 mm a 4.75 mm (2" a Nº4)	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--
37.5 mm a 19 mm (1½" a ¾")	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--
37.5mm a 4.75mm (1½" a Nº4)	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--
25 mm a 12.5 mm (1" a ½")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--
25 mm a 9.5 mm (1" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--
25 mm a 4.75 mm (1" a Nº4)	--	--	--	--	--	100	95 a 100	--	25 a 65	--	0 a 10	0 a 5	--
19 mm a 9.5 mm (¾" a 3/8")	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--
19 mm a 4.75 mm (¾" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--
12.5mm a 4.75mm (½" a Nº4)	--	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	--
9.5mm a 2.38mm (3/8" a Nº8)	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: [18]

Propiedades de los agregados:

a) Granulometría: Definida como la distribución por tamaños de las partículas de agregados, consiguiéndose mediante el empleo de tamices (con distintos espaciamientos y determinadas aberturas cuadradas) y aplicando un procedimiento mecánico. Su relevancia radica en la influencia en el concreto, como la trabajabilidad, mezclas de máxima densidad, características de acabado del concreto fresco y en el concreto endurecido [14].

- ✓ Módulo de fineza: Indicador del menor o mayor grosor de las partículas de agregado, control de uniformidad, así como, medición de su valor lubricante. Un valor bajo de este representa predominio de partículas más finas con una superficie total muy elevada. Representado como la adición de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices especificados según norma, divididos entre 100 [14].
- ✓ Tamaño máximo: Representa el menor tamiz por el cual toda la muestra de agregado grueso pasa. Se determina mediante un procedimiento de análisis en

tamices, siendo regularmente aceptable el tamiz inmediatamente superior al que queda con material acumulado retenido en un 15% o más [14].

- ✓ Tamaño máximo nominal: Representa el menor tamiz en el cual se produce la primera retención [14].

b) Peso específico: El peso específico expresado en valores adimensionales, está definido como la relación entre la masa, así como el peso en el aire de un volumen unitario de material, a una masa, en temperaturas indicadas, de agua del mismo volumen. Encontrando:

- ✓ Peso específico aparente
- ✓ Peso específico de masa
- ✓ Peso específico de masa saturado superficialmente seco (SSS)

Expresado también como densidad, es primordial en los casos de construcción que se precise pesos límites en el concreto; refleja la calidad de los materiales, si este valor es elevado indica un buen comportamiento por parte del agregado, si por el contrario el valor que indica el peso específico es bajo, indica agregados débiles y absorbentes [14].

c) Peso Unitario: Denominado también peso volumétrico, aquel peso que obtiene cierto volumen unitario. Es la relación del peso de las partículas entre el volumen total (incluye vacíos), generalmente expresado en “kg/m³”, valor que es fundamental en casos de dosificaciones de concreto por volumen y con material ligero o pesado. Encontrándose de tipo seco y compactado [14].

d) Absorción: Se trata de la condición por capilaridad de los agregados, de rellenar los vacíos internos de las partículas con agua. Su relevancia se evidencia en el concreto, con la reducción de la masa de la mezcla, interviniendo en la resistencia y trabajabilidad [14].

e) Humedad: Representa el agua superficial que queda contenida en cierto momento por el agregado, esta característica es significativa y debe tenerse en cuenta por lo que aporta al incremento del agua de mezcla en el concreto [11].

Un agregado; según su estado de humedad, puede encontrarse en condiciones:

- ✓ Seco: ha desaparecido la humedad externa e interna de la partícula, regularmente bajo 100°C.
- ✓ Semi seco o secado al ambiente: existe alguna humedad dentro de la partícula de agregado, sin embargo, no hay humedad externa o superficial.
- ✓ Saturado superficialmente seco: los poros dentro de las partículas se encuentran llenos de agua, pero no hay humedad superficial sobre estas.
- ✓ Saturado o húmedo: las partículas de agregados se encuentran saturadas y presentan agua superficial sobre estas.

Este contenido queda representado como la diferencia entre el actual estado de humedad del agregado y su estado seco [14].

- f) Porosidad: Esta propiedad refiere al poro como el espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado, siendo considerada fundamental por como influye en sus demás propiedades, como sobre las resistencias mecánicas, resistencia a la abrasión, estabilidad química, absorción (determinando su velocidad y capacidad), permeabilidad y gravedad específica de las partículas; propiedades las cuales disminuyen en cuanto la porosidad aumenta, encontrando de la misma forma su relevancia en el proceso de congelación. Además, determina la superficie interna de las partículas, características térmicas, facilidad de drenaje, adherencia con la pasta [14].

- *Agua*

El agua experimenta una reacción química con el material cementante permitiendo la formación del gel y adicionalmente que el conjunto de la masa adopte características que posibilite un apto manejo y colocación de la misma en un estado fresco, y convertirla en un producto de las características y propiedades esperadas en un estado endurecido, siendo de mucha importancia verificar su calidad evitando producir efectos perjudiciales sobre el concreto o sobre algún elemento embebido en este [12].

Según la normativa NTP 339.088, contempla que para que estas se consideren calificadas para la para mezcla y curado requiere de ciertos límites en cuanto a contenidos y sustancias disueltas:

Tabla 7 Límites permisibles para el agua de mezcla y curado

Descripción	Límite permisible (Máximo)
Sólidos en suspensión	5,000 ppm
Materia Orgánica	3 ppm
Alcalinidad (NaHCO ₃)	1,000 ppm
Sulfatos (ión SO ₄)	600 ppm
Cloruros (ión Cl ⁻)	1,000 ppm
pH	5 a 8 ppm

Fuente: [19]

a) Agua de mezcla: El agua para mezcla para el concreto presenta como función hidratar al cemento, contribuye a la trabajabilidad al actuar como lubricante y trata de que tengan espacio para desarrollarse los productos de hidratación, por medio de la formación de la estructura de vacíos que genera en la pasta [11].

b) Agua para curado: Esta agua que puede aportar en la hidratación del concreto, representa solamente una parte del total de agua, de la misma forma, las exigencias requeridas para el agua de mezcla deben ser acatadas por estas, siendo recomendado utilizar la misma fuente de suministro para ambos casos [11].

- *Aditivo:*

Se trata de materiales inorgánicos u orgánicos, los cuales se adicionan a la mezcla durante o después de estar producida la pasta y con ello modifica ciertas características en procesos como endurecimiento, hidratación, inclusive la configuración interna del concreto. Contribuyen en disminución de problemas que originan el no ser posible regular algunas características propias del concreto inicial, como el calor de hidratación, la estructura de vacíos, los tiempos de fraguado, entre otras [11].

Beneficio de los aditivos en el concreto:

Algunas de las ventajas que brinda su uso para modificar ciertas propiedades del concreto endurecido: aumentos en la trabajabilidad sin cambiar la cantidad de agua, o reducción del contenido de agua sin modificar la trabajabilidad; reducción en el contenido del agua de la mezcla; retardo o aceleración del tiempo de fragua inicial; modifica la magnitud y/o velocidad de la exudación; incremento, disminución o control de asentamiento; prevención o reducción de la segregación, el desarrollo de una ligera expansión; facilita el bombeo y/o colocación de las mezclas [12].

Algunas de las ventajas que brinda su uso para la modificación de las propiedades de concretos, lechada o morteros endurecidos: aceleración en la velocidad e incremento inicial y final de la resistencia del concreto; elaboración de concretos o morteros celulares, coloreados; retraso en el desarrollo del calor de hidratación; a condiciones severas de exposición incrementos de durabilidad y resistencia; en elementos embebidos en el concreto un control de corrosión, así como por expansión por la reacción álcali-agregados; aumento en la resistencia al impacto, abrasión; aumento en las adherencias del acero y concreto; incremento de adhesión entre concreto antiguo y concreto fresco [12].

Aditivos reductores de agua:

Tienen como objetivo modificar las condiciones de fraguado o disminuir el contenido del agua en mezcla o ambos, teniendo como efecto durabilidad y aumento de resistencia del concreto [12].

Este tipo de aditivo se clasifica en:

- a) Reductores de Rango normal: Llamados también plastificantes, disminuyen la demanda de agua en un rango del 5 al 15%.
- b) Reductores de Alto rango: Llamados también super – plastificantes, disminuyen la demanda de agua en un rango del 15 al 40%.

Polímero súper absorbente (SAP)

Los polímeros súper absorbentes, conocido como SAP o en inglés Super Absorbent Polymers, son componentes poliméricos que pueden absorber y/o liberar una gran cantidad de agua, reteniéndola dentro de su estructura, hasta 5000 veces su propio peso; pudiendo absorber entre 100 a 400 g/g seco. La naturaleza química principal de este material se halla como una red reticulada a base de acrilato, siendo la acrilamida y el ácido acrílico los monómeros más

significativos a lo largo de su estructura, entrecruzadores comunes incluyen monómeros bifuncionales que se copolimerizan a lo largo de las cadenas primarias. Su tamaño se ajusta por medio de emulsionantes, parámetros de síntesis y tamizado, una distribución de partícula estrecha. Sin embargo, la polimerización en solución a granel produce un bloque de gel, siendo posteriormente molido o triturado y tamizado para obtener la distribución de tamaños más adecuada; pudiendo producirse en casi cualquier tamaño y forma. De este modo se obtienen partículas de SAP irregulares. Los SAP reaccionan ante estímulos externos como el agua, ante la presencia de esta se hinchan y cuando se someten a secado se contraen [21, 22].

Actuación y reacción del concreto con SAP

Los SAP al ser capaces de absorber y liberar agua influyen en propiedades del concreto tanto en su fase plástica como endurecida, trabaja mediante el curado interno; concentrando efectos sobre la retracción autógena del concreto, resistencia al hielo-deshielo, protección contra heladas, modificación de la reología y trabajabilidad y liberación controlada de aditivos; todo esto dependiendo de la velocidad y la intensidad de las propiedades de absorción y desorción inherentes al polímero. Incluyendo la resistencia mecánica, en la cual se genera efectos opuestos, pues al generar vacíos en el concreto mediante inclusiones de macroporos llenos de agua, la resistencia disminuye, sin embargo, el curado interno mejora el grado de hidratación y con ello aumento de la resistencia; el efecto que destaque dependerá de la madurez del concreto, la relación a/c y la cantidad de SAP que se adicione [21, 22, 23].

Curado interno

Es una técnica similar a un arrastre de agua, consiste en la adición al concreto de cavidades llenas de agua, actuando como depósito interno de agua, y liberándolo a medida que el concreto seca, ha sido usada durante años para proveer hidratación al cemento y controlar la contracción del concreto. Como el agregado saturado, sin embargo, este presenta algunas dificultades en su control, las cuales pueden ser minimizadas con el uso de SAP, eficaces en mitigar la contracción autógena y protección contra heladas [22].

Gel de sílice

Patentado en 1919, un material utilizado para la adsorción de humedad; el cual presenta una red interna de poros microscópicos interconectados, dotándole de una gran superficie interna [24]. Elaborado mediante la polimerización por condensación del ácido silícico, aquí los grupos SiO se entrelazarán y formará partículas coloidales que luego se transformarán en gel de sílice

gelatinoso; otra parte, el grupo siloxano en la superficie de las partículas del gel de sílice se convierten en grupos hidroxilo polarizados, los cuales al hallarse próximos generan enlaces de hidrógeno entre sí, permitiéndoles adsorber moléculas de agua a través de estos [25]. Caracterizado como una red tridimensional coherente y rígida de partículas continuas de sílice coloidal, su red interna porosa tiene aproximadamente una superficie de 700-800 m²/g, que le proporciona gran capacidad de absorción, siendo utilizado para absorber y desecar la humedad [24, 26].

- Características del gel de sílice

Este material también es reconocido como dióxido de silicio amorfo (SiO₂) y presenta una apariencia sólida vítrea semitransparente, es químicamente inerte, poroso, con una gran superficie interna [24, 27]. Catalogado como el adsorbente de humedad más empleado en el mercado actual, gracias a su gran área de superficie y la elevada capacidad de adsorción que presenta [28]. También existe el gel de sílice de color azul, este cuenta con la presencia de cloruro de cobalto que lo vuelve tóxico al ser ingerido, el cual permite determinar el grado de humedad, cambiando de manera gradual su color a medida que absorbe humedad [27].

Propiedades del concreto:

Relacionadas directamente con las proporciones y características de los materiales que lo conforman; y se necesitará el conocimiento e interrelación de las propiedades para cada caso característico que se necesite y diseñe en el concreto.

Concreto fresco:

- a) Trabajabilidad: Esta propiedad, de evaluación relativa, queda determinada como la dificultad menor o mayor del concreto al ser mezclado, en su transporte, colocación y compactación, a ciertas condiciones. Influye en esta, primordialmente la pasta, un equilibrio apto entre agregados, la cantidad de agua [11].
- b) Consistencia: Depende fundamentalmente del contenido de agua, quedando determinada por el grado de humedecimiento de la mezcla. Un método clásico para su cálculo es el “slump test” o prueba de revenimiento, el cual determina la capacidad y facilidad del concreto para adaptarse al molde o al encofrado y de esa forma mantenerse homogéneo con el mínimo de vacíos; esta prueba se basa en

colocar una muestra de concreto en un molde troncocónico, que será desmoldado y se medirá el asentamiento [13].

- c) Temperatura: La temperatura del concreto es una comprobación, control de calidad y requerimientos, este depende de factores como la energía de mezclado, aporte calorífico de los componentes, el calor por la hidratación del cemento; así como la zona o medio donde se elabore [14].
- d) Tiempo de fraguado: Según [29], indica que, en el concreto, el fraguado es un proceso que se da manera gradual (desde el inicio de la solidificación de una mezcla).

Concreto endurecido

- a) Resistencia a la compresión: Está definida como carga máxima por unidad de área soportada por una muestra, antes de su falla por compresión. Empleado por la facilidad de su realización, y la relación con la mejora de las propiedades del concreto con su aumento; para ello, su compresión estaría siendo obtenida a los 28 días, posterior al vaciado y curado [13].

Esta depende fundamentalmente de la concentración pasta de cemento, expresado como relación a/c ; influyendo además el curado para un completo desarrollo de sus características resistentes. Se ve afectado por características como el contenido y el tipo del cemento, la calidad del agregado, la temperatura y el tiempo [11].

- b) Durabilidad: El concreto al estar puesto en servicio, debe tener la capacidad de resistir al ambiente de exposición, al desgaste, acción de productos químicos, agentes químicos (ácidos acéticos y carbónico, sodio, potasio, magnesio, hierro, etc.), ciclos de congelación y descongelación; que desintegran y causan daño a este. Por lo que se debe proteger con revestimiento, aumentando impermeabilidad (inclusión de aire), así como con el empleo de concreto de resistencias altas, denso e incluyendo agregados duros [13].

- c) El módulo de elasticidad del concreto: Determinado como variación de esfuerzos respecto a la deformación elástica, precisado como un indicador de la capacidad del material para resistir deformaciones. Se ha determinado que depende del módulo de elasticidad de sus constituyentes, como los agregados [14].

Ensayos de materiales:

Ensayos de los agregados:

- a) Ensayo de granulometría de los agregados:

Es utilizada para determinar el diámetro que presentan los agregados, la relevancia se fundamenta en que los resultados indican si es apto y demuestran su eficacia en el concreto, puesto que se relaciona con las propiedades que el concreto adapte.

Normativa: [31]

Materiales:

- Tamices normados
- Recipientes
- Balanzas
- Horno
- Brochas

Procedimientos:

- ✓ Para el agregado fino:

Inicialmente, se escogerá la muestra, con un mínimo de 300 g., la cual se obtiene por el método del cuarteo, pasa al horno por 24 horas y se retira dejando enfriar.

Se separan los tamices respectivos y se procede a vaciar la muestra, para ser agitados buscando que este agregado quede retenido.

Se verifica la muestra que es retenida por cada tamiz, y pasar a ser pesada. Luego, se realiza los cálculos y graficar la curva.

- ✓ Para el agregado grueso:

En primer lugar, se escogerá la muestra, con un mínimo de 5000 g., la cual se obtiene por el método del cuarteo, pasa al horno por 24 horas y se retira dejando enfriar.

Se separan los tamices respectivos y se procede a vaciar la muestra, para ser agitados buscando que este agregado quede retenido.

Se verifica la muestra que es retenida por cada tamiz, y pasar a ser pesada. Luego, se realiza los cálculos y graficar la curva.

b) Ensayo de contenido de humedad de los agregados

Normativa: [32]

Materiales:

- Balanza
- Recipientes
- Horno

Procedimiento:

✓ Para el agregado fino:

Se pesa 500 gramos, como muestra representativa. Se somete 24 horas al horno a temperatura constante, se retira y se vuelve a pesar, permitiendo calcular el porcentaje de humedad con la diferencia entre estos pesos.

✓ Para el agregado grueso:

Se pesa 5000 gramos, como muestra representativa. Se somete 24 horas al horno a temperatura constante, se retira y se vuelve a pesar, permitiendo calcular el porcentaje de humedad con la diferencia entre estos pesos.

c) Ensayo de peso específico de masa y absorción del agregado fino

Normativa: [33]

Materiales:

- Balanza
- Horno
- Fiolas
- Taras
- Pipeta

Procedimiento:

Se pesa muestra de 500 g. del agregado fino, seleccionando el que pasa el tamiz N° 4. Se pesan las fiolas, se introduce el agregado dentro, y se le añade agua destilada. Se agita la fiola con el objetivo de quitar las burbujas de aire atrapado.

Posteriormente, la muestra se deja reposar por 24 horas. Después de pasado el tiempo, se obtiene el peso frasco conteniendo la muestra y pasar posteriormente a calcular resultados.

d) Ensayo de peso específico de masa y absorción del agregado grueso

Normativa: [34]

Materiales:

- Balanza
- Horno
- Fiolas
- Taras
- Pipeta

Procedimiento:

En primer lugar, se selecciona una muestra siguiendo el método del cuarteo, eliminando la que atraviesa el tamiz N° 4. Esta se lava para eliminar impurezas y polvo, para proceder a sumergirla por 24 h.

La muestra se retira del agua, para dejarla secar a temperatura ambiente, para pasar a ser pesada. La muestra saturada con superficie seca se coloca en la cesta y con ello se calcula el peso de la misma en agua.

Posteriormente las muestras pasan a ser colocadas al horno por 24 h, después de ese lapso de tiempo, se retira para pasar a ser enfriadas a temperatura ambiente, después de ello serán pesadas y proceder a realizar los cálculos.

e) Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados

Normativa: [35]

Materiales:

- Varilla 3/8"
- Balanza
- Bandeja
- Recipiente
- Moldes de compactación

Procedimiento:

✓ Para el peso unitario suelto:

En primer lugar, se obtiene el peso del molde vacío, para proceder a llenarlo de material, teniendo en cuenta que al descargar el material, se debe evitar que supere 50 mm sobre el borde superior. Por último, se enrasa su superficie y se elimina el material excedente, para posteriormente pesarlo.

✓ Para el peso unitario compactado:

En primer lugar, se obtiene el peso del molde vacío, para proceder a añadir el agregado ya sea grueso o fino, por medio de 3 capas, dando con la varilla 25 golpes. Con el molde lleno con el material, se enrasa su superficie y se limpia partículas excedentes, luego se procede a ser pesado.

Ensayos del concreto en estado fresco

a) Ensayo para determinar el asentamiento

Normativa: [36]

Materiales:

- Cono de Abrams
- Barra lisa compactadora
- Wincha o regla
- Cucharón y bandeja

Procedimiento:

En primer lugar, se humedece el cono, y se ubica en una zona firme, no absorbente y plana, durante el proceso es recomendable pisar las aletas para asegurarlo. Contando con la mezcla de concreto, con la ayuda de un cucharón se vacía hasta ocupar la tercera parte del volumen del cono, la cual, con el fin de uniformizarla, será compactada con 25 golpes de la barra, de la misma forma se realiza la siguiente capa. Luego, al terminar el llenado de la última capa, se enrasa la superficie y se procede a levantar el cono.

Por último, se determina el asentamiento (medida que difiere entre la altura del modelo y la del cono) por medio de una regla o wincha.

b) Ensayo para determinar el tiempo de fraguado

Normativa: [29]

Materiales:

- Contenedor para especímenes
- Aparato de aplicación de carga (penetrómetro)
- Agujas de penetración (1", 1/2", 1/4", 1/10", 1/20", 1/40")
- Barra lisa compactadora
- Pipeta

Procedimiento:

En primer lugar, ya contando con mezcla de concreto, esta se tamiza a través de la malla N° 4, y se procede a colocar el mortero (en una sola capa) en los contenedores, consolidando con la barra y nivelando la parte superior. Se extrae el agua que exude el concreto con la pipeta.

Para someter la muestra a la penetración de agujas, cuyo tamaño se determina por el grado de endurecimiento del mortero y aplicándose gradualmente, con un mínimo de 6 penetraciones.

c) Ensayo para determinar la temperatura de mezclas de concreto

Normativa: [30]

Materiales:

- Contenedor para el concreto
- Dispositivo para medir temperatura, calibrado y debe contar con una precisión ± 0.5 °C, para cálculos de rangos de temperatura entre 0 °C y 50 °C.

Procedimiento:

Se introduce el dispositivo de medición de temperatura, sumergiéndolo al menos 75 mm. La medición de la muestra se determinará al mantenerse sumergida por un lapso de al menos 2 minutos o hasta que se alcance una lectura estabilizada y como un máximo de tiempo de 5 minutos.

Ensayo del concreto en estado endurecido

a) Ensayo de compresión a muestras cilíndricas de concreto

Normativa: [37]

Materiales y equipo:

- Espécimen cilíndrico (15 x 30 cm)
- Máquina de ensayo

Procedimiento:

Los especímenes de dimensión 30 x 15 cm (sin diferir en más del 2%), se colocan en la máquina, considerando las tolerancias y límites de tiempo según su edad.

Se centra y alinea en la máquina, y se somete a la carga de manera progresiva, hasta que alcance la ruptura y se anota la lectura que nos proporciona la máquina, identificando el tipo de falla.

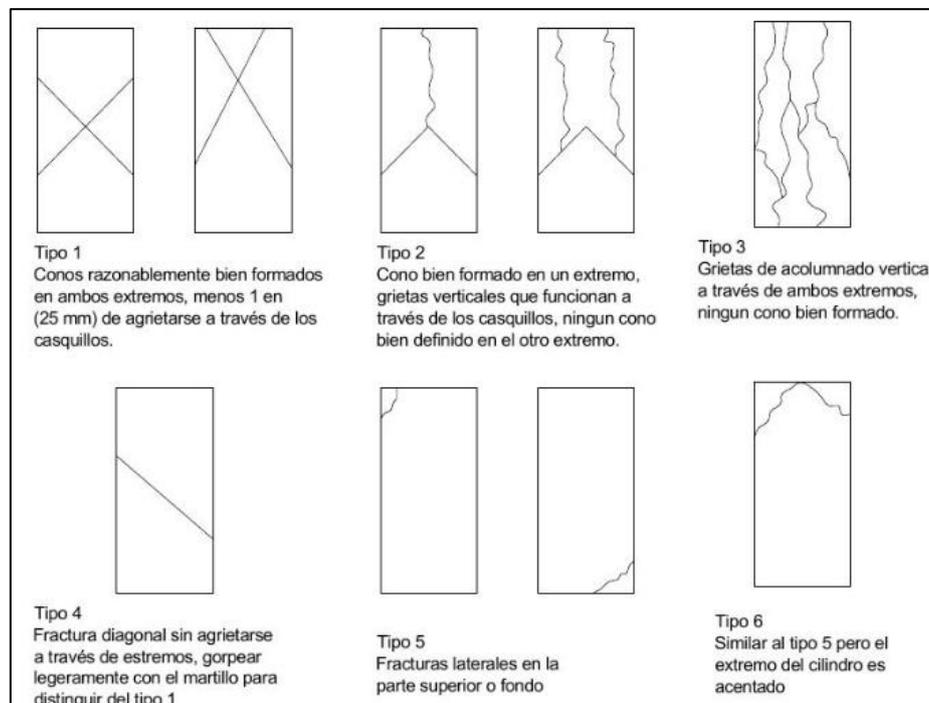
Para calcular la resistencia se divide la máxima carga que soportó el espécimen, con el área de su sección. Como mínimo se solicita 2 especímenes ensayados de la misma edad, para obtener una resistencia promedio.

Tabla 8 Tolerancia de tiempo

Test Age ^A	Permissible Tolerance
24 h	±0.5 h
3 days	±2 h
7 days	±6 h
28 days	±20 h
90 days	±2 days

Fuente: [37]

Figura 3 Tipos de fallas



Fuente: [37]

b) Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto en compresión

Normativa: [38]

Materiales y equipo:

- Espécimen cilíndrico (15 x 30 cm)
- Máquina de ensayo
- Compresómetro-Extensómetro
- Balanza

Procedimiento:

En primer lugar, se determina previamente la resistencia a la compresión de un espécimen compañero, luego se coloca el espécimen a ensayar en conjunto con el equipo medidor de deformaciones, y se anota la lectura del deformímetro.

Mediante la aplicación de una carga continua y sin interrupción, tomando los puntos cuando la deformación longitudinal es 50 millonésima y cuando la carga aplicada es igual al 40 % de la carga última. Se recomienda cargar al menos dos veces el espécimen, con lo que permitirá sacar cálculos con el promedio de estos resultados.

c) Ensayo de cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato

Permite conocer la variabilidad de longitud; las cuales debe cumplir de acuerdo a lo establecido en la ASTM C1012.

Normativa: [39]

Materiales:

- Espécimen prismático (7.5 x 7.5 x 28.5 cm)
- Tornillos de acero inoxidable
- Solución de sulfato de sodio
- Máquina de ensayo

Procedimiento:

El agua (900 ml) se trata con una solución de 50g de sulfato de sodio, un día antes de ponerla en uso, se cubrirá y se deja a temperatura 23 ± 2 °C.

Los especímenes de dimensión 75 x 75 x 285 mm, deben contener un tornillo de acero inoxidable con el fin de medir la variabilidad en la longitud.

Se sumergen los especímenes para su curado por 7 días, para pasar a ser sumergida en la solución.

Se utiliza una máquina comparadora de longitud, con lo que permitirá medir las longitudes iniciales y finales de los especímenes, durante el avance de las semanas, en un periodo de 15 semanas (donde se evidencia su susceptibilidad a la agresión por sulfatos).

d) Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión

Normativa: [40]

Materiales:

- Equipo de ensayo
- Espécimen cilíndrico (15 x 30 cm)

Procedimiento:

Con el espécimen con un mínimo de edad de 28 días, se ubica en el equipo y se administra agua a presión (500 ± 50 kPa), por un tiempo de 72 ± 2 horas. Pasado el tiempo, se limpia los excesos de agua y se parte el espécimen de manera perpendicular a la cara en la que se aplicó la presión, se observa la penetración del agua y se mide la máxima penetración (mm).

Se tendrá que visualizar como se encuentra las superficies no expuestas a la presión del agua y verificar la presencia de agua, si existiera filtraciones, se debe reconsiderar la validez del resultado y anotar.

Materiales y métodos

La investigación de acuerdo al propósito es de tipo aplicada, por lo que se basa en la solución de una realidad problemática ya planteada, a través del uso del gel de sílice en la solución y mejora en las propiedades del concreto, buscando brindar aportes al sector construcción.

La investigación de acuerdo a los datos analizados es de tipo cuantitativa, al realizar una recolección y posterior análisis de resultados dados por ensayos desarrollados en la investigación.

Se plantea la hipótesis: “La incorporación de gel de sílice, influye en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”.

Esta investigación presenta un diseño de investigación experimental, debido a que, para los diferentes especímenes a analizar, se modificarán intencionalmente las variables a ser analizadas. Realizando un análisis del componente incorporado al concreto, el gel de sílice; la realización de diseños de mezcla de concreto con la incorporación de este material (en sus diversos porcentajes) y sin su incorporación (muestra patrón); siendo ensayados, previamente en agregados (granulometría, contenido de humedad, peso unitario, absorción, peso específico) y posteriormente en mezclas y especímenes de concreto que permitirán realizar una comparación para corroborar o descartar la hipótesis planteada.

La población de estudio son las mezclas de concreto elaboradas en la ciudad de Chiclayo, con la finalidad de analizar sus propiedades físicas y mecánicas.

La muestra en esta investigación contempla mezclas de concreto con resistencia a la compresión 210 kg/cm^2 , elaborados con relaciones a/c de 0.555 y 0.6.

Para este estudio se empleará un tipo de muestreo no probabilístico intencional, por juicio o criterio del investigador.

Contempla 24 mezclas y 112 especímenes de concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con relación a/c de 0.555 y 0.6, usando materiales propios de la zona de estudio y fabricados con la incorporación de gel de sílice (0.1%, 0.5% y 1%) adicionado en mezcla, con la finalidad de analizar su influencia en ensayos de asentamiento, tiempo de fraguado, temperatura, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad estático, durabilidad por penetración de agua y durabilidad a sulfatos.

Tabla 9 Muestreo ensayo de asentamiento

ENSAYO ASENTAMIENTO (a/c = 0.555 y 0.6)	
Tipo de mezcla	Cantidad
<i>Mezcla patrón</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.1%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.5%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 1%</i>	2
TOTAL	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10 Muestreo ensayo tiempo de fraguado

ENSAYO TIEMPO DE FRAGUADO (a/c = 0.555 y 0.6)	
Tipo de mezcla	Cantidad
<i>Mezcla patrón</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.1%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.5%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 1%</i>	2
TOTAL	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Muestreo ensayo determinación de temperatura de mezcla

ENSAYO D. TEMPERATURA (a/c = 0.555 y 0.6)	
Tipo de mezcla	Cantidad
<i>Mezcla patrón</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.1%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 0.5%</i>	2
<i>Mezcla con incorporación de gel de sílice 1%</i>	2
TOTAL	8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12 Muestreo ensayos concreto endurecido (a/c=0.555)

CANTIDAD DE PROBETAS $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ (a/c = 0.555)																
Muestras	M. P.				% I. Gel de sílice											
					0.1%				0.5%				1.0%			
N° días	7	14	28	105	7	14	28	105	7	14	28	105	7	14	28	105
Resistencia a la compresión	2	2	2	-	2	2	2	-	2	2	2	-	2	2	2	-
Ensayo de módulo de elasticidad	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-
Durabilidad: Penetración de agua	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-
Durabilidad: Sulfatos	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3
Subtotal	14				14				14				14			
TOTAL	56															
Probetas cilíndricas				44												
Probetas prismáticas				12												

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Muestreo ensayo concreto endurecido ($a/c=0.6$)

CANTIDAD DE PROBETAS $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($a/c = 0.6$)																
Muestras	M. P.				% I. Gel de sílice											
					0.1%				0.5%				1.0%			
Nº días	7	14	28	105	7	14	28	105	7	14	28	105	7	14	28	105
Resistencia a la compresión	2	2	2	-	2	2	2	-	2	2	2	-	2	2	2	-
Ensayo de módulo de elasticidad	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	2	-
Durabilidad: Penetración de agua	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-
Durabilidad: Sulfatos	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3	-	-	-	3
Subtotal	14				14				14				14			
TOTAL	56															
Probetas cilíndricas			44													
Probetas prismáticas			12													

Fuente: Elaboración propia

De estos 112 especímenes de concreto endurecido; 88 serán de tipo cilíndrico, de los cuales 48 de este tipo serán ensayados a compresión a los 7, 14 y 28 días, 16 serán ensayados para la determinación del módulo de elasticidad estático; y los otros 24 de tipo cilíndrico serán ensayados mediante durabilidad por penetración de agua a los 28 días. Los 24 especímenes restantes serán de tipo prismático evaluados por durabilidad a sulfatos hasta 105 días (15 semanas). Para la obtención de resultados más confiables y eficientes, se realizará un promedio entre las muestras ensayadas por cada relación a/c (0.555 y 0.6), tanto a compresión, como para módulo de elasticidad estático se ensayarán 2 especímenes cilíndricos; para durabilidad por penetración de agua 3 especímenes cilíndricos y para el ensayo de durabilidad por sulfatos 3 especímenes prismáticos.

Criterios de selección

a) Ensayo de resistencia a la compresión:

El criterio de selección de la cantidad de especímenes cilíndricos se fundamenta en la norma ASTM C39, indicando que se requiere al menos 2 probetas cilíndricas (150 x 300 mm) ensayadas a la misma edad, y con ello obtener un promedio adecuado. Por ello se ha optado por ensayar 2 especímenes cilíndricos, con el fin de obtener resultados más confiables.

b) Ensayos de durabilidad:

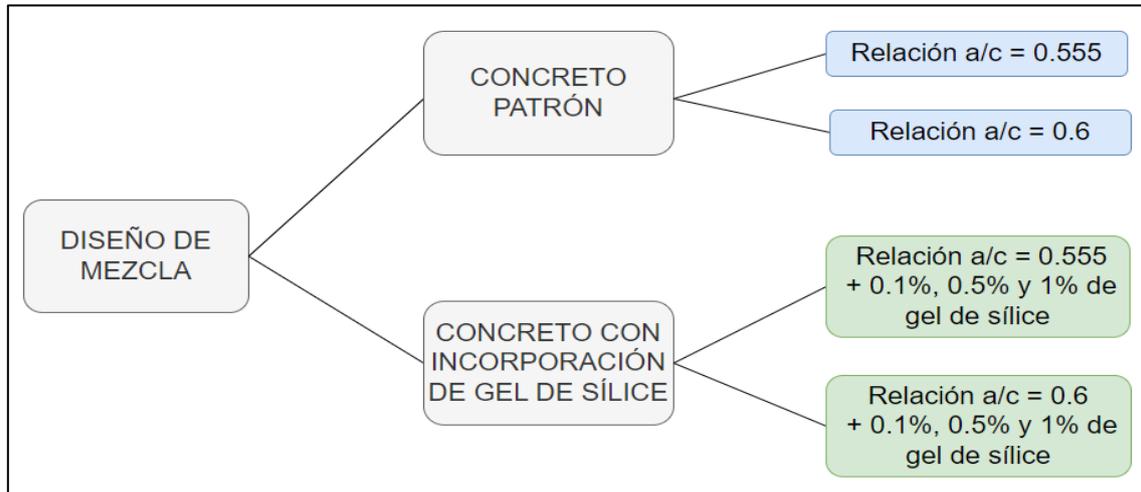
- ✓ Ensayo cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato:

El criterio de selección de la cantidad de especímenes prismáticos se fundamenta en la normativa ASTM C-157, indicando que se deben ensayar al menos 3 especímenes de concreto (25 x 25 x 285 mm) para que se considere válido para la edad que se evalúe. Por lo que se ha optado por ensayar 3, con el fin de obtener resultados factibles.

- ✓ Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión:

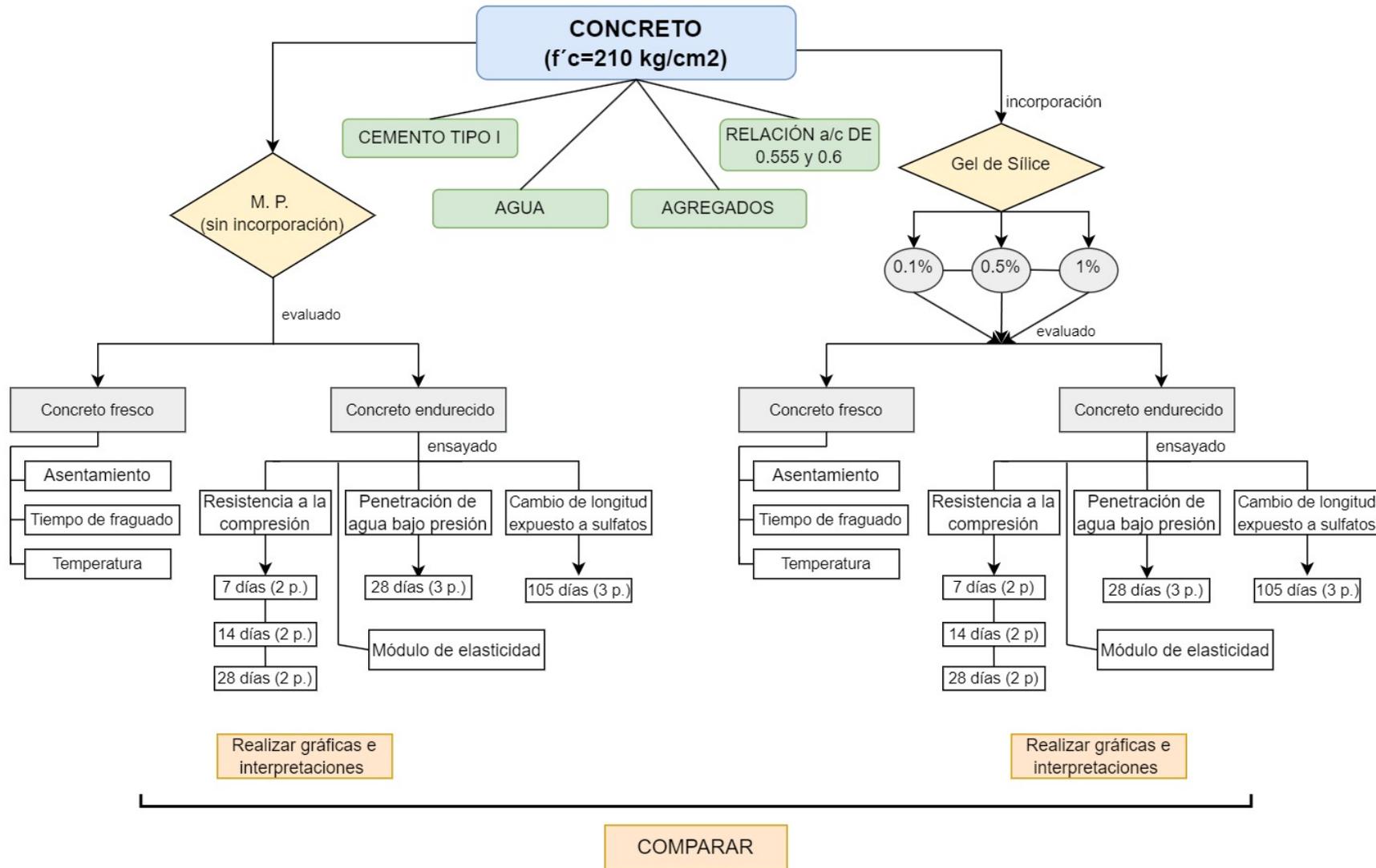
La selección de la cantidad de especímenes cilíndricos se fundamenta en la norma UNE-EN 12390-8, indicando que se deben ensayar las probetas con al menos 28 días de edad. Por lo que se ha optado por ensayar 3 probetas de concreto (150 x 300 mm), con el fin de obtener resultados más confiables.

Figura 4 Diseño de mezcla



Fuente: Elaboración propia

Figura 5 Diagrama metodología de ensayos



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo que se va a estudiar, la **operacionalización de variables** es:

Tabla 14 Variable Independiente

VARIABLE		INDICADORES	RANGO DE APLICACIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
TIPO	DESCRIPCIÓN				
INDEPENDIENTE	GEL DE SÍLICE	Porcentaje por peso de cemento	0.1%, 0.5%, 1%	%	Balanza digital

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15 Variable Dependiente

VARIABLE		DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	MÉTODO DE MEDICIÓN
TIPO	DESCRIPCIÓN				
DEPENDIENTE	PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL CONCRETO	Ensayo del concreto en estado fresco	Asentamiento	Pulg.	"Método de prueba estándar para asentamiento de concreto de cemento hidráulico" ASTM C143
			Tiempo de fraguado	Horas/minutos	"Método de prueba estándar para tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración" ASTM C403
			Temperatura	°C	"Método de prueba estándar para temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado" ASTM C1064
		Ensayos del concreto en estado endurecido	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	"Método de prueba estándar para resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto" ASTM C39
			Módulo de elasticidad	kg/cm ²	"Método estándar de ensayo para módulo de elasticidad estático y relación de Poisson del concreto en compresión" ASTM C469
			Durabilidad	%	"Prueba de cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato" ASTM C1012
			Durabilidad	mm	"Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión" UNE-EN 12390-8

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16 Variable Interviniente

VARIABLE		INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
TIPO	DESCRIPCIÓN		
INTERVINIENTE	DISEÑO DE CONCRETO	Tipo de cemento I	Tipo
		Relación a/c 0.6, 0.555	-
		f _c de diseño 210	kg/cm ²
	INCORPORACIÓN	Tamaño del gel de sílice <150	μm
		Peso específico y absorción	g/cm ³ , %
		Ensayo Fluorescencia de Rayos X (XRF)	-
	AGREGADOS	Análisis Granulométrico	gr.
		Contenido de Humedad	%
		Peso específico y absorción de agregado fino	g/cm ³ , %
		Peso específico y absorción de agregado grueso	g/cm ³ , %
		Peso Unitario de los agregados	kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Ensayos a los agregados

a) Ensayo de granulometría de los agregados

- ✓ Para el agregado fino:

Se empleó material de la cantera La Victoria – Pátapo; ensayando una muestra de 660 g., utilizando los tamices normalizados, y realizándolo de manera manual.



Figura 6 Muestra ensayada



Figura 7 Tamizado del agregado fino

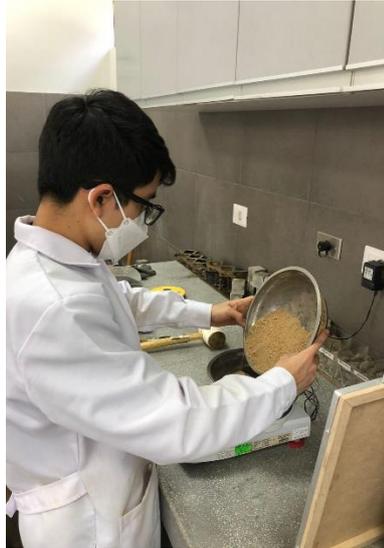


Figura 8 Pesaje de las muestras



Figura 9 Peso de agregado retenido

Fuente: Propia

✓ Para el agregado grueso:

Se ensayó una muestra de 5000 g., de la Chancadora Piedra Sicán – Ferreñafe, utilizando los tamices normalizados, y realizándolo de manera manual.



Figura 10 Muestra agregado grueso



Figura 11 Peso del agregado retenido

Fuente: Propia

b) Ensayo de contenido de humedad de los agregados

✓ Para el agregado fino:

Se ensayó una muestra de 500 g., la cual pasó por el horno durante 24 horas, se retiró y se volvió a pesar.



Figura 12 Muestra húmeda de agregado fino



Figura 13 Muestra puesta al horno



Figura 14 Retirado del horno



Figura 15 Muestra seca del agregado fino

Fuente: Propia

✓ Para el agregado grueso:

Se ensayó una muestra de 5000 gramos, la cual pasó por el horno durante 24 horas, se retiró y se volvió a pesar.

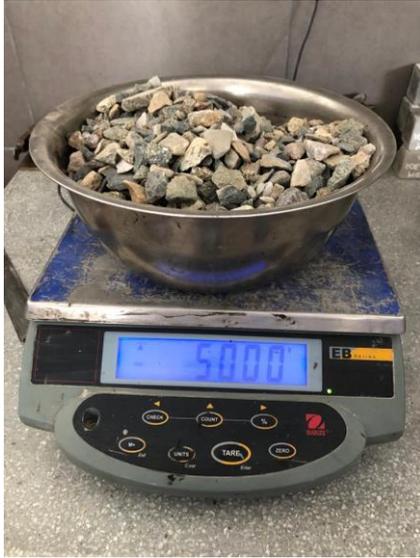


Figura 16 Muestra húmeda de agregado grueso



Figura 17 Muestra seca de agregado grueso

Fuente: Propia

c) Ensayo de peso específico de masa y absorción del agregado fino

Se ensayó una muestra de 500 g., la cual pasó por el horno y se pesó.



Figura 18 Peso de la muestra



Figura 19 Fiola con agregado



Figura 20 Eliminación de las burbujas de aire atrapado

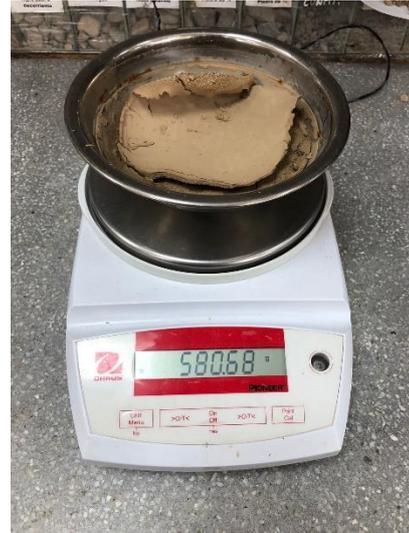


Figura 21 Peso de la muestra seca

Fuente: Propia

d) Ensayo de peso específico de masa y absorción del agregado grueso

Se seleccionó el agregado, eliminando la que pasa por el tamiz N° 4.



Figura 22 Agregado sumergido en agua



Figura 23 Peso de la canastilla

Fuente: Propia



Figura 24 Peso de agregado con canastilla



Figura 25 Peso de la muestra seca

Fuente: Propia

e) Ensayo de peso unitario suelto y compactado de los agregados

- ✓ Para el peso unitario suelto:

Con el peso del molde vacío, se añadió la muestra de agregado a este. Finalmente, se enrasó la superficie y se eliminó el material excedente, para ser pesado.



Figura 26 Colocación de muestra de agregado fino



Figura 27 Colocación de muestra de agregado grueso



Figura 28 Peso del agregado fino en la probeta



Figura 29 Peso del agregado grueso en la probeta

Fuente: Propia

✓ Para el peso unitario compactado:

Con el peso del molde vacío, se añadió la muestra de agregado a este, varillando por capas. Se enrazó la superficie, para ser pesado.



Figura 30 Compactando la muestra de agregado fino



Figura 31 Compactando la muestra de agregado grueso



Figura 32 Peso del agregado fino en la probeta



Figura 33 Peso del agregado grueso en la probeta

Fuente: Propia

Procedimiento para la aplicación de la incorporación en el concreto

La incorporación empleada en la investigación fue el gel de sílice, conocido comercialmente como “Silica Gel”, el cual presentaba un tamaño de 2-4 mm, con apariencia de una esfera cristalina de color blanco. Para lo cual, se realizó la molienda al material, con el fin de que pase el tamiz número 100.



Figura 34 Gel de sílice



Figura 35 Molienda del gel de sílice



Figura 36 Gel de sílice molido

Fuente: Propia

Adicionalmente, se ensayó la prueba de peso específico y absorción al gel de sílice; con la finalidad de obtener información para el diseño de mezcla.



Figura 37 Fiola con el gel

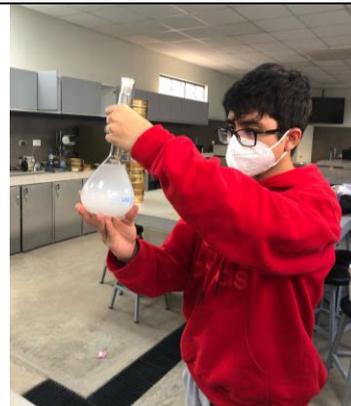


Figura 38 Eliminación de burbujas



Figura 39 Material puesto en el horno



Figura 40 Peso del material seco

Fuente: Propia

Siendo incorporado como una adición a la mezcla de concreto por peso de cemento empleado, dosificado en 0.1%, 0.5% y 1%.



Figura 41 Material a incorporar en la mezcla de concreto

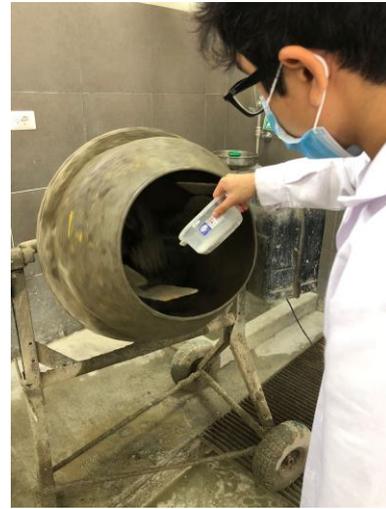


Figura 42 Incorporación del gel de sílice a la mezcla de concreto

Fuente: Propia

Diseño de mezcla

Se elaboraron dos diseños de mezcla para una resistencia 210 kg/cm², con la finalidad de comparar la diferencia que presenten una menor y una mayor relación a/c, con la incorporación de este gel de sílice.

- ✓ Una relación a/c de 0.6, la cual se escogió sin considerar la selección por resistencia que recomienda la normativa ACI-211, fue propuesto con fines de la investigación.
- ✓ Una relación a/c de 0.555, la cual se escogió considerando la selección por resistencia recomendada por la normativa ACI-211.

Ensayos del concreto en estado fresco

Se empleó cemento Portland Qhuna tipo I ordinario de uso general, sin adiciones, cumpliendo con las especificaciones ASTM C150, siendo aplicable a cualquier tipo de estructura sin condiciones especiales.

a) Ensayo para determinar el asentamiento

Se vació la mezcla en el cono y se determinó el asentamiento para cada dosificación, siendo el asentamiento patrón propuesto 4".



Figura 43 Medición del asentamiento



Figura 44 Asentamiento del concreto

Fuente: Propia

b) Ensayo para determinar el tiempo de fraguado

Se colocó cada mezcla en el contenedor, previamente tamizado; se sometió a la penetración de agujas y se determinó el tiempo de fraguado para cada dosificación planteada.



Figura 45 Tamizado del concreto por la malla N° 4



Figura 46 Penetración de las agujas



Figura 47 Determinación del tiempo de fraguado

Fuente: Propia

c) Ensayo para determinar la temperatura de mezclas de concreto

Se introdujo el dispositivo con el fin de tomar medidas de la temperatura, por un lapso de 3 minutos y se determinó la temperatura de cada dosificación.



Figura 48 Control de temperatura del concreto

Fuente: Propia

Ensayos del concreto en estado endurecido

a) Elaboración y curado de especímenes cilíndricos de concreto para resistencia a la compresión

Se realizaron especímenes de concreto con relaciones a/c de 0.6 y 0.555; dejando que alcancen la resistencia planteada.



Figura 49 Elaboración de especímenes



Figura 50 Especímenes de concreto



Figura 51 Especímenes expuestos a la intemperie

Fuente: Propia

b) Ensayo de compresión a muestras cilíndricas de concreto

Se ensayaron especímenes de dimensiones 30 x 15 cm, los cuales fueron colocados en la máquina hasta su ruptura, evaluadas a edades de 7, 14 y 28 días.



Figura 52 Registro de medidas del espécimen



Figura 53 Especimen colocado en la máquina



Figura 54 Carga obtenida



Figura 55 Falla del espécimen

Fuente: Propia

c) Ensayo de módulo de elasticidad estático

Se realizó en muestras con 28 días de edad, anotando la lectura que arroja el deformímetro.



Figura 56 Espécimen con deformímetro



Figura 57 Realización de ensayo

Fuente: Propia

d) Ensayo de cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato

Se elaboraron muestras que permanecieron curadas, posteriormente se sumergieron en solución de sulfato de sodio, midiendo la longitud en un periodo de 15 semanas.



Figura 58 Molde para ensayo



Figura 59 Ensayo

Fuente: Propia

e) Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión

Se elaboraron los especímenes de 30 x 15 cm., los cuales fueron curados todo el tiempo antes de realizar el ensayo.



Figura 60 Muestras para ensayo permeabilidad



Figura 61 Muestras ensayadas

Fuente: Propia

Matriz de consistencia:

Tabla 17 Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cómo influye la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm ² ?	<p>Objetivo general:</p> <ul style="list-style-type: none"> Analizar la influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm². <p>Objetivos específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Identificar las características de los agregados y el gel de sílice empleados en la fabricación del concreto. Elaborar diseños de mezcla con relaciones a/c de 0.555 y 0.6, para el concreto patrón $f'c=210$ kg/cm² y para concretos con la incorporación de gel de sílice en porcentajes 0.1%, 0.5% y 1% por peso de cemento. Comparar las propiedades físicas y mecánicas del concreto patrón y el concreto con incorporación de gel de sílice. Determinar la relación a/c adecuada y el porcentaje óptimo de incorporación de gel de sílice en el concreto, acorde con los estándares normativos. Comparar los costos al producir concreto con incorporación de gel de sílice respecto a un concreto convencional. 	La incorporación de gel de sílice, influye en la mejora de las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm ²	<p>Variable independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Gel de sílice <p>Variable dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Propiedades físicas y mecánicas del concreto <p>Variable interviniente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Diseño de concreto Curado de concreto Incorporación Agregados 	<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> De acuerdo al propósito, es de tipo aplicada. De acuerdo a los datos analizados, es de tipo cuantitativa. <p>Diseño de investigación</p> <p>Para esta investigación se planteó un diseño de investigación experimental, debido a que, para los diferentes especímenes a analizar, se modificarán intencionalmente las variables a ser analizadas.</p>	<p>Población:</p> <p>La población de estudio para esta investigación son las mezclas de concreto elaboradas en la ciudad de Chiclayo, con el fin de analizar sus propiedades físicas y mecánicas.</p> <p>Muestra:</p> <p>La muestra en esta investigación contempla mezclas de concreto con resistencia a la compresión 210 kg/cm², elaborados con relaciones a/c de 0.555 y 0.6.</p> <p>Muestreo:</p> <p>Contempla 24 mezclas y 112 especímenes, de los cuales 88 serán de tipo cilíndrico, los 24 restantes serán de tipo prismático.</p>

Fuente: Elaboración propia

Consideraciones éticas:

Esta investigación se basa en principios de honestidad, ética y atribuyendo conceptos, fuentes bibliográficas, así como procedimientos de ensayos a terceros citados, respetando los derechos; garantizando veracidad en los resultados obtenidos en los ensayos y corroborando el no superar el 25% de similitud.

Resultados y discusión

En esta investigación se llevaron a cabo ensayos en los materiales, como:

a) Granulometría de los agregados:

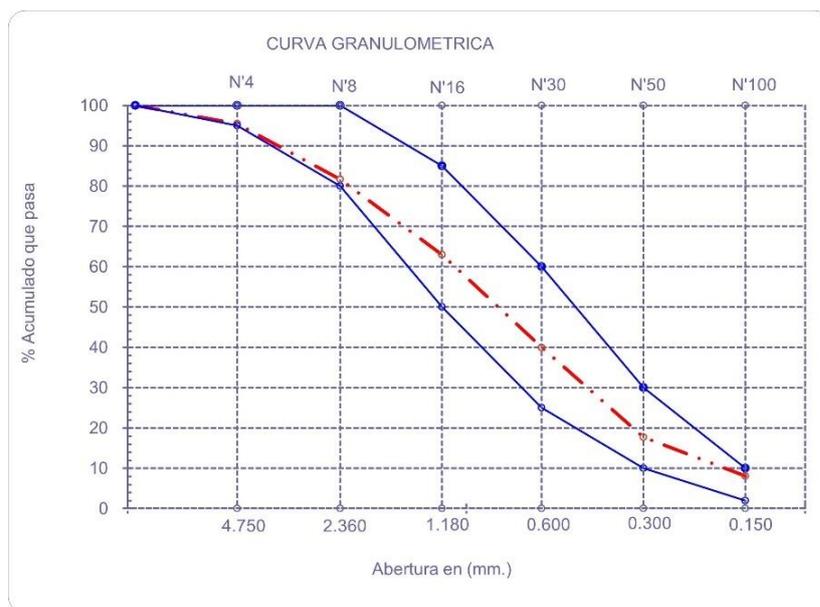
Tabla 18 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	29.77	4.5	4.5	95.5	95	100
Nº 08	2.360	90.99	13.8	18.3	81.7	80	100
Nº 16	1.180	123.72	18.7	37.0	63.0	50	85
Nº 30	0.600	151.64	23.0	60.0	40.0	25	60
Nº 50	0.300	146.83	22.2	82.3	17.7	10	30
Nº 100	0.150	63.8	9.7	91.9	8.1	2	10
Fondo		53.25	8.1	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.94			
Abertura de malla de referencia				9.50			

Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Se evidencia que el agregado fino, procedente de la cantera La Victoria – Pátapo, satisface los requisitos granulométricos y se obtiene un módulo de fineza de 2.94, el cual se encuentra dentro del rango recomendable.

Gráfico 1 Análisis granulométrico del agregado fino de la cantera La Victoria



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

La curva granulométrica cumple con los límites establecidos según la NTP 400.037.

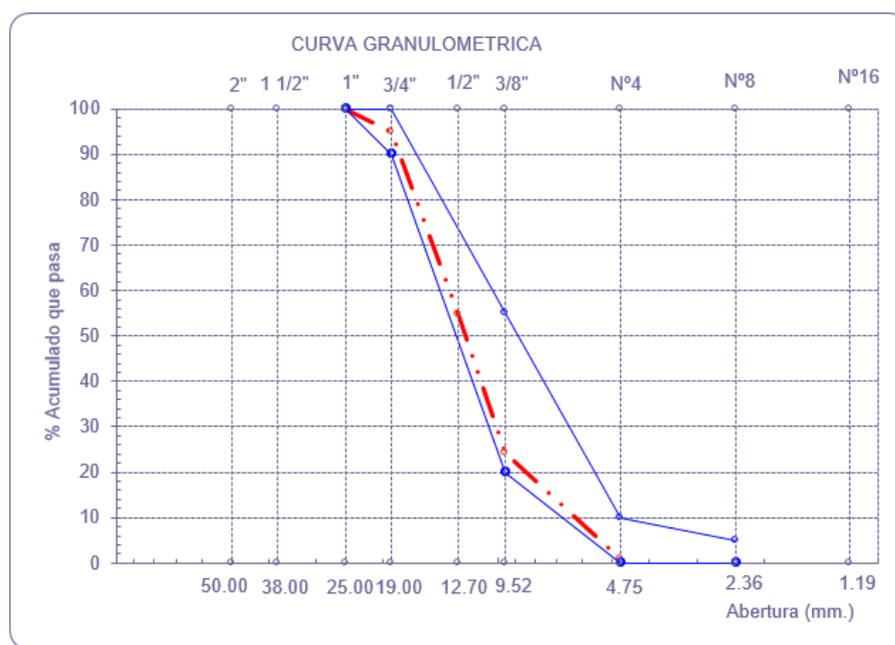
Tabla 19 Análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Chancadora Piedra Sicán

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(% Acum. Ret.
Pulg.	(mm.)			
2"	50.00	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.00	258.0	5.2	5.2
1/2"	12.70	2004.0	40.1	45.2
3/8"	9.52	1519.0	30.4	75.6
Nº 04	4.75	1182.0	23.6	99.3
Nº 08	2.36	32.0	0.6	99.9
Nº 16	1.19	0.0	0.0	99.9
Fondo		5.0	0.1	100.0
Tamaño Maximo			1"	38.00
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

Se evidencia que el agregado grueso, procedente de la Chancadora Piedra Sicán – Ferreñafe, satisface los requisitos granulométricos y presenta un T.M.N. de 3/4".

Gráfico 2 Análisis granulométrico del agregado grueso de la cantera Chancadora Piedra Sicán



Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

La curva granulométrica cumple con los límites establecidos, según el Huso N° 67 y la NTP 400.037.

b) Contenido de humedad de los agregados

Tabla 20 Contenido de humedad del agregado fino

<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	500
<i>Peso de la muestra seca</i>	<i>(gr.):</i>	493.40
<i>Peso del recipiente</i>	<i>(gr.):</i>	134
<i>Contenido de humedad</i>	<i>(%):</i>	1.34

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

El agregado fino obtuvo un contenido de humedad de 1.34%.

Tabla 21 Contenido de humedad del agregado grueso

<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	5 000
<i>Peso de la muestra seca</i>	<i>(gr.):</i>	4 980
<i>Peso del recipiente</i>	<i>(gr.):</i>	210
<i>Contenido de humedad</i>	<i>(%):</i>	0.40

Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

El agregado grueso obtuvo un contenido de humedad de 0.4%.

c) Peso unitario suelto y compactado

Tabla 22 Pesos Unitarios del agregado fino

PESO UNITARIO SUELTO			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	8 840	8 850
<i>Volumen del molde</i>	<i>(m³):</i>	0.00548	
<i>Peso Unitario Suelto Húmedo</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 614	
<i>Peso Unitario Suelto Seco</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 593	
PESO UNITARIO COMPACTADO			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	9 660	9 670
<i>Volumen del molde</i>	<i>(m³):</i>	0.00548	
<i>Peso Unitario Compactado Húmedo</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 764	
<i>Peso Unitario Compactado Seco</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 740	

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

Tabla 23 Pesos Unitarios del agregado grueso

PESO UNITARIO SUELTO			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	7 560	7 570
<i>Volumen del molde</i>	<i>(m³):</i>	0.00544	
<i>Peso Unitario Suelto Húmedo</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 390	
<i>Peso Unitario Suelto Seco</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 384	
PESO UNITARIO COMPACTADO			
<i>Peso de la muestra húmeda</i>	<i>(gr.):</i>	8 390	8 380
<i>Volumen del molde</i>	<i>(m³):</i>	0.00548	
<i>Peso Unitario Compactado Húmedo</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 540	
<i>Peso Unitario Compactado Seco</i>	<i>(kg/ m³):</i>	1 534	

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

d) Peso específico y absorción

Tabla 24 Peso específico y absorción del agregado fino

<i>Peso del recipiente</i>	<i>(gr.):</i>	83.95
<i>Peso de la muestra saturada superficialmente seca</i>	<i>(gr.):</i>	500
<i>Peso de la muestra sat. sup. seca + peso frasco + peso agua</i>	<i>(gr.):</i>	949.81
<i>Peso de la muestra sat. sup. seca + Peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	640.55
<i>Peso del agua</i>	<i>(gr.):</i>	309.26
<i>Peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	140.55
<i>Peso de la muestra secada a horno + peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	637.28
<i>Peso de la muestra secada a horno</i>	<i>(gr.):</i>	496.73
<i>Volumen del frasco</i>	<i>(cm³):</i>	500
RESULTADOS		
<i>Peso Específico de la Arena</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.60
<i>Peso Específico de la Masa S.S.S</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.62
<i>Peso Específico Aparente</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.65
<i>Porcentaje de Absorción</i>	<i>(%):</i>	0.66

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

El agregado fino tras ser sometido a la prueba del peso específico, arrojó una densidad de 2.60 g/cm³. En cuanto a la absorción, se determinó un 0.66%.

Tabla 25 Peso específico y absorción del agregado grueso

<i>Peso del recipiente</i>	<i>(gr.):</i>	210
<i>Peso de la muestra secada a horno</i>	<i>(gr.):</i>	3 019
<i>Peso de la muestra saturada superficialmente seca</i>	<i>(gr.):</i>	3 050
<i>Peso de la muest. sat. dentro del agua + peso de la canastilla</i>	<i>(gr.):</i>	2 800
<i>Peso de la canastilla</i>	<i>(gr.):</i>	880
<i>Peso de la muest. sat. dentro del agua</i>	<i>(gr.):</i>	1920
RESULTADOS		
<i>Peso Específico de la Grava</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.67
<i>Peso Específico de la Masa S.S.S</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.70
<i>Peso Específico Aparente</i>	<i>(g/cm³):</i>	2.75
<i>Porcentaje de Absorción</i>	<i>(%):</i>	1.03

Fuente: Laboratorio de Materiales - USAT

El agregado grueso tras ser sometido a la prueba del peso específico arrojó una densidad de 2.67 g/cm³. En cuanto a la absorción, se determinó un 1.03%.

Diseño de mezcla

Tabla 26 Diseño de mezcla - a/c=0.6

REAJUSTE POR SLUMP

SLUMP: 4"
Obtenido: 1"

Adicionar= 15 lts
N. agua = 220 lts
N. cemento = 330.827 kg

CONDICIONES SECAS	
Cemento =	308.271 kg
AF =	856.082 kg
AG =	929.701 kg
Agua=	205 lts

Volumenes corregidos:

Cemento = 0.105 m3
Agua = 0.220 m3
Aire = 0.020 m3
AG = 0.337 m3
AF = 0.318 m3

NUEVAS CONDICIONES SECAS	
Cemento =	330.827 kg
A.F. =	828.023 kg
A.G. =	899.229 kg
Agua=	220 lts

CONDICIONES HUMEDAS (Kg/m3)	
C.=	330.83 kg
A.F.=	839.12 kg
A.G.=	902.83 kg
Agua =	219.99 lts
C =	7.784 bls/m3°

7.78 bls

28.26 lts/bls

MATERIALES POR TANDA

C.= 42.5 kg/bls
A.F.= 107.80 kg/bls
A.G.= 115.98 kg/bls
Agua= 28.26 lts/bls

DOSIFICACIÓN EN PESO				
C :	AF :	AG :	/	AGUA
330.83 / 330.83	839.12 / 330.83	902.83 / 330.83		28.26 lts/bls
1	2.54	2.73		28.26 lts/bls

PESOS UNITARIOS SUELTOS HÚMEDOS (Kg/pie3)

A.F.= 45.70 kg/pie3
A.G.= 39.35 kg/pie3

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (Kg/pie3)				
C :	AF :	AG :	/	AGUA
42.5 / 42.5	107.80 / 45.70	115.98 / 39.35		28.26 lts/bls
1	2.36	2.95		28.26 lts/bls

Fuente: Elaboración propia

La dosificación de G.S. se añadió en función al peso del cemento, adicionado en porcentajes 0.1%, 0.5% y 1%, es decir que para una tanda se le adicionaría 42.5 gr., 212.5 gr., 425 gr. respectivamente.

Tabla 27 Diseño de mezcla - $a/c=0.555$ **REAJUSTE POR SLUMP**

SLUMP: 4"
Obtenido: 1"

Adicionar = 15 lts
N. agua = 220 lts
N. cemento = 396.396 kg

CONDICIONES SECAS	
Cemento =	369.369 kg
AF =	805.432 kg
AG =	929.701 kg
Agua =	205 lts

Volumenes corregidos:
 Cemento = 0.126 m³
 Agua = 0.220 m³
 Aire = 0.020 m³
 AG = 0.335 m³
 AF = 0.298 m³

NUEVAS CONDICIONES SECAS	
Cemento =	396.396 kg
AF =	776.507 kg
AG =	896.314 kg
Agua =	220 lts

CONDICIONES HUMEDAS (Kg/m ³)		
C =	396.40 kg	9.33 bls
A.F. =	786.91 kg	
A.G. =	899.90 kg	
Agua =	220.32 lts	23.62 lts/bls
C =	9.327 bls/m ³ c°	

MATERIALES POR TANDA

C = 42.5 kg/bls
A.F. = 84.37 kg/bls
A.G. = 96.48 kg/bls
AGUA = 23.62 lts/bls

DOSIFICACIÓN EN PESO			
C :	AF :	AG :	/ AGUA
396.40 / 396.40	786.91 / 396.40	899.90 / 396.40	23.62 lts/bls
1	1.99	2.27	23.62 lts/bls

PESOS UNITARIOS SUELTOS HÚMEDOS (Kg/pie³)

A.F. = 45.70 kg/pie³
A.G. = 39.35 kg/pie³

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (Kg/pie ³)			
C :	AF :	AG :	/ AGUA
42.5 / 42.5	84.37 / 45.70	96.48 / 39.35	23.62 lts/bls
1	1.85	2.45	23.62 lts/bls

Fuente: Elaboración propia

La dosificación de G.S. se añadió en función al peso del cemento, adicionado en porcentajes 0.1%, 0.5% y 1%, es decir que para una tanda se le adicionaría 42.5 gr., 212.5 gr., 425 gr. respectivamente.

Ensayos del concreto en estado fresco

a) Ensayo de asentamiento

Ya con el diseño de mezcla, se procedió a realizar los ajustes correspondientes con el fin de lograr el asentamiento deseado.

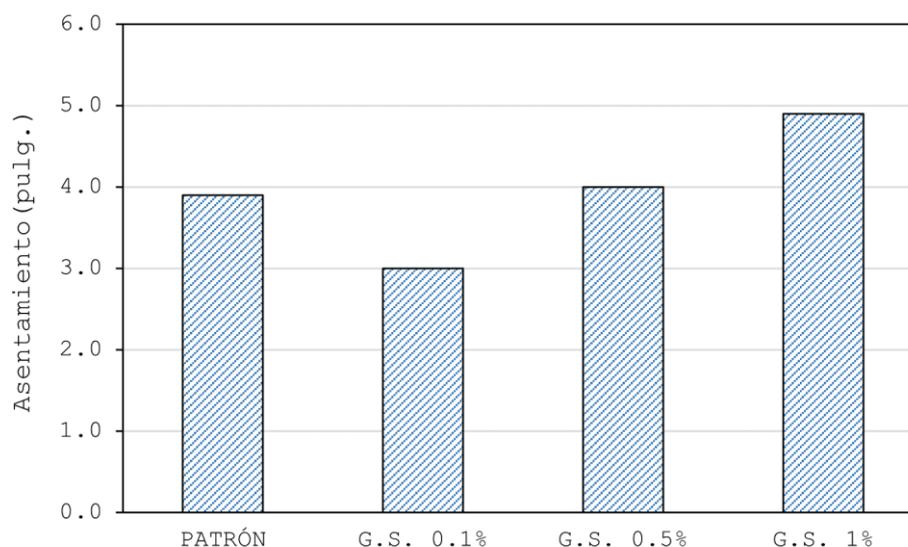
Tabla 28 Asentamiento del concreto a/c=0.6

DOSIFICACIÓN (a/c=0.6)	ASENTAMIENTO
<i>Concreto Patrón</i>	3.9 "
<i>G.S. 0.1%</i>	3 "
<i>G.S. 0.5%</i>	4 "
<i>G.S. 1%</i>	4.9 "

Fuente: Elaboración propia

Con la relación a/c=0.6, se observa una relación directa entre el porcentaje de adición de G.S. y el asentamiento, lo que indica que a medida que se incrementa el porcentaje de G.S. se obtiene mayor asentamiento.

Gráfico 3 Asentamiento del concreto a/c=0.6



Fuente: Elaboración propia

Con la dosificación G.S. 1%, se obtuvo el mayor asentamiento (4.9 "), un aumento del 25.64% en comparación con la muestra patrón, mientras que con una incorporación de G.S. 0.1% disminuyó un 23.08% y con G.S. 0.5% aumentó un 2.56%.

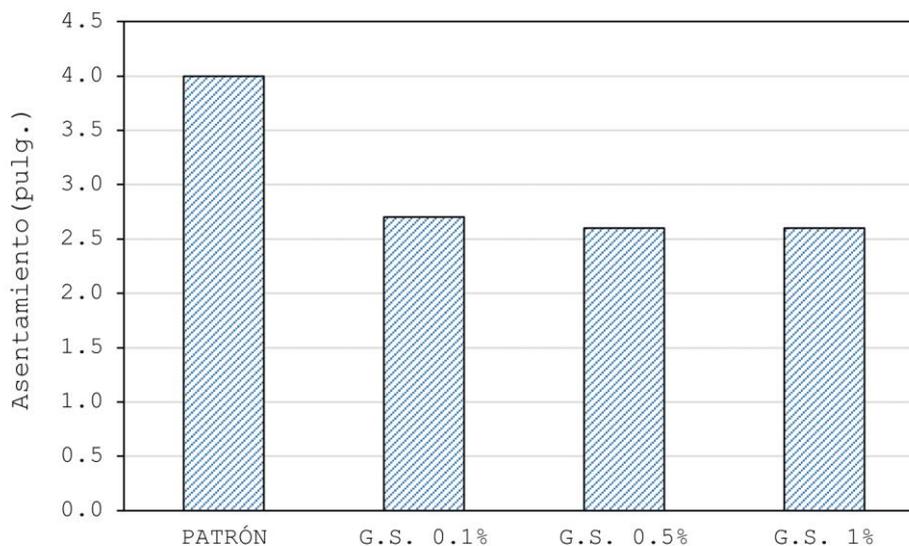
Tabla 29 Asentamiento del concreto $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	ASENTAMIENTO
Concreto Patrón	4 "
G.S. 0.1%	2.7 "
G.S. 0.5%	2.6 "
G.S. 1%	2.6 "

Fuente: Elaboración propia

Con la relación $a/c=0.555$, se observa una relación indirecta entre el porcentaje de adición de G.S. y el asentamiento, disminuyendo con cada porcentaje de adición, manteniéndose con asentamientos de 2.6 " y 2.7 ".

Gráfico 4 Asentamiento del concreto $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

Con la dosificación G.S. 0.1%, se obtuvo una reducción del 32.5% en relación con la muestra patrón, mientras que con las dosificaciones G.S. 0.5% y 1% disminuyó un 35%.

b) Ensayo de tiempo de fraguado

Dosificación: Concreto patrón - $a/c=0.6$

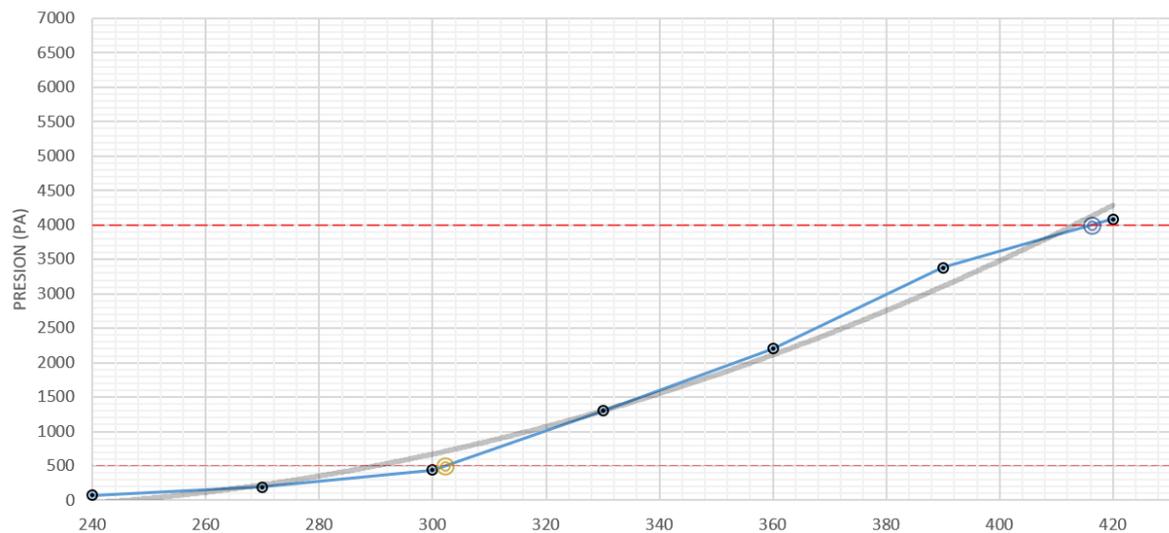
Hora de inicio: 10:30 a.m.

Tabla 30 Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.6$

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:30	72 Lb	0.99 pulg2	240	72.08
03:00	101 Lb	0.52 pulg2	270	194.31
03:30	109 Lb	0.25 pulg2	300	439.15
04:00	100 Lb	0.08 pulg2	330	1299.22
04:30	108 Lb	0.05 pulg2	360	2200.65
05:00	93 Lb	0.03 pulg2	390	3377.76
05:30 p.m	113 Lb	0.03 pulg2	420	4088.01

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5 Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.6$



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 302 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 416 min

Tiempo de fragua: 114 min

Dosificación: Concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6

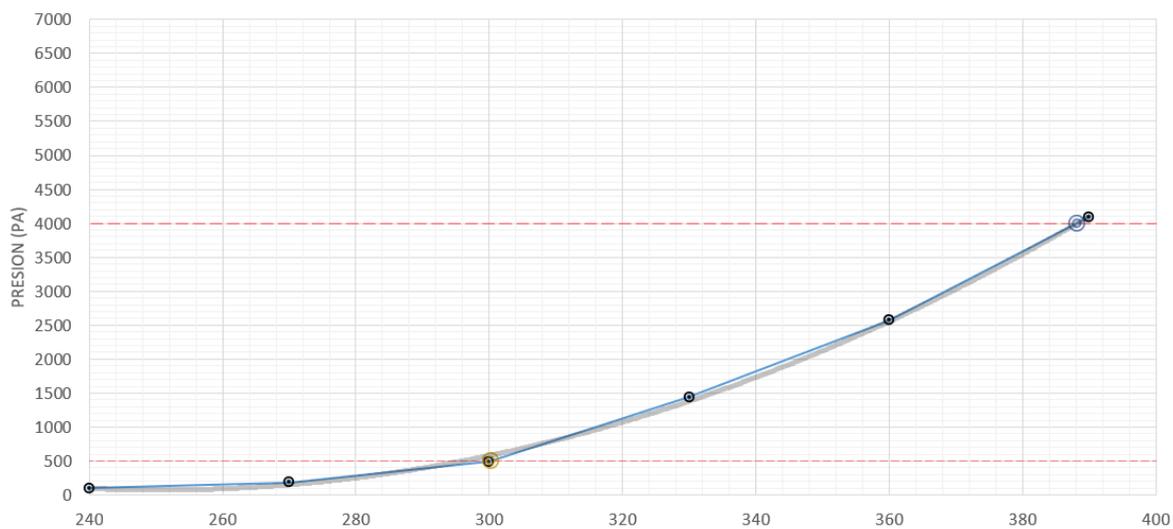
Hora de inicio: 11:30 a.m.

Tabla 31 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
03:30	99 Lb	0.99 pulg2	240	99.81
04:00	95 Lb	0.52 pulg2	270	183.69
04:30	122 Lb	0.25 pulg2	300	492.39
05:00	111 Lb	0.08 pulg2	330	1442.89
05:30	126 Lb	0.05 pulg2	360	2568.75
06:00 p.m	113 Lb	0.03 pulg2	390	4088.37

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 6 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 300 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 388 min

Tiempo de fragua: 88 min

Dosificación: Concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6

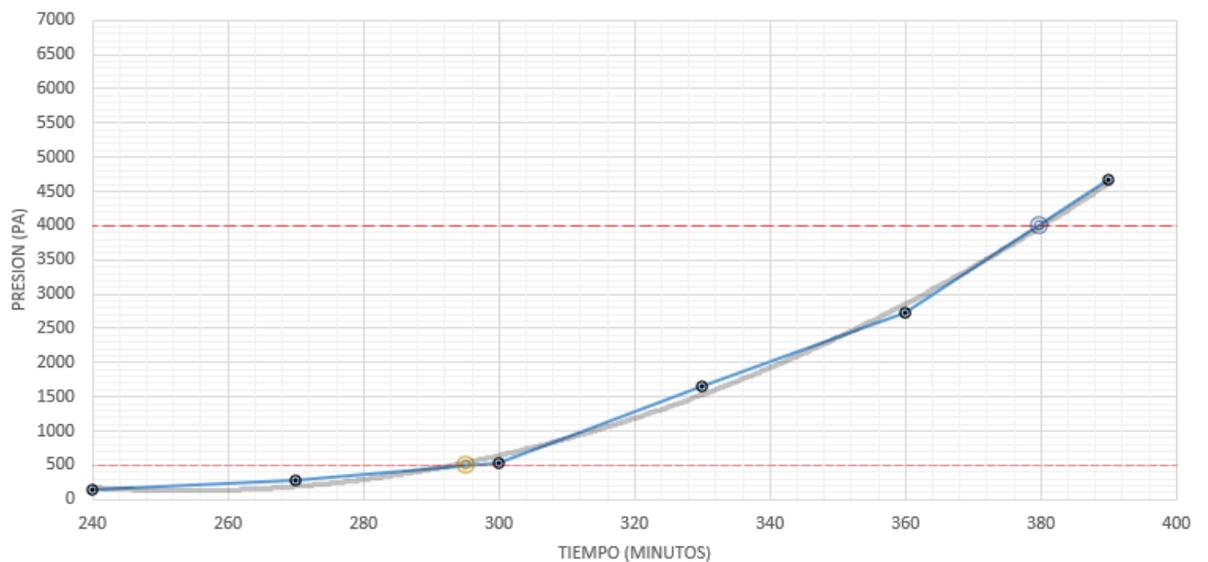
Hora de inicio: 9:50 a.m.

Tabla 32 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
01:50	136 Lb	0.99 pulg2	240	136.82
02:20	147 Lb	0.52 pulg2	270	283.52
02:50	135 Lb	0.25 pulg2	300	543.26
03:20	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
03:50	134 Lb	0.05 pulg2	360	2729.68
04:20 p.m	129 Lb	0.03 pulg2	390	4672.22

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 7 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 295 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 380 min

Tiempo de fragua: 85 min

Dosificación: Concreto G.S. 1% - a/c=0.6

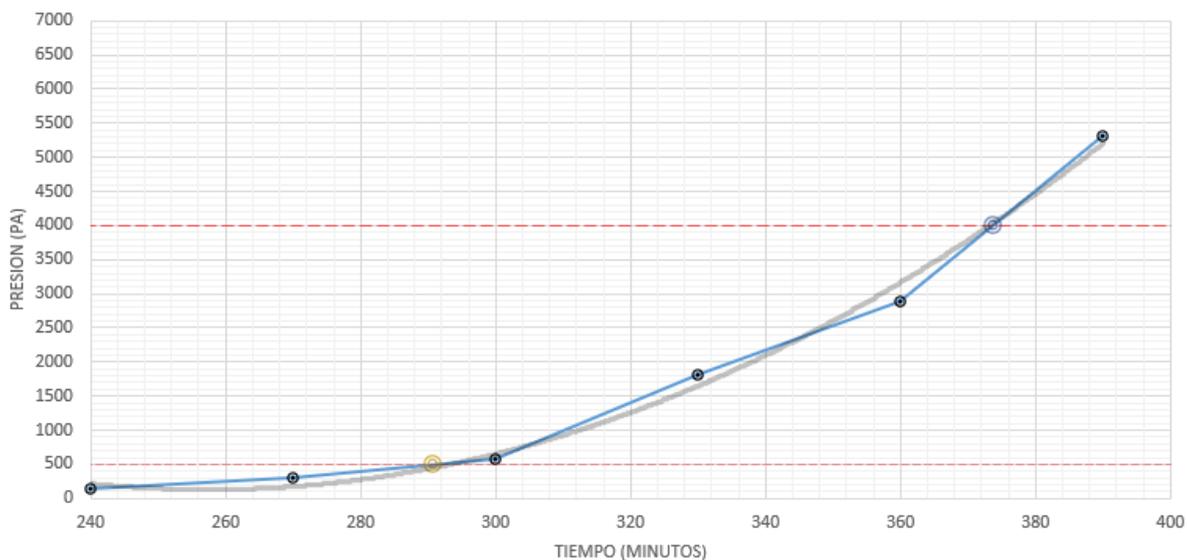
Hora de inicio: 10:20 a.m.

Tabla 33 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - a/c=0.6

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:20	143 Lb	0.99 pulg2	240	143.86
02:50	158 Lb	0.52 pulg2	270	304.73
03:20	146 Lb	0.25 pulg2	300	587.53
03:50	139 Lb	0.08 pulg2	330	1812.26
04:20	142 Lb	0.05 pulg2	360	2892.65
04:50 p.m	147 Lb	0.03 pulg2	390	5324.16

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - a/c=0.6



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 291 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 374 min

Tiempo de fragua: 83 min

Dosificación: Concreto patrón - $a/c=0.555$

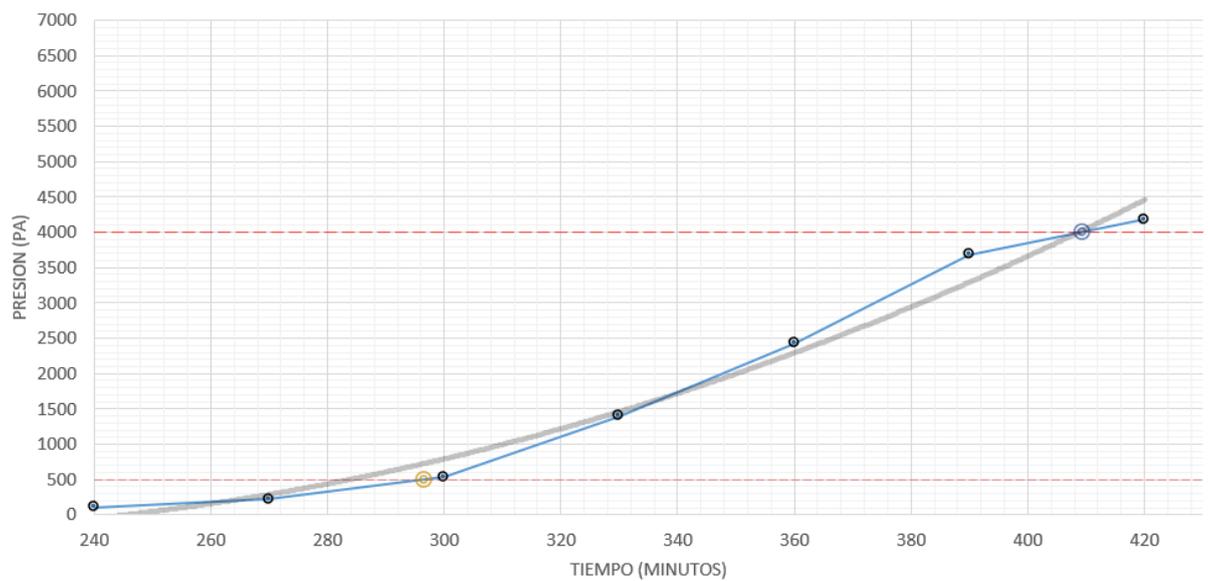
Hora de inicio: 11:00 a.m.

Tabla 34 Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.555$

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
03:00	105 Lb	0.99 pulg2	240	105.35
03:30	116 Lb	0.52 pulg2	270	223.23
04:00	133 Lb	0.25 pulg2	300	536.74
04:30	107 Lb	0.08 pulg2	330	1394.00
05:00	119 Lb	0.05 pulg2	360	2425.14
05:30	102 Lb	0.03 pulg2	390	3680.91
06:00 p.m	115 Lb	0.03 pulg2	420	4176.02

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9 Tiempo de fraguado del concreto patrón - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 296 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 409 min

Tiempo de fragua: 113 min

Dosificación: Concreto G.S. 0.1% - $a/c=0.555$

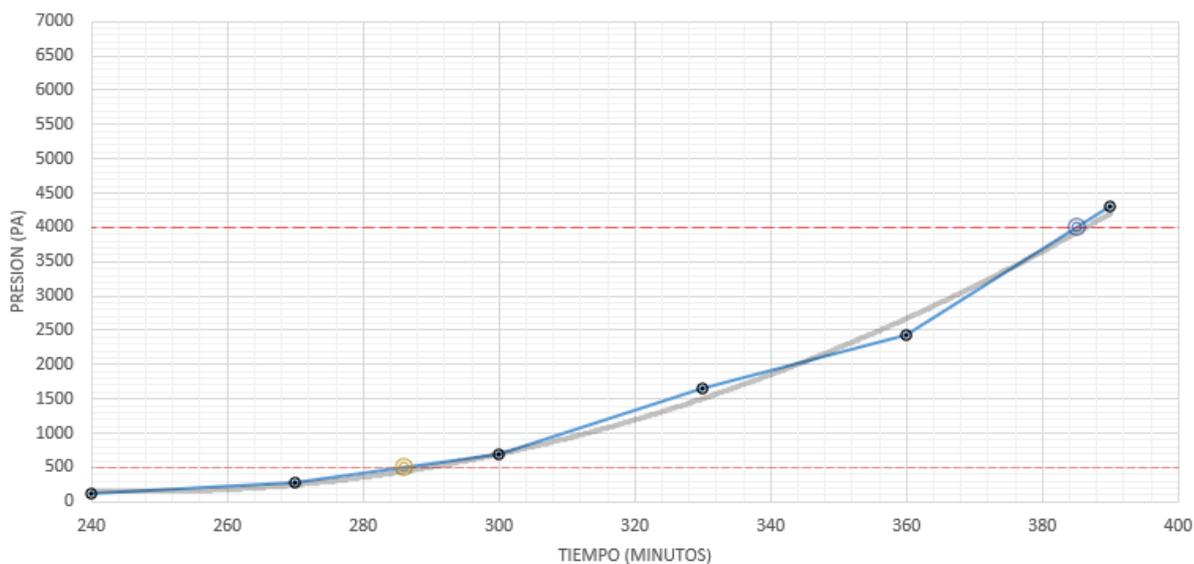
Hora de inicio: 9:15 a.m.

Tabla 35 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - $a/c=0.555$

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
01:15	120 Lb	0.99 pulg2	240	120.87
01:45	151 Lb	0.52 pulg2	270	291.27
02:15	170 Lb	0.25 pulg2	300	684.10
02:45	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
03:15	119 Lb	0.05 pulg2	360	2424.12
03:45 p.m	119 Lb	0.03 pulg2	390	4310.03

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.1% - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 286 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 385 min

Tiempo de fragua: 99 min

Dosificación: Concreto G.S. 0.5% - $a/c=0.555$

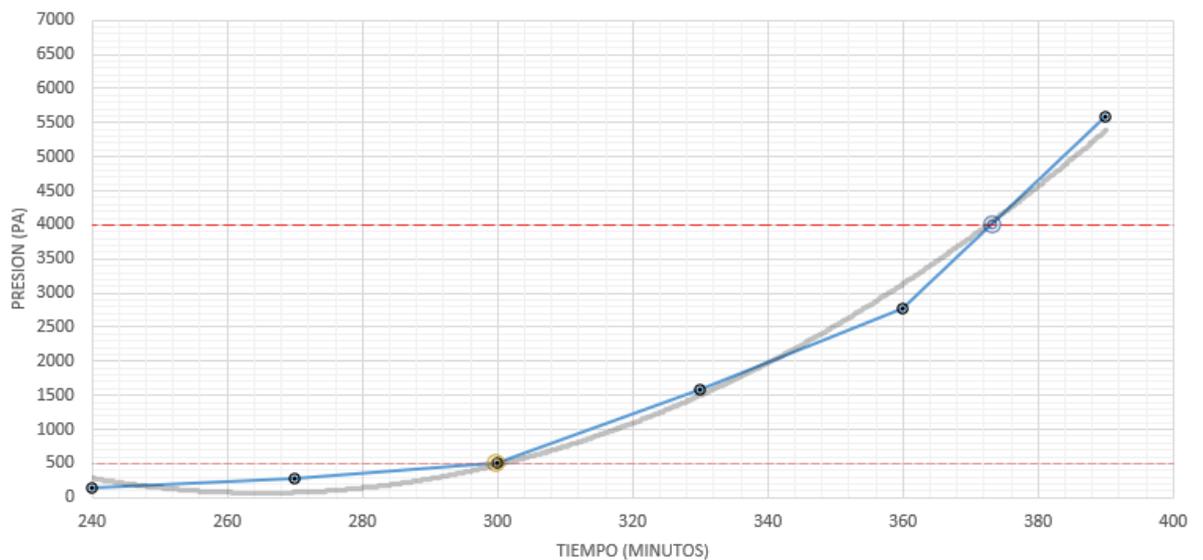
Hora de inicio: 10:15 a.m.

Tabla 36 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - $a/c=0.555$

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:15	149 Lb	0.99 pulg2	240	149.90
02:45	143 Lb	0.52 pulg2	270	275.80
03:15	125 Lb	0.25 pulg2	300	503.02
03:45	122 Lb	0.08 pulg2	330	1590.61
04:15	136 Lb	0.05 pulg2	360	2770.42
04:45 p.m	154 Lb	0.03 pulg2	390	5577.69

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 0.5% - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 300 min

Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 373 min

Tiempo de fragua: 74 min

Dosificación: Concreto G.S. 1% - a/c=0.555

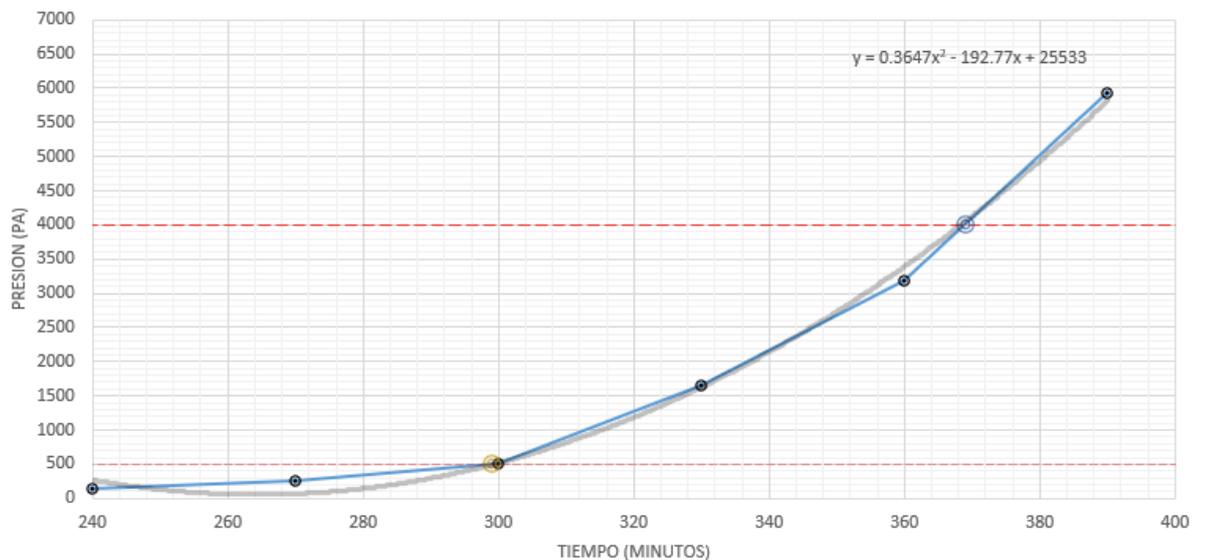
Hora de inicio: 10:40 a.m.

Tabla 37 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - a/c=0.555

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:40	154 Lb	0.99 pulg2	240	154.93
03:10	138 Lb	0.52 pulg2	270	266.16
03:40	126 Lb	0.25 pulg2	300	507.04
04:10	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
04:40	156 Lb	0.05 pulg2	360	3177.84
05:10 p.m	164 Lb	0.03 pulg2	390	5939.88

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 12 Tiempo de fraguado del concreto G.S. 1% - a/c=0.555

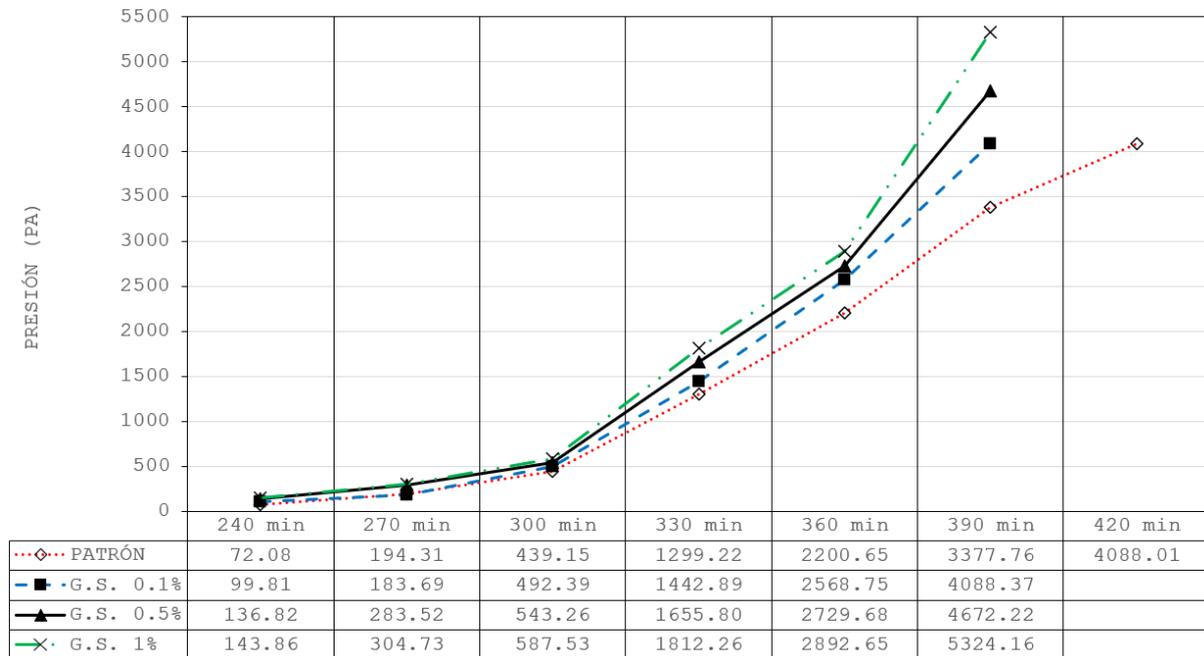


Fuente: Elaboración propia

Tiempo de fraguado inicial (500 PSI): 299 min

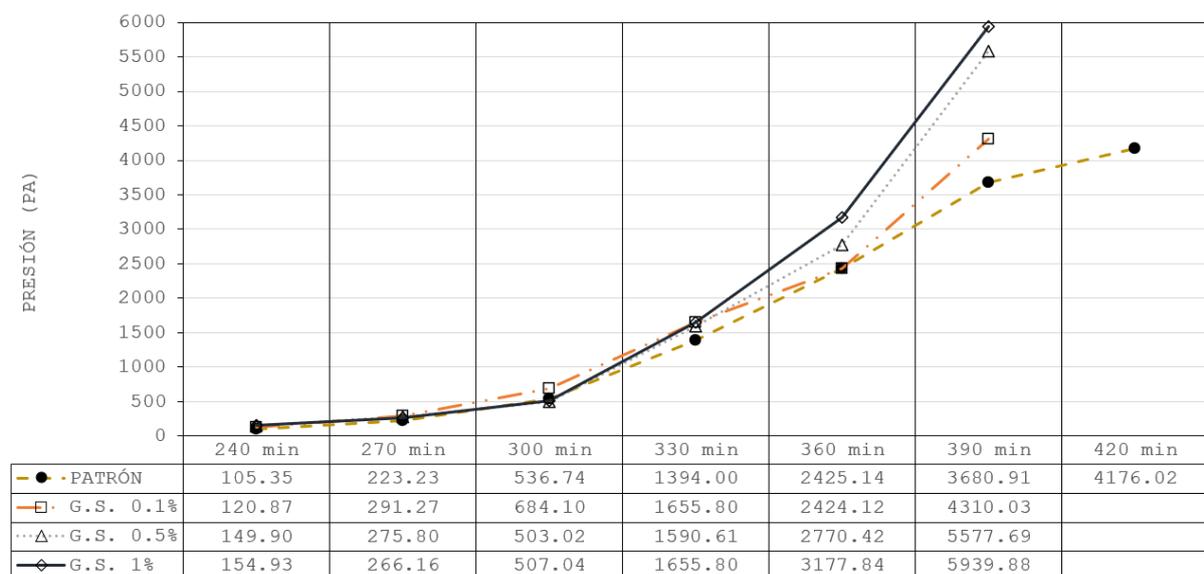
Tiempo de fraguado final (4000 PSI): 369 min

Tiempo de fragua: 70 min

Gráfico 13 Tiempo de fraguado $a/c=0.6$ 

Fuente: Elaboración propia

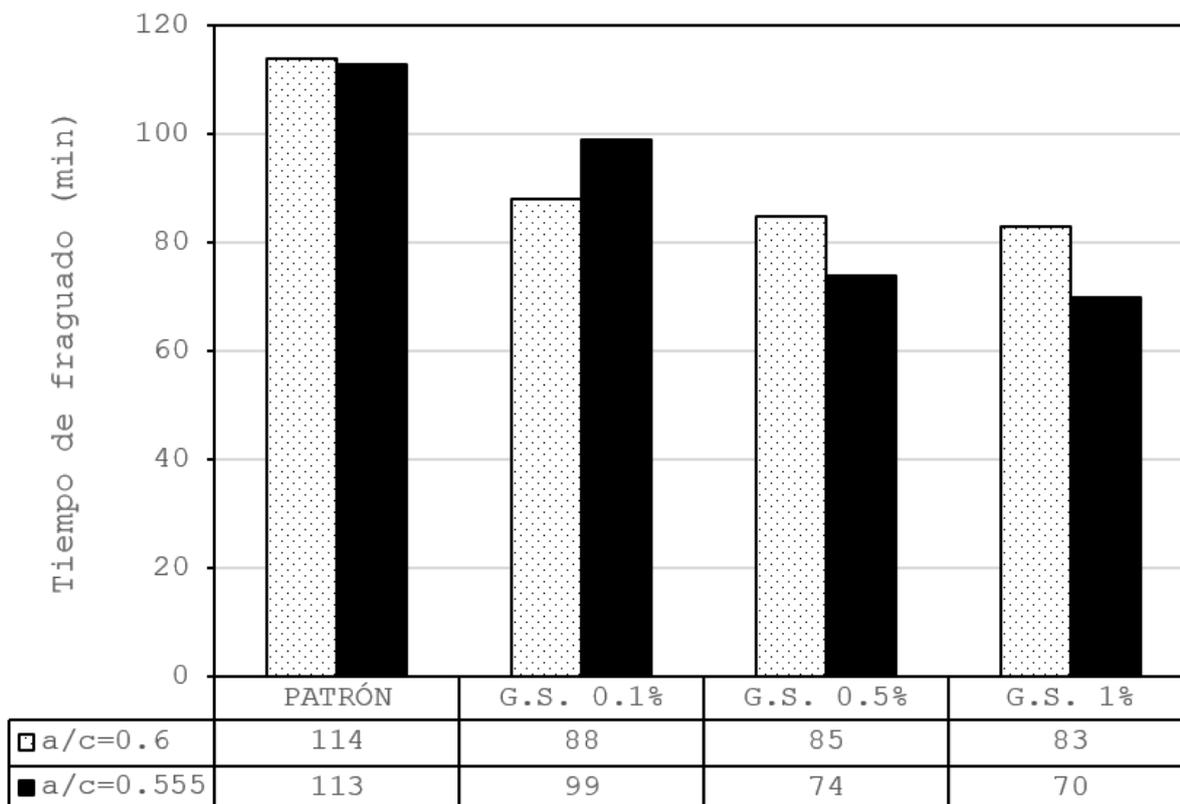
Con la relación $a/c=0.6$, se observó que, a mayor cantidad de G.S., menor es el tiempo de fraguado. En comparación con la muestra de control, que tuvo un tiempo de fraguado de 114 minutos, el uso de SG 0.1% redujo el tiempo en 26 minutos, una reducción del 22.81%. El uso de SG 0.5% y SG 1% de gel de sílice redujo el tiempo en 29 y 31 minutos, respectivamente, reducciones del 25.44% y 27.19%.

Gráfico 14 Tiempo de fraguado $a/c=0.555$ 

Fuente: Elaboración propia

Con la relación $a/c=0.555$, se observó que, a mayor cantidad de G.S. el tiempo de fragua se reduce. En comparación con la muestra de control, que tuvo un tiempo de fraguado de 113 minutos, el uso de G.S. 0.1% redujo el tiempo en 14 minutos, una reducción del 12.39%. El uso de SG 0.5% y SG 1% de gel de sílice redujo el tiempo en 39 y 43 minutos, respectivamente, reducciones del 34.51% y 38.05%.

Gráfico 15 Comparativa tiempo de fraguado



Fuente: Elaboración propia

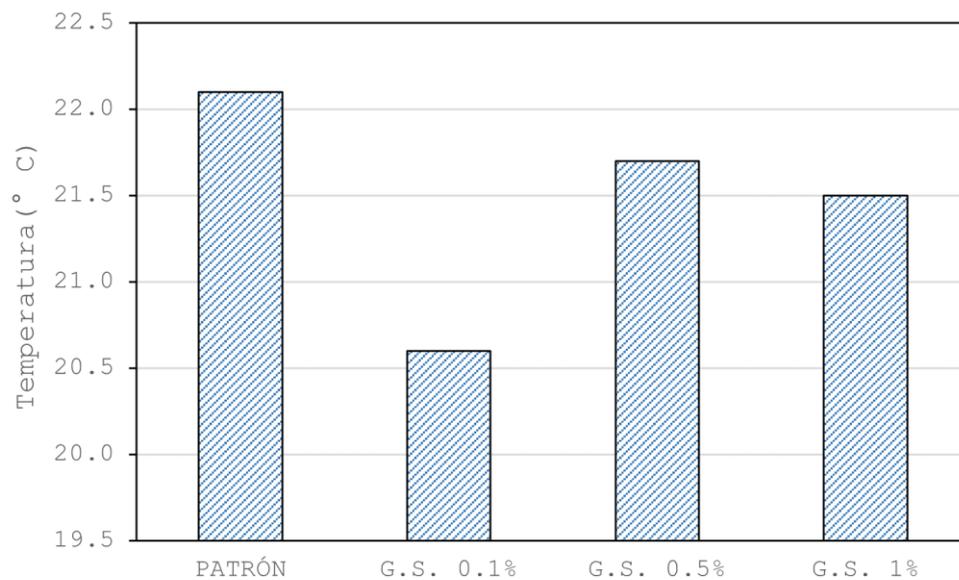
c) Ensayo de control de temperatura

Tabla 38 Temperatura del concreto $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	TEMPERATURA
<i>Concreto Patrón</i>	22.1° C
<i>G.S. 0.1%</i>	20.6° C
<i>G.S. 0.5%</i>	21.7° C
<i>G.S. 1%</i>	21.5° C

Fuente: Elaboración propia

Se encontró una disminución en la temperatura de las mezclas con la incorporación respecto a la mezcla patrón, manteniendo temperaturas entre 20.6° C y 22.1° C.

Gráfico 16 Temperatura del concreto $a/c=0.6$ 

Fuente: Elaboración propia

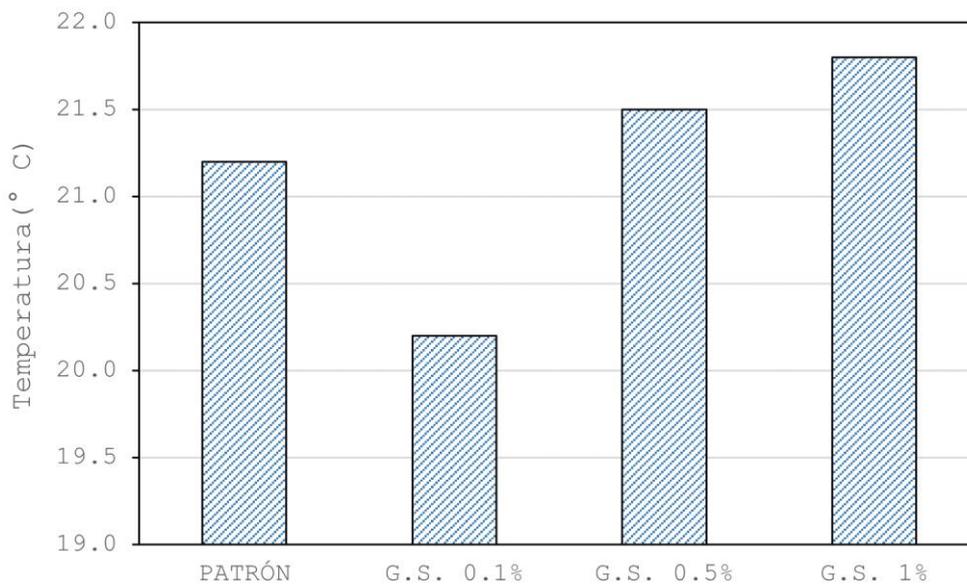
Tabla 39 Temperatura del concreto $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	TEMPERATURA
Concreto Patrón	21.2° C
G.S. 0.1%	20.2° C
G.S. 0.5%	21.5° C
G.S. 1%	21.8° C

Fuente: Elaboración propia

Con G.S. 0.1% se obtuvo una disminución en la temperatura y aumentó con las incorporaciones 0.5% y 1%, respecto a la mezcla patrón; manteniendo temperaturas entre 20.2° C y 21.8° C.

Gráfico 17 Temperatura del concreto $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

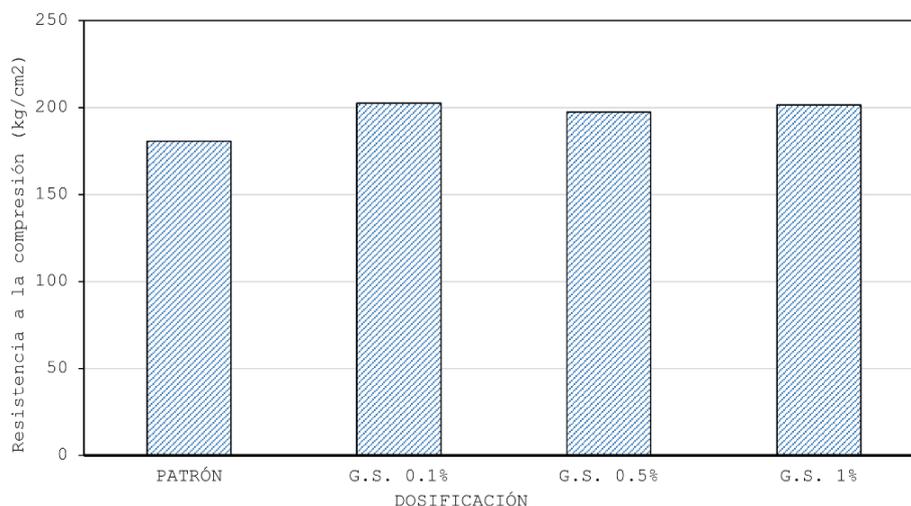
Ensayos del concreto en estado endurecido

a) Ensayo de compresión a muestras cilíndricas de concreto

Tabla 40 Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	CARGA (kg-f)	f'_c (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
Concreto Patrón	30470	172.42	180.72	86.05
	33400	189.01		
G.S. 0.1%	35950	203.44	202.42	96.39
	35590	201.44		
G.S. 0.5%	33660	190.48	197.35	93.98
	36090	204.23		
G.S. 1%	35060	198.40	201.45	95.93
	36140	204.51		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18 Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.6$ 

Fuente: Elaboración propia

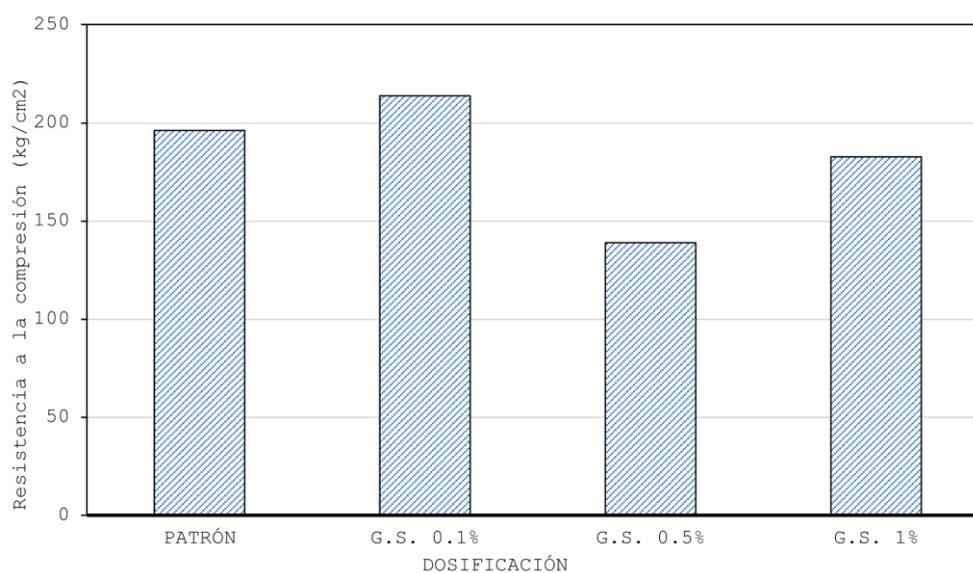
Con la relación $a/c=0.6$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 180.72 kg/cm² a los 7 días; encontrando que las resistencias de las muestras con la incorporación del gel superaron la resistencia patrón, siendo la dosificación con G.S. 0.1% la que presentó la mayor resistencia alcanzando 202.42 kg/cm².

Tabla 41 Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	CARGA (kg-f)	f'_c (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
Concreto Patrón	36190	204.79	196.19	93.42
	33150	187.59		
G.S. 0.1%	34870	197.32	213.78	101.80
	41780	230.25		
G.S. 0.5%	19350	109.50	138.92	66.15
	29750	168.35		
G.S. 1%	33180	187.76	182.70	87.00
	31390	177.63		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 19 Resistencia a la compresión 7 días - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

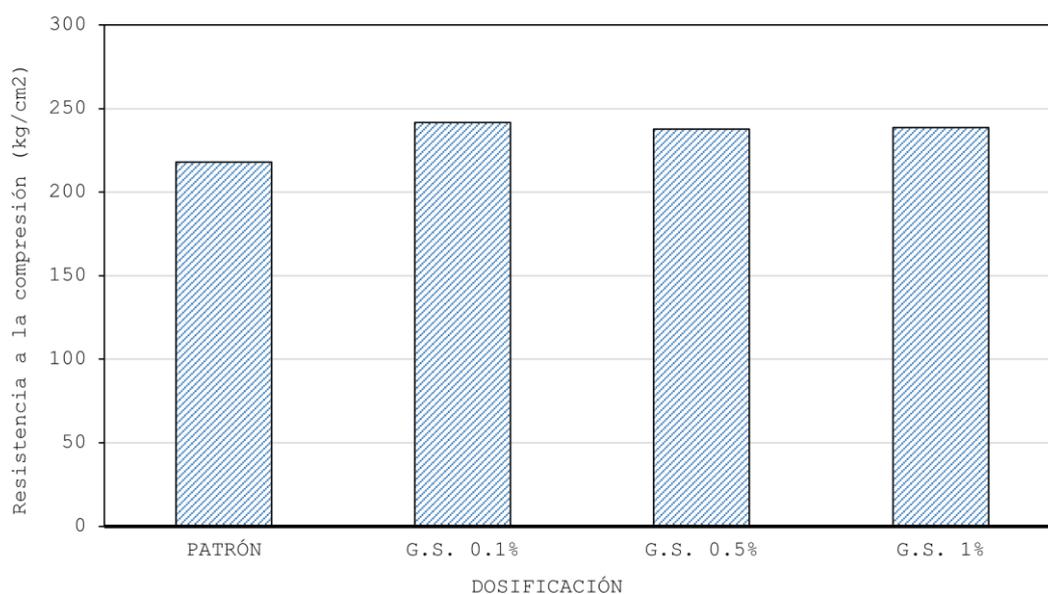
Con la relación $a/c=0.555$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 196.19 kg/cm² a los 7 días; siendo superada por la muestra con G.S. 0.1% presentando 213.78 kg/cm² alcanzando la resistencia diseño.

Tabla 42 Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	CARGA (kg-f)	f'_c (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
Concreto Patrón	37190	210.45	217.92	103.77
	39830	225.39		
G.S. 0.1%	42770	242.03	241.63	115.06
	42630	241.24		
G.S. 0.5%	41990	231.40	237.74	113.21
	43710	244.08		
G.S. 1%	39430	223.13	238.80	113.72
	44970	254.48		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20 Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.6$



Fuente: Elaboración propia

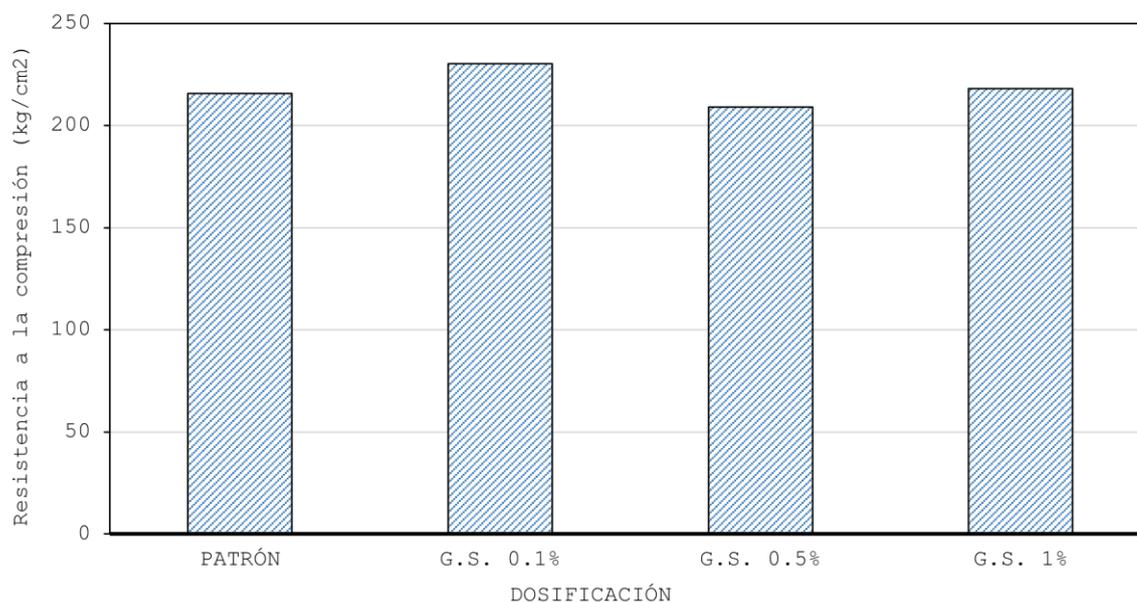
Con la relación $a/c=0.6$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 217.92 kg/cm² a los 14 días; encontrando que las resistencias obtenidas con la incorporación del gel superaron la resistencia patrón, siendo la mejor dosificación la incorporación de G.S. 0.1% alcanzando 241.63 kg/cm².

Tabla 43 Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	CARGA (kg-f)	f_c (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
Concreto Patrón	37480	212.09	215.74	102.73
	38770	219.39		
G.S. 0.1%	41420	228.26	230.19	109.61
	42120	232.12		
G.S. 0.5%	39170	221.66	209.09	99.57
	34730	196.53		
G.S. 1%	40510	223.25	218.18	103.89
	38670	213.11		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 21 Resistencia a la compresión 14 días - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

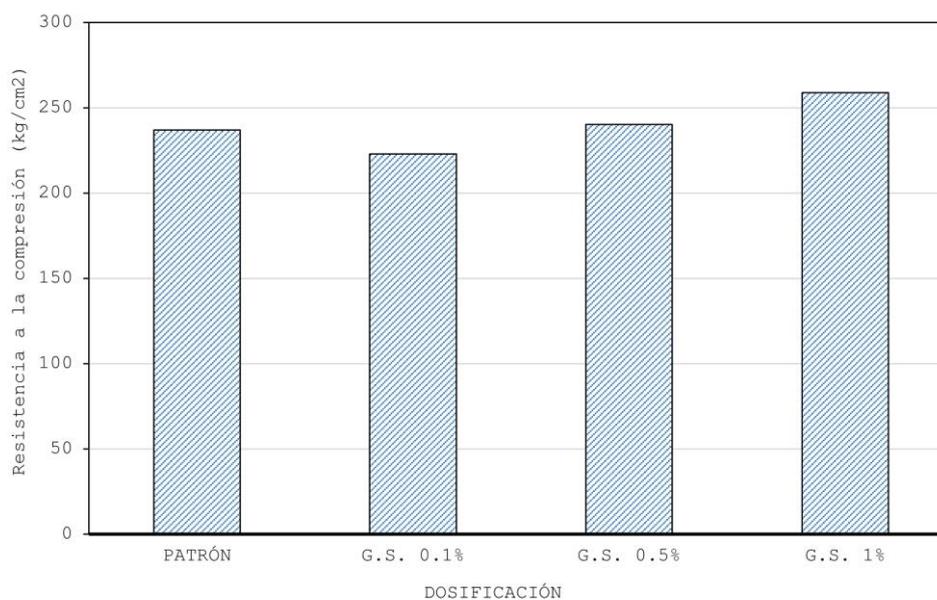
Con la relación $a/c=0.555$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 215.74 kg/cm² a los 14 días; siendo superada por la muestra con G.S. 0.1% y 1%, alcanzando 230.19 kg/cm² y 218.18 kg/cm² respectivamente.

Tabla 44 Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	CARGA (kg-f)	$f'c$ (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
Concreto Patrón	43770	241.21	236.95	112.83
	41670	232.69		
G.S. 0.1%	39100	218.34	222.94	106.16
	40210	227.54		
G.S. 0.5%	46590	256.75	240.25	114.41
	39540	223.75		
G.S. 1%	47350	267.95	258.75	123.21
	44100	249.55		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22 Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.6$



Fuente: Elaboración propia

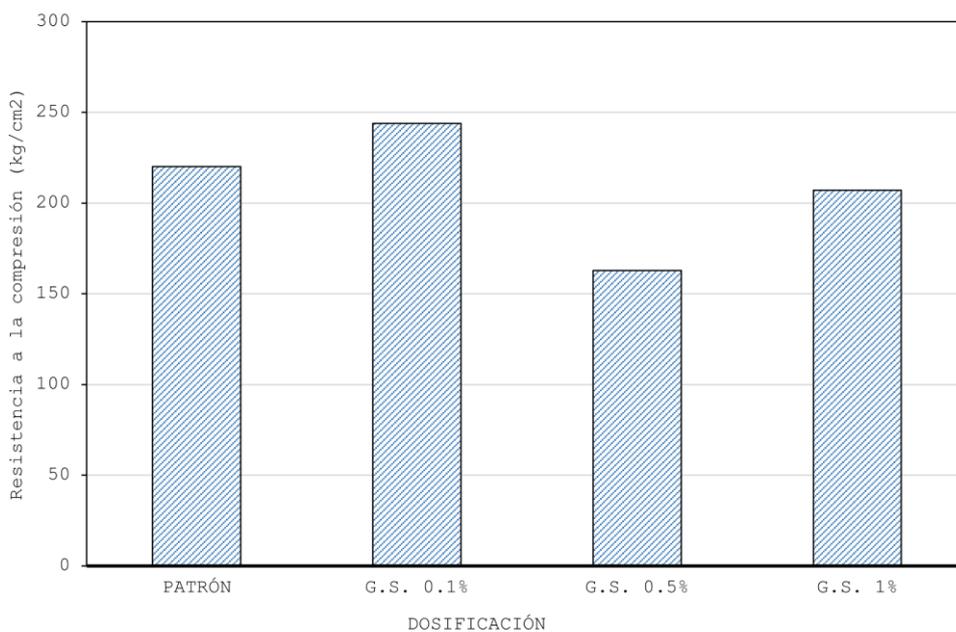
Con la relación $a/c=0.6$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 236.95 kg/cm² a los 28 días; siendo superada por la dosificación G.S. 0.5% alcanzando una resistencia de 240.25 kg/cm², 1.39% por encima de la resistencia patrón. Además, con la dosificación G.S. 1% alcanzó una resistencia de 258.75 kg/cm², representando un 9.20% adicional respecto a la resistencia patrón.

Tabla 45 Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	CARGA (kg-f)	f'_c (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)	PORCENTAJE (%)
<i>Concreto Patrón</i>	40440	222.86	219.97	104.75
	39390	217.07		
<i>G.S. 0.1%</i>	43610	246.78	243.87	116.13
	42580	240.95		
<i>G.S. 0.5%</i>	25360	143.51	162.83	77.54
	32190	182.16		
<i>G.S. 1%</i>	35720	202.13	207.03	98.59
	37450	211.92		

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 23 Resistencia a la compresión 28 días - $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

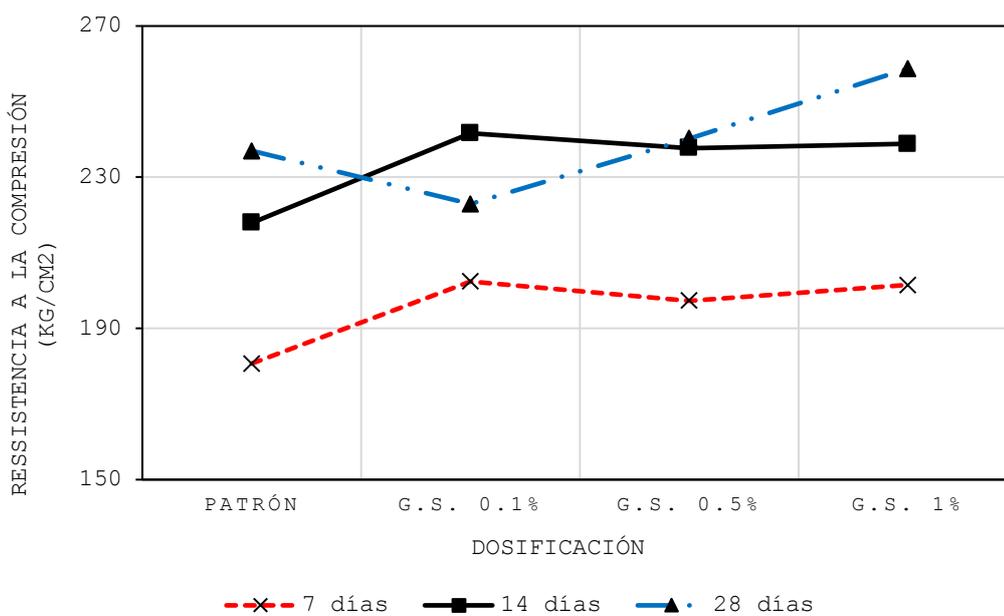
Con la relación $a/c=0.555$, se obtuvo una resistencia a la compresión promedio del concreto patrón de 219.97 kg/cm² a los 28 días; siendo superada por la dosificación G.S. 0.1% alcanzando una resistencia de 243.87 kg/cm², representando un 10.87% adicional respecto a la resistencia patrón.

Tabla 46 Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	C. PATRÓN	G.S. 0.1%	G.S. 0.5%	G.S. 1%
7 días	180.71	202.42	197.35	201.45
14 días	217.92	241.63	237.74	238.80
28 días	236.95	222.94	240.25	258.75

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 24 Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.6$



Fuente: Elaboración propia

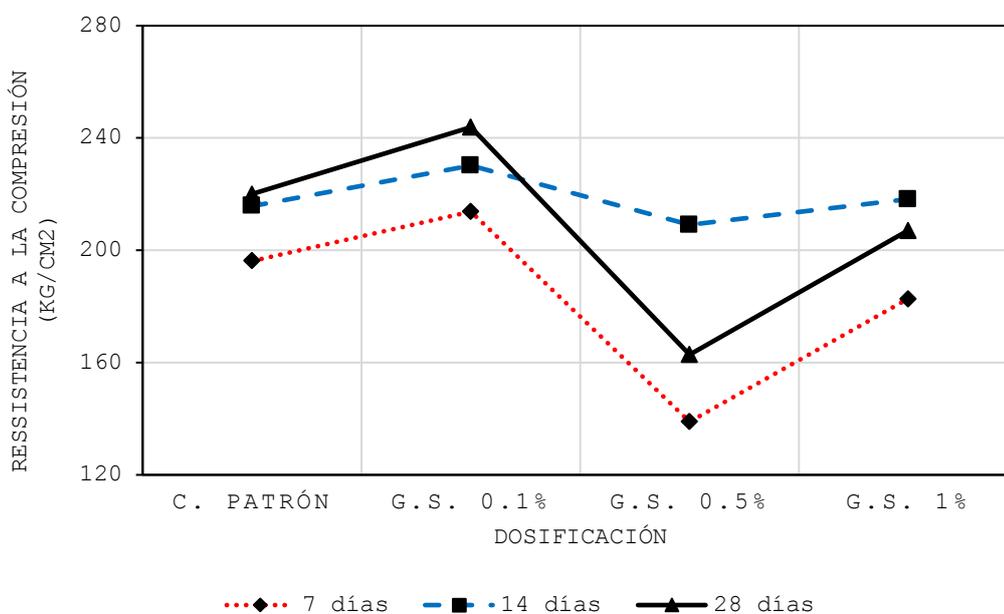
Con la relación $a/c=0.6$, los efectos del Gel de Sílice muestran un incremento gradual en la resistencia a la compresión conforme aumenta la edad del concreto, a excepción de la incorporación de G.S. 0.1%, la cual presentó una reacción adversa mostrando una disminución en la resistencia al comparar el resultado obtenido a los 14 días con el alcanzado a los 28 días.

Tabla 47 Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.555$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.555$)	C. PATRÓN	G.S. 0.1%	G.S. 0.5%	G.S. 1%
7 días	196.19	213.78	138.92	182.70
14 días	215.74	230.19	209.09	218.18
28 días	219.97	243.87	162.83	207.03

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 25 Comparativa de la resistencia a la compresión promedio $a/c=0.555$



Fuente: Elaboración propia

Con la relación $a/c=0.555$, se encontró que la incorporación de G.S. 0.1% alcanzó la resistencia de diseño en los 7 primeros días, la cual va aumentando con el tiempo. Sin embargo, las incorporaciones 0.5% y 1% presentaron reacciones adversas, ya que presentaron menores resistencia respecto a la muestra patrón y mostraron disminución en la resistencia al comparar los resultados obtenidos a los 14 días con los alcanzados a los 28 días.

Comparación con referencia [5]

Cabe aclarar que no se hallaron estudios de gel de sílice con relaciones a/c tan elevadas; por lo que los resultados serán comparados con un estudio previo presente en el informe ([5]) en el que este gel de sílice es aplicado netamente en concreto, presentando dos dosificaciones similares. Por ello, se comparará el porcentaje de crecimiento en cuanto a compresión a los 28 días alcanzada en comparación a la muestra de referencia patrón, con las dosificaciones similares. Además, se comparará los porcentajes mínimos y máximos de resistencia a la compresión alcanzados en relación con la resistencia de diseño 210 kg/cm² de la investigación y 300kg/cm² del estudio previo.

Tabla 48 Comparativa crecimiento de resistencia a la compresión 28 días

Dosificación	[5]- a/c=0.5	a/c=0.6	a/c=0.555
0.5% G.S.	-2.63 %	1.39 %	-25.97 %
1% G.S.	6.90 %	9.20 %	-5.88 %

Fuente: Elaboración propia

Al comparar los crecimientos de resistencia teniendo como referencia el concreto patrón, se puede evidenciar que este material puede tener un efecto variable dependiendo de la relación a/c que se le proporcione.

Tabla 49 Porcentajes mínimos de resistencia alcanzados

Referencia	Porcentaje de adición	%	f'c
[5] – a/c=0.5	0.5 %	103.30 %	309.91
a/c= 0.6	0.1 %	106.16 %	222.94
a/c=0.555	0.5 %	77.54 %	162.83

Fuente: Elaboración propia

Se observa que el porcentaje de adición del estudio de referencia [5] coincide con el de esta investigación, sin embargo, contrastan en el sentido que a mayor porcentaje de incorporación con una relación a/c más baja la resistencia de referencia [5] aumenta mientras que la de esta investigación disminuye. Por otro lado, con la relación a/c más alta (0.6) concuerda.

Tabla 50 Porcentajes máximos de resistencia alcanzados

Referencia	Porcentaje de adición	%	f'c
[5] – a/c=0.5	3 %	140.46 %	421.37
a/c= 0.6	1 %	123.21 %	258.75
a/c=0.555	0.1 %	116.13 %	243.87

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia como mejor resultado en esta investigación 1% (a/c=0.6) con el cual alcanzó un 23.21% por encima de la resistencia de diseño, mientras que para el estudio previo [5] fue con una adición del 3% (dosificación no incluida en esta investigación) llegando a superar a la resistencia diseño en 40.46%.

b) Ensayo de módulo de elasticidad estático

✓ Dosificación: Concreto patrón - a/c=0.6

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.6)	04/10/2022	01/11/2022	28	241.21	96	11.07320	0.000436	221464	220519.33
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.6)	04/10/2022	01/11/2022	28	232.69	93	10.97874	0.000424	219575	

Fuente: Elaboración propia

Encontrando que para el concreto patrón con a/c=0.6, logró un promedio de 220519.33 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.6)	07/10/2022	04/11/2022	28	218.34	87	10.95362	0.000399	219072	220414.17
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.6)	07/10/2022	04/11/2022	28	227.54	91	11.08779	0.000410	221756	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 0.1%, con relación a/c=0.6, un promedio de 220414.17 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	256.75	103	12.25997	0.000419	245199	235805.78
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	223.75	90	11.32060	0.000395	226412	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 0.5%, con relación a/c=0.6, un promedio de 235805.78 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 1% - a/c=0.6

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	267.95	107	12.79445	0.000419	255889	250553.93
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	249.55	100	12.26095	0.000407	245219	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 1%, con relación a/c=0.6, un promedio del módulo de elasticidad de 250553.93 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto patrón - a/c=0.555

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	222.86	89	11.27559	0.000395	225512	221199.86
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	217.07	87	10.84439	0.000400	216888	

Fuente: Elaboración propia

Encontrando que para el concreto patrón con a/c=0.555, logró un promedio de 221199.86 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 0.1% - a/c=0.555

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	246.78	99	12.43297	0.000397	248659	246239.51
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	240.95	96	12.19098	0.000395	243820	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 0.1%, con relación a/c=0.555, un promedio de 246239.51 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 0.5% - a/c=0.555

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	143.51	57	8.98042	0.000320	179608	183970.13
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	182.16	73	9.41660	0.000387	188332	

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 0.5%, con relación a/c=0.555, un promedio de 183970.13 kg/cm².

✓ Dosificación: Concreto G.S. 1% - a/c=0.555

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_2 (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	09/11/2022	28	202.13	81	10.72912	0.000377	214582	215899.95
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	09/11/2022	28	211.92	85	10.86087	0.000390	217217	

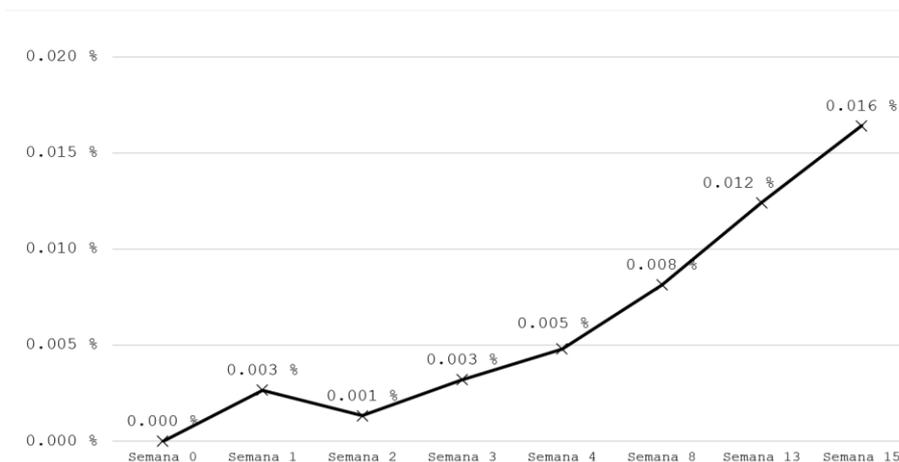
Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo para el concreto G.S. 1%, con relación a/c=0.555, un promedio de 215899.95 kg/cm².

- c) Ensayo de cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato

Se llevó a cabo el ensayo, centrándose en la mejor dosificación alcanzada el concreto con relación $a/c=0.6$ presentando una incorporación de G.S. 1%, siendo comparada con la muestra de referencia patrón $a/c=0.6$; evaluando las semanas 1, 2, 3, 4, 8, 13 y 15.

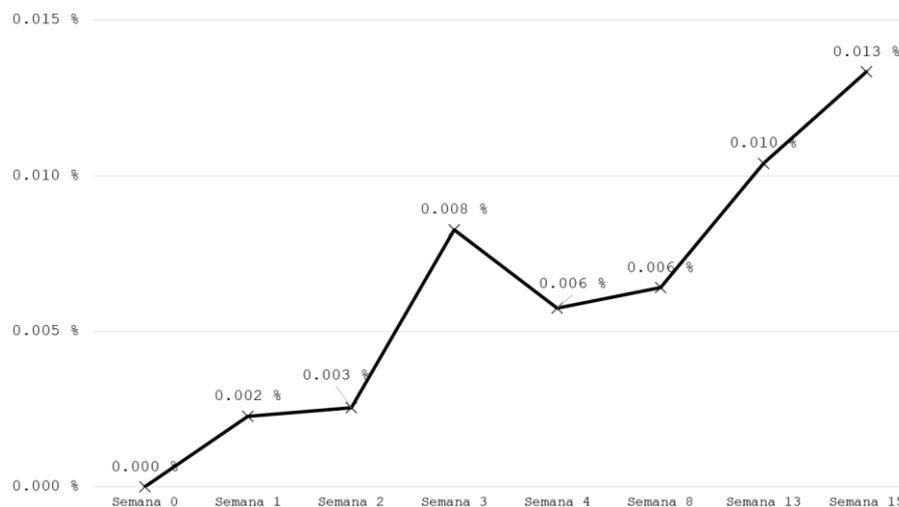
Tabla 51 Expansión concreto patrón $a/c=0.6$



Fuente: Laboratorio AMAZING

Las primeras semanas se observa ligeras expansiones; en la semana 8 expande un 0.008%, en la semana 13 llega a presentar una expansión de 0.012% y después de 15 semanas de exposición presentó una expansión de 0.016%.

Tabla 52 Expansión concreto $a/c=0.6$ - 1% G.S.



Fuente: Laboratorio AMAZING

Las primeras semanas se observan ligeras expansiones, que van aumentando a 0.008% en la semana 3, 0.006% en la semana 4 y semana 8, a partir de la semana 13 se puede apreciar que expande 0.010% y en la semana 15 expande 0.013%. Evidenciando que, a pesar de superar el límite establecido, presenta un mejor desempeño en las últimas semanas en comparación al concreto patrón, manteniendo expansiones más estables.

d) Ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión

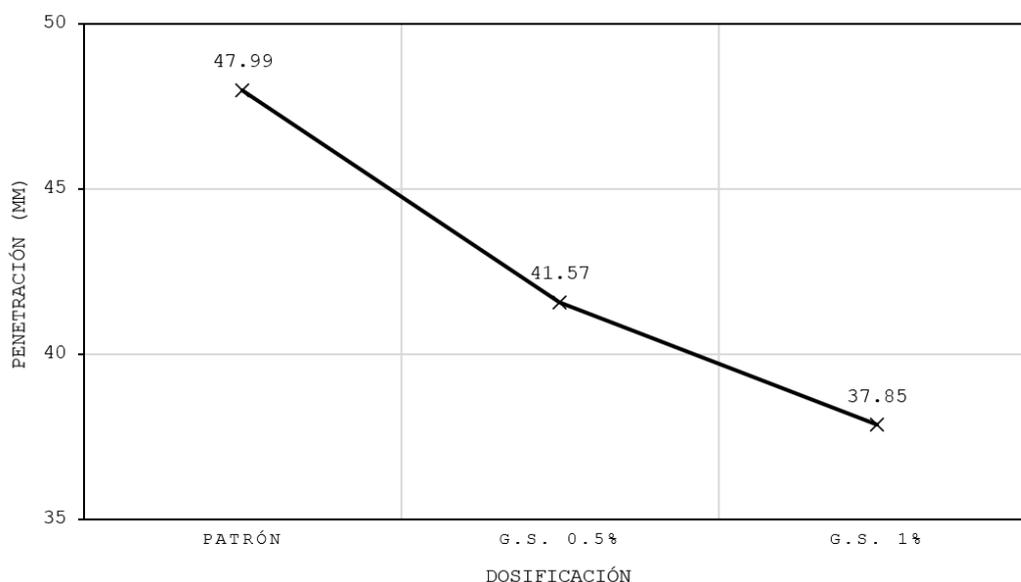
Se llevó a cabo el ensayo, centrándose en las mejores dosificaciones alcanzadas en el concreto con relación $a/c=0.6$ presentando incorporaciones G.S. 0.5% y 1%, comparándose con la muestra de referencia patrón $a/c=0.6$.

Tabla 53 Resultados de ensayo de profundidad de penetración de agua bajo presión concreto $a/c=0.6$

DOSIFICACIÓN ($a/c=0.6$)	CARA	PENETRACIÓN MÁXIMA (mm)	
		Unidad	Promedio
Concreto Patrón	A	48.16	47.99
	B	47.82	
G.S. 0.5%	A	41.93	41.57
	B	41.20	
G.S. 1%	A	38.07	37.85
	B	37.63	

Fuente: Laboratorio LEMS W&C EIRL

Con la realización de este ensayo se evidencia que el concreto patrón presenta la mayor penetración con 47.99 mm, así mismo, se identifica que a mayor porcentaje de adición del material esta penetración de agua tiende a disminuir, observando con una adición del 0.5% se obtiene 41.57 mm, y con 1% se obtiene 37.85 mm; pudiendo apreciarse en [7] donde se indica que este material llena las microfisuras del agregado y cambia a C-S-H mediante una reacción puzolánica, encontrada además en [6] indicando que este gel reacciona con Ca(OH)_2 , y forma hidratos de silicato de calcio tipo (C-S-H) que lo refuerzan tanto en durabilidad como en fuerza.

Gráfico 26 Profundidad de penetración de agua bajo presión $a/c=0.6$ 

Fuente: Elaboración propia

Ensayos al material a incorporar

- a) Peso específico del gel de sílice

Tabla 54 Peso específico del gel de sílice

<i>Peso del G.S. sat. sup. seca + peso frasco + peso agua</i>	<i>(gr.):</i>	668.01
<i>Peso del G.S. sat. sup. seca + peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	240.22
<i>Peso del agua</i>	<i>(gr.):</i>	427.79
<i>Peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	140.22
<i>Peso del G.S. secado al horno + peso del frasco</i>	<i>(gr.):</i>	230.58
<i>Peso del G.S. secado al horno</i>	<i>(gr.):</i>	90.36
<i>Volumen del frasco</i>	<i>(cm³):</i>	500
RESULTADOS		
<i>Peso Específico de Masa</i>	<i>(g/cm³):</i>	1.25
<i>Peso Específico de Masa S.S.S</i>	<i>(g/cm³):</i>	6.92
<i>Peso Específico Aparente</i>	<i>(g/cm³):</i>	1.44
<i>Porcentaje de Absorción</i>	<i>(%):</i>	10.67

Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

El G.S., tras ser sometido a la prueba del peso específico, arrojó una densidad de 1.25 g/cm³. En cuanto a la absorción, se determinó capaz de absorber un 10.67%.

b) Análisis de muestra por Fluorescencia de Rayos X

El análisis de la composición del gel de sílice se realizó en el laboratorio Físico Químico Ambiental S.A.C.

Tabla 55 Composición química del gel de sílice

Composición química	G.S. %
Dióxido de silicio (SiO ₂)	44.26 %
Oxido de sodio (Na ₂ O)	9.35 %
Trióxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	0.085 %
Trióxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	0.056 %
Oxido de potasio (K ₂ O)	0.0025 %
Oxido de magnesio (MgO)	1.18 %
Pentóxido de fósforo (P ₂ O ₅)	<0.001 %
Oxido de cobre (CuO)	<0.001 %
Trióxido de azufre (SO ₃)	<0.001 %
Oxido de zinc (ZnO)	0.0012 %
Oxido de manganeso (MnO)	<0.001 %
Contenido de sólidos	34.60 %
Pérdida por quemado	10.44 %

Fuente: Laboratorio Físico Químico Ambiental S.A.C.

Determinando que está compuesto principalmente por dióxido de silicio con un porcentaje del 44.26%, seguido del óxido de sodio con 9.35% y en pequeñas cantidades Trióxido de aluminio, Trióxido de hierro, Óxido de potasio, etc. Muestra una pérdida por quemado superior al 10% y un contenido de sólidos de 34.60%.

Análisis de costos del concreto:

Con el fin de evaluar el costo de producción, se realizó una comparación entre el costo estimado del concreto patrón con relación $a/c=0.6$ obtenido en la investigación y el concreto con la incorporación.

Tabla 56 Costo m³ de concreto $f'c=210$ kg/cm² – $a/c=0.6$

ANALISIS DE COSTO UNITARIO					
PARTIDA: ZAPATAS CONCRETO 210 KG/CM2 - $a/c= 0.6$		UNIDAD: m ³			
ESPECIFICACIONES: Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibrador a gasolina de 2.0", 4HP. vaciado con canaletas. La mezcladora y vibrador no incluye al operador.					
CUADRILLA: 0,2 capataz + 2 operarios + 2 oficiales + 8 peones		TOTAL		350.91	
RENDIMIENTO: 25,00 m ³ /día					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES					
Cemento Portland tipo I	bls	7.78	30.80	239.62	
Arena gruesa	m3	0.32	55.00	17.60	
Piedra chancada	m3	0.34	75.00	25.50	
Agua	m3	0.22	8.00	1.76	
COSTO DE MATERIALES					284.48
MANO DE OBRA					
Operario	hh	0.64	18.75	12.00	
Capataz	hh	0.064	24.00	1.54	
Peón	hh	2.56	13.45	34.43	
Oficial	hh	0.64	14.85	9.50	
COSTO DE MANO DE OBRA					57.47
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
- Herramientas 5% M. de Obra		0.03	57.47	1.72	
- Mezcladora 9-11 p3	hm	0.32	12.00	3.84	
- Vibrador de 2.0", 4HP	hm	0.32	10.59	3.39	
COSTO DE MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					8.95
TOTAL:				350.91	

Fuente: Elaboración propia

Llevando a cabo el costo por metro cúbico de concreto con el mejor resultado obtenido en la investigación. Presentando una relación a/c= 0.6, con la adición del 1% del gel de sílice.

Tabla 57 Costo m³ de concreto f'c =210 kg/cm² - a/c=0.6 - G.S. 1%

ANALISIS DE COSTO UNITARIO					
PARTIDA: ZAPATAS CONCRETO 210 kg/cm² - a/c= 0.6 + G.S. 1%				UNIDAD:	m³
ESPECIFICACIONES: Preparado con mezcladora de 9-11 p3, vibrador a gasolina de 2.0", 4HP. vaciado con canaletas. La mezcladora y vibrador no incluye al operador.					
CUADRILLA: 0,2 capataz + 2 operarios + 2 oficiales + 8 peones				TOTAL	450.10
RENDIMIENTO: 25,00 m³/día					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PARCIAL	TOTAL
MATERIALES					
Cemento Portland tipo I	bls	7.78	30.80	239.62	
Arena gruesa	m ³	0.32	55.00	17.60	
Piedra chancada	m ³	0.34	75.00	25.50	
Agua	m ³	0.22	8.00	1.76	
Aditivo	kg	3.31	30.00	99.20	
COSTO DE MATERIALES					383.68
MANO DE OBRA					
Operario	hh	0.64	18.75	12.00	
Capataz	hh	0.064	24.00	1.54	
Peón	hh	2.56	13.45	34.43	
Oficial	hh	0.64	14.85	9.50	
COSTO DE MANO DE OBRA					57.47
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
- Herramientas 5% M. de Obra		0.03	57.47	1.72	
- Mezcladora 9-11 p3	hm	0.32	12.00	3.84	
- Vibrador de 2.0", 4HP	hm	0.32	10.59	3.39	
COSTO DE MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					8.95
TOTAL:					450.10

Fuente: Elaboración propia

Se evidencia que el costo por 1 m³ de concreto con la mejor adición, GS 0.1% - a/c=0.6, es mayor por S/. 99.19 respecto al concreto patrón f'c=210 kg/cm². A pesar de ello, esta incorporación genera beneficios de mejora en propiedades físicas y mecánicas, además del ahorro del curado en obra.

Conclusiones

- Se identificaron las características presentes en los agregados revelando que cumplen con los requisitos establecidos, acorde con los estándares normativos. Asimismo, se analizaron características del gel de sílice blanco, confirmando la ausencia de elementos indeseables en su inclusión al concreto.
- Se elaboraron diseños de mezcla para concretos en condiciones normales de uso, empleando relaciones a/c de 0.555 y 0.6, así como con las incorporaciones del gel, empleando el método ACI-211. Obteniéndose mediante un reajuste por Slump, incrementando 15 lts/m³ de agua, con el fin de alcanzar un asentamiento de 4". Determinando un diseño para la relación a/c=0.555, que incluye 396.40 kg/m³ de cemento, 786.91 kg/m³ de agregado fino, 899.90 kg/m³ de agregado grueso y 220.32 lts/m³ de agua. Además, para la relación a/c=0.6 un diseño que incluye 330.83 kg/m³ de cemento, 839.12 kg/m³ de agregado fino, 902.83 kg/m³ de agregado grueso y 219.99 lts/m³ de agua.
- La adición de gel de sílice al concreto con relación a/c=0.6 ha demostrado mejoras en varias propiedades físicas y mecánicas, como incrementos en la trabajabilidad hasta en un 25.64%, reducciones en la temperatura, reducción en tiempo de fragua hasta en 31 minutos, incrementos en la resistencia a la compresión hasta un 9.21% a los 28 días con la incorporación del 1% y valores superiores de módulo de elasticidad con la excepción de la incorporación del 0.1%, disminuye la permeabilidad y presenta un mejor desempeño ante ataque de sulfatos, respecto a la muestra de control. Por otro lado, el concreto adicionado con relación a/c=0.555, mostró disminuciones en la trabajabilidad hasta en un 35%, aumentos en la temperatura, reducción en tiempo de fragua hasta en 43 minutos, incrementando con la incorporación del 0.1% la resistencia a la compresión hasta un 10.89% a los 28 días teniendo además un módulo de elasticidad superior, pero presentando algunas reacciones adversas con las incorporaciones del 0.5% y 1% disminuyendo la resistencia alcanzada en los 28 días en comparación a los 14 días presentando además módulos de elasticidad inferiores, respecto a la muestra de control.
- Se determinó que con la relación a/c=0.6 y con la incorporación de 1% de gel de sílice se obtienen los mejores resultados, siendo considerada como la óptima y adecuada

según el concreto estudiado para condiciones normales, presentado una temperatura de 21.5° C, asentamiento de 4.9”, tiempo de fraguado de 83 minutos, una resistencia a la compresión inicial significativa muy cercana a la resistencia diseño, incrementando esta resistencia hasta un 9.20% a los 28 días, un módulo de elasticidad de 250553.93 kg/cm², presentando una penetración máxima de 37.85 mm y mejor desempeño ante sulfatos.

- El costo unitario por producir 1 m³ de concreto con la incorporación de gel de sílice es superior por S/ 99.19 respecto al concreto convencional. A pesar de ello, este concreto adicionado ofrece beneficios en términos de mejora en cuanto a trabajabilidad, compresión, rigidez, funciona como acelerante y lo hace más durable; lo que puede traducirse en mayores cargas resistidas, facilidades de colocación, disminuciones en la necesidad de reparaciones o mantenimientos, además del ahorro de tiempo y esfuerzo durante el proceso constructivo y reducción de costos por mano de obra para curado, con entregas mucho más rápidas.

Recomendaciones

- Se recomienda analizar los componentes del gel de sílice, para descartar la presencia de elementos indeseables, asimismo, mantenerlo libre de humedad, evitando su hidratación y que esto afecte al incorporarlo en el concreto.
- Disminuir la dimensión del gel de sílice mediante un procedimiento de molienda sofisticado, evaluando su impacto en el concreto al aumentar la superficie de contacto.
- Se recomienda llevar a cabo estudios adicionales para comprender mejor el comportamiento de este gel de sílice en el concreto, analizando su comportamiento en el tiempo, resistencia, rigidez, así como su actuación frente a condiciones ambientales extremas y de durabilidad ante cloruros, sulfatos, ciclos de congelación y deshielo; como una idea de condiciones reales de uso.
- Explorar diferentes condiciones de curado para una mejor comprensión de su comportamiento. Además, el uso de otra marca u otro tipo de cemento, verificando su rendimiento reemplazando porcentajes de este, incluyendo el aplicarlo a resistencias más elevadas.

Referencias

- [1] V. Lozano, "Construcción, el gran motor de la recuperación económica mundial," El Peruano, 3 de enero de 2022. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3mYcSkQ>
- [2] F. A. Rodríguez Sierra, "Uso de polímeros en la reducción de patologías de origen químico en estructuras de concreto," Trabajo de grado, Universidad Católica De Colombia, Bogotá, 2014. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3Om2FAJ>
- [3] J. F. Narrea Vilchez y D. G. Roncal Araujo, "Aditivo superplastificante basado en copolímero para mejorar las propiedades del concreto de alta resistencia," Trabajo de grado, Universidad Ricardo Palma, Lima, 2020. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/39vvdC7>
- [4] L. F. Loya Olivera, "Evaluación de la resistencia a la compresión del curado de concreto en obra y laboratorio, en el distrito de Yanacancha, Pasco – 2017," Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, Cerro de Pasco, 2018. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3NVtrjz>
- [5] F. J. Rugel Pardo y D. G. Zamora Carbajal, "Determinación de la influencia del gel de sílice absorbente en el hormigón," Trabajo de titulación previo a la obtención del título de ingeniero civil, Universidad De Las Fuerzas Armadas, Sangolquí, 2016. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3O8JMSg>
- [6] A. Al-Ghaban et al., "Pozzolanic activity and durability of nano silica, micro silica and silica gel contained concrete," AIP Conference Proceedings, vol. 1968, no. 1, 2018. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3Nau3DW>
- [7] D. Vaičiukynienė et al., "Utilization of By-Product Waste Silica in Concrete-Based Materials," Materials Research, vol. 15, no. 4, pp. 561-567, 2012. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/43AcBYu>
- [8] K. Il-Sun et al., "Effect of Internal Pores Formed by a Superabsorbent Polymer on Durability and Drying Shrinkage of Concrete Specimens," Materials, vol. 14, no. 18, pp. 5199, 2021. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/39wG0mx>
- [9] J. J. Martínez Bernabé, "Análisis de las propiedades de un concreto de alta resistencia utilizando polímeros superabsorbentes y aditivos en la ciudad de Arequipa - 2017," Para Obtener el Título Profesional de: Ingeniero Civil, Universidad Católica De Santa María, Arequipa, 2018. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3xYwO3C>
- [10] R. R. Parizaca Quispe, "Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial por adición de polímeros súperabsorbentes en la ciudad

de Puno," Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional Del Altiplano, Puno, 2015. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/39wy8S3>

[11] E. Pasquel Carbajal, *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*, 2a ed. Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.

[12] E. Rivva López, *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima: ACI PERÚ, 2000.

[13] F. Abanto Castillo, *Tecnología del concreto*. Lima: San Marcos, 1998.

[14] E. Rivva Lopez, *Naturaleza y materiales del concreto*. Lima: ICG, 2004.

[15] NTP 334.009, "CEMENTOS. Cementos Portland. Requisitos," 2020.

[16] ASTM C150, "Especificación Normalizada para Cemento Portland," 2007.

[17] NTP 334.090, "CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos," 2013.

[18] NTP 400.037, "AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos," 2018.

[19] NTP 339.088, "Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos," 2006.

[20] ASTM C595, "Especificación normalizada para cementos adicionados hidráulicos," 2008.

[21] M. Viktor et al, "Application of super absorbent polymers (SAP) in concrete construction—update of RILEM state-of-the-art report," *Mater. Struct.*, vol. 54, no. 2, 2021. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3xzHqVp>

[22] O. M. Jensen, "Use of Superabsorbent Polymers in Concrete," *Concr. Int.*, pp. 48-52, 2013. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3zKCoI9>

[23] O. M. Jensen y P. F. Hansen, "Water-entrained cement-based materials: II. Experimental observations," *Cement and Concrete Research*, vol. 32, no. 6, pp. 973–978, 2002. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/39vwwYz>

[24] S. Weintraub, "Demystifying silica gel," *Objects Specialty Group Postprints*, vol. 9, pp. 169-194, 2002.

[25] A. A. Christy, "Effect of Heat on the Adsorption Properties of Silica Gel," *International Journal of Engineering and Technology*, vol. 4, no. 4, pp. 484-488, 2012.

[26] T. Valdés-Solís y A. Fuertes, "High-surface area inorganic compounds prepared by nanocasting techniques," *Materials Research Bulletin*, vol. 41, no. 12, pp. 2187-2197, 2006. [En línea]. Disponible: <https://bit.ly/3b9clAi>

[27] S. Satiya, S. S. Mann, y A. Aggarwal, "Performance evaluation and regeneration of silica gel by using solar energy with Parabolic dish collector," *International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 186-196, 2013.

[28] K. J. Chua and M. R. Islam, "On the experimental study of composite desiccants for energy efficient air dehumidification," *IJUM Engineering Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 1-11, 2015.

- [29] ASTM C403, "Método de prueba estándar para Tiempo de fraguado de mezclas de concreto por resistencia a la penetración," 2016.
- [30] ASTM C1064, "Método de prueba estándar para Temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado," 2008.
- [31] NTP 400.012, "AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global," 2013.
- [32] NTP 339.185, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado," 2013.
- [33] NTP 400.022, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino," 2013.
- [34] NTP 400.021, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso," 2013.
- [35] NTP 400.017, "AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados," 2011.
- [36] ASTM C143, "Método de prueba estándar para Asentamiento de Concreto de Cemento Hidráulico," 2010.
- [37] ASTM C39, "Método de prueba estándar para Resistencia a la compresión en especímenes cilíndricos de concreto," 2018.
- [38] ASTM C469, "Método de prueba estándar para Módulo estático de elasticidad y relación de Poisson del concreto en compresión," 2002.
- [39] ASTM C1012, "Método de prueba estándar para Cambio de longitud de morteros de cemento hidráulico expuestos a una solución de sulfato," 2004.
- [40] UNE12390-8, "Profundidad de penetración de agua bajo presión," 2000.

Anexos

Anexo 1 Ficha técnica Cemento Portland tipo I Qhuna

CEMENTO PORTLAND TIPO I
 MÁS PUNCHE, MENOS BOLSAS


Cemento Portland TIPO I, es un cemento de uso general, fabricado mediante la molienda de clinker y yeso en adecuadas proporciones, asegurando de esa manera un producto de calidad, para construcciones donde se requieran propiedades de avance y durabilidad en obra. Cumple con los requisitos de las normas técnicas NTP 334.009 y ASTM C 150.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

PROPIEDADES FÍSICAS	CEMENTO QHUNA TIPO 1	REQUISITO DE NORMA 334.009 - ASTM C 150
Superficie Específica (cm^2/gr)	3620	Mínimo 2800
Retenido 45 μm (%)	8.4	No Especifica
Contenido de Aire (%)	6.0	Máx. 12.0
Densidad (g/ml)	3.14	No Especifica
Pérdida Por Ignición (%)	2.47	Máx. 3.5
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN		
1 DÍA Mpa (kg/cm^2)	10.0 (102)	NE
3 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	20.2 (206)	12.0 (122)
7 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	27.9 (285)	19.0 (194)
28 DÍAS Mpa (kg/cm^2)	47.7 (487)	28.0 (286)
TIEMPO DE FRAGUADO		
Fraguado Inicial (Minutos)	122'	Mínimo 45'
Fraguado Final (Minutos)	245'	Máximo 375'

CUADRO COMPARATIVO DE RESISTENCIAS


Fuente: Cemento Qhuna

Anexo 2 Ficha técnica Gel de Sílice

 BELIQUIMICA INGENIEROS <small>Importación - Representación - Servicio</small>	FICHA TECNICA	Código: PROD-SG-FT
		Fecha: 01/2020
		Versión 01
		Página 1 de 1

Nombre del producto	Silica Gel Blanco	
Descripción del producto	Producto absorbente de aspecto cristalino, poroso, inerte, no tóxico e inodoro.	
Fórmula Química	SiO ₂ ·nH ₂ O	
Peso Molecular	60.08 g/mol	
Tamaño	2mm – 4mm	
Apariencia	Esfera cristalina color blanco	
Parámetros	Estándar	Resultado
Capacidad de adsorción	HR ≥ 8%	10.5%
	HR ≥ 20%	26.1%
	HR ≥ 30%	35.6%
Empaque	Bolsa plástica sellado herméticamente. 	
Envase	NO aplica	

Elaborado por: O. Cancán	Aprobado por: M. Huillcahua
Fecha: 2020-01-21	Fecha: 2020-01-22
<i>Firma en Original</i>	<i>Firma en original</i>

Fuente: BELIQUIMICA INGENIEROS, 2020

Anexo 3 Hoja de seguridad Gel de Sílice



BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL
Importaciones - Representaciones - Servicios

MSDS - SILICA GEL

SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN DE PRODUCTO

Nombre de producto: Silica Gel

SECCIÓN 2: COMPOSICIÓN E INFORMACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE INGREDIENTES:

CAS Nro: 7631-86-9

Descripción : Silica Gel,

Sustancia peligrosa: no presente

Apariencia y olor Gránulos secos, cuentas o polvo

Gravedad específica 2.1

Solubilidad en agua pH insoluble (solo para líquidos incluyendo agua)

SECCIÓN 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Peligros específicos para los humanos y el medio ambiente.

El producto es muy absorbente y puede tener un efecto de secado en la piel y los ojos. El dióxido de silicio es sílice amorfa sintética que no debe confundirse con sílice salina seca.

Los estudios epidemiológicos indican un bajo potencial de efectos adversos para la salud.

SECCIÓN 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Tras inhalación: aire fresco

Aplique reanimación boca a boca o ventilación mecánica si es necesario.

Después del contacto con la piel: Lavar con abundante agua. Quitese la ropa contaminada.

En caso de contacto con los ojos: enjuague con abundante agua con el párpado abierto de par en par. Especialista en ojos.

SECCIÓN 5: FUEGO Y EXPLOSIÓN DE DATOS

Medios de extinción: Medios adecuados para el fuego circundante.

Otra información:

Contenga los vapores con agua. Evite que el agua contra incendios ingrese a las aguas superficiales o subterráneas.

SECCIÓN 6: MEDIDAS DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Medidas de precaución relacionadas con la persona: evitar la generación de polvo; No inhalar el polvo. Evitar el contacto con sustancias. Asegure el suministro de aire fresco en habitaciones cerradas.

Medidas de protección ambiental: No permitir el ingreso al sistema de alcantarillado.

Procedimientos de limpieza / absorción: Retirar en seco. Reenviar para su eliminación. Limpieza del área afectada. Evitar la generación de polvos.



01 368-7242
996-989-181
958-058-744



Psje. Los Zafros
Nro 165
Urb. Balconcillo
La Victoria - Lima



beliquimica.com.pe



Revisión 02 - Fecha: 06/05/2019

Fuente: BELIQUIMICA INGENIEROS, 2019



BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL

Importaciones - Representaciones - Servicios

SECCIÓN 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manejo: Trabajar debajo del capó. No inhalar sustancias.

Almacenamiento: bien cerrado en un lugar bien ventilado.

Temperatura de almacenamiento: sin restricciones. Accesible solo para personas autorizadas. Bien cerrado y seco

SECCIÓN 8: EXPOSICIÓN CONTROLES/PROTECCIÓN PERSONAL

General: Ver Manejo

Otras precauciones: Evite la respiración prolongada de polvo o el contacto con la piel, ya que la acción de este material puede causar irritación de las mucosas.

Membranas de nariz y garganta e irritación de la piel.

SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Forma: blanco semitransparente y similar al vidrio.

Olor: inodoro

PH (50g/L agua) (20°C): 3.5 - 8

Punto de fusión: no disponible

Punto de ebullición: no disponible

Temperatura de ignición: no disponible

Punto de inflamación: no disponible

Punto de fusión: 1708°C

Solubilidad en agua: insoluble

SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y DATOS DE REACTIVIDAD

Condiciones a evitar sin información disponible

Sustancias a evitar óxidos de halógeno, sodio / calor, hexafluoruro de xenón.

Productos de descomposición peligrosos.

No hay información disponible.

SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

EL PRODUCTO NO ES TÓXICO

SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

El dióxido de silicio es química y biológicamente inerte.

SECCIÓN 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICIÓN

Embalaje: Eliminación de conformidad con la normativa oficial.

Maneje los envases contaminados de la misma manera que la sustancia misma. Si no se especifica oficialmente de manera diferente, los envases no contaminados pueden tratarse como residuos domésticos o reciclarse.

SECCIÓN 14: INFORMACIÓN RELATIVA AL TRANSPORTE



01 368-7242
996-989-181
958-058-744



Psje. Los Zafiros
Nro 165
Urb. Balconcillo
La Victoria - Lima



beliquimica.com.pe



Revisión 02 - Fecha: 06/05/2019

Fuente: BELIQUIMICA INGENIEROS, 2019



BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL

Importaciones - Representaciones - Servicios

No está sujeto a las normas de transporte.

OCÉANO (IMDG): No regulado.

SECCIÓN 15: OTRA INFORMACIÓN REGULATORIA

Etiquetado de acuerdo con las Directivas de la CE67 / 548 / CEE, según la última modificación.

SECCIÓN 16: OTRAS INFORMACIONES

Referencias: No.

Otras consideraciones especiales: No.

Renuncia:

La información contenida en este documento de buena fe, pero no hace ninguna representación en cuanto a su exhaustividad o exactitud. Este documento está destinado solo como una guía para el manejo preventivo apropiado del material por parte de una persona debidamente capacitada que usa este producto. Los individuos que reciben la información deben ejercer su juicio independiente para determinar si es apropiado para un propósito en particular.

BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL no ofrece representaciones ni garantías, ya sean expresas o implícitas, incluidas, entre otras, cualquier garantía de comercialización, idoneidad para un propósito particular con respecto a la información aquí contenida o el producto al que se refiere la información. En consecuencia, **BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL**, no será responsable por los daños que resulten del uso o la confianza en esta información.

Las condiciones de manejo, uso almacenamiento y disposición están más allá de nuestro control y conocimiento por esta razón, **BELIQUIMICA INGENIEROS EIRL**, no asume responsabilidad, ni implicaciones por pérdidas, daños, lesiones o gastos debidos al manejo, almacenamiento, uso o disposición de este producto.

No se entiende ninguna garantía concerniente a la adecuación del producto para el fin particular del usuario. El usuario debe aplicar su propio criterio para determinar si el producto es adecuado o no para sus fines.

EN CASO DE EMERGENCIA COMUNICARSE:

TELÉFONOS: 01-3687242

Correo: ventas@beliquimica.com.pe



01 368-7242
996-989-181
958-058-744



Psje. Los Zafros
Nro 165
Urb. Balconcillo
La Victoria - Lima



beliquimica.com.pe



Revisión 02 - Fecha: 06/05/2019

Fuente: BELIQUIMICA INGENIEROS, 2019

Anexo 4 Ficha técnica sulfatos de sodio



INDIQSA

INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.

CERTIFICADO DE ANÁLISIS SULFATO DE SODIO ANHIDRO

1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Nombre Químico	Sulfato de Sodio Anhidro
Fórmula Molecular	Na ₂ SO ₄
Peso Molecular	142.06 g/mol.
Sinónimos Sulfato	Di-sódico

2. DESCRIPCIÓN

Sal inorgánica, cristalina, blanca e inodora cuando esta en forma anhidra, y se conoce como sal Glauber cuando esta en forma deca-hidratada con fórmula Na₂SO₄.10 H₂O

3. ESPECIFICACIONES DEL PRODUCTO

Pureza % mín.	99
Cloruros % Max	0.2
Hierro (mg/kg) Max	100
Calcio (mg/Kg) Max	500
Magnesio (mg/Kg) máx.	20
Humedad % máx.	0.2
Insolubles en HCl % máx.	0.05

4. PROPIEDADES

Presentación	polvo
Color	blanco
Olor	inodoro
Sabor	picante, salino
Gravedad específica	2.671
pH (5 % P/P a 25°C)	6 - 7

INDUSTRIAL INSUMOS QUÍMICOS S.A.

9 Calle Benito Pardo Figueroa N° 147
Urb. Balconcillo, La Victoria, Lima, Perú

📞 Tel. 01 474 1099 | Fax 01 474 1079
indiqsa@gmail.com | chubralu@ec-red.com

Fuente: INDIQSA

Anexo 5 Análisis granulométrico del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

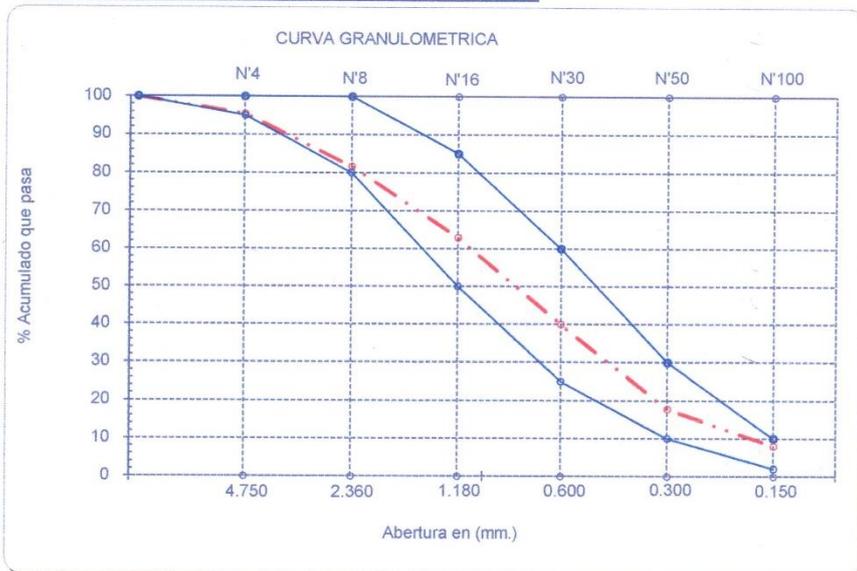


Tesista : Dávila Piscocya Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo. **P. Inicial H.** 668.9 **% de Humedad =** 1.34
P. Inicial S. 660.0

Malla Pulg.	(mm.)	Peso Ret.	(%) Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	29.77	4.5	4.5	95.5	95	100
Nº 08	2.360	90.99	13.8	18.3	81.7	80	100
Nº 16	1.180	123.72	18.7	37.0	63.0	50	85
Nº 30	0.600	151.64	23.0	60.0	40.0	25	60
Nº 50	0.300	146.83	22.2	82.3	17.7	10	30
Nº 100	0.150	63.8	9.7	91.9	8.1	2	10
Fondo		53.25	8.1	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.941			
Abertura de malla de referencia				9.500			



Handwritten signature or initials.



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 6 Análisis granulométrico del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



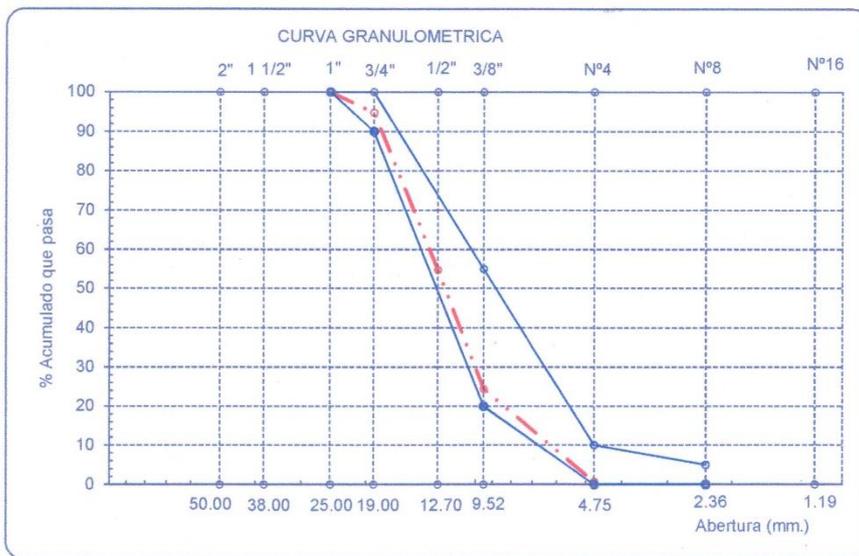
Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de ur
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Análisis granulométrico por tamizado del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-136 ó N.T.P. 400.012

Cantera : Chancadora Piedra Sicán-Ferreñafe **P. Inicial H.** 5020 **% de Humedad =** 0.40
P. Inicial S. 5000

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	258.0	5.2	5.2	94.8	40.0	85.0
1/2"	12.70	2004.0	40.1	45.2	54.8	10.0	40.0
3/8"	9.52	1519.0	30.4	75.6	24.4	0.0	15.0
Nº 04	4.75	1182.0	23.6	99.3	0.7	0.0	5.0
Nº 08	2.36	32.0	0.6	99.9	0.1	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.9	0.0	99.9	0.1	0.0	0.0
Fondo		4.1	0.1	100.0	0.0		
Tamaño Maximo			1"	38.00			
Tamaño Maximo Nominal			3/4"	25.00			



Handwritten signature



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 7 Peso unitario del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscocoy Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8840	8850
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8840	8850
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1613	1615
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1593	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	9660	9670
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9660	9670
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1763	1765
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1740	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	668.85	668.85
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	660	660
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0.0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.3	1.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.34	



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 8 Peso unitario del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'_c=210$ kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Chancadora Piedra Sicán-Ferreñafe

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7560	7570
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7560	7570
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1389	1391
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1384	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	8390	8380
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		8390.0	8380.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1541	1539
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1534	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

C.- CONTENIDO DE HUMEDAD

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5020	5020
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	5000	5000
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.40	

Handwritten signature



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 9 Peso específico y absorción de los agregados



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscocoya Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + F	(g)	949.8	949.8
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	640.6	640.6
3.- Peso del Agua	(g)	309.2	309.2
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	637.3	637.3
5.- Peso del Frasco	(g)	140.6	140.6
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.603
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.621
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.649
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.66

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021

Cantera : Chancadora Piedra Sicán-Ferreñafe

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	3019	3019
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	3050	3050
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del ca	(g)	2800	2800
4.- Peso de la canastilla	(g)	880	880
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	1920	1920

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.672
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.699
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.747
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.03



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 10 Contenido de humedad de los agregados



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscocoy Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera La Victoria-Pátapo.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	500	500
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	493.4	493.4
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	1.34	1.34
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.34	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Chancadora Piedra Sicán-Ferreñafe

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	5000	5000
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	4980	4980
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.4
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.40	

Observaciones :

lf



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 11 Análisis de Fluorescencia de Rayos X del gel de sílice

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



**REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE
MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X**

SOLICITANTE	GUILLERMO JOSÉ DÁVILA PISCOYA
TESIS	Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm ²
MUESTRA	GEL DE SÍLICE
FECHA	25 DE SETIEMBRE

MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

CONDICIONES DE LA MEDICION:

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca

BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.

Fuente de rayos x: tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)

Concentración: g/l.

2. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 25 mg de la muestra de GEL DE SÍLICE, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

3. METODO

- BASADO EN LA NORMA : ASTM C25
- VOLUMETRIA : USAQ-ME06



JEFE DE LABORATORIO
ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA,
ING. CARLOS VALQUI MENDOZA



lf

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Fuente: Laboratorio Físico Químico Ambiental S.A.C.

Anexo 12 Resultados del análisis de Fluorescencia de Rayos X del gel de sílice

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



4. RESULTADOS

COMPOSICION QUIMICA	RESULTADOS (%)	METODO UTILIZADO
DIOXIDO DE SILICIO (Si O ₂)	44.26	Espectrometría de fluorescencia de rayos x
OXIDO DE SODIO (Na ₂ O)	9.35	
TRIOXIDO DE ALUMINIO (Al ₂ O ₃)	0.085	
TRIOXIDO DE HIERRO (Fe ₂ O ₃)	0.056	
OXIDO DE POTASIO (K ₂ O)	0.0025	
OXIDO DE MAGNESIO (Mg O)	1.18	
PENTOXIDO DE FOSFORO (P ₂ O ₅)	<0.001	
OXIDO DE COBRE (Cu O)	<0.001	
TRIOXIDO DE AZUFRE (SO ₃)	<0.001	
OXIDO DE ZINC (Zn O)	0.0012	
OXIDO DE MANGANESO (Mn O)	<0.001	
CONTENIDO DE SÓLIDOS	34.60	
PÉRDIDA POR QUEMADO	10.44	

5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio, se encontraron principalmente sílice (Si) y Sodio (Na), y también la presencia de sólidos con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró; Aluminio (Al), Potasio (K), hierro (Fe), magnesio (Mg) y zinc (Zn).


 CARLOS ALBERTO VALCÁRCEL
 INGENIERO QUÍMICO
 CIP 122588

TRUJILLO, 03 DE NOVIEMBRE DEL 2022



TÉCNICO DE LABORATORIO

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Fuente: Laboratorio Físico Químico Ambiental S.A.C.

Anexo 13 Peso específico del gel de sílice



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscocoya Guillermo José
Escuela : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022

I.- Datos.

1.- Peso del G.S. Sup. Seco + Peso del Frasco + Peso	(g)	668.01	668.01
2.- Pesc. Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	240.22	240.22
3.- Peso del Agua	(g)	427.79	427.79
4.- Peso del G.S. Secado al Horno + Peso del Frasco	(g)	230.58	230.58
5.- Peso del Frasco	(g)	140.22	140.22
6.- Peso del G.S. Secado al Horno	(g)	90.36	90.36
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	1.251
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	6.924
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	1.444
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	10.67

Handwritten signature



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 14 Asentamiento concreto $a/c=0.6$



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José

Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Ensayo : Asentamiento

Referencia : Norma ASTM C143

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² ($a/c = 0.6$)

DOSIFICACIÓN	SLUMP
Concreto Patrón	3.9 "
G.S. 0.1%	3 "
G.S. 0.5%	4 "
G.S. 1%	4.9 "

4



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 15 Asentamiento concreto $a/c=0.555$



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²

Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José

Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Ensayo : Asentamiento

Referencia : Norma ASTM C143

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² ($a/c = 0.555$)

DOSIFICACIÓN	SLUMP
Concreto Patrón	4 "
G.S. 0.1%	2.7 "
G.S. 0.5%	2.6 "
G.S. 1%	2.6 "

y



Anexo 16 Tiempo de fraguado concreto patrón - a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Tesista** : Dávila Piscoya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 0% DE G.S. (a/c = 0.6)
 Temperatura exterior : 23°
 Hora de ensayo : 10:30 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg ²)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:30	72 Lb	0.99 pulg ²	240	72.08
03:00	101 Lb	0.52 pulg ²	270	194.31
03:30	109 Lb	0.25 pulg ²	300	439.15
04:00	100 Lb	0.08 pulg ²	330	1299.22
04:30	108 Lb	0.05 pulg ²	360	2200.65
05:00	93 Lb	0.03 pulg ²	390	3377.76
05:30 p.m	113 Lb	0.03 pulg ²	420	4088.01
		Tiempo Inicial	302 min	5.04
		Tiempo final	416 min	6.94
		Tiempo fragua	114 min	



Handwritten signature



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 17 Tiempo de fraguado concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6



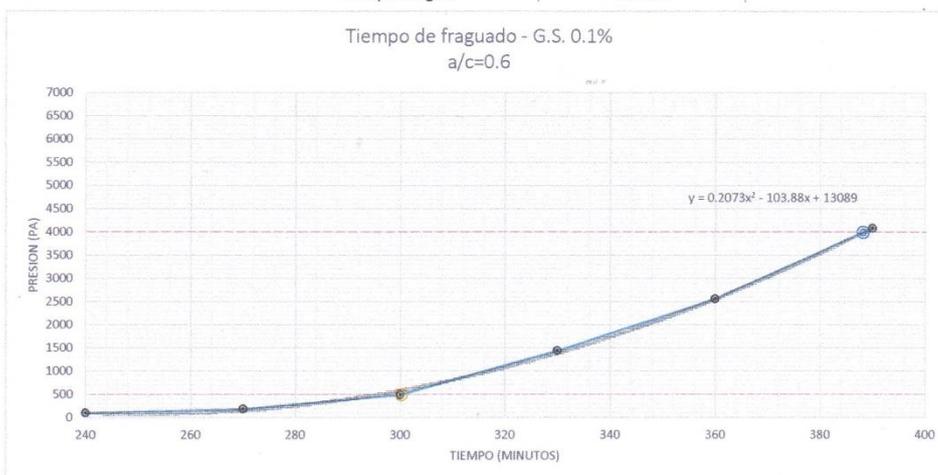
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Tesista** : Dávila Piscoya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.6)
 Temperatura exterior : 23.4°
 Hora de ensayo : 11:30 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg ²)	Min (minutos)	Presion (PSI)
03:30	99 Lb	0.99 pulg ²	240	99.81
04:00	95 Lb	0.52 pulg ²	270	183.69
04:30	122 Lb	0.25 pulg ²	300	492.39
05:00	111 Lb	0.08 pulg ²	330	1442.89
05:30	126 Lb	0.05 pulg ²	360	2568.75
06:00 p.m	113 Lb	0.03 pulg ²	390	4088.37
Tiempo Inicial			300 min	5.00
Tiempo final			388 min	6.47
Tiempo fragua			88 min	



ef



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 18 Tiempo de fraguado concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Tesista** : Dávila Piscocoya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm^2 + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)
 Temperatura exterior : 23.4°
 Hora de ensayo : 9:50 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
01:50	136 Lb	0.99 pulg2	240	136.82
02:20	147 Lb	0.52 pulg2	270	283.52
02:50	135 Lb	0.25 pulg2	300	543.26
03:20	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
03:50	134 Lb	0.05 pulg2	360	2729.68
04:20 p.m	129 Lb	0.03 pulg2	390	4672.22
		Tiempo Inicial	295 min	4.92
		Tiempo final	380 min	6.33
		Tiempo fragua	85 min	



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 19 Tiempo de fraguado concreto G.S. 1% - a/c=0.6



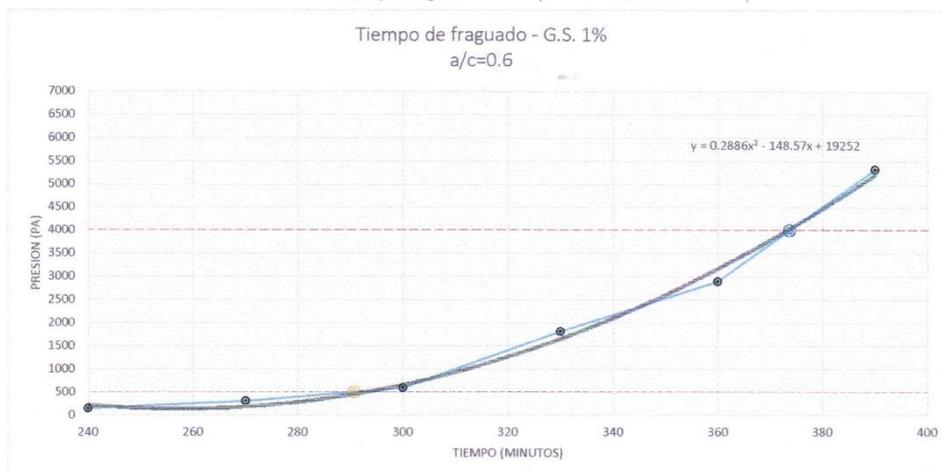
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
- Tesista** : Dávila Piscoya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 1% DE G.S. (a/c = 0.6)
 Temperatura exterior : 23.4°
 Hora de ensayo : 10:20 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:20	143 Lb	0.99 pulg2	240	143.86
02:50	158 Lb	0.52 pulg2	270	304.73
03:20	146 Lb	0.25 pulg2	300	587.53
03:50	139 Lb	0.08 pulg2	330	1812.26
04:20	142 Lb	0.05 pulg2	360	2892.65
04:50 p.m	147 Lb	0.03 pulg2	390	5324.16
		Tiempo Inicial	291 min	4.85
		Tiempo final	374 min	6.23
		Tiempo fragua	83 min	



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 20 Tiempo de fraguado del concreto patrón - a/c=0.555



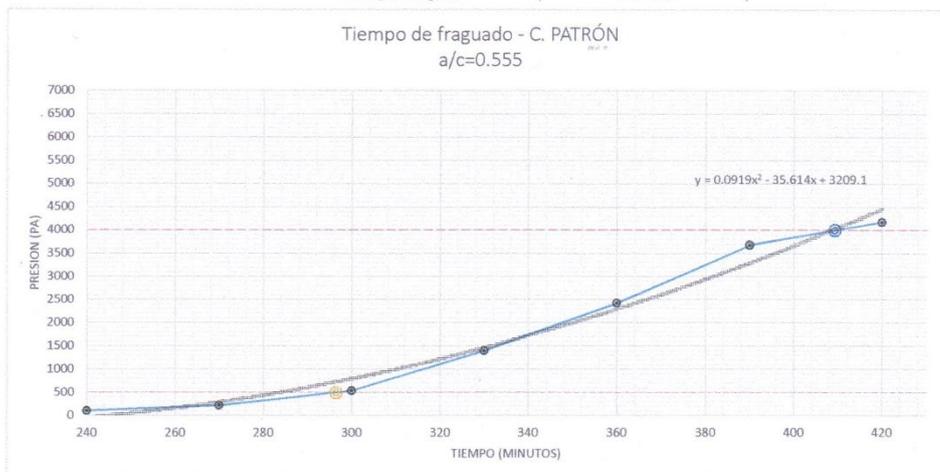
UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
Ensayo : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
Referencia : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)
 Temperatura exterior : 23°
 Hora de ensayo : 11:00 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg ²)	Min (minutos)	Presion (PSI)
03:00	105 Lb	0.99 pulg ²	240	105.35
03:30	116 Lb	0.52 pulg ²	270	223.23
04:00	133 Lb	0.25 pulg ²	300	536.74
04:30	107 Lb	0.08 pulg ²	330	1394.00
05:00	119 Lb	0.05 pulg ²	360	2425.14
05:30	102 Lb	0.03 pulg ²	390	3680.91
06:00 p.m	115 Lb	0.03 pulg ²	420	4176.02
		Tiempo Inicial	296 min	4.94
		Tiempo final	409 min	6.82
		Tiempo fragua	113 min	



Handwritten signature



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 21 Tiempo de fraguado concreto G.S. 0.1% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
Ensayo : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
Referencia : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)
 Temperatura exterior : 23.4°
 Hora de ensayo : 9:15 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
01:15	120 Lb	0.99 pulg2	240	120.87
01:45	151 Lb	0.52 pulg2	270	291.27
02:15	170 Lb	0.25 pulg2	300	684.10
02:45	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
03:15	119 Lb	0.05 pulg2	360	2424.12
03:45 p.m	119 Lb	0.03 pulg2	390	4310.03
		Tiempo Inicial	286 min	4.77
		Tiempo final	385 min	6.42
		Tiempo fragua	99 min	



ef



Anexo 22 Tiempo de fraguado concreto G.S. 0.5% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Tesista** : Dávila Piscoya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)

Temperatura exterior : 23.4°

Hora de ensayo : 10:15 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:15	149 Lb	0.99 pulg2	240	149.90
02:45	143 Lb	0.52 pulg2	270	275.80
03:15	125 Lb	0.25 pulg2	300	503.02
03:45	122 Lb	0.08 pulg2	330	1590.61
04:15	136 Lb	0.05 pulg2	360	2770.42
04:45 p.m	154 Lb	0.03 pulg2	390	5577.69
		Tiempo Inicial	300 min	4.99
		Tiempo final	373 min	6.22
		Tiempo fragua	74 min	



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 23 Tiempo de fraguado concreto G.S. 1% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



- Tesis** : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$
- Tesista** : Dávila Piscocya Guillermo José
- Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
- Ensayo** : Tiempo de fraguado del concreto por penetración
- Referencia** : Norma ASTM C403

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)

Temperatura exterior : 23.4°

Hora de ensayo : 10:40 a. m.

Tiempo	Penetración (Lbf)	Aguja (pulg2)	Min (minutos)	Presion (PSI)
02:40	154 Lb	0.99 pulg2	240	154.93
03:10	138 Lb	0.52 pulg2	270	266.16
03:40	126 Lb	0.25 pulg2	300	507.04
04:10	127 Lb	0.08 pulg2	330	1655.80
04:40	156 Lb	0.05 pulg2	360	3177.84
05:10 p.m	164 Lb	0.03 pulg2	390	5939.88
		Tiempo Inicial	299 min	4.99
		Tiempo final	369 min	6.15
		Tiempo fragua	70 min	



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 24 Temperatura concreto a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²

Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José

Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

Ensayo : Temperatura

Referencia : Norma ASTM C1014

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² (a/c = 0.6)

DOSIFICACIÓN	TEMPERATURA
Concreto Patrón	22.1° C
G.S. 0.1%	20.6° C
G.S. 0.5%	21.7° C
G.S. 1%	21.5° C

Handwritten signature



Anexo 25 Temperatura concreto a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Tesista : Dávila Piscocya Guillermo José
Lugar : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque
Ensayo : Temperatura
Referencia : Norma ASTM C1014

Identificación : CONCRETO 210 kg/cm² (a/c = 0.555)

DOSIFICACIÓN	TEMPERATURA
Concreto Patrón	21.2° C
G.S. 0.1%	20.2° C
G.S. 0.5%	21.5° C
G.S. 1%	21.8° C

lg



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 26 Resistencia a la compresión concreto $a/c=0.6$



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscayo Guillermo José
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

Título : HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra N°	Denominación o descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f_c kg/cm ²	Porcentaje (%)
1	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	11/10/2022	7	172	82
2	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	11/10/2022	7	189	90
3	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	18/10/2022	14	210	100
4	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	18/10/2022	14	225	107
5	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	01/11/2022	28	241	115
6	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	04/10/2022	01/11/2022	28	233	111
7	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	14/10/2022	7	203	97
8	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	14/10/2022	7	201	96
9	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	21/10/2022	14	242	115
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	21/10/2022	14	241	115
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	04/11/2022	28	218	104
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	07/10/2022	04/11/2022	28	228	108
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	19/10/2022	7	190	91
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	19/10/2022	7	204	97
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	26/10/2022	14	231	110
16	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	26/10/2022	14	244	116
17	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	09/11/2022	28	257	122
18	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	09/11/2022	28	224	107
19	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	19/10/2022	7	198	94
20	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	19/10/2022	7	205	97
21	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	26/10/2022	14	223	106
22	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	26/10/2022	14	254	121
23	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	09/11/2022	28	268	128
24	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. ($a/c = 0.6$)	12/10/2022	09/11/2022	28	250	119

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizados por el solicitante.



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 27 Resistencia a la compresión concreto a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
f_c=210 kg/cm²
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-393M - 05
Título : HORMIGÓN (CONCRETO) Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas

Muestra Nº	Denominación o descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Días	f _c kg/cm ²	Porcentaje (%)
1	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	13/10/2022	7	205	98
2	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	13/10/2022	7	188	89
3	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	20/10/2022	14	212	101
4	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	20/10/2022	14	219	104
5	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	223	106
6	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	217	103
7	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	14/10/2022	7	197	94
8	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	14/10/2022	7	230	110
9	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	21/10/2022	14	226	109
10	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	21/10/2022	14	232	111
11	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	247	116
12	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	241	115
13	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	14/10/2022	7	109	52
14	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	14/10/2022	7	168	80
15	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	21/10/2022	14	222	106
16	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	21/10/2022	14	197	94
17	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	144	68
18	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	182	87
19	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	19/10/2022	7	188	89
20	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	19/10/2022	7	178	85
21	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	26/10/2022	14	223	106
22	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	26/10/2022	14	213	101
23	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	03/11/2022	28	202	96
24	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	03/11/2022	28	212	101

OBSERVACIONES :

- Muestreo realizado por el solicitante.

4



Fuente: Laboratorio de Materiales – USAT

Anexo 28 Módulo de elasticidad concreto patrón - $a/c=0.6$



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
Fe=210 kg/cm²

Tesista : Dávila Piscocya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-489

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria $\epsilon_s (S_s)$	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.6)	04/10/2022	01/11/2022	28	241.21	96	11.07320	0.000436	221464	220519.33
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.6)	04/10/2022	01/11/2022	28	232.69	93	10.97874	0.000424	219575	

Observaciones:

ly



Anexo 29 Módulo de elasticidad concreto G.S. 0.1% - a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERIA
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
 f_c=210 kg/cm²
 Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José
 Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C 469

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ_s unitaria (ϵ_s (S ₂))	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.6)	07/10/2022	04/11/2022	28	218.34	87	10.95362	0.000399	219072	220414.17
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.6)	07/10/2022	04/11/2022	28	227.54	91	11.08779	0.000410	221756	

Observaciones:

Handwritten signature



Anexo 30 Módulo de elasticidad concreto G.S. 0.5% - a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
fc=210 kg/cm²

Tesista : Dávila Piscocya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-490

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria $\epsilon_s (S_2)$	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	256.75	103	12.25697	0.000419	245199	235805.78
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	223.75	90	11.32060	0.000395	226412	

Observaciones:

g



Anexo 31 Módulo de elasticidad concreto G.S. 1% - a/c=0.6



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
F_c=210 kg/cm²
Tesisista : Dávila Piscocoya Guillermo José
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-460

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria $\epsilon_s (S_2)$	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	267.95	107	12.79445	0.000419	255889	250553.93
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.6)	12/10/2022	09/11/2022	28	249.55	100	12.26095	0.000407	245219	

Observaciones:

Handwritten signature



Anexo 32 Módulo de elasticidad concreto patrón - $a/c=0.555$



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
 $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Tesista : Dávila Piscocoya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-480

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria (ϵ_s (S ₂))	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	222.86	89	11.27559	0.000395	225512	221199.86
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0% DE G.S. (a/c = 0.555)	06/10/2022	03/11/2022	28	217.07	87	10.84439	0.000400	216888	

Observaciones:

lg



Anexo 33 Módulo de elasticidad concreto G.S. 0.1% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
f_c=210 kg/cm²

Tesista : Dávila Piscocya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-469

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	σ_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% σ_u) (Kg/cm ²)	Esfuerzo S1 (0.000050) (Kg/cm ²)	ϵ unitaria $\epsilon_1 (S_1)$	E_c (Kg/cm ²)	Promedio E_c (Kg/cm ²)
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	246.78	99	12.43297	0.000397	248659	246239.51
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.1% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	240.95	96	12.19098	0.000395	243820	

Observaciones:

lg



Anexo 34 Módulo de elasticidad concreto G.S. 0.5% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
f_c=210 kg/cm²

Tesiista : Dávila Piscocya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-489

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_u (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_u) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	ϵ unitaria ϵ_s (S ₂)	E_c Kg/cm ²	Promedio E_c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	143.51	57	8.98042	0.000320	179608	183970.13
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 0.5% DE G.S. (a/c = 0.555)	07/10/2022	04/11/2022	28	182.16	73	9.41660	0.000387	188332	

Observaciones:

Handwritten signature



Anexo 35 Módulo de elasticidad concreto G.S. 1% - a/c=0.555



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES



Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto
f_c=210 kg/cm²

Tesista : Dávila Piscoya Guillermo José

Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 16 de Noviembre del 2022

Ensayo : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).

Referencia : ASTM C-480

MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	α_g (Kg/cm ²)	Esfuerzo S2 (40% α_g) Kg/cm ²	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm ²	e unitaria ϵ_s (S ₂)	E _c Kg/cm ²	Promedio E _c Kg/cm ²
01	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	09/11/2022	28	202.13	81	10.72912	0.000377	214582	215899.95
02	CONCRETO 210 kg/cm ² + 1% DE G.S. (a/c = 0.555)	12/10/2022	09/11/2022	28	211.92	85	10.86087	0.000390	217217	

Observaciones:

ll



Anexo 36 Materiales empleados para la elaboración del concreto



Figura 62 Agregado grueso



Figura 63 Agregado fino



Figura 64 Gel de Sílice



Figura 65 Cemento Qhuna

Fuente: Propia

Anexo 37 Elaboración de especímenes de concreto

Fuente: Propia

Anexo 38 Elaboración de especímenes $a/c=0.6$ y $a/c=0.555$



Figura 66 Especímenes $a/c=0.6$



Figura 67 Curado de especímenes patrón



Figura 68 Elaboración de especímenes $a/c=0.555$



Figura 69 Especímenes adicionales expuestos al ambiente

Fuente: Propia

Anexo 39 Determinación del asentamiento del concreto $a/c=0.6$



Figura 70 Medición asentamiento $a/c=0.6$



Figura 71 Asentamiento del concreto patrón
 $a/c=0.6$



Figura 72 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.6 + G.S. 0.1\%$



Figura 73 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.6 + G.S. 0.5\%$



Figura 74 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.6 + G.S. 1\%$

Fuente: Propia

Anexo 40 Determinación del asentamiento del concreto $a/c=0.555$



Figura 75 Medición asentamiento $a/c=0.555$



Figura 76 Asentamiento del concreto patrón
 $a/c=0.555$



Figura 77 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 0.1\%$



Figura 78 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 0.5\%$



Figura 79 Asentamiento del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 1\%$

Fuente: Propia

Anexo 41 Determinación de la temperatura del concreto $a/c=0.6$ 

Figura 80 Temperatura del concreto patrón $a/c=0.6$



Figura 81 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.1\%$

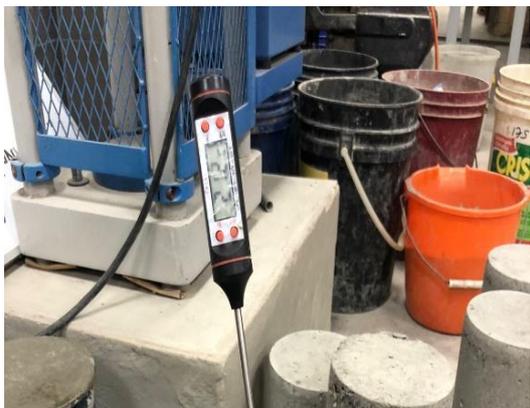


Figura 82 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 0.5\%$



Figura 83 Temperatura del concreto $a/c=0.6 + G.S. 1\%$

Fuente: Propia

Anexo 42 Determinación de la temperatura del concreto $a/c=0.555$ 

*Figura 84 Temperatura del concreto patrón
 $a/c=0.555$*



*Figura 85 Temperatura del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 0.1\%$*



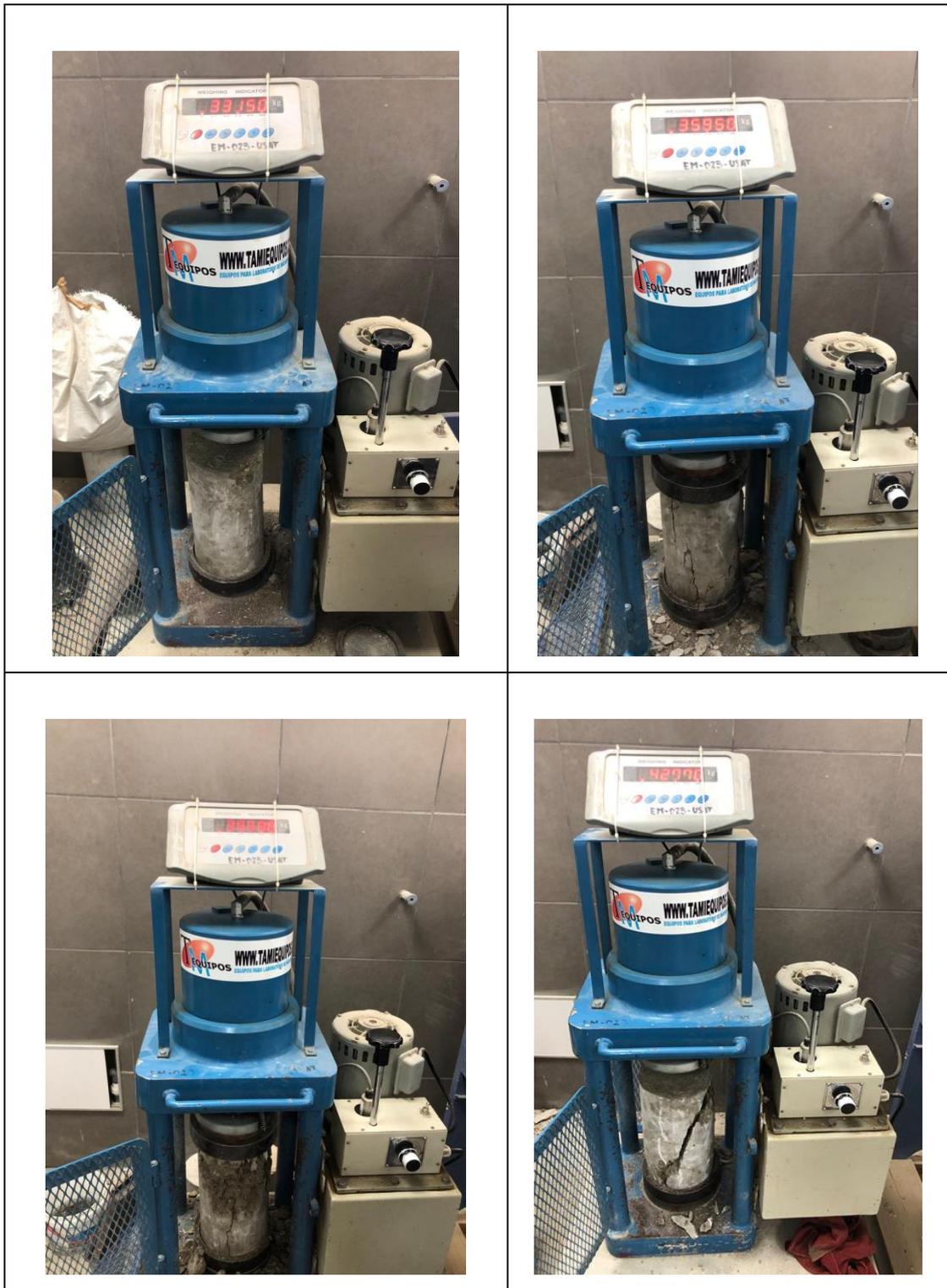
*Figura 86 Temperatura del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 0.5\%$*



*Figura 87 Temperatura del concreto
 $a/c=0.555 + G.S. 1\%$*

Fuente: Propia

Anexo 43 Ensayo resistencia a la compresión concreto a/c=0.6



Fuente: Propia

Anexo 44 Ensayo resistencia a la compresión concreto $a/c=0.555$

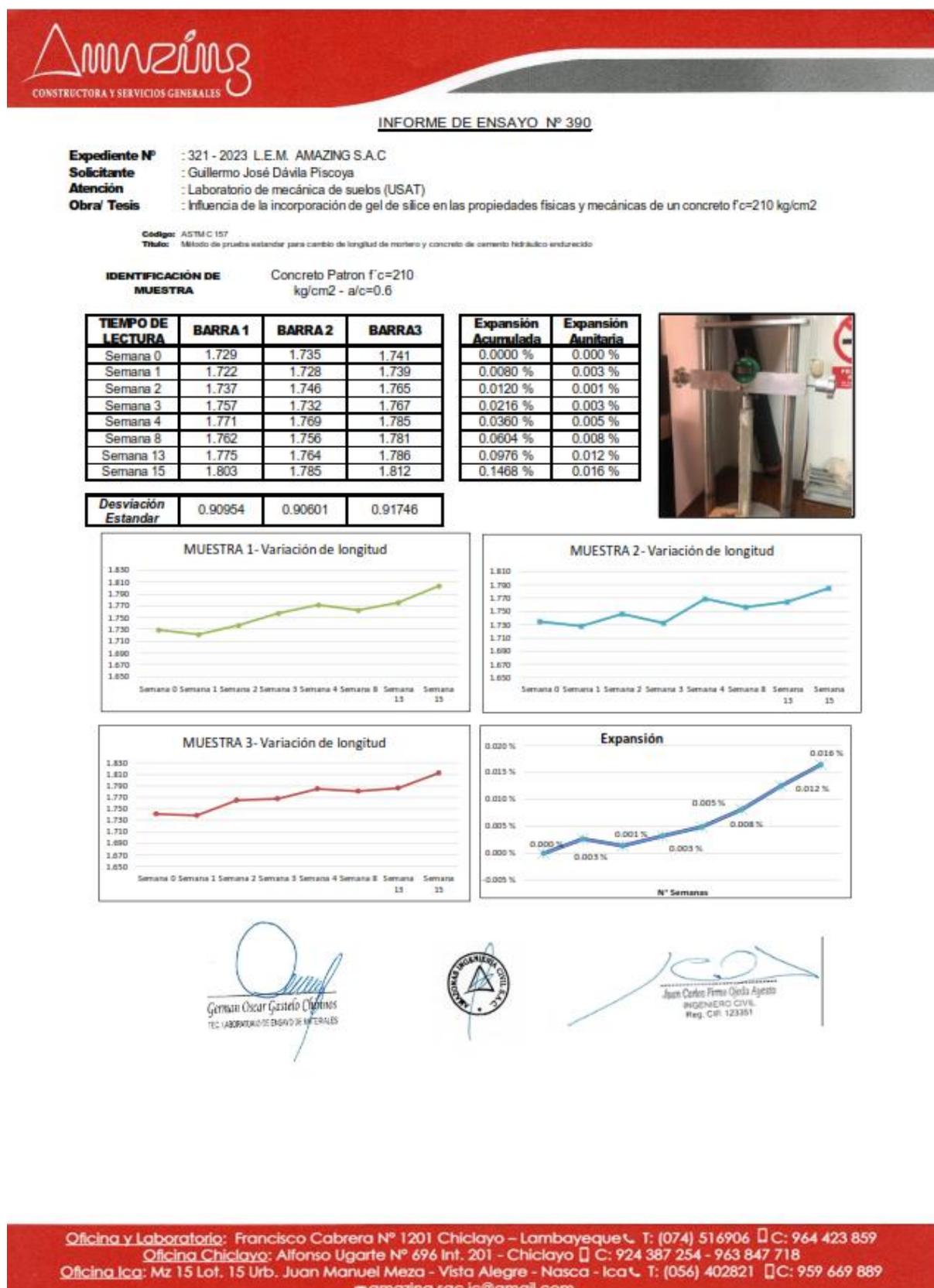


Fuente: Propia

Anexo 45 Ensayos durabilidad

Fuente: Propia

Anexo 46 Ensayo resistencia a los sulfatos concreto patrón a/c=0.6



Fuente: Laboratorio AMAZING

Anexo 47 Ensayo resistencia a los sulfatos concreto a/c=0.6 – 1% G.S.



INFORME DE ENSAYO N° 391

Expediente N° : 321 - 2023 L.E.M. AMAZING S.A.C
Solicitante : Guillermo José Dávila Pliscoya
Atención : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)
Obra/ Tesis : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f_c=210$ kg/cm²

Código: ASTM C 157
Título: Método de prueba estándar para cambio de longitud de mortero y concreto de cemento hidráulico endurecido

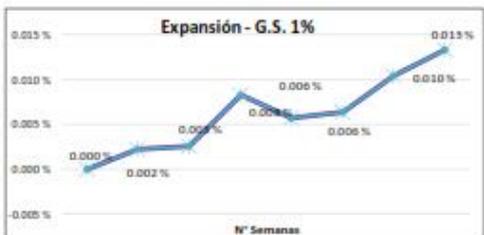
IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA Concreto Patron $f_c=210$ kg/cm² a/c=0.6-1% G.S.

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
Semana 0	1.706	1.715	1.705
Semana 1	1.714	1.719	1.713
Semana 2	1.723	1.721	1.719
Semana 3	1.734	1.726	1.728
Semana 4	1.736	1.734	1.741
Semana 5	1.745	1.739	1.744
Semana 13	1.749	1.741	1.753
Semana 15	1.755	1.759	1.769

Expansión Acumulada	Expansión Aunibarra
0.0000 %	0.000 %
0.0068 %	0.002 %
0.0144 %	0.003 %
0.0392 %	0.008 %
0.0564 %	0.006 %
0.0756 %	0.006 %
0.1068 %	0.010 %
0.1468 %	0.013 %



Desviación Estandar	0.89681	0.89555	0.89767
---------------------	---------	---------	---------



German Oscar Gastelo Chaves
 TEC. LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES



Juan Carlos Pineda Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.R. 123351

Oficina y Laboratorio: Francisco Cabrera N° 1201 Chiclayo – Lambayeque T: (074) 516906 C: 964 423 859
 Oficina Chiclayo: Alfonso Ugarte N° 696 Int. 201 - Chiclayo C: 924 387 254 - 963 847 718
 Oficina Ica: Mz 15 Lot. 15 Urb. Juan Manuel Meza - Vista Alegre - Nasca - Ica T: (056) 402821 C: 959 669 889
 amazing.sac.lc@gmail.com

Anexo 48 Ensayo penetración de agua bajo presión



Prolongación Bolognesi Km. 3.5
Chiclayo – Lambayeque
R.U.C. 20480781334
Email: servicios@lemswycerl.com

Solicitud de Ensayo : **3105A-23/ LEMS W&C**
Solicitante : Dávila Piscocoya Guillermo José
Proyecto / Obra : Influencia de la incorporación de gel de sílice en las propiedades físicas y mecánicas de un concreto $f'c=210$ kg/cm²
Ubicación : Dist. Pimentel, Prov. Chiclayo, Depart. Lambayeque.
Fecha de Apertura : Miércoles, 31 de mayo del 2023.
Inicio de Ensayo : Miércoles, 31 de mayo del 2023.
Fin de Ensayo : Sábado, 03 de junio del 2023
Ensayo : ENSAYOS DE HORMIGÓN ENDURECIDO: - Parte 8: Profundidad de penetración de agua bajo presión.
Norma : UNE-EN12390-8
Mezcla de concreto : $f'c= 210$ kg/m²
R a/c diseño : 0.60
Edad : 95 días

Muestra N°	Descripción de la Muestra (kg/cm ²)	Edad (Días)	Fecha		Hora		Tiempo (72 ± 2 Horas)	Cara	Penetración Máxima (mm)		
			Inicio	Final	Inicio	Final			Unidad	Promedio	Clase de exposición
M-01	CONCRETO PATRÓN 210kg/cm	95	31/05/2023	03/06/2023	10:00 a. m.	10:00 a. m.	72	A	48.16	47.99	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	47.82		
M-02	CONCRETO 210 + 0.50% GEL DE SÍLICE	95	31/05/2023	03/06/2023	10:00 a. m.	10:00 a. m.	72	A	41.93	41.57	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	41.20		
M-03	CONCRETO 210 + 1.0% GEL DE SÍLICE	95	31/05/2023	03/06/2023	10:00 a. m.	10:00 a. m.	72	A	38.07	37.85	CUMPLE para elementos en masa o armados
								B	37.63		

NOTA:

- PRESIÓN APLICADA: 500 kPa aplicada desde la base de la probeta.

OBSERVACIONES:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.


LEMS W&C EIRL
WILSON OLAYA AGUILAR
TÉC. ENSAYOS DE MATERIALES Y SUELOS


Miguel Angel Ruiz Perales
INGENIERO CIVIL
CIP. 246904

Fuente: LEMS W&C EIRL