



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

Determinación de la Influencia del uso de Sustancias Aluminosilicatos
en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero Civil

AUTORAS:

Contreras Sánchez, Cindy Guissell (ORCID: 0000-0002-7221-5292)

Guerrero Bravo, Carla Josselin (ORCID: 0000-0002-8260-6457)

ASESORA:

Mg. De La Cruz Vega, Sleyther Arturo (ORCID: [0000-0003-0254-301X](https://orcid.org/0000-0003-0254-301X))

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

CALLAO – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre y a mi padre porque con los consejos y su atención del día a día fueron mi motivo para poder culminar esta carrera profesional

Bachiller. Contreras Sánchez, Cindy Guissell

Mi tesis le dedico con mucho amor. A dios que me distes la oportunidad de vivir esta experiencia y regalarme mi maravillosa familia.

Bachiller. Guerrero Bravo Carla Josselin

AGRADECIMIENTO

Ante todo a Dios todo poderoso por haberme dado sabiduría día a día a mi familia en general y a mis formadores de la universidad.

Bachiller. Contreras Sánchez, Cindy Guissell

A mi familia que ha sido el sostén de mi existencia, a ellos le debo lo que ahora soy. Gracias a mis queridos padres Mariano y Yoli; por su apoyo absoluto, protección y sus ánimos para el logro de mis metas. A mi esposo William por siempre estar conmigo y su cuidado constante. A ti mi hijo Austin gracias por tu comprensión y aliento que han sido esenciales para mí.

Bachiller. Guerrero Bravo, Carla Josselin

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	ivii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viiivii
I.- INTRODUCCIÓN	9
III.- METODOLOGÍA	23
3.1. Tipo y diseño de investigación :	23
3.2. Variables y Operacionalización:	23
3.3. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:	25
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:	26
3.5. Procedimientos:	27
3.6. Método de análisis de datos:	27
3.7. Aspectos éticos:	28
IV.- RESULTADOS	29
V.- DISCUSIÓN	42
VI.- CONCLUSIONES	47
VII.- RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diseño del experimento según tratamientos y repeticiones evaluadas	25
Tabla 2 Técnica e instrumento de recolección de datos utilizados	26
Tabla 3 Resultados de Análisis de agregados fino para la elaboración de concreto	30
Tabla 4 Resultado de análisis de agregado grueso para la elaboración de concreto	31
Tabla 5 Diseño de mezcla para el testigo	31
Tabla 6 Diseño de mezcla para el tratamiento T1	32
Tabla 7 Diseño de mezcla para el tratamiento T2	32
Tabla 8 Diseño de mezcla para el tratamiento T3	32
Tabla 9 Slump de los diferentes tratamientos	33
Tabla 10 Peso específico en estado fresco	34
Tabla 11 Resistencia de concreto a los 7,14 y 28 días de los tratamientos ..	36
Tabla 12 Resistencia del concreto a la comprensión a los 28 días de los tratamientos	37
Tabla 13 ANOVA de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados	38
Tabla 14 Prueba de TUKEY de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados	38
Tabla 15 Influencia porcentual en la resistencia del concreto de las sustancias aluminosilicatos según tratamientos	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Análisis granulométrico del agregado fino	29
Figura 2 Análisis granulométrico del agregado grueso	30
Figura 3 Slump de los diferentes tratamientos.....	33
Figura 4 Peso específico en estado fresco	35
Figura 5 Resistencia del concreto a los 7,14 y 28 días de los tratamientos evaluados.....	36
Figura 6 Resistencia del concreto a la comprensión a los 28 días de los tratamientos.....	38
Figura 7 Prueba de TUKEY de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados	39

RESUMEN

La industria del concreto es la de mayor desarrollo y crecimiento actualmente, el componente principal es el cemento portland, que tiene una huella ambiental negativa significativa; los pavimentos urbanos son estructuras de concreto simple o reforzado que tienen una alta demanda de concreto con características especiales, frente a la alta demanda y el efecto negativo al ambiente del concreto hidráulico convencional se planteo la presente investigación cuyo objetivo fue determinar cómo influye la adición de sustancias aluminosilicatos en la fabricación de concreto hidráulico para pavimentos urbanos. En el desarrollo se planteó una metodología experimental donde se ensayaron las dosis de 5 %, 10 % y 20 % de sustancias aluminosilicatos en relación al peso del cemento. Se midió el efecto de las sustancias en las propiedades del slump, peso específico del concreto fresco y resistencia a la compresión. Como resultados se obtuvo que el slump se mantiene con valores muy similares, el peso específico se incrementa hasta en un 2.5 % al usar la dosis del 20 %, y la resistencia a la compresión se incrementa proporcional a la dosis aplicada, siendo el tratamiento que recibió la dosis de 20 % la que alcanzó la más alta resistencia con 374 Kg.cm^{-2} , lo que significa un incremento del 78 % en relación a la resistencia de diseño que fue de 210 Kg.cm^{-2} . Finalmente se determina que si es posible reemplazar un porcentaje del cemento portland y sustituirlo por sustancias aluminosilicatos para fabricar concreto hidráulico para pavimentos urbanos, sin sacrificar la calidad del mismo.

Palabras clave: Cemento, geopolímero, aluminosilicato, concreto hidráulico, resistencia a la compresión.

ABSTRACT

The concrete industry is currently the one with the highest development and growth, the main component is portland cement, which has a significant negative environmental footprint; Urban pavements are simple or reinforced concrete structures that have a high demand for concrete with special characteristics, in view of the high demand and the negative effect on the environment of conventional hydraulic concrete, the present investigation was proposed, the objective of which was to determine how the addition of Aluminosilicate substances in the manufacture of hydraulic concrete for urban pavements. In the development, an experimental methodology was proposed where the doses of 5%, 10% and 20% of aluminosilicate substances were tested in relation to the weight of the cement. The effect of the substances on the slump properties, specific weight of fresh concrete and compressive strength was measured. As results, it was obtained that the slump remains with very similar values, the specific weight increases up to 2.5% when using the 20% dose, and the compressive strength increases proportional to the applied dose, the treatment being that received the dose of 20% which reached the highest resistance with 374 Kg.cm⁻², which means an increase of 78% in relation to the design resistance, which was 210 Kg.cm⁻². Finally, it is determined that if it is possible to replace a percentage of portland cement and replace it with aluminosilicate substances to make hydraulic concrete for urban pavements, without sacrificing its quality.

Keywords: Cement, geopolymer, aluminosilicate, hydraulic concrete, compressive strength.

I.- INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, existen varios tipos de problemas en los pavimentos rígidos producto de la repetición de cargas pesadas, así tenemos por ejemplo en Nicaragua en La Residencial Santa Mónica es común visualizar fallas en los pavimentos las cuales se deben a causas como deficiencias en el diseño, por la escasa transferencia de cargas por medio de las juntas generando de esta manera elevadas deflexiones en las esquinas de los pavimentos; y también por la carencia o poco mantenimiento que se le da a la vía lo que genera una falla situada en el tablero de losa que es el descascamiento de la estructura de la vía en la parte afectada. Una vez que la fisura de la esquina del pavimento incrementa su ancho como consecuencia del permanente tráfico vehicular se genera la introducción de materiales incomprensibles dentro de la grieta, en el momento en el que la losa se expande con el aumento de las temperaturas; estas fallas pueden atribuirse a un mal diseño del pavimento, el uso de materiales no adecuados, o una falta de mantenimiento. Esto se repite en Vía Barrio el Progreso, Matagalpa debido a que hay una constante repetición de las cargas de tránsito, ocasionando de esta manera la fatiga del concreto además de la acción drenante provocando una erosión del apoyo en la fundación. Por su parte en el país de Chile otra falla que tiene los pavimentos rígidos es el despostillamiento el cual se debe las tensiones desmedidas presentes en las juntas causadas por las constantes repeticiones del tránsito y también por la introducción de materiales incomprensibles a causa del sellado incorrecto de las juntas transversales y juntas longitudinales.

A nivel nacional encontramos en muchas ciudades pavimentos rígidos deteriorados por lo que presentan una serie de daños y fallas como son las grietas, los desgastes superficiales, etc. Se puede decir que ello se debe a que actualmente en la construcción no se utilizan materiales de calidad ni las dosis adecuadas. En estos últimos años por ejemplo podemos observar que Iquitos ha tenido una serie de cambios, uno de esos cambios son los que han sufrido las calles de esta ciudad, las cuales están deterioradas y presentan una serie de fallas y daños como grietas, rajaduras, desgastes, roturas, etc, generando una gran incomodidad en los ciudadanos tanto transeúntes como conductores. Este problema puede ser consecuencia de muchas razones como por ejemplo la mala construcción de las

vías por parte de las empresas constructoras que no aplican los conocimientos y principios de la ingeniería, la utilización de materiales y mano de obra de mala calidad, la variedad del clima de la región o simplemente el pasar de los años. Esto convierte a Iquitos en una de las ciudades con mayor índice de calles principales agrietadas, notándose de esta manera la existencia de una mala implementación de los diseños de pavimentos rígidos afectando la funcionabilidad, resistencia y durabilidad de estos pavimentos.

Así mismo en Barranca existe una gran cantidad de fallas en las vías vehiculares encontrándose en muy malas condiciones lo que ocasiona un rápido deterioro de los vehículos. Uno de los motivos del deterioro de los pavimentos es la falta de una adecuada programación para realizar mantenimientos ya sea periódicos o permanentes a dichos pavimentos, otra razón es las rupturas que se realizan al pavimento para arreglar tuberías debido a los constantes colapsos de los desagües. Aunque en muchas ocasiones las vías son reparadas ya no quedan de la misma calidad que el pavimento inicial si no que disminuye su calidad y es más probable que presente más fallas; otro caso es el material que se utiliza muchas veces no es formulado en sus mezclas correctamente, muchas veces por ahorrarse el consumo de materiales debido a los costos. La condición de las pistas se agrava al no tener un plan idóneo para realizar un mantenimiento a las mismas por parte de la autoridad competente. Esto origina que la población indignada de tanto esperar alguna solución, traten de “mejorar o reparar” sus calles utilizando cualquier material al que puedan acceder, con la finalidad de tener una circulación normal de los vehículos. También se puede decir que el mal estado de los pavimentos puede ser una de las principales causas de los accidentes de tránsito.

A nivel local, en la ciudad de Jaén se puede observar que la mayoría de sus pavimentos se encuentran en pésimas condiciones pues presentan deformaciones, grietas, pérdida de capas estructurales, etc., y a pesar de ello no se cuenta con un plan para realizar el mantenimiento de las calles; es por esto que a continuación se detalla un antecedente en dicha ciudad. En la provincia de Jaén se realizó un estudio sobre los desperfectos ocasionados por la empresa Cobra en las

pavimentaciones de la ciudad las cuales se han ido deteriorando debido a que no se tiene un plan de mantenimiento, los daños encontrados durante el desarrollo de este estudio fueron causados por deficiencias en el sello de juntas, fisuras, hundimientos, los cuales son ocasionados debido a la pérdida de soporte de la sub base de los pavimentos, también al socavamiento producido debajo de las losas debido al derrumbe de las paredes de las zanjas por la falta de entubados oportunos. Concluyendo con la elaboración de un adecuado plan de mantenimiento para ser empleado en los pavimentos deteriorados de la ciudad a causa de la empresa Cobra, así mismo usar materiales adecuados en las proporciones técnicas recomendadas según las normas técnicas vigentes, (Municipalidad Provincial de Jaén, 1992).

En base a la realidad problemática se plantea como problema general: ¿cuál es la influencia del uso de sustancias aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimento urbano? Así mismo este problema genera tres problemas específicos: ¿Cuál es el diseño de mezclas de sustancias aluminosilicatos más adecuado en el concreto hidráulico para obras de pavimento urbanos? , ¿Cuáles son los valores de las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico para obras de pavimento urbano? Y ¿Cómo influyen las sustancias aluminosilicatos en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos?

La investigación tiene una justificación social basada en que se busca desarrollar y probar materiales para usarlo en la implementación de obras de pavimentación que mejoran la transitabilidad en las ciudades, esto trae como consecuencia un mejoramiento de la calidad de vida de la población urbana de las ciudades de nuestro entorno. Económicamente hablando, la investigación se justifica porque al probar y validar otros materiales que se pueden utilizar en pavimentos urbanos, más baratos y asequibles que el cemento portland, se ampliaría la posibilidad de realizar nuevos pavimentos y así cubrir la alta demanda de los mismos sin disminuir la calidad de los pavimentos. La investigación planteada, metodológicamente, pretende generar nuevas formulaciones de concreto hidráulico utilizando

sustancias disponibles y muchas veces recicladas para reemplazar un porcentaje del cemento portland, sin afectar las propiedades físicas y mecánicas del concreto obtenido; de ser positivo los resultados, las recomendaciones de formulaciones van a poder utilizarse en obras de pavimentos urbanos e inclusive en otras obras de infraestructura donde el concreto es el material más importante.

Los objetivos planteados en la presente investigación son, objetivo general determinar la influencia del uso de sustancias aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos. Para cumplir este objetivo se plantean tres objetivos específicos, formular diseño de mezclas con sustancias aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos, cuantificar las propiedades físicas y mecánicas del concreto con adición de sustancias aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos y establecer la influencia de las sustancias aluminosilicatos en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos.

Finalmente se propone una hipótesis general que, el uso de sustancias de aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos, influye mejorando las propiedades físico mecánicas del concreto hidráulico; así como tres hipótesis específicas, el diseño de mezclas con sustancias aluminosilicatos para concreto hidráulico más adecuado es usando concentraciones bajas y medias de estas sustancias, los valores de las propiedades físicas y mecánicas del concreto fabricado con la adición de sustancias aluminosilicatos mejora con respecto al testigo. El uso de sustancias aluminosilicatos influye positivamente mejorando las propiedades físicas y mecánicas del concreto hidráulico para pavimentos urbanos.

II.- MARCO TEÓRICO

Pérez Manso (2016) . En su tesis de pregrado: Evaluación de cementos de bajo carbono producidos localmente con sustitución del 50% de cemento P-35 por adiciones de polvo de cerámica roja y caliza, en la Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas. Con el objetivo “Evaluar el comportamiento físico mecánico del nuevo cemento LC3 producido de forma artesanal en Villa Clara a partir de la combinación del 50 % de cemento P-35 con adiciones de polvo de cerámica roja y caliza. El autor dentro de su Metodología en la fabricación de los cementos LC3-50, se ejecutó a escala de laboratorio donde se desarrolló ensayos químicos y físico-mecánicos para su caracterización teniendo en cuenta las especificaciones establecidas en las normas cubanas. Como conclusión se obtuvo que a los 28 días las muestras no logran un nivel satisfactorio de resistencia respecto al testigo, al realizarse una sustitución del 50% del cemento por las sustancias en estudio. De los dos ensayos basados en las mezclas, el denominado LC3-50R, logra un mejor comportamiento mecánico teniendo un incremento del 34% de los valores establecidos en la norma técnica colombiana.

Torres-Carrasco y Otros (2017). En la Investigación Titulada: La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros, en el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja España. Cuyo Objetivo es “mostrar la evolución en el tiempo sobre los orígenes de la activación alcalina, para explicar los conceptos más característicos e importantes de su química”. En su investigación el autor aplica como metodología la activación alcalina usando álcalis metálicos como el hidróxido de sodio y potasio y otras sustancias alcalinas como el silicato de sodio y sulfato de sodio, de cenizas volantes minerales, residuos o escorias de alto horno así como cualquier ceniza de origen mineral e inclusive orgánico (vegetal) que sean ricos en sustancias aluminosilicatos con presencia o no de compuestos de calcio; esta activación a diferencia de la fabricación del cemento portland no necesita de altas temperaturas ni elevados consumo de energía produciéndose un geopolímeros que tiene propiedades cementantes con prestaciones mecánicas

similares al cemento portland, ensayándose pruebas estándar del concreto según las normas técnicas. Las conclusiones obtenidas por el autor son que la fabricación de geopolímeros según la metodología descrita ofrece ventajas comparativas al cemento portland como un significativo ahorro energético en su fabricación así como una reducción en la emisión de gases de efecto invernadero; además metodológicamente es posible obtenerlo de manera competitiva sin embargo se indica que es necesario profundizar investigaciones en la química del proceso para minimizar riesgos ambientales frente a una producción a alta escala.

Rendón Belmonte y Otros (2015). En el trabajo de investigación: Desarrollo de nuevos cementos: "Cementos alcalinos y cementos híbridos". En el Instituto Mexicano del Transporte México. Los investigadores se plantearon como objetivo describir la capacidad de activación alcalina de materiales silicoaluminosos de procedencia mexicana: ceniza volante y escoria de cobre, para generar cementos alcalinos y cemento híbridos. La metodología consistió en determinar las características físicas, químicas y microestructura de los productos de reacción. Las técnicas utilizadas fueron: fluorescencia de rayos X (FRX), calorimetría de Conducción isoterma, difracción de rayos X (DRX), espectroscopia infrarroja de Transformada de Fourier (FTIR) y microscopia electrónica de barrido (SEM). Además, incluye, también, resultados de pruebas mecánicas a 2 y 28 días. Como conclusión se estableció que la cenizas volantes diversas de origen mexicano pueden ser activadas alcalinamente presentando buenas propiedades al análisis radiológico, así mismo el concreto fabricado con este cemento (geopolímeros) alcanza la misma resistencia de 32.5 MPa pero con la diferencia que lo alcanza solo a 2 días frente a los 28 días que necesita el cemento portland; en el ensayo de cemento Híbrido no se obtuvo resultados satisfactorios disminuyendo inclusive la resistencia obtenida frente al cemento portland.

Zuñiga Quenda y Otros (2019). En su tesis de pregrado para obtener Título Profesional de Ingeniero Civil: influencia de adiciones de microsílíce en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna, en la universidad Privada de Tacna. Cuyo objetivo

fue “Determinar la influencia que tienen las adiciones de microsilíce sobre la propiedad mecánica de resistencia de compresión del concreto”. La Metodología consistió en elaborar 90 probetas, de las cuales 30 probetas fueron hechas con mezcla patrón, 30 probetas con mezcla de 4% de adición de microsilíce (MMS-4) y 30 probetas elaboradas con mezcla de 8 % de adición de microsilíce (MMS-8). Para utilizar los porcentajes de microsilíce se tuvo en cuenta las recomendaciones del fabricante, las cuales indican que se debe usar dosis dentro del rango de 5 a 15% con respecto al peso del cemento. Las probetas fueron ensayadas de acuerdo a las especificaciones de las normas NTP y ASTM con el propósito de determinar sus propiedades físicas y evaluar si la adición de microsilíce en un porcentaje de 4% y 8% causa el aumento de la resistencia a la compresión del concreto mayor a 210 Kg/cm². Como conclusión del trabajo de investigación se estableció que la adición de microsilíce comercial ChemaFume, incrementa la resistencia a la compresión mecánica del concreto en los dos tipos de diseño de mezcla utilizada que en el ensayo se denominaron MMS-4 y MMS-8, este incremento fue de 312.22 Kg/cm² hasta 334.89 Kg/cm² y 396.69 Kg/cm² respectivamente para los dos diseños de mezcla; esto corrobora las ventajas de usar sustancias silíceas para mejorar el concreto.

Bazalar La Puerta y Otros (2019). En su tesis para Título Profesional de Ingeniero Civil: Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280\text{kg/cm}^2$ en estructuras aperticadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental, en la Universidad Peruanas de Ciencias Aplicadas. Con el Objetivo de “Analizar el comportamiento del concreto con agregado grueso reciclado de las Construcciones de concreto y el impacto ambiental que este genera con la finalidad de compararlo con concretos convencionales”. En la Metodología se evaluó el comportamiento a través del análisis de las propiedades mecánicas y durabilidad de los tipos de mezclas desarrollados con la finalidad de obtener una proporción de sustitución óptima de AN por ACR para lograr que propiedades se encuentren dentro de los parámetros establecidos en las normas. Además, se elaboró un modelo de una estructura aperticadas para realizar una Evaluación de

Impacto Ambiental utilizando la metodología Life Cycle Assessment (LCA) en el programa Athena. En sus conclusiones los investigadores establecieron que se debe agregar hasta 40% de reemplazo de los agregados naturales por residuos de concreto reciclado, ya que hasta ese porcentaje la resistencia a la compresión solo tiene una diferencia de 2.91%, si se incrementa el porcentaje, la resistencia cae significativamente, haciendo no recomendable el uso del concreto fabricado, o incrementando el consumo de cemento. También se establece que el concreto fabricado con residuos reciclados de construcción como cerámicos y concretos, disminuye la densidad del concreto y aumenta ligeramente su absorción, así como su porosidad; esta investigación abre una posibilidad de reutilizar residuos de construcción como cerámicos y concreto para reemplazar el agregado natural en la fabricación de concreto nuevo.

Hermoza Gutiérrez (2019). En su Tesis para el Título de Magister en Maestría en ciencias con mención en Ingeniera Ambiental: Estudio comparativo del comportamiento mecánico, físico y micro estructural de morteros geopoliméricos obtenidos a partir de ceniza volcánica y morteros de cemento portland de uso tradicional, en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Con el Objetivo “Comparar el comportamiento físico, mecánico y micro estructural de morteros geopoliméricos obtenidos a partir de ceniza volcánica con los morteros obtenidos a partir del cemento Portland. La Metodología utilizada establecieron condiciones de obtención, curado y caracterización para morteros de cemento y morteros geopoliméricos, que haga factible un modelo de comparación. Como conclusión, se obtuvo que se puede fabricar geopolímeros activando alcalinamente con hidróxido de sodio a la ceniza volcánica rica en aluminosilicatos, para fabricar morteros en reemplazo del cemento portland, los morteros así fabricados tienen un comportamiento mecánico similar a la fabricada con el cemento portland, mientras que la absorción fue mayor en un 11.66% para los geopolímeros activados con hidróxido de sodio y de 12.96 para una activación con hidróxido de sodio y silicato de sodio; estos resultados abren un abanico de posibilidades de utilizar los

geopolímeros en reemplazo del cemento para la fabricación de morteros y concretos por extensión.

En la relación a las bases teóricas, para la Determinación de la Influencia del uso de sustancias aluminosilicatos en concreto hidráulico para obras de pavimentos urbanos. Tenemos como definición de concreto: El concreto es un producto artificial compuesto que consiste en un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado (Rivva Lopez, 2000), o también puede decirse que el concreto hidráulico es una mezcla o reunión de cemento Portland, agregados inorgánicos pétreos, agua y en de ser necesario sustancias aditivas, estos compuestos forman una sustancia moldeable y manejable, que posteriormente debido a unas reacciones forman un sólido rígido y muy resistente debido a su fraguado, (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004).

Teniendo en cuenta los tipos de concreto podemos mencionar entre los más importantes a: Concreto convencional; también podemos llamarlo un concreto normal, ya que mezclando al cemento portland, agregados gruesos y finos junto con el agua, en estado fresco tenemos que es mejor su tiempo de manejabilidad y excelente cohesividad, con optima resistencia en un estado endurecido. Concreto aislante; es un concreto que lo fabrican con algunos productos como la pulverización de ladrillos y cerámicos y en su proceso con buena densidad seca en el horno. También se produce con estos materiales cementantes, aire, agua con agregados finos o sin agregados finos y aditivos químicos, (WEBBLY, 2018). Concreto de alto desempeño; este concreto alcanza ciertos requerimientos de rendimiento para una aplicación específica, alcanzando su alta ductilidad y compacidad; así obtenemos varias alternativas para estructuras y estéticas, (Arqhys, 2012). Concreto de alta resistencia: este concreto es de peso normal y su resistencia a la compresión es de 42 MPa o mayor (ACI 363) es usado en superestructuras ya sea en puentes que tengas amplia luz (CEMEX Concretos, 2017). Concreto de baja permeabilidad: contrarresta la ascensión por capilaridad del agua en contacto, se usa en aquellas estructuras que están en contacto con la

humedad durante todo el tiempo como es el caso de cimentaciones, piscinas, muros, etc., (Palma Bravo, 2020). Concreto bombeable; este concreto está diseñado exclusivamente para ser conducido por una manguera o tubería rígida por presión para ser vaciado en su respectiva área de trabajo, (Sanchez Mendez, 2016). Concreto con aire incluido; en el proceso de colocar el concreto, no queda compactada la mezcla, más bien aparecen algunas cavidades de aire que son burbujas de tamaño pequeño, también se usan aditivos de aire incorporado en el mezclado, a eso lo llamamos aire atrapado, (d'Hainaut, Arcos, 1996). Y concreto con polímeros; un polímero se usa con frecuencia y lo usamos en la construcción, también para reparar las estructuras, los plásticos son maleables o polímeros, pero no todos lo maleable son plásticos (Torres Serrano, 2012).

El concreto posee como ingrediente a la pasta que tiene cuatro funciones en el concreto; ayudar a las propiedades dar un producto pacto, quitar las partículas del agregado, colmar los vacíos de las partículas de agregado y fijar fuertemente a ellas, facilitar la lubricación a la masa cuando ésta aún no está pacto. Las características de la pasta dependen de las características físicas y químicas del cemento, la relación o proporciones referente del cemento y agua en la mezcla, el grado de humedecimiento del cemento, dado por la validez de la mezcla química del agua y éste (Gonzales Cuevas, y otros, 2005). La pasta es muy importante ya que da un buen comportamiento al concreto como material de construcción, está influenciado directamente por las propiedades de la pasta y características finales de ella, para un cemento dado, la porosidad y característica de la mezcla dependen fundamentalmente de la relación agua- cemento de la mezcla será trabajable y mientras mayor sea el grado de humedecimiento del cemento, viendo el grado de humedecimiento o hidratación del cemento de la reacción química entre el agua y este, todas estas condiciones que favorezcan el humedecimiento tienen mucha importancia en la influencia de la pasta en el concreto (Rivva Lopez, 2000).

Otros elementos son los agregados, son un grupo de partículas inorgánicas, ya sea de origen artificial o natural, sus dimensiones están basados entre los límites fijados en la Norma NTP 400.011. Estos agregados son la fase discontinua del concreto;

son materiales que están impregnados en la pasta y ocupan entre el 62% y el 78% de la unidad cúbica del concreto, (Gutiérrez de López, 2003) .

Los agregados se ordenan así: Agregado fino que es proveniente de la desintegración artificial ya sea natural o de las rocas, que pasa el Tamiz de 3/8" y se queda retenido en el tamiz N° 200. Agregado grueso es aquel que queda retenido en el Tamiz N° 4 y también es proveniente de la desintegración artificial o natural de las rocas. Se clasifica en piedra chancada, piedra triturada y en grava, (Pérez, 1995).

El agregado integral llamado también hormigón, es el material que está conformado por una combinación de arena y grava. (Rivva Lopez, 2000).

Sus funciones de los agregados en el concreto son tres: facilitar un relleno conveniente a la pasta, bajando el contenido de ésta por unidad de volumen , por lo tanto, bajando el precio de la unidad cúbica de concreto; facilitar una masa de partículas que pueda repeler las acciones mecánicas, de desgaste, o de intemperismo, que pueda ser manejable el concreto; y, disminuir los cambios de volumen resultado del desarrollo del endurecimiento y fraguado, de secado e hidratación; o de calentamiento de la mezcla llamado pasta, (Aguilar, y otros, 2006).

El cemento portland es un excelente material cementante, y es el resultado obtenido por la pulverización del Clinker portland con la adición de sulfato de calcio. Se puede admitir y adherir otros productos siempre y cuando no excedan el 1 % en su peso total y que la Norma correspondiente vea que su inclusión no afecte a las características del cemento resultante. Los productos que son adheridos no deberán ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. El cemento portland normal deberá cumplir con los requisitos indicados en la Norma ASTM C 150 para los Tipos I, II, y V, los cuales están fabricados en Perú. Alternativo a eso podrán emplearse los requisitos de las Normas NTP para cementos, (Polanco Madrazo, 2019).

Su fabricación del cemento portland se realiza esquemáticamente así: La materia prima, material arcilloso y material caliza, se muele, mezcla y tritura hasta que se

haga un polvo fino, (ASOCEM, 2016). El procedimiento de la mezcla y triturado pueden hacerse en húmedo o seco. El polvo fino pasa por un horno rotatorio donde es calentado con lentitud hasta el punto de clinkerización. Iniciando la etapa del proceso de calentamiento el anhídrido carbónico y el agua son suspendidos al aproximar la mezcla a las regiones más caluroso del horno se realizan las reacciones químicas entre los compuestos de la mezcla cruda durante estas respuestas se estructura nuevas composiciones, pocos de los cuales consiguen el punto de fusión, (Sanjuán Barbudo, y otros, 2014). El beneficio resultante, Clinker, cae a uno de los tantos tipos de enfriadores, o se deja refrescar a la intemperie lo cual se mezcla con un porcentaje establecido de yeso y en conjunto se tritura hasta ya convertirlo en un polvo muy fino al que ya conocemos como cemento portland, (ANTER, 2006).

Una opción al cemento portland como materia cementante para el concreto, es el uso de polímeros, componentes obtenidos de la activación de materia minerales de origen natural. También podemos definir como una nueva clase de compuestos conformado por aluminosilicatos álcali-activados que están compuestos bajo una reacción geo sintética que está hecha a bajas temperaturas, (Diaz Suarez, 2018). Los geos polímeros han avivado la utilidad a la sociedad científica y a la población en general, pues como resultado nos dan unas excelentes propiedades como la resistencia mecánica, química y térmica, y teniendo variedades de propiedades potenciales. Estas características se basan básicamente a la estructura de cada material, que éstas pueden acoplarse a diferentes aplicaciones, por lo que la geo polimerización se verá afectada por características la composición mineralógica, relación sílice/alúmina, concentración de álcalis, morfología del reactivo, superficie específica, y otras más. (Hermoza Gutiérrez, 2019)

Los geopolímeros como ya mencionamos se conforma por la activación alcalina de componentes, el cual consiste en un proceso que, a concentraciones altamente alcalinas y pocos periodos de curado, nos permite obtener resultados con un buen comportamiento cementante, (Gonzales Cuervo, y otros, 2012). Los activadores alcalinos son aquellos que tienen como función acelerar la solubilización de la

fuentes de aluminosilicato, así también contribuye en la formación de hidratos estables de baja solubilidad y promueve la conformación de una estructura sólida. Estos activantes se tratan de compuestos alcalinotérreos o alcalinos, entre ellos: sales de ácido fuerte (Na_2SO_4 , $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) hidróxidos (ROH , $\text{R}(\text{OH})_2$), sales de ácido débil (R_2CO_3 , R_2S , RF y sales silícicas del tipo $\text{R}_2\text{O}(n) \text{SiO}_2$ donde R es un ion alcalino del tipo sodio (Na), potasio (K) o litio (Li). Tenemos en cuenta que los activadores más empleados son silicatos, el NaOH o KOH, carbonatos (Álvaro, 2016).

En la investigación por reemplazar el cemento portland por geopolímeros de manera progresiva, nos ha dado como una respuesta llamándolo cementos híbridos que son los materiales conglomerantes que brota de la simbiosis de los conocimientos de los cementos alcalinos+ cemento Portland, Esto nos permite preparar cementos con moderadas proporciones en Clinker (30-20%) y altos contenidos de agregaciones minerales, sin que ello afecte en el desarrollo resistente-mecánico a edades iniciales y en el tiempo que se debe fraguar, y también gracias al empleo de un activador alcalino. Los cementos híbridos están presentes como una alternativa tecnológicamente viable a la industria cementera tradicional (que está basada exclusivamente en el cemento Portland) y por lo tanto está siendo objeto de bastante crecimiento e interés a nivel mundial. Esta tecnología es muy nueva y, aunque todavía está en fase de optimización y desarrollo, ya existen investigaciones las cuales han demostrado resistencia mecánica comparable a la de los cementos Portland de uso habitual (Rendón Belmonte, y otros, 2015).

Las microestructura y propiedades de los geopolímeros, están muy asociadas a la naturaleza de los materiales de salida e incluso las propiedades macroscópicas de los geopolímeros basados en aluminio-silicato sean similares, ya que presentan la misma fase de gel y unión Si-Al. Dicho dominio de los materiales de partida en la igualdad de la microestructura de los geopolímeros ha podido ser demostrada mediante análisis microestructurales, hallándose además que puede alterar propiedades como la conductividad térmica, y la resistencia a la compresión

(Palomo, y otros, 1992). Ésta última es primordial si tenemos en cuenta que es ampliamente empleada como herramienta para evaluar la cima al éxito de la geopolimerización, y que es un indicio de la utilidad de los materiales en los diferentes tipos en la industria de la construcción. La temperatura que se exige para el proceso de geopolimerización es de alrededor de 25 a 80°C, mientras tanto la presión no es tan importante, aunque a veces podemos requerir, especialmente en aquellos casos en donde la porosidad del producto final debería ser más baja de lo normal. En oportunidades y según sea las condiciones del ésta, la integridad estructural y la fuerza se evoluciona en un periodo muy corto de tiempo (6 minutos), sin embargo, por lo general el 70% de la resistencia a la compresión final que se desarrolla ocurre en un tiempo de 4 horas de fraguado (Davidovits, J., 1994). De este modo, la resistencia a la compresión final a 28 días puede llegar a alcanzar entre 70 y 100 MPa (Hermeza Gutiérrez, 2019).

III.- METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación:

Tipo de investigación.

El tipo de investigación es aplicada; ya que se buscó la creación de conocimientos con la aplicación directa al dilema de la sociedad. Esta se basó en los hallazgos científicos de la investigación primordial al ocuparse de la serie entre la teoría y el producto (Lozada, 2014).

La investigación aplicada también se conoce como investigación- acción en la cual se desarrolla técnicas que adoptan un procedimiento sistemático y científico para llevar a cabo el estudio (Godoy Rodríguez, 2018).

Diseño De Investigación.

El diseño de investigación es experimental se relaciona a un estudio en el que se maneja intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para observar las consecuencias que el manejo tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes), adentro de una posición de control para el indagador (Hernández, y otros, 2014).

GE: XO1

Donde:

GE: Grupo experimental

X: variable independiente

O1: observación de la variable dependiente

Enfoque de Investigación.

Tienen enfoque cuantitativo porque utiliza recolección de datos para ensayar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico para ordenar patrones de comportamiento. Orientar por el contexto, la etapa de los recursos de que dispone sus objetivos y el problema de estudio (Hernández, y otros, 2014).

Variables y Operacionalización:

Variable cuantitativa I.

Concreto hidráulico

Definición conceptual

El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente (Rivva Lopez, 2000).

Definición operacional

El concreto hidráulico es una mezcla usada en construcción cuyas concentraciones y naturaleza de sus componentes influyen en las propiedades físicas y mecánicas del producto final usado en obras de construcción.

Variable cuantitativa II.

Sustancias aluminosilicatos

Definición conceptual

Un aluminosilicato es un mineral que contiene óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de silicio (SiO_2), procede de arcillas y rocas de origen natural, de residuos industriales incinerados, productos cerámicos reciclados; comúnmente son llamadas cenizas como las cenizas volcánicas, el metacaolín o cenizas de origen orgánico (Torres-Carrasco, y otros, 2017).

Definición operacional

Una sustancia aluminosilicato es el material base del geopolímero, las propiedades del geopolímero dependen de los componentes de la sustancia aluminosilicato en proporción de sus componentes, sustancias adicionales, así como el tipo de activación alcalina realizada. El efecto del aluminosilicato depende de la concentración en la mezcla del concreto preparado (Álvaro, 2016).

3.2. Población, muestra, muestreo, unidad de análisis:

Población:

Está constituida por todo el concreto que se utiliza en pavimentos urbanos al que se han agregado adiciones.

Muestra:

Lo constituyen probetas en números de 3 por cada evaluación realizada, y según el diseño experimental el número total de probetas es 36. La distribución de las repeticiones según los días de evaluación y el diseño experimental se muestra en la siguiente tabla

Tabla 1 *Diseño del experimento según tratamientos y repeticiones evaluadas*

Nº	Tratamientos	Códigos	Repeticiones evaluaciones (días, Nº probetas)			
			7	14	28	Total
1	Concreto simple, testigo.	T0	3	3	3	9
2	Concreto simple + 5% de AS	T1	3	3	3	9
3	Concreto simple + 10% AS	T2	3	3	3	9
4	Concreto simple + 20% AS	T3	3	3	3	9

Nota:

Concreto simple: concreto formulado sin adiciones según diseño de mezcla.

AS: sustancia aluminosilicatos activada con hidróxido de sodio (NaOH), expresada en porcentaje de la cantidad de cemento utilizado.

Muestreo:

El muestreo realizado es no probabilístico y por muestra homogénea, el número de probetas está determinado según lo recomendado en la norma E-060 del RNE.

Unidad de análisis:

Lo constituyó la probeta estándar de concreto, la cual es una probeta cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

La técnica que se empleó en la presente tesis fue la observación con participante, donde los investigadores observaron todo el proceso experimental de manera directa e indirecta.

El instrumento estuvo constituido por formatos de guía de observación, en los cuales se registraron los datos obtenidos de la observación en laboratorio; los formatos usados como guía de observación se adjunta en el presente informe. Las guías de observación fueron el formato de registro de análisis granulométrico de agregados según NTP 400.012 – 2001, el formato de registro de peso específico y absorción de agregados según NTP 400 021 – 2002 y NTP 400 022 – 2002, el formato de análisis de contenido de humedad de agregados según NPT 339.185 – 2002, el formato de peso unitario de agregados según NTP 400.017 – 1999, el formato de resistencia de abrasión de agregados según NPT 400.019 – 2002; y, el formato de durabilidad al sulfato de sodio de agregados según norma MTC E 209-1999.

Tabla 2 Técnica e instrumento de recolección de datos utilizados

Técnica	Instrumento
Observación	Ficha de observación según formato de la norma técnica correspondiente

3.4. Procedimientos:

Para la ejecución de la investigación se tomó en cuenta los siguientes pasos.

Primero: se realizó el análisis en el laboratorio y de los agregados gruesos y finos para realizar el diseño de mezclas para una resistencia $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Segundo: Se calculó los requerimientos de las adiciones aluminosilicatos según los tratamientos planteados.

Tercero: se realizó la preparación de las mezclas, el análisis de Slump o asentamiento y la elaboración de las probetas según el diseño experimental planteado.

Cuarto: se procedió a realizar el curado en laboratorio de las probetas durante el tiempo de 7, 14 y 28 días según sea necesario de acuerdo a lo establecido en la fase de evaluación de resistencia.

Quinto: se realizó el análisis de la resistencia mecánica a la compresión de las probetas en laboratorio, evaluando tres probetas por tratamiento al séptimo día, 3 probetas por tratamiento a los 14 días y 3 probetas por tratamiento a los 28 días; los resultados se registraron en las guías de observación correspondiente.

Sexto: todos los resultados obtenidos de las observaciones realizadas se tabularon y sistematizaron en una hoja de cálculo adecuadamente para su posterior tratamiento.

3.5. Método de análisis de datos:

Los datos tabulados fueron analizados tomando en cuenta la estadística descriptiva para calcular promedios y dispersión, así como para elaborar tablas y gráficos estadísticos que muestren de manera adecuada los resultados. Al tratarse de una investigación experimental, para los resultados de resistencia mecánica a la compresión, se aplicó un análisis de varianza (ANoVA) para determinar si la diferencia obtenida es estadísticamente aceptable; al mismo tiempo con el objetivo de determinar cuál es el mejor tratamiento desde el punto de vista estadístico se

realizó una prueba de significación de Tukey; para realizar estos análisis se utilizó el software estadístico InfoStat V2020 año 2020.

3.6. Aspectos éticos:

En los aspectos éticos, se tomó en cuenta los principios éticos establecidos en el Código de Ética de la Universidad Cesar Vallejo, los mismos que toman en cuenta el código de ética de IEEE, Advancing Technology for Humanity, así como el código de ética de la Association of Computing Machinery, ACM. Los principios éticos a tomar en cuenta son:

Respeto por las personas, su integridad y autonomía.

Búsqueda del bienestar y conservación del medio ambiente.

Justicia, con un trato igualitario a los investigadores, sin exclusión.

Honestidad, en la divulgación de la información científica, respeto a los derechos y la propiedad intelectual de otros autores, evitar el plagio.

Rigor científico, al seguir escrupulosamente la metodología planteada, un análisis minucioso y científico de los resultados antes de su publicación.

IV.- RESULTADOS

4.1 Diseño de mezclas con sustancias aluminosilicatos

4.1.1 Análisis de los agregados utilizados

Los resultados del análisis de agregados se muestran en las siguientes tablas y figuras, tanto para el agregado grueso como para el agregado fino.

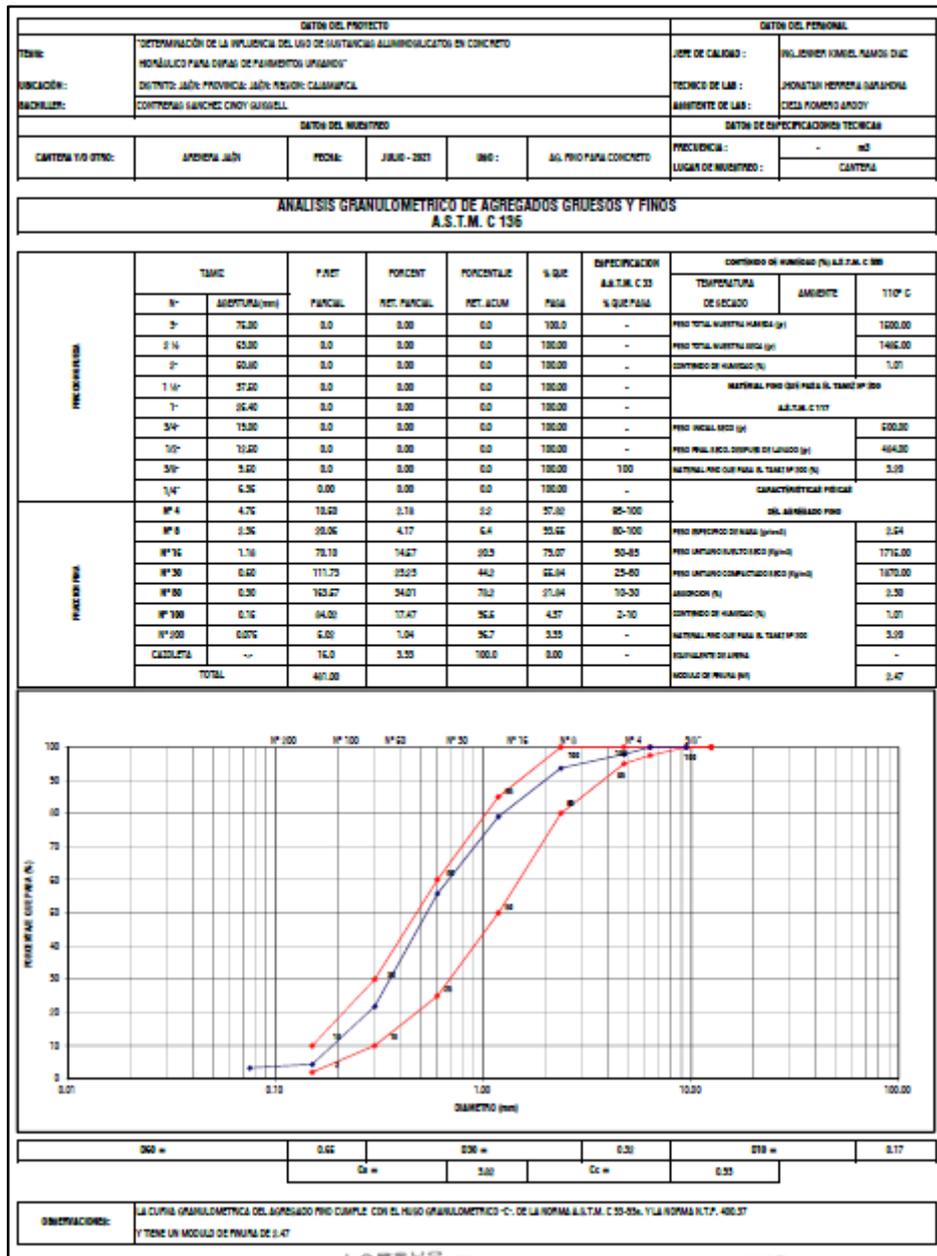


Figura 1 Análisis granulométrico del agregado fino

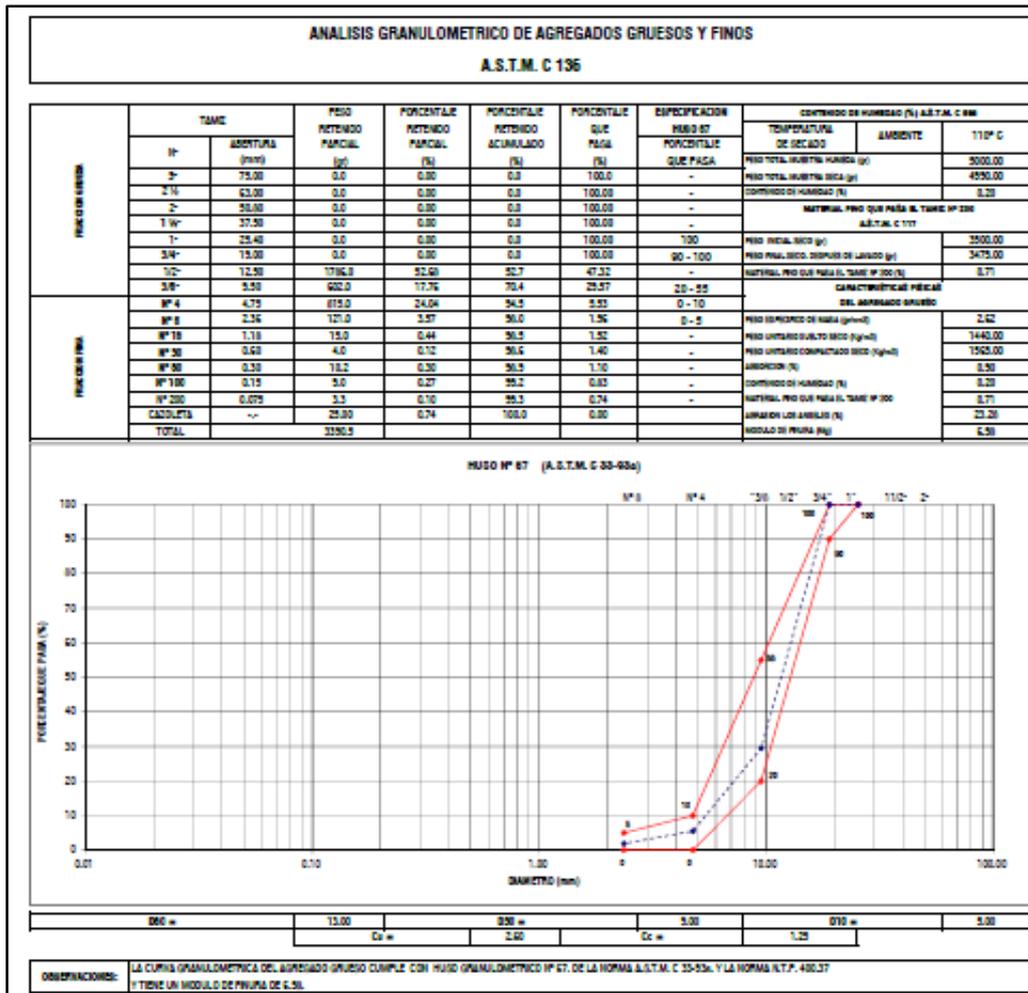


Figura 2 Análisis granulométrico del agregado grueso

Tabla 3 Resultados de Análisis de agregados fino para la elaboración de concreto

Nº	Ensayo realizado	Resultado	Unidad
01	Módulo de finura	2.47	
02	Contenido de humedad	1.01	%
03	Peso específico de masa	2.54	g.cm ⁻³
04	Peso unitario suelto seco	1715	Kg.m ⁻³
05	Peso unitario compactado seco	1870	Kg.m ⁻³
06	Absorción	2.30	%

Fuente: resultado de análisis de agregados laboratorio LABSUC, 2021

Tabla 4 Resultado de análisis de agregado grueso para la elaboración de concreto

Nº	Ensayo realizado	Resultado	Unidad
01	Tamaño máximo nominal	½	Pulgada
02	Módulo de finura	6.58	
03	Contenido de humedad	0.20	%
04	Peso específico de masa	2.62	g.cm ⁻³
05	Peso unitario suelto seco	1440	Kg.m ⁻³
06	Peso unitario compactado seco	1565	Kg.m ⁻³
07	Absorción	0.90	%
08	Abrasión los ángeles	23.28	%

Fuente: resultado de análisis de agregados laboratorio LABSUC, 2021

4.1.2 Diseño de mezclas de los tratamientos

El diseño de mezcla se realizó en laboratorio, en base a un metro cubico de concreto, tomando en cuenta este requerimiento de componente de concreto por metro cubico se calculó el requerimiento para el volumen que se va a necesitar para construir 9 probetas por tratamiento y para realizar tres pruebas de Slump, lo cual arrojó un volumen de 0.069 metros cúbicos. A continuación, se detalla los requerimientos del diseño de mezcla del testigo y de los tratamientos propuestos utilizados para la preparación de las probetas y Slump.

a. Diseño de mezcla para el testigo

Tabla 5 Diseño de mezcla para el testigo

Componente	Peso (kg)
Cemento	26.19
Agregado fino seco	58.37
Agregado grueso seco	59.06
Agua de mezcla	13.37

b. Diseño de mezcla para el tratamiento T1

Tabla 6 Diseño de mezcla para el tratamiento T1

Componente	Peso (kg)
Cemento	26.19
Agregado fino seco	57.06
Agregado grueso seco	59.06
Agua de mezcla	13.37
Sustancia aluminosilicato	1.31

c. Diseño de mezcla para el tratamiento T2

Tabla 7 Diseño de mezcla para el tratamiento T2

Componente	Peso (kg)
Cemento	26.19
Agregado fino seco	55.76
Agregado grueso seco	59.06
Agua de mezcla	13.37
Sustancia aluminosilicato	2.62

d. Diseño de mezcla para el tratamiento T3

Tabla 8 Diseño de mezcla para el tratamiento T3

Componente	Peso (kg)
Cemento	26.19
Agregado fino seco	53.14
Agregado grueso seco	59.06
Agua de mezcla	13.37
Sustancia aluminosilicato	5.24

En la tabla 05, se puede visualizar la formulación del diseño de mezclas para el testigo, en el cual no se considera la adición de ninguna sustancia. A esta formulación se le denominó como testigo.

En las tablas 06, 07 y 08; se visualiza las formulaciones del diseño de mezclas para los tratamientos T1, T2 y T3 respectivamente; en estas tablas puede verse la adición de las sustancias aluminosilicato en los porcentajes establecidos de 5 %,

10 % y 20 % respectivamente con respecto al peso del cemento. Para este ensayo se consideró mantener la concentración del cemento igual, y se compensó el peso de las sustancias aluminosilicatos con el agregado fino.

El diseño de mezcla del testigo y por consiguiente el diseño de mezclas de los tratamientos se realizó en función al estudio de agregados realizados por el laboratorio, para una resistencia $f'c = 210 \text{ Kg.cm}^{-2}$, y un Slump de 1" a 3", diseño de mezclas que se utiliza para los pavimentos urbanos.

4.2 Propiedades físicas y mecánicas del concreto

4.2.1 Propiedades físicas

- **Asentamiento o Slump**

Tabla 9 Slump de los diferentes tratamientos

REPETICIONES	Slump (")			
	T0	T1	T2	T3
1	2.00	1.50	1.75	1.25
2	1.50	1.25	1.50	1.25
3	1.25	1.25	1.50	1.25
PROMEDIO	1.50	1.25	1.50	1.25

Fuente: Elaboración propia

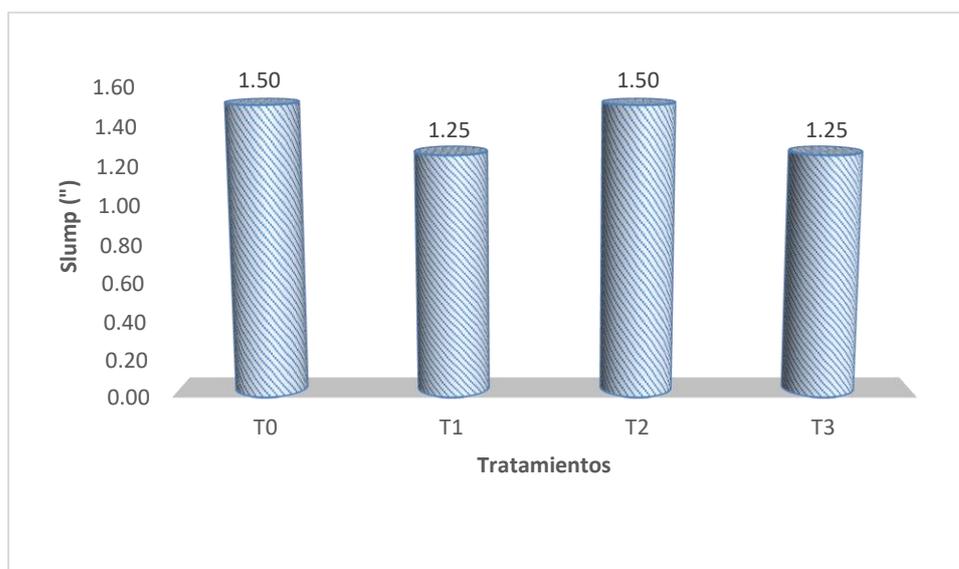


Figura 3 Slump de los diferentes tratamientos

En la tabla 09 y figura 03 se ve que los resultados para el Slump o asentamiento son muy similares para todos los tratamientos y las variaciones entre ellos solo es de $\frac{1}{4}$ ", lo cual nos daría a entender que la adición de sustancias aluminosilicatos no afecta a la trabajabilidad del concreto, ya que mantiene un Slump muy parecido. Además, la cantidad de agua para todas las formulaciones de mezcla han sido la misma.

Cabe resaltar que las adiciones de sustancias aluminosilicatos se han realizado en forma de polvo muy fino, lo que justifica una disminución del Slump, pero esta influencia no ha sido muy marcada.

También hay que remarcar que todos los resultados obtenidos se encuentran dentro del parámetro establecido en el diseño de mezclas que fue de 1" hasta 3".

- **Peso específico en estado fresco**

Tabla 10 Peso específico en estado fresco

Repeticiones	Peso específico en estado fresco (Kg/m ³)			
	T0	T1	T2	T3
1	2301.26	2301.26	2338.98	2320.12
2	2263.53	2244.67	2282.39	2395.57
3	2338.98	2338.98	2376.71	2376.71
4	2338.98	2338.98	2357.85	2376.71
5	2301.26	2338.98	2338.98	2357.85
PROMEDIO	2308.80	2312.57	2338.98	2365.39

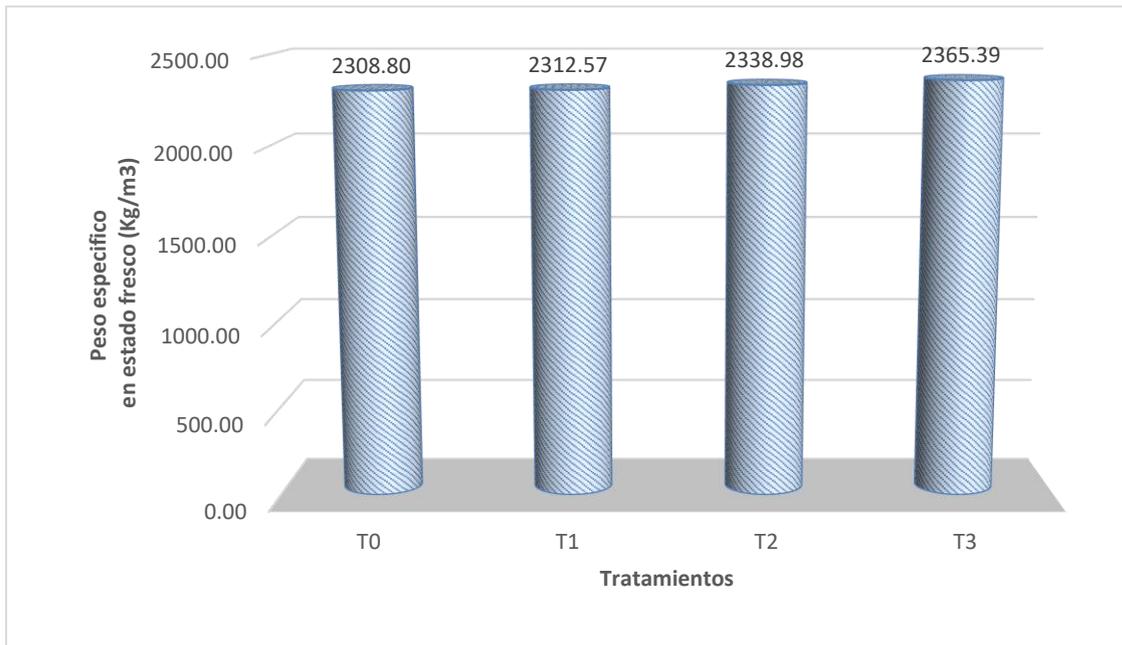


Figura 4 Peso específico en estado fresco

El peso específico del concreto fresco se incrementa ligeramente conforme se va aumentando la dosificación de la sustancia aluminosilicato, como se muestra en la tabla 10 y figura 04. Si bien la diferencia entre el incremento no es muy alta, si guarda una relación directa con la dosificación de la sustancia aluminosilicato, con esto se podría decir que las sustancias aluminosilicato incrementan el peso específico del concreto hasta en un 2.50 %, como se puede ver en los resultados comparando el peso específico del tratamiento T3 2365 Kg.m⁻³, con el peso específico del tratamiento T0 o testigo 2308 Kg.m⁻³.

Este incremento del peso específico en el concreto fresco se vio reflejado en el concreto final y sobre todo en la resistencia del concreto endurecido, ya que a mayor peso específico mayor va a ser la resistencia del concreto. Como se dijo en el ítem anterior, las sustancias aluminosilicatos se adicionaron en estado de polvo muy fino antes de su activación, tiene una granulometría más parecida al cemento que al agregado fino, y como es sabido a menor tamaño de partícula, la densidad es mayor de la sustancia, ya que el cemento portland tiene un peso específico de 3150 Kg.m⁻³.

4.2.2 Propiedades mecánicas

4.2.2.1 Resistencia a la compresión.

a) Evolución de la resistencia a los 7, 14 y 28 días de los tratamientos

Tabla 11 Resistencia de concreto a los 7,14 y 28 días de los tratamientos

N°	Tratamientos	Resistencia a la compresión (Kg.cm ⁻²)		
		7 días	14 días	28 días
1	T0	168.98	195.38	232.45
2	T1	158.90	201.53	240.31
3	T2	166.43	225.24	274.55
4	T3	249.30	312.79	374.00

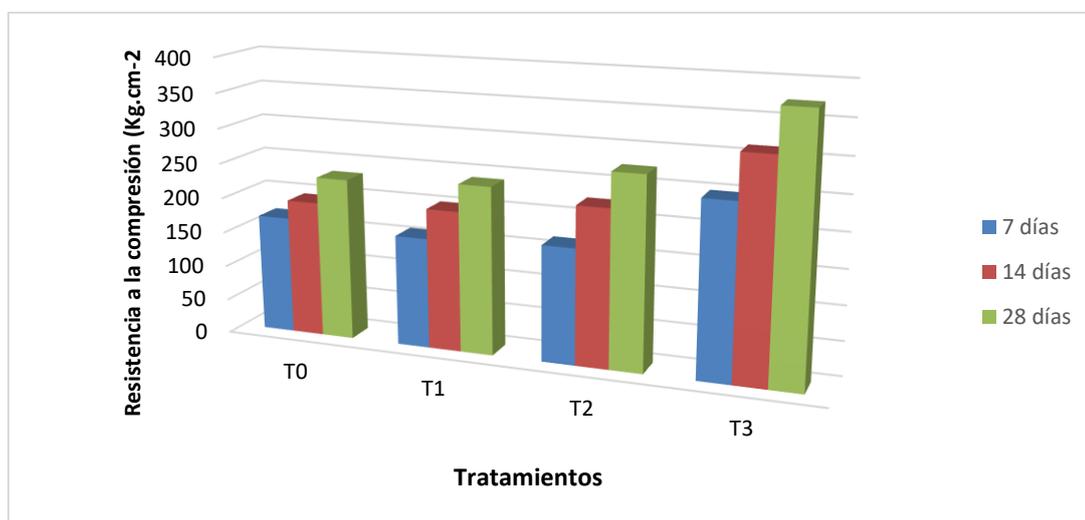


Figura 5 Resistencia del concreto a los 7,14 y 28 días de los tratamientos evaluados

Los valores de resistencia han evolucionado de manera incremental para todos los tratamientos, incluyendo al testigo. En la tabla 11 y figura 05 se puede corroborar eso. Hay que empezar indicando que todos los valores se encuentran dentro de los parámetros de resistencia establecidos por la norma ASTM C 39, es decir que a los 7 días deben alcanzar el 70 % de la resistencia de diseño que fue de $f'c = 210 \text{ Kg.cm}^{-2}$; por lo tanto a los siete días las probetas deben presentar una resistencia mínima de 147 Kg.cm^{-2} , a los 14 días según la misma norma debe tener una resistencia equivalente al 90% de la resistencia final, esto es 189 Kg.cm^{-2} y a los 28 días las probetas deben tener una resistencia mínima igual a la resistencia de

diseño. Como puede verse en los resultados mostrados en la tabla 11, todos los valores se encuentran por encima de los establecidos por la norma ASTM C 39, por lo tanto, se concluye que todas las probetas evaluadas de todos los tratamientos, cumplen con los requerimientos de resistencia según Norma Técnica.

En la gráfica mostrada en la figura 05, se ve que el tratamiento T3 es el que ha desarrollado mayor resistencia en todos los periodos de evaluación, e incluso la resistencia alcanzada a los 7 días es parecida a la resistencia alcanzada por el testigo a los 28 días. Esto indica claramente que la adición de las sustancias aluminosilicatos incrementan significativamente la resistencia desde los primeros días del endurecimiento del concreto, y se encuentran en relación directa con la dosis aplicada.

Cabe mencionar que en todos los tratamientos se ha mantenido constante la cantidad de agua y cemento, por lo que la relación agua/cemento no ha cambiado, por lo que el incremento de la resistencia se tiene que atribuir a las sustancias aluminosilicatos agregados a las diferentes dosis; este planteamiento se refuerza cuando se ve que el incremento de la resistencia es proporcional a la dosis y tiene una relación directa.

b) Resistencia a la comprensión a los 28 días de los tratamientos

Tabla 12: Resistencia del concreto a la comprensión a los 28 días de los tratamientos

Tabla 12 Resistencia del concreto a la comprensión a los 28 días de los tratamientos

Nº	Tratamientos	Resistencia a los 28 días (Kg.cm⁻²)
1	concreto simple, testigo	232
2	concreto simple + 5% AS	240
3	concreto simple + 10% AS	275
4	concreto simple + 20% AS	374

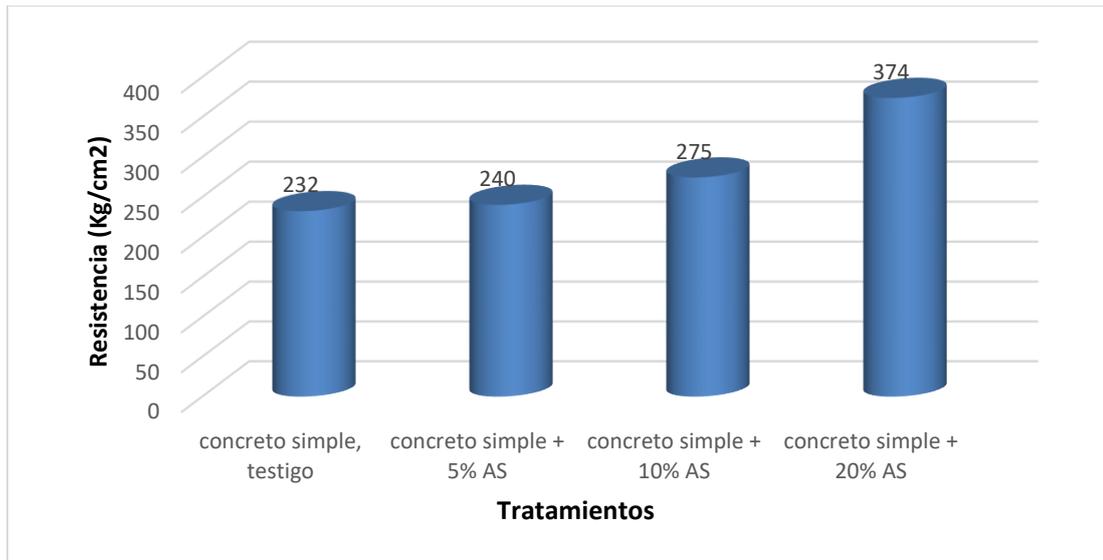


Figura 6 Resistencia del concreto a la compresión a los 28 días de los tratamientos

Tabla 13 ANOVA de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	38102.165	3	12700.72167	66.0653	0.00000549	4.066
Error	1537.96076	8	192.2450951			
Total	39640.1258	11				

$$\alpha = 0.05$$

Tabla 14. Prueba de TUKEY de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados

Tabla 14 Prueba de TUKEY de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Medias	nº	E.E.			
T3	374.00	3	8.00	A		
T2	274.56	3	8.00		B	
T1	240.31	3	8.00		B	C
T0	232.45	3	8.00			C

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=36.25297

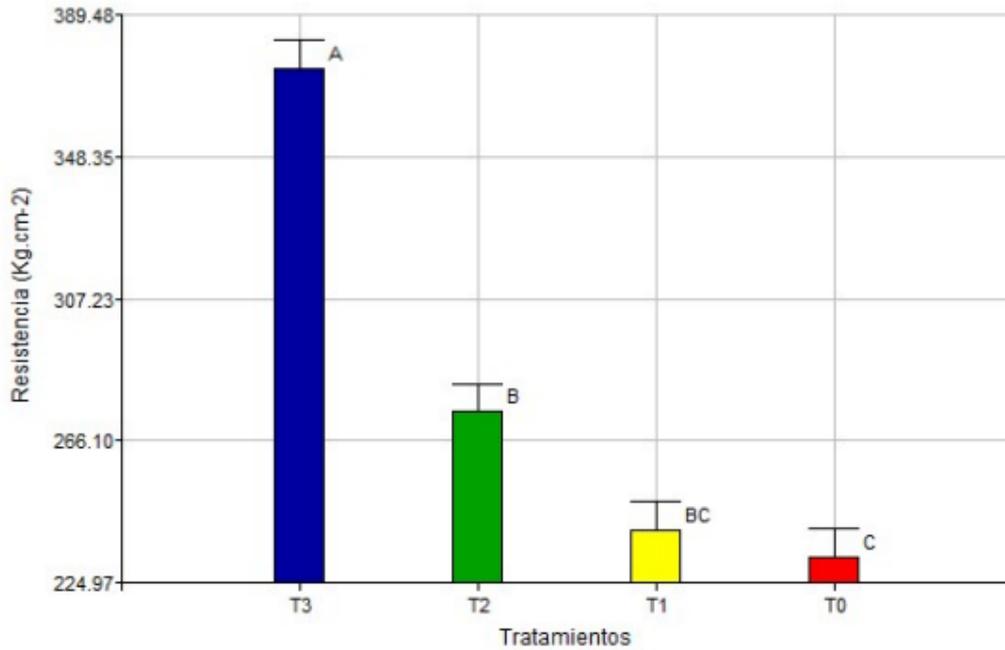


Figura 7 Prueba de TUKEY de la resistencia del concreto a los 28 días de los tratamientos evaluados

La resistencia final de las probetas de concreto que a su vez representa la resistencia de diseño resultó muy diferente al comparar los tratamientos evaluados. El testigo fue el que obtuvo la menor resistencia de 232.45 Kg.cm⁻², seguido por el tratamiento T1, donde se logró un ligero incremento alcanzando 240.31 Kg.cm⁻², y al que se le agregó solo 5% de la sustancia aluminosilicato; luego se encuentra el tratamiento T2 con una resistencia final de 274.56 Kg.cm⁻², donde se visualiza que el incremento ha sido mayor y es proporcional con la dosis de sustancia aluminosilicato adicionada que fue del 10%; finalmente el tratamiento T3 alcanzó una resistencia a la compresión final de 374 Kg.cm⁻², este valor produce un incremento también proporcional a la dosis que se agregó de la sustancia aluminosilicato que fue del 20 %.

Las dosis de sustancias aluminosilicatos adicionados a los tratamientos T2 y T3 generaron incrementos que superan de manera importante la resistencia frente al testigo, y esto permite proponer un ajuste en la dosificación del cemento, en especial el resultado obtenido del tratamiento T3.

Con el objetivo de determinar si las diferencias mostradas en la tabla y figura mencionada es significativa estadísticamente y establecer cuales son los

tratamientos que son los mejores, se realizó un análisis de varianza (ANoVA) y una prueba de significación de TUKEY, los resultados se muestran en las tablas 13 y 14 y en la figura 7; como podemos ver, el ANoVA indica que si hay diferencia significativa a un nivel de confianza del 95 %, esto quiere decir de que uno o más tratamientos son superiores estadísticamente frente a los demás. En la prueba de TUKEY, se ha podido demostrar que el mejor tratamiento es el T3, que es superior y diferente a todos los demás, seguido por el tratamiento T2 que le sigue en superioridad pero que no logra desligarse estadísticamente del tratamiento T1, por lo que no es recomendable su modificación de formulación para proponer una disminución de cemento en el diseño de mezclas. Los tratamientos T1 y T0 son similares estadísticamente y sería indistinto utilizar uno u otro de ellos.

Las pruebas estadísticas realizadas, validan la superioridad del tratamiento T3, es decir que sería recomendable usar dosis de 20 % de sustancias aluminosilicatos, ya que la resistencia se incrementa significativamente y permitiría realizar ajustes al diseño de mezclas con una disminución del cemento.

4.3 Influencia de las sustancias aluminosilicatos en el concreto

Tabla 15 Influencia porcentual en la resistencia del concreto de las sustancias aluminosilicatos según tratamientos

Nº	Tratamientos	Resistencia a los 28 días (Kg.cm ⁻²)	Incremento (%)
1	Resistencia de diseño - testigo	210	-----
2	concreto simple + 5% AS	240	14
3	concreto simple + 10% AS	275	31
4	concreto simple + 20% AS	374	78

En base a los resultados obtenidos, en la tabla 15 se ve un análisis teórico donde se calcula el incremento de la resistencia con respecto a la resistencia de diseño de las mezclas, que se realizó exclusivamente para el testigo. No se considera el resultado de resistencia del testigo, porque los resultados no representan la resistencia teórica, y su variación se pueda deber a distintos factores, que es mejor

anularlos, utilizando un valor teórico, esto también permite expresar los incrementos de la resistencia en términos porcentuales, los mismos que se pueden aplicar a otros diseños de mezcla con resistencias $f'c$ diferentes.

Comparando los resultados de resistencia obtenidos para los diferentes tratamientos, vemos que el tratamiento T1 genera un incremento de resistencia del 14 % con respecto a la resistencia de diseño. Este valor es relativamente bajo, ya que como se sabe, si bien la $f'c$ de diseño es 210 Kg.cm^{-2} , el diseño considera una **Fcr** mayor (295 Kg.cm^{-2} , para el caso que no existan valores de desviación estándar aceptable). Tomando en cuenta esto, el valor obtenido por el tratamiento T1 no supera el valor de la Fcr de diseño.

En cuanto a los resultados del tratamiento T2, al que se le agregó 10 % de la sustancia aluminosilicatos, la resistencia del concreto se incrementó en un 33 % con referencia a los resultados teóricos del testigo o resistencia de diseño. A pesar de haber duplicado el incremento de la resistencia del tratamiento T1, el resultado de la resistencia no supera al valor de Fcr de diseño.

El tratamiento T3 que es el que recibió una dosis del 20 % de la sustancia aluminosilicato, alcanzó el mayor incremento de la resistencia frente al testigo o resistencia de diseño, en total logró superar por un 78 % a la resistencia de diseño. El valor de resistencia obtenido de 374 Kg.cm^{-2} , es superior al valor de Fcr que fue de 295 Kg.cm^{-2} . En este caso cabe la posibilidad de realizar un ajuste a la dosificación del cemento en un nuevo diseño de mezclas, ya que la resistencia obtenida amerita un ajuste a la relación agua/cemento. Tomando en cuenta las tablas de relación agua/cemento y resistencia mecánica de la norma ACI, la relación agua/cemento para alcanzar 295 Kg.cm^{-2} , es 0.52, mientras que para alcanzar 374 Kg.cm^{-2} , es 0.42, por lo que tomando en cuenta este análisis, se podría incrementar la relación agua cemento hasta en 0.10.

De acuerdo a la formulación inicial del testigo y los demás tratamientos, la relación agua/cemento de diseño es de 0.51, al aumentarle 0.10, quedaría 0.61, que, según la tabla mencionada, la cantidad de cemento se reduciría en un 16 %, equivalente a 60 Kg, o 1.5 bolsas aproximadamente.

V.- DISCUSIÓN

Los resultados se muestran en las tablas 05, 06, 07 y 08, donde se muestran los requerimientos de los componentes del concreto en peso para los tratamientos T0, T1, T2 y T3 respectivamente. En estas tablas se indica el requerimiento de materiales para preparar concreto hidráulico para pavimentos urbanos, pero en cantidades necesarias para realizar la investigación, como se explica previamente. Se tomó como dosis de la sustancia aluminosilicato las concentraciones de 5 %, 10 % y 20 % con respecto al peso del cemento, esta dosificación con incremento geométrico se tomó en cuenta por ser la primera investigación de estas sustancias localmente, y de esta manera tener un amplio margen de estudio, aunque con escala muy separada una de otra. Utilizar dosificaciones con incrementos geométricos permitió explorar amplias posibilidades de dosificación, para luego de ser posible (en futuras investigaciones) afinar más la dosis según los resultados obtenidos. En investigaciones con sustancias geopoliméricas similares a los aluminosilicatos activados de forma alcalina, (Zuñiga Quenta, y otros, 2019), también utilizó una escala con incrementos geométricos de 4 % y 8 %, aunque los valores fueron menores; sin embargo (Pérez Manso, 2016) utilizó una sola dosis de 50 %, obteniendo resultados positivos, lo que nos indica que es posible aumentar la dosis máxima investigada del 20 %.

En la tabla 09 y figura 03 se muestra los resultados obtenidos de la variación del Slump de los tratamientos evaluados; se puede ver que el valor de esta propiedad física se mantiene casi constante con pequeñas variaciones, esto puede explicarse en función a que se mantiene constante la cantidad de agua utilizada para la mezcla del concreto de todos los tratamientos, y las sustancias aluminosilicatos adicionadas fueron descontadas de la cantidad de arena en iguales proporciones, por lo tanto es de esperar que las variaciones del Slump no sean significativas; sin embargo tomando en cuenta el tamaño de las partículas de las sustancias aluminosilicatos que son muy finas, en teoría deberían requerir mayor cantidad de agua para lograr el mismo asentamiento, posiblemente esta sea la razón por la que se genere una reducción del Slump en el tratamiento T3; pero esta variación es muy pequeña debido a la pequeña cantidad de sustancia utilizada. (Bazalar La Puerta, y otros, 2019), en su investigación donde utilizó restos de cerámicos

finamente molidos como adiciones de sustancias aluminosilicatos obtuvo que el concreto fabricado aumentaba la absorción, lo que hace que el Slump disminuya ligeramente debido al consumo de un porcentaje de agua. Similar resultado obtuvo (Hermeza Gutiérrez, 2019), donde obtuvo que al aumentar la absorción en hasta 12.96 % al usar geopolímeros, el asentamiento disminuyó, haciéndose la mezcla menos trabajable.

Con respecto al peso específico del concreto fresco la tabla 10 y figura 04 se muestra que su peso aumenta en pequeña proporción conforme se incrementa el valor de la dosis de sustancia aluminosilicato. Aunque este incremento es bajo, ya que el valor solo sube en casi 60 Kg por metro cúbico de concreto fabricado al comparar el testigo con el tratamiento T3, mantiene una relación directa casi lineal con el incremento de la sustancia aluminosilicato agregada. El incremento se debe al reemplazo de un porcentaje de arena por la correspondiente igual cantidad en peso de sustancia aluminosilicato, y al existir alta diferencia entre el tamaño promedio de las partículas de arena y las partículas de la sustancia adicionada, su peso específico también aumenta. La sustancia aluminosilicato utilizado como ya se mencionó en la metodología esta constituido por residuos de cerámicos, cenizas de origen orgánico y una fuente de calcita, los mismos que fueron finamente molidos hasta polvos que fácilmente pasan la malla N° 200, estos polvos fueron activados posteriormente de manera alcalina inmediatamente antes de su uso; como podemos ver, las sustancias adicionadas se parecen en su granulometría más al cemento que a la arena, por lo que su peso específico también se va a parecer más al cemento que al de la arena, y tomando como valor promedio que el peso específico del cemento es de 3150 Kg.m^{-3} , es lógico que estas sustancias tengan también peso específico cercanos a este valor aunque menores, lo que traerá como consecuencia que el peso específico del concreto se incremente conforme se incrementa la dosis del la sustancia aluminosilicato utilizada. (Bazalar La Puerta, y otros, 2019) en la investigación realizada obtuvo que la densidad del concreto no variaba significativamente con la adición de sustancias aluminosilicatos provenientes de cerámicos reciclados; sin embargo, con el uso de concreto reciclado la densidad disminuía en un pequeño porcentaje.

La resistencia del concreto endurecido fue la propiedad que tuvo mayor importancia en la evaluación, pues esta determina la calidad del concreto puesto en uso en las obras de pavimentos urbanos. Para evaluar la resistencia se hicieron dos análisis, uno de corte longitudinal donde se evaluó la evolución de la resistencia a través del tiempo y otro de corte transversal donde se evaluó la resistencia al final del periodo de endurecimiento teórico o 28 días.

En la tabla 11 y figura 05 se muestra los resultados de las evaluaciones de la evolución de la resistencia del concreto a edades de 7, 14 y 28 días para todos los tratamientos incluido el testigo. En primer lugar, se debe resaltar que todos los tratamientos, incluido el testigo cumplen con la curva de evolución establecido por la norma ASTM C 39, que establece que a los 7 días el concreto debe llegar al 70 % de su resistencia de diseño, a los 14 días debe llegar al 90 % de su resistencia de diseño y a los 28 días debe llegar a la resistencia de diseño; así pues, en los resultados que se muestran en la tabla 11 vemos que todos los tratamientos tienen valores superiores a lo exigido. Esto nos quiere decir que el diseño de mezclas si fue bien elaborado, y los resultados son confiables.

Al evaluar la resistencia de inicio en el día 7 y la resistencia de término en el día 28, vemos que el tratamiento T3 al que se le agregó 20 % de sustancia aluminosilicato tiene un valor de resistencia en el día 7 muy similar al valor de resistencia del testigo en el día 28, lo que quiere decir que alcanza una alta resistencia a temprana edad, cumpliendo con lo establecido por la norma a los 7 días, incluso antes teóricamente; esto es similar a lo que obtuvo (Rendón Belmonte, y otros, 2015), donde sus probetas de concreto enriquecidos con sustancias silicoaluminosas lograron una resistencia de 32.5 MPa (resistencia de diseño) solo a los 2 días, frente a los 28 días que lo alcanzó el testigo; parecido resultado obtuvo (Salirrosas Tanta, 2020), quien obtuvo una resistencia de 34.01 MPa a los 7 días. Este comportamiento no se ve en el tratamiento T1 y T2, cuyos valores de resistencia en el día 7 fueron muy similares a los obtenidos con el testigo. De este análisis se desprende que la dosis de 20 % es la más recomendable por lograr resultados significativamente mayores y similares a los obtenidos por otros investigadores que han estudiado la adición de sustancias ricas en silicio y aluminio.

En cuanto a la resistencia a los 28 días o resistencia final del concreto, en la tabla 12 y figura 6 se muestran los resultados, donde podemos visualizar la diferencia significativa lograda por el tratamiento T3, al que se le ha agregado 20 % de sustancia aluminosilicato; sin embargo podemos ver que los incrementos de la resistencia son crecientes conforme crece la dosis de la sustancia adicionada, y al mismo tiempo son casi proporcionales, ya que el tratamiento T2 incrementa casi al doble la diferencia de resistencias con respecto al T1 y T0, mientras que el tratamiento T3 incrementa casi al doble la diferencia de resistencias entre la T2 y T0. Este comportamiento geométrico de los incrementos hace que la resistencia alcanzada por el tratamiento T3 es muy superior al alcanzado por los otros tratamientos. El incremento de la resistencia se debe al comportamiento cementante que tienen las partículas activadas de las sustancias aluminosilicatos, quienes forman un gel inicial con las partículas más pequeñas conduciendo posteriormente a la solidificación en un complejo endurecido; esta acción aunque diferente en su reacción con el proceso de hidratación del concreto, tiene acción aditiva con la misma, lo que hace que el concreto obtenido sume las resistencias proporcionadas por la hidratación del cemento y la solidificación del geopolímero o sustancia aluminosilicato.

En la tabla 15 se ve los incrementos porcentuales que logra cada tratamiento, notándose que con respecto a la resistencia de diseño igual a $f'c$ 210 Kg.cm⁻², el tratamiento T1 alcanzó un 14 % de incremento, el tratamiento T2 alcanzó un 31 % de rendimiento y el tratamiento T3 alcanzó un 78 % de incremento. Los valores de esta tabla validan el incremento geométrico que tiene la resistencia en función a los resultados por cada tratamiento. Esta diferencia que existe fue también validada estadísticamente realizándose dos pruebas estadísticas, un análisis de varianza o ANOVA y una prueba de TUKEY, los resultados que se muestran en la tabla 13 y 14 respectivamente indican que a una confianza del 95 % existe diferencia significativa entre los tratamientos y que el tratamiento T3 es el mejor siendo su valor superior y no parecido estadísticamente a los resultados de los otros tratamientos.

La validación de los resultados mostrados en la tabla 15, y las pruebas estadísticas aplicadas fundamentan y sustentan la superioridad del tratamiento T3 y por lo tanto

el uso de la dosis de 20 % de sustancia aluminosilicato en función al peso del cemento en el mejoramiento de la calidad del concreto. Esta diferencia ya no se debe a supuestos o causas imprecisas, si no exclusivamente al efecto de la sustancia adicionada.

Como resultado concluyente, la dosis utilizada es similar o tiene un comportamiento similar al obtenido por (Pérez Manso, 2016), (Rendón Belmonte, y otros, 2015), (Zuñiga Quenta, y otros, 2019), (Merma Suni, y otros, 2015) y (Bazalar La Puerta, y otros, 2019), quienes lograron incrementar la resistencia del concreto o mortero fabricado utilizando sustancias geopoliméricas de tipo aluminosilicatos, estos incrementos fueron tanto en la magnitud como en el tiempo de desarrollo.

La investigación realizada logró validar la hipótesis planteada en cuanto a las propiedades físicas de peso específico y mecánica de resistencia a la compresión; mientras que la propiedad física de Slump o asentamiento se mantuvo prácticamente igual.

Al validar la hipótesis planteada, el problema de investigación ha sido parcial e inicialmente respondido, y genera nuevos caminos a seguir en la investigación como mejorar la reología de las partículas de las sustancias aluminosilicatos, probar otras fuentes de sustancias ricas en aluminio y silicio, afinar la dosis a una más eficiente, partiendo como base la dosis del 20 % de sustancia con respecto al peso del cemento. Es decir, la investigación realizada promueve que este tema se siga investigando por otros tesisistas u investigadores docentes, especialistas, entre otros, con el objetivo de alcanzar una nueva tecnología de mejoras en la fabricación del concreto hidráulico para pavimentos urbanos.

Desde el punto de vista social y ambiental los resultados son muy alentadores, porque van a permitir en un futuro cercano reemplazar un porcentaje de cemento por sustancias geopoliméricas del tipo aluminosilicatos fabricados con residuos de construcción como son los cerámicos (mayólicas, porcelanatos, losas, ladrillos industriales, tejas, etc.) y cenizas que se obtienen de la combustión de restos orgánicos de la agroindustria como la cascara de arroz, cáscara de café, cenizas volantes de los hornos de siderúrgicas, cenizas volcánicas de origen natural, piedra caliza entre otros. La ventaja de usar geopolímeros frente al cemento portland es su baja huella ambiental, ya que el cemento portland tiene una alta huella de

carbono, energético y de agua, mientras que los geopolímeros utilizan muy poca energía para su fabricación, y los reactivos que intervienen son relativamente baratos.

VI.- CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño de mezclas de concreto para pavimentos urbanos en función al análisis de los agregados y el requerimiento de resistencia $f'c$ 210 Kg.cm⁻². Para los tratamientos se agregó 5 %, 10 % y 20 % de sustancias aluminosilicatos en relación al peso del cemento utilizado.
- Dentro de las propiedades del concreto fresco se cuantificó el Slump, encontrándose que los valores son muy similares para todos los tratamientos entre 1.25 pulgadas y 1.50 pulgadas. En cuanto al peso específico del concreto fresco, este se incrementa ligeramente conforme se incrementa el porcentaje de sustancia aluminosilicato, siendo el tratamiento T3 el de mayor valor con 2365.39 Kg.m⁻³.
- La resistencia del concreto a la compresión se incrementa significativamente al usar sustancias aluminosilicatos, así tenemos que al agregar 5 % la resistencia a los 28 días fue de 240 Kg.cm⁻², al agregar 10 % la resistencia fue de 275 Kg.cm⁻² y al agregar 20 de aluminosilicatos, la resistencia subió hasta 374 Kg.cm⁻², siendo este último el mejor tratamiento.
- La influencia de las sustancias aluminosilicatos en la resistencia del concreto para pavimentos urbanos es que incrementa la resistencia de manera significativa, y en el caso de agregar 20 % de estas sustancias, el incremento de la resistencia llega hasta 78 %, lo que permite de ser el caso un reajuste a la cantidad de cemento utilizado.

VII.- RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda realizar el curado de las probetas durante tres días solamente para el caso del uso de las sustancias aluminosilicatos, porque estas almacenan mayor contenido de humedad, promoviendo la hidratación del cemento.
- 2) Realizar un reajuste en la cantidad del cemento en el diseño de mezclas, disminuyendo la cantidad, cuando se usa las sustancias de aluminosilicato al 20% ya que la resistencia a la compresión se eleva significativamente.
- 3) Realizar pruebas de campo del uso de sustancias de aluminosilicato en pavimentos urbanos ya que le confiere ventajas como una disminución de curado y un incremento de la resistencia mecánica y por ende una disminución en la cantidad de cemento utilizado

REFERENCIAS

Aguilar, Camila, León, Nicolás y Meléndez, Marcela. 2006. *El sector de materiales de construcción en Bogotá - Cundinamarca*. Primera. Bogotá : Fedesarrollo, 2006. pág. 167. ISBN: 958-33-9478-5.

Álvaro, Villamor Lora. 2016. *Geopolímeros sintetizados a partir de distintos materiales residuales. Activación alcalina de cenizas de cascarilla de arroz.* Sevilla : s.n., 2016.

ANTER. 2006. *Cemento.* Madrid : Asociación Nacional Técnica de Estabilización de Suelos y Reciclado de Firmes, 2006. pág. 16, Informe Técnico.

Arqhys. 2012. *arqhys.com/. arqhys.com/casas Web site.* [En línea] Septiembre de 2012. <http://www.arqhys.com/casas/concreto-simple-reforzado.html>.

ASOCEM. 2016. *Proceso de fabricación del cemento.* Lima : ASOCEM Equipo técnico, 2016. pág. 5, Ficha técnica.

Bazalar La Puerta, Luis Ricardo. y Cadenillas Calderon, Miguel Antonio Jesus. 2019. Propuesta de agregado reciclado para la elaboración de concreto estructural con $f'c=280\text{kg/cm}^2$ en estructuras aporricadas en la ciudad de Lima para reducir la contaminación ambiental. [En línea] 2019. <http://hdl.handle.net/10757/628103>.

CEMEX Concretos. 2017. *Manual del constructor.* Primera. México : Cemex Documentos, 2017. pág. 102. [772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4](https://doi.org/10.772d227d-d168-efc4-a2e3-86ba78c80cb4).

Davidovits, J. cements, Properties of geopolymers. 1994. 1, Kiev : Kiev State Technical University, 1994, First International Conference on Alkalline Cements and Concretes, Vol. 1, págs. 131-149.

d'Hainaut, Arcos. Algunos aspectos de los hormigones con aire incorporado. 1996. 286, Madrid España : Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Diciembre de 1996, Informes de la construcción, Vol. 29, pág. 5. [3462-2-10-20140903](https://doi.org/10.3462-2-10-20140903).

Diaz Suarez, Sergio Alejandro. 2018. *Desarrollo de un procedimiento para la elaboración de geopolímeros optimizados.* Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia : Repositorio de la UPTC, 2018. pág. 66, Tesis de Grado.

Godoy Rodríguez, Carlos. 2018. Tipos de Investigación. *Tesis de cero a 100.com*. [En línea] 2018. <https://tesisdeceroa100.com/conoce-todo-sobre-los-tipos-de-investigacion/>.

Gonzales Cuervo, Claudia Paulina, Montaña Angarita, Ángela Marcela y Castro Rodríguez, Diana Catali. 2012. Obtención y caracterización de geopolímeros sintetizados a partir de ceniza volante y piedra pómez, utilizado para el desarrollo y mejoramiento del concreto. Cali, Colombia : Redalyc. Org., Abril de 2012. 38, págs. 59-65. ISSN: 0121-0777.

Gonzales Cuevas, Oscar y Fernández-Villegas, Francisco. 2005. *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Cuarta. México : Limusa, 2005. pág. 802. ISBN 968-18-6446-8.

Gutiérrez de López, Libia. 2003. *El concreto y otros materiales para construcción*. [ed.] Roberto Arrasgo Bernal y Nelson Grand Vargas. Segunda. Manizales : Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, 2003. pág. 227. ISBN 958-9322-82-4.

Hermeza Gutiérrez, Marián Alicia. 2019. “ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO, FÍSICO Y MICROESTRUCTURAL DE MORTEROS GEOPOLIMÉRICOS OBTENIDOS A PARTIR DE CENIZA VOLCÁNICA Y MORTEROS DE CEMENTO PORTLAND DE USO TRADICIONAL”. Escuela de PosGrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. 2019. pág. 112, Tesis Magistral.

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. 2014. *Metodología de la Investigación*. México D.F. : McGraw-Hill/interamericanaeditores,S.A. de C.V., 2014. pág. 634.

Lozada, J. 2014. Investigación aplicada:Definición,Propiedad Intelectual e Industria. [En línea] 2014. <http://cienciamerica.uti.edu.ec/openjournal/index.php/uti/article/view/30>.

Merma Suni, Matilde y Churata Añasco, Rossibel Dileydi. 2015. *Obtención de geopolímeros a partir de relave minero de cobre con ceniza volante y metakaolin*.

Facultad de Ingeniería de Procesos, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Arequipa : Repositorio UNSAA, 2015. pág. 219, Tesis de Grado.

Municipalidad Provincial de Jaén. 1992. *Situación de los pavimentos urbanos en la ciudad de Jaén.* Jaén : Memoria anual MPJ, 1992.

Palma Bravo, Julio Cesar. 2020. *Types of concrete.* Faculty of Engineering, Universidad Técnica de Manabí. Porto Viejo Manabi : Researchgate.net, 2020. pág. 8, Artículo. 343826555.

Palomo y Glasser. 1992. Chemically-bonded cementitious materials based on metakaolin. London UK. : s.n., Julio de 1992. Vol. 91, págs. 107-112. ISSN : 0307-7357.

Pérez Manso, Lizabeth. 2016. *Evaluación de cementos de bajo carbono producidos localmente con sustitución del 50% de cemento P-35 por adiciones de polvo de cerámica roja y caliza.* Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Central Marta Abreu De Las Villas. Santa Clara : Repositorio de la UCMAdiv, 2016. pág. 88, Tesis de Pregrado.

Pérez, Antonio. 1995. Agregados para concreto: Propiedades y clasificación. *Agregados.* Primera. Madrid : Libros de Ingeniería, 1995, págs. 14-26.

Polanco Madrazo, Juan Antonio. 2019. *Cementos, morteros y hormigones.* Departamento de Ciencias e Ingeniería, del Terreno y Materiales, Universidad de Cantabria. Santander España : s.n., 2019. pág. 86, Separata.

Rendón Belmonte, Mariela, y otros. 2015. Desarrollo de nuevos cementos: "Cementos alcalinos y Cemento híbridos". [En línea] 2015. <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt444.pdf>. ISSN 0188-7297.

Rivva Lopez, Enrique. 2000. *Naturaleza y materiales del concreto.* Primera Edición. Lima : ACI Perú, 2000.

Salirrosas Tanta, Jorge. 2020. *Geopolímeros en la industria de la construcción: Aplicaciones con ceniza volante y puzolana natural.* Facultad de Ciencias e

Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima : Repositorio PUCP, 2020. pág. 75, Tesis de Grado.

Sanchez Mendez, Junio Emerson. 2016. *Concreto Bombeable*. Lima : Scribd.com, 2016. pág. 8, Artículo. 315121374.

Sanjuán Barbudo, Miguel Ángel y Chinchón Yepes, Servando. 2014. *Introducción a la fabricación y normalización del cemento portland*. Primera. Alicante : Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2014. pág. 181. ISBN: 978-84-9717-305-6.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. 2004. Materiales para estructuras. [aut. libro] Secretaría de Comunicaciones y Transportes. *Característica de los materiales*. N-CMT-2-02-005/04. México : Normas IMT México, 2004, 2, pág. 12.

Torres Serrano, Guiselle. 2012. *Concreto hidráulico: Usos y aplicaciones*. Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. Costa Rica : Repositorio de la UCR, 2012. pág. 227, Tesis de Pregrado.

Torres-Carrasco, M. y Puertas, F. 2017. La activación alcalina de diferentes aluminosilicatos como una alternativa al Cemento Portland: cementos activados alcalinamente o geopolímeros. [En línea] Agosto de 2017. <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v32n2/art01.pdf>. ISSN 0718-5073.

WEBBLY. 2018. TENOLOGADELCONCRETOWEBLLY. *TENOLOGADELCONCRETOWEBLLY Web site*. [En línea] 12 de 2018. <https://tecnologadelconcreto.weebly.com/concepto-de-concreto-hidraacuteulico.html>.

Zuñiga Quenta, Mariela Lizeth y Condori Chata, Yudith Verónica. 2019. *Influencia de adiciones de microsílíce en la resistencia a la compresión del concreto producido con agregados de la cantera de Arunta de la ciudad de Tacna*. Facultad de Ingeniería, Universidad Privada de Tacna. Tacna : Repositorio de la UPT, 2019. pág. 151, Tesis de Pregrado.

ANEXO 3: Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE 1	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
CONCRETO HIDRÁULICO	El concreto hidráulico es una combinación de cemento Portland, agregados pétreos, agua y en ocasiones aditivos, para formar una mezcla moldeable que al fraguar forma un elemento rígido y resistente (Rivva Lopez, 2000).	Es una mezcla usada en construcción cuyas concentraciones y naturaleza de sus componentes influyen en sus propiedades físicas y mecánicas del producto final usado en obras de construcción (Torres Serrano, 2012).	Asentamiento	Pulgadas	De razón
			Peso específico	Kg.cm ⁻³	
			Resistencia a la compresión	Kg.cm ⁻²	
VARIABLE 2	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
SUSTANCIAS ALUMINOSILICATOS	Un aluminosilicato es un mineral que contiene óxido de aluminio (Al ₂ O ₃) y óxido de silicio (SiO ₂), procede de arcillas y rocas de origen natural, de residuos industriales incinerados, productos cerámicos reciclados; comúnmente son llamadas cenizas como las cenizas volcánicas, el metacaolín o cenizas de origen orgánico (Torres-Carrasco, y otros, 2017).	Una sustancia aluminosilicato es el material base del geopolímero, las propiedades del geopolímero dependen de los componentes de la sustancia aluminosilicato en proporción de sus componentes, sustancias adicionales, así como el tipo de activación alcalina realizada. El efecto del aluminosilicato depende de la concentración en la mezcla del concreto preparado (Álvaro, 2016).	Concentración	Porcentaje	De razón

ANEXO 4: Panel fotográfico



Figura 8. Secado en estufa de agregados para su análisis



Figura 9. Selección de la muestra de agregado grueso para su análisis



Figura 9. Pesado de los materiales de acuerdo al diseño de mezcla.



Figura 10. Mezcla de los materiales para la preparación del concreto.



Figura 10. Agregando componente rico en aluminio activado en la mezcla de concreto



Figura 12. Agregando el componente rico en silicio activado a la mezcla de concreto.



Figura 13. Llenado del cono de Abrams para medir el Slump.



Figura 14. Medición del asentamiento del concreto (Slump).



Figura 15. Elaboración de las probetas para ensayos de resistencia mecánica.



Figura 16. Medición del diámetro de la probeta previas al ensayo mecánico de resistencia a la compresión.



Figura 17. Rupturas de probetas a los 28 días.



Figura 17. Rupturas de probetas a los 7 días.

ANEXO 5: Instrumento de recolección de datos

N°	Tratamientos	Repetición	Resistencia a la compresión (Kg.cm-2)		
			7 días	14 días	28 días
1	T0	1	179.88	204.58	225.42
		2	157.39	184.39	236.18
		3	169.68	197.18	235.75
		X	168.98	195.38	232.45
2	T1	1	165.34	208.21	237.61
		2	165.72	202.99	232.86
		3	145.65	193.39	250.47
		X	158.90	201.53	240.31
3	T2	1	170.59	227.67	293.67
		2	160.36	215.87	259.59
		3	168.35	232.18	270.41
		X	166.43	225.24	274.55
4	T3	1	243.46	314.88	373.01
		2	245.67	308.18	355.92
		3	258.78	315.31	393.06
		X	249.30	312.79	374.00

Figura 19. Datos generales de resultados del ensayo de resistencia a la compresión mecánica de las probetas.

RESUMEN

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
T0	3	697.344139	232.45	37.0863181
T1	3	720.938798	240.31	83.005782
T2	3	823.66201	274.55	303.231063
T3	3	1121.98789	374.00	345.657218

ANÁLISIS DE VARIANZA

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Tratamientos	38102.165	3	12700.72167	66.0653	0.00000549	4.066 ***
Error	1537.96076	8	192.2450951			
Total	39640.1258	11				

Figura 20. Análisis de varianza de los resultados de resistencia a la compresión.

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO
ASTM C 128**

TESIS : "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE SUSTANCIAS ALUMINOSILICATOS EN CONCRETO
HIDRÁULICO PARA OBRAS DE PAVIMENTOS URBANOS"
BACHILLER : DISTRITO: JAÉN; PROVINCIA: JAÉN; REGION: CAJAMARCA.
SOLICITANTE : CONTRERAS SANCHEZ CINDY GUISELL
CANTERA : ARENERA JAÉN
RESPONSABLE : ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
OPERADOR : JHONATAN HERRERA BARAHONA
FECHA : JULIO - 2021

ENSAYO Nº	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr) A	488.8	487.9	489.6	
PESO DEL PICNOMETRO LLENO DE AGUA (gr) B	1302.5	1304.2	1303.1	
PESO TOTAL DEL PICNOMETRO AFORADO CON MUESTRA Y LLENO DE AGUA (gr) C	1610.0	1611.5	1610.0	
PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (gr) S	500.0	500.0	500.0	
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm3) =	2.54	2.53	2.54	2.54
ABSORCION (%) =	2.29	2.48	2.12	2.30

OBSERVACIONES :

LABSUC
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
CIP. 218809
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
CIP. 218809

Figura 21. Peso unitario suelto del agregado fino

**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO
ASTM C 29**

TESIS : "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE SUSTANCIAS ALUMINOSILICATOS EN CONCRETO
HIDRÁULICO PARA OBRAS DE PAVIMENTOS URBANOS"
BACHILLER : DISTRITO: JAÉN; PROVINCIA: JAÉN; REGION: CAJAMARCA.
SOLICITANTE : CONTRERAS SANCHEZ CINDY GUISELL
CANTERA : ARENERA JAÉN
RESPONSABLE : ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
OPERADOR : JHONATAN HERRERA BARAHONA
FECHA : JULIO - 2021

ENSAYO Nº	1	2	3
Peso del recipiente (gr.)	4192.00	4192.00	4192.00
Peso del recipiente + material (gr.)	9434.00	9422.00	9431.00
Peso del material (gr.)	5242.00	5230.00	5239.00
Factor (f)	0.357	0.357	0.357
Peso Unitario Seco Compactado (Kg/m3)	1872	1868	1871
P. UNITARIO S. COMPACTADO PROMEDIO	1870		Kg/m³

OBSERVACIONES :

LABSUC
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
CIP. 218809
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS
ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
CIP. 218809

Figura 22. Peso unitario compacto del agregado fino

**GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO
ASTM C 127**

TESIS : "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE SUSTANCIAS ALUMINOSILICATOS EN CONCRETO HIDRÁULICO PARA OBRAS DE PAVIMENTOS URBANOS"
BACHILLER : DISTRITO: JAÉN; PROVINCIA: JAÉN; REGION: CAJAMARCA.
SOLICITANTE : CONTRERAS SANCHEZ CINDY GUISELL
CANTERA : ARENERA JAÉN
RESPONSABLE : ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
OPERADOR : JHONATAN HERRERA BARAHONA
FECHA : JULIO - 2021

ENSAYO N°	1	2	3	PROMEDIO
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (gr) A	5000.00	5000.00	5000.00	
PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (gr) B	5043.00	5045.00	5047.00	
PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA (gr) C	3138.00	3135.00	3135.00	
PESO ESPECIFICO DE MASA (gr/cm ³)	2.62	2.62	2.62	2.62
ABSORCION (%)	0.86	0.90	0.94	0.90

OBSERVACIONES :

Figura 23. Gravedad específica y absorción de agregado grueso


LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

**PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO
ASTM C 29**

TESIS : "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL USO DE SUSTANCIAS ALUMINOSILICATOS EN CONCRETO HIDRÁULICO PARA OBRAS DE PAVIMENTOS URBANOS"
BACHILLER : DISTRITO: JAÉN; PROVINCIA: JAÉN; REGION: CAJAMARCA.
SOLICITANTE : CONTRERAS SANCHEZ CINDY GUISELL
CANTERA : ARENERA JAÉN
RESPONSABLE : ING. JENNER KIMBEL RAMOS DIAZ
OPERADOR : JHONATAN HERRERA BARAHONA
FECHA : JULIO - 2021

ENSAYO N°	1	2	3
Peso del recipiente (gr.)	7790.00	7790.00	7790.00
Peso del recipiente + material (gr.)	22375.00	22315.00	22350.00
Peso del material (gr.)	14585.00	14525.00	14560.00
Factor (f)	0.1075	0.1075	0.1075
Peso Unitario Seo Compactado (Kg/m ³)	1568	1562	1566
P. UNITARIO S. COMPACTADO PROMEDIO =		1565	Kg/m ³

OBSERVACIONES :

Figura 24. Peso unitario compacto del agregado grueso

RESISTENCIA A LA DEGRADACION DEL AGREGADO GRUESO DE PEQUEÑO TAMAÑO POR ABRASION E IMPACTO EN LA MAQUINA LOS ANGELES
A.S.T.M. C 131

CANTERA		ARENERA JAÉN	
TAMIZ		GRADACION "B"	MUESTRA 01
PASA	RETENIDO	(g)	(g)
TAMIZ		GRADACION "B"	MUESTRA 01
PASA	RETENIDO	(g)	(g)
3/4"	1/2"	2500 ± 10	2555
1/2"	3/8"	2500 ± 10	2500
TOTAL (g)		5000 ± 10	5055
RETENIDO EN EL TAMIZ Nº 12			3870
PORCENTAJE DE DESGASTE (%)			23.28

OBSERVACIONES:	800 12	VUELTAS ESPERAS
----------------	-----------	--------------------


LABRUC
LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VALENCIA
TECNIC/A DE INGENIERIA DE MATERIALES


LABRUC
LABORATORIO DE MATERIALES Y CONCRETO
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE VALENCIA
C.I.P. 2188019

Figura 25. Resistencia a la degradación del agregado grueso de pequeño tamaño por abrasión e impacto en la maquina los ángeles