

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

(Creada por Ley N° 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL-HUANCAMELICA



TESIS

“INFLUENCIA DEL VIDRIO TRITURADO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE HUANCAMELICA - 2018”

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

INFRAESTRUCTURA VIAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

LOBATÓN ESTRADA, JOSÉ ALEJANDRO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

HUANCAMELICA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 10 días del mes de setiembre del año 2019, a horas 2:00 p.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (PRESIDENTE)**, **Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA (SECRETARIO)**, **Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 137-2018-FCI-UNH, de fecha 09 de octubre del 2018, así mismo los miembros de Jurados Evaluadores han sido reestructurados con Resolución de Decano N°132-2019-FCI-UNH, de fecha 31 de julio del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 161-2019-FCI-UNH de fecha 09 de setiembre del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "INFLUENCIA DEL VIDRIO TRITURADO EN LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO ESTRUCTURAL PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA-2018", presentado por el Bachiller **José Alejandro LOBATÓN ESTRADA**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **Ing. Carlos GASPAC PACO** como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas 3:00 p.m.; se invitó al público presente y al sustentante abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

En señal de conformidad, firmamos a continuación:



Presidente



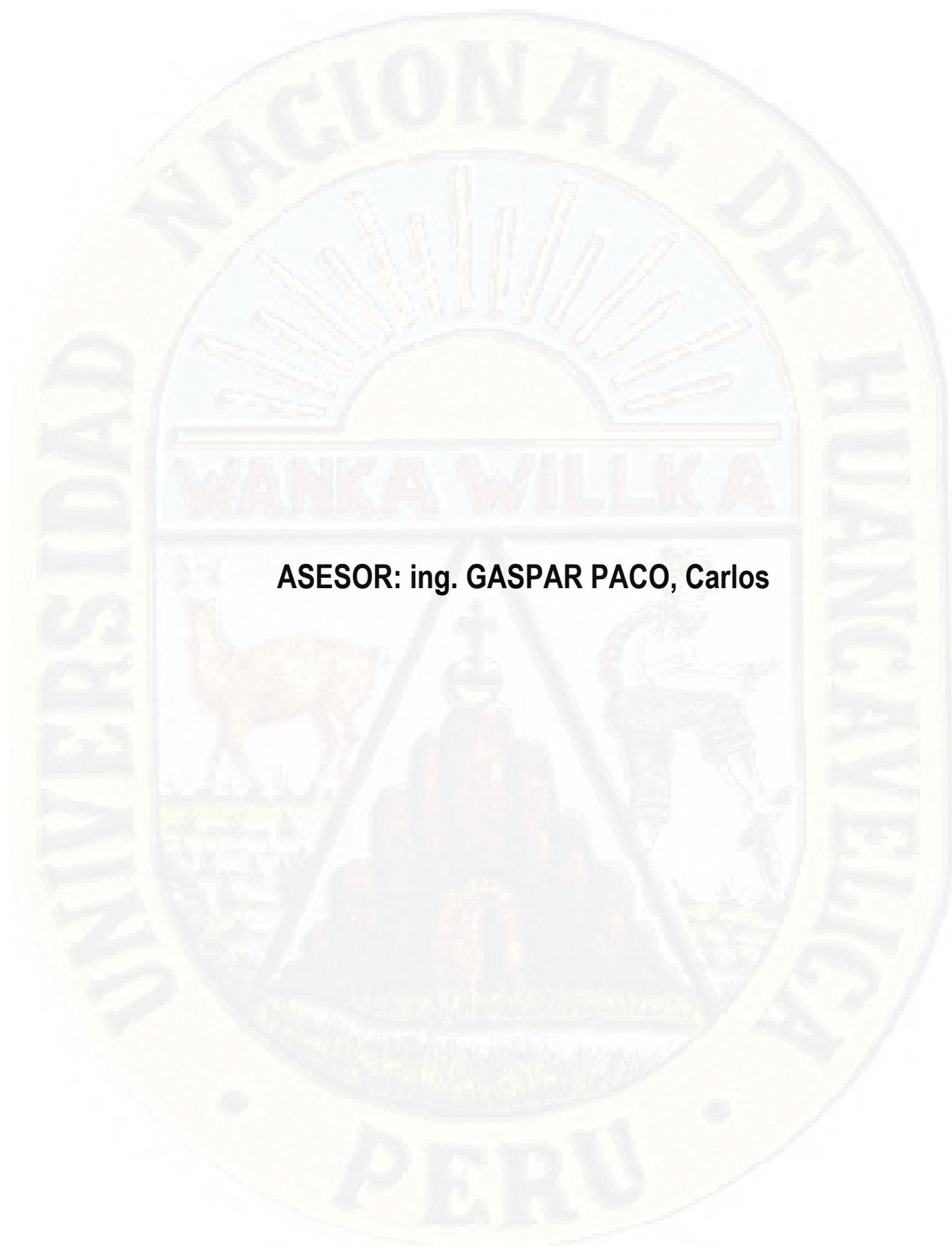
Secretario



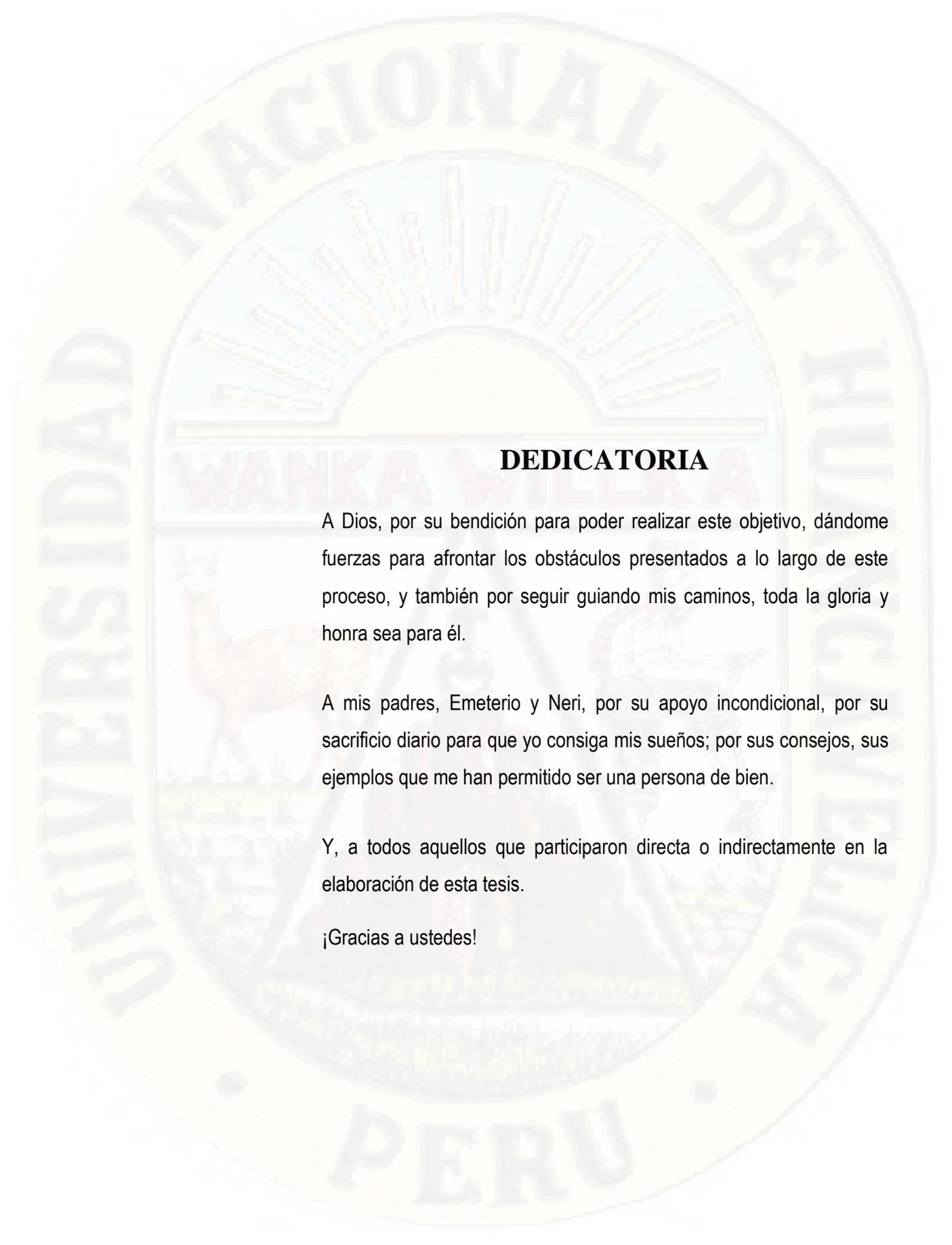
Vocal



Vº Bº Decano



ASESOR: ing. GASPAR PACO, Carlos



DEDICATORIA

A Dios, por su bendición para poder realizar este objetivo, dándome fuerzas para afrontar los obstáculos presentados a lo largo de este proceso, y también por seguir guiando mis caminos, toda la gloria y honra sea para él.

A mis padres, Emeterio y Neri, por su apoyo incondicional, por su sacrificio diario para que yo consiga mis sueños; por sus consejos, sus ejemplos que me han permitido ser una persona de bien.

Y, a todos aquellos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

¡Gracias a ustedes!

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por iluminar mi camino todos estos años hasta alcanzar mi objetivo, que sin su ayuda nada sería posible. A mis padres y familiares, de manera muy especial, por su apoyo siempre.

A la Universidad Nacional de Huancavelica, Escuela Profesional Ingeniería Civil – Huancavelica. Asimismo, a todos los docentes quienes me impartieron sus conocimientos durante mi vida universitaria; del mismo modo al asesor ing. Carlos Gaspar Paco y al técnico de laboratorio Alfredo Mendoza Soto.

A mis compañeros y amigos, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas. A todas las personas que estuvieron a mi lado cuando necesité de su apoyo. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A todos antes mencionadas mi especial agradecimiento y gratitud eterna, porque sin ellas no hubiera sido posible la ejecución y la conclusión del presente trabajo de investigación.

José Alejandro Lobatón Estrada

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	V
RESUMEN	XIII
ABSTRACT.....	XIV
INTRODUCCIÓN	XVI
CAPÍTULO I	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	3
1.3. Objetivos	3
1.4. Justificación	4
1.5. Limitaciones	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. Antecedentes	6
2.2. Bases teóricas.....	10
2.3. Hipótesis.....	44
2.4. Definición de términos	44
2.5. Variables	46
2.6. Operacionalización de variables.....	47
CAPÍTULO III.....	48
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	48

3.1.	Tipo de investigación.....	48
3.2.	Nivel de investigación.....	48
3.3.	Población, muestra y muestreo	49
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	50
3.5.	Técnica y procesamiento de análisis de datos	51
3.6.	Descripción de procesos	52
CAPÍTULO IV.....		56
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS		56
4.1.	Análisis de información.....	56
4.2.	Discusión de resultados	118
4.3.	Prueba de hipótesis.....	127
CONCLUSIONES		134
RECOMENDACIONES.....		135
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		136
ANEXOS		138
Panel Fotográfico		138
Matriz de consistencia.....		154

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Límites de composición aproximados para cemento Portland (Tipo 1)	11
Tabla 2.2 Compuestos principales del cemento Portland	12
Tabla 2.3 Límites de granulometría según el ASTM.....	14
Tabla 2.4 Determinación del f'_{cr} cuando no hay data histórica para calcular "s"	21
Tabla 2.5 Dependencia entre la relación agua - material cementante y la resistencia a la compresión	21
Tabla 2.6 Volumen de Agregado Grueso por volumen unitario de concreto	22
Tabla 2.7 Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico	26
Tabla 2.8 Periodo de diseño en función de tipo de carretera	37
Tabla 2.9 Niveles de confiabilidad recomendados por AASHTO 93	38
Tabla 2.10 Desviación Normal de la Confiabilidad.....	39
Tabla 2.11 Coeficiente de transferencia de carga	43
Tabla 2.12 Coeficiente de drenaje.....	43
Tabla 2.13 Coeficiente de drenaje para pavimento rígido	43
Tabla 4.14 Resultados de la granulometría del agregado grueso.....	56
Tabla 4.15 Límites granulométricos	57
Tabla 4.16 Resultados de la granulometría del agregado fino	58
Tabla 4.17 Límites granulométricos	58
Tabla 4.18 Resultados del contenido de humedad del agregado grueso.....	59
Tabla 4.19 Resultados del contenido de humedad agregado fino.....	59

Tabla 4.20 Resultados del peso unitario seco compactado y suelto del agregado grueso	60
Tabla 4.21 Resultados del peso unitario seco compactado y suelto del agregado fino	61
Tabla 4.22 Resultados del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.	61
Tabla 4.23 Resultados del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.	62
Tabla 4.24 Cuadro resumen de las características físico - mecánicas del agregado grueso	62
Tabla 4.25 Cuadro resumen de las características físico- mecánicas del agregado fino	63
Tabla 4.26 Resumen de datos hasta el momento	66
Tabla 4.27 Resumen de datos.....	67
Tabla 4.28 Corrección por % Absorción.....	68
Tabla 4.29 Corrección por % Humedad.....	68
Tabla 4.30 Resumen de pesos (seco, S.S.S y húmedo).....	69
Tabla 4.31 Resultados de Slump del concreto	70
Tabla 4.32 Resultados cuantitativos de resistencia a compresión a los 7 días.....	71
Tabla 4.33 Resultados cuantitativos de resistencia a compresión a los 28 días.....	72
Tabla 4.34 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión Patrón	73
Tabla 4.35 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #30	74
Tabla 4.36 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #16-Semimolido	75

Tabla 4.37 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #8 (Tamizado)	76
Tabla 4.38 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #4 - Granular	77
Tabla 4.39 Cuadro de resumen de esfuerzos y deformaciones unitarias	111
Tabla 4.40 Módulos de elasticidad de las diferentes mezclas	116
Tabla 4.41 Módulos de rotura de las diferentes mezclas	117
Tabla 4.42 Espesor de pavimento rígido según los módulos de ruptura de los testigos	118
Tabla 4.43 Normas de control de concreto - ACI	128
Tabla 4.44 Factor para calcular la desviación estándar en los ensayos	128
Tabla 4.45 Calidad del Concreto patrón	129
Tabla 4.46 Calidad del Concreto con vidrio #30 molido	129
Tabla 4.47 Calidad del Concreto con vidrio #16 semimolido	129
Tabla 4.48 Calidad del Concreto con vidrio #8 Tamizado	129
Tabla 4.49 Calidad del concreto utilizado con vidrio #4 Granular	130
Tabla 4.50 Resumen estadístico del ensayo a flexión	131
Tabla 4.51 Cálculos manuales para ANOVA	131
Tabla 4.52 Cálculo del valor - p	132
Tabla 4.53 ANOVA para vigas de distintos edades de rotura	132
Tabla 4.54 Método de Tukey para agrupamiento de resultados	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Vía deteriorada en av. Universitaria tramo Puente del ejército	2
Figura 1.2 Residuos de vidrios diversos	3
Figura 2.3 Curva normalizada.....	15
Figura 2.4 Requerimientos de granulometría de los agregados gruesos	16
Figura 2.5 Toma de cilindros de concreto.....	23
Figura 2.6 Ensayo a flexión Norma ASTM C78.....	26
Figura 2.7 Diagrama de momento flector de una viga simplemente apoyada.....	28
Figura 2.8 Diagrama de esfuerzos en una viga simplemente apoyada	29
Figura 2.9 Ejemplo del Diagrama Fuerza vs. Deformación (Ballan, 2000)	31
Figura 2.10 Usos del vidrio desechado de acuerdo al tamaño al cual se lleve.	33
Figura 2.11 Relaciones aproximadas entre los valores de resistencia y clasificación del suelo	41
Figura 2.12 Esquema de transferencia de carga entre losas vecinas.....	42
Figura 3.13 Ubicación de las canteras.....	52
Figura 4.14 Curva granulométrica del agregado grueso	57
Figura 4.15 Curva granulométrica del agregado fino	58
Figura 4.16 Curva resistencia vs Tiempo – Flexión patron	73
Figura 4.17 Curva resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #30 (Molido)	74
Figura 4.18 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio Semimolido.....	75
Figura 4.19 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #8 - Tamizado	76
Figura 4.20 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #4 – Granular	77

Figura 21.22 Monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita.....	115
Figura 4.23 Espesor de pavimento de mezcla control vs mezcla experimental	118
Figura 4.24 Resultados resistencia a la compresión.....	119
Figura 4.25 Comparación de resistencia a la compresión a los 7 días	119
Figura 4.26 Comparación de resistencia a la compresión - 28 días	120
Figura 4.27 Resistencia a la flexión - 7 días	121
Figura 4.28 Comparación de resistencia a la flexión - 7 días	122
Figura 4.29 Resistencia a la flexión - 14 días	123
Figura 4.30 Comparación de resistencia a la flexión - 14 días	123
Figura 4.31 Resistencia a la flexión - 28 días	124
Figura 4.32 Comparación de resistencia a la flexión - 28 días	124
Figura 4.33 Resumen de resistencias a la flexión a diferentes edades.....	125
Figura 4.34 Desplazamientos de concreto patrón y adicionados en 10% de vidrio triturado a edades de 7, 14 y 28 días.	126
Figura 4.35 Deformaciones unitarias de concreto patrón y adicionados en 10% de vidrio triturado a edades de 7, 14 y 28 días.	127

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo evaluar la resistencia a la flexión de una mezcla de concreto $f'c$ 280 kgf/cm², sustituyendo 10% de peso del agregado fino por vidrio triturado (4 dimensiones diferentes) para luego diseñar el espesor del pavimento rígido por la metodología AASHTO 1993. Se determinó la resistencia a la flexión de una mezcla de concreto convencional y otras con adiciones de vidrio triturado, y luego se procedió a comparar las características mecánicas de ambas mezclas. Se determinó el tamaño de vidrio triturado que aporta mayor resistencia a la flexión en viguetas de concreto de 10cmx10cmx40cm según la norma ASTM C78.

Se sometieron 45 viguetas de concreto; divididas en cinco grupos de 3: viguetas patrón, viguetas con vidrio N°30 (molido), viguetas con vidrio N° 16 (semimolido), viguetas con vidrio N° 8 (tamizado) y viguetas con vidrio N° 4 (granular); a ensayos de resistencia a la flexión a edades de 7,14 y 28 días. Asimismo, para garantizar la calidad del concreto, se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión la cantidad de 30 briquetas; haciendo un total de 75 especímenes sometidos.

Al finalizar los ensayos de resistencia se determinó la prueba de hipótesis mediante ANOVA y Tukey para obtener resistencias igual o mayor que el concreto convencional para poder remplazar el agregado fino por vidrio triturado de acuerdo con esta investigación.

Luego de efectuar la evaluación comparativa, análisis y procesamiento de los resultados obtenidos, se logró corroborar la Hipótesis General, determinándose que el vidrio N°4 (granular) es el que aporta mayor resistencia a la compresión, flexión y menor espesor de pavimento, demostrando así el objetivo general de la presente investigación.

Palabras claves: Influencia, vidrio, triturado, molido, granular, resistencia, flexión, concreto, pavimento, mezcla, espesor, rígido, adicionando, comparando, convencional, empleando, reemplazo, cemento.

ABSTRACT

The objective of the investigation was to evaluate the flexural strength of a concrete mix $f'c$ 280 kgf / cm², replacing 10% of the weight of the fine aggregate with crushed glass (4 different dimensions) and then design the thickness of the rigid pavement with AASHTO 1993 methodology. The flexural strength of a conventional concrete mixture and others with crushed glass additions was determined, and then the mechanical characteristics of both mixtures were compared. The size of crushed glass that provides greater resistance to bending in concrete joists of 10cmx10cmx40cm was determined according to ASTM C78.

45 concrete joists were submitted; divided into five groups of 3: standard joists, joists with glass No. 30 (ground), joists with glass No. 16 (semi-solid), joists with glass No. 8 (sieved) and joists with glass No. 4 (granular); to flexural strength tests at ages of 7.14 and 28 days. Also, to ensure the quality of the concrete, compression strength tests were carried out for the amount of 30 briquettes; making a total of 75 specimens submitted.

At the end of the resistance tests, the hypothesis test was determined by ANOVA and Tukey to obtain resistance equal to or greater than conventional concrete to be able to replace the fine aggregate with crushed glass in accordance with this investigation.

After carrying out the comparative evaluation, analysis and processing of the results obtained, it was possible to corroborate the General Hypothesis, determining that the glass No. 4 (granular) is the one that provides greater resistance to compression, bending and less pavement thickness, demonstrating thus the general objective of the present investigation.

Keywords: Influence, glass, crushed, ground, granular, strength, bending, concrete, pavement, mixing, thickness, rigid, adding, comparing, conventional, using, replacement, cement.

INTRODUCCIÓN

El pavimento rígido durante su vida útil sufre daños por diferentes factores siendo lo más perjudicial los ocasionados por la mala planificación., las vías con el tiempo tienden a sufrir cambios de uso con sobrecargas mayores para la cual fueron diseñadas, dichos daños y cambios necesariamente hacen que los elementos estructurales necesiten ser reforzados, lo cual necesitan incrementar la capacidad a flexión y a compresión. Desde ese punto de vista se ha optado por estudiar y evaluar el comportamiento a la flexión del concreto.

En las ciudades se desechan diferentes materiales en cantidad que podrían ser recuperados, este es el caso del vidrio. Se han realizado estudios para observar el comportamiento del concreto al ser adicionado con vidrio con el fin de optimizar la mezcla; en este presente estudio realizado ha sido con vidrio triturado del cual se obtuvo buenos resultados. En esta investigación se evaluaron las propiedades mecánicas de los agregados para poder hacer el diseño de mezcla de concreto mediante el método del ACI para luego reemplazar un porcentaje de 10 % en peso de vidrio triturado (4 dimensiones diferentes) con el fin de obtener una mezcla con una mayor resistencia a la flexión y luego para el diseño respectivo del pavimento rígido.

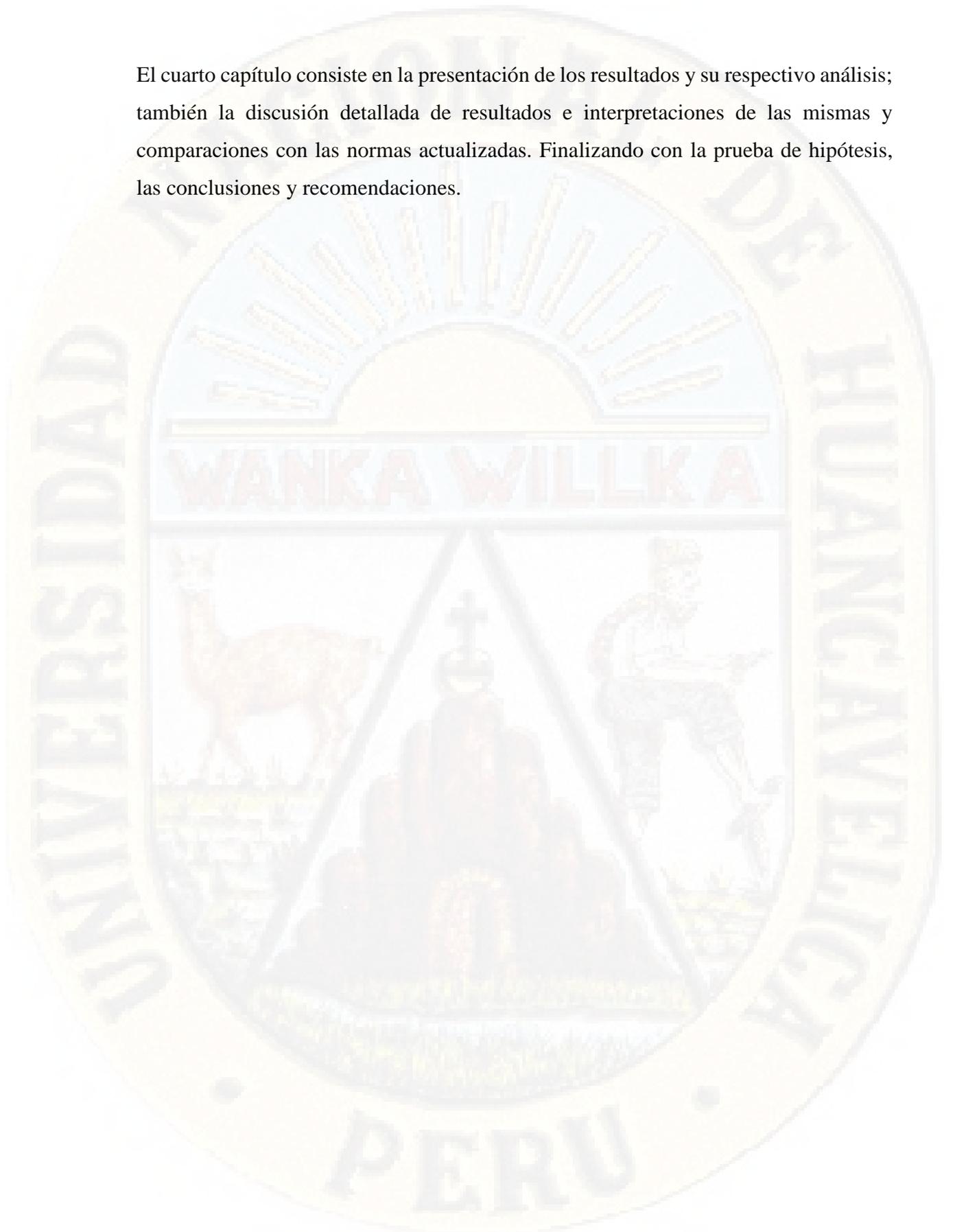
La presente investigación se divide en cuatro capítulos que a continuación se describen:

El primer capítulo es el Planteamiento del problema, la cual consta de la descripción del problema, formulación del problema, objetivos y justificación.

El segundo capítulo es el Marco Teórico, la cual consta de los antecedentes, bases teóricas, hipótesis, variables e indicadores.

El tercer capítulo es la Metodología de la investigación, que consiste en la descripción detallada del método de investigación, diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos.

El cuarto capítulo consiste en la presentación de los resultados y su respectivo análisis; también la discusión detallada de resultados e interpretaciones de las mismas y comparaciones con las normas actualizadas. Finalizando con la prueba de hipótesis, las conclusiones y recomendaciones.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

La ciudad de Huancavelica por ser capital de región, está propenso a sufrir daños en el pavimento rígido, por el crecimiento automotor, también porque esta ciudad no cuenta con vías planificadas de alto tránsito, como por ejemplo una vía de evitamiento para los vehículos pesados, la cual son perjudiciales para las demás vías, producto de ello resultan gran cantidad de agrietamientos y pistas dañadas en la actualidad.

A lo largo de su vida útil, no se hace el respectivo mantenimiento, el alto tránsito vehicular y por diversas causas tienden a fallar. Por la corta duración de los pavimentos rígidos, por su prematuro deterioro debido a la falta de resistencia a flexión del concreto es necesario reforzar el pavimento rígido.

Los pavimentos rígidos en la ciudad de Huancavelica, de no mejorarse las propiedades del concreto continuaran deteriorándose prematuramente, por consiguiente, no se habrá logrado los objetivos del proyecto de inversión pública, las calles lejos de conservar el orden de la ciudad y facilitar una adecuada circulación de los vehículos, serán signo del sub desarrollo para la región de Huancavelica.

En la actualidad el desecho de diferentes materiales, entre ellos el vidrio van en aumento, lo cual están generando daños al medio ambiente, ante ello se buscan ser recuperados, este es el caso del vidrio.

En los últimos tiempos se ha puesto énfasis en generar investigaciones para contrarrestar el impacto ambiental generado por las industrias ante el medio ambiente, ya que estas generan gran cantidad de desechos, primordialmente mediante el empleo de material reciclado como agregado para la elaboración de concreto reforzado, particularmente el uso de neumáticos, desechos de vidrio, cenizas volantes, plásticos en general, entre otros. (García y Morales ,2014).

El refuerzo del concreto mediante el vidrio triturado durante el amasado del mismo, busca mejorar algunas de las propiedades mecánicas del concreto, tales como la resistencia a la compresión y flexión. Por lo que es necesario determinar la influencia del vidrio triturado en la resistencia a la flexión del concreto que se utilizará en la construcción de los pavimentos rígidos.



Figura 1.1 Vía deteriorada en av. Universitaria tramo Puente del ejército



Figura 1.2 Residuos de vidrios diversos

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ✓ ¿De qué manera el vidrio triturado influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?

1.2.2. Problemas específicos

- ✓ ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 30 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?
- ✓ ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 16 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?
- ✓ ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 8 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?
- ✓ ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 4 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la influencia del vidrio triturado en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 30 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.
- ✓ Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 16 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.
- ✓ Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 8 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.
- ✓ Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 4 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.

1.4. Justificación

La adición de vidrio triturado como refuerzo del concreto genera un impacto técnico y ambiental, al adicionar vidrio triturado mejoran considerablemente el comportamiento dúctil del concreto, es decir la capacidad de redistribuir esfuerzos en la masa. Esta absorción de energía prácticamente ofrece una mayor capacidad de carga al concreto, por lo que en muchos casos el incorporar vidrio triturado permite disminuir el espesor de los pavimentos de concreto, por tanto, al reducir el espesor del concreto se tendrá también una reducción del costo actual del proyecto en estudio, garantizando su comportamiento y tiempo de vida útil.

El otro punto es que se reduce los desechos de vidrio, que a diario se generan en grandes cantidades en el entorno de la ciudad de Huancavelica, para ser aprovechados y reciclados en la elaboración de concreto. Así se está ayudando a la preservación del medio ambiente.

Debido a esto se plantea el aprovechamiento de este material, el vidrio triturado, dicho material es desechado día a día ya sea por defectos en la fabricación de frascos de botellas o por la utilización doméstica y desperdicios del mismo, donde este material es gran contaminante al medio ambiente, con esta

investigación se espera disminuir el volumen del material que es llevado a los vertederos, que también su producción es contaminante ambiental, en la elaboración del concreto y además una disminución en el costo de producción del concreto usando dicho material reciclado.

En busca de una posible solución a los problemas mencionados anteriormente se plantea la elaboración de una mezcla de concreto simple con sustitución en porcentaje de 10 % de agregado fino por vidrio triturado y verificar de manera experimental su influencia en la resistencia a la flexión del concreto, comparando con el concreto convencional.

1.5. Limitaciones

Los agregados de las canteras de la ciudad de Huancavelica son de mala calidad, ya que según las normas ASTM, no son bien tratados.

El laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica, cuenta con una sola poza de curado, una mezcladora y no abastece a varios tesisistas, además no cuenta con moldes para las viguetas para el ensayo a flexión.

En la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica, no hay especialistas e investigadores en la línea de pavimentos e infraestructura vial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Los antecedentes de la presente investigación se ubican en las siguientes esferas.

2.1.1. A nivel internacional

Se tiene las siguientes investigaciones:

- a) **Vargas Castro D. A. (2015)**, en su proyecto final de graduación: “Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos”, del Instituto Tecnológico de Costa Rica, tuvo como objetivo de este proyecto evaluar la reutilización de los residuos del vidrio plano como sustituto parcial del agregado fino para la realización de morteros de cemento y de concretos. Para este proyecto, se evaluaron 3 tipos de vidrios planos (reflectivo [V-R], espejo [V-E] e incoloro de 6 mm [VI]) y se realizaron 4 mezclas de morteros y 4 de concretos con una proporción definida de arena y vidrio molido como parte de los agregados finos, se utilizó un tipo de vidrio distinto en cada mezcla y una mezcla patrón [P] para cada caso.

Se concluyó que para los concretos en su resistencia a la compresión no se vio afectada la presencia del vidrio pues los valores obtenidos de las mezclas a la edad de 28 días se mantuvieron similares entre todos los tipos de mezclas (V-E tuvo una resistencia de 307 kg/cm², V-R de 308 kg/cm², V-I de 313 kg/cm² y el patrón de 311 kg/cm²).

b) Cano Cano & Cruz Pulgarin (2017), en su tesis: “Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón”, de la Universidad Libre Seccional Pereira, tuvo como objetivo general el análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón, para lo cual se plantearon dos objetivos específicos, el primero el diseño de la mezcla ideal para la resistencia de concreto, incluyendo vidrio molido, tamizado y granular en su composición; el segundo la comparación de la resistencia última de la mezcla común con las mezclas con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular, el proyecto permitió la utilización de vidrio en tres presentaciones granulométricas como aditivo a la mezcla de concreto tradicional con fines de mejoramiento de sus características mecánicas como la resistencia a la compresión.

Tuvo como conclusión que una vez analizados y confrontados los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto se pudo concluir que, como se planteó en la hipótesis, las probetas que contenían vidrio en cualquiera de las presentaciones y los porcentajes de estudio, alcanzaron una resistencia mayor a las probetas testigo de mezcla común.

c) Almeida Beltran & Trujillo Vivas (2017), en la tesis “Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones”, de la Universidad Central del Ecuador, tuvo como objetivo principal analizar el comportamiento del hormigón mediante el reemplazo parcial al peso del agregado fino por vidrio triturado en porcentajes del 30%,32%,34%,36%,38% y 40% para obtener una resistencia de 21MPa con la finalidad de establecer una comparación entre un hormigón convencional y un hormigón con adición de vidrio triturado y a la vez contribuir al uso de materiales reciclables. Mediante el ensayo realizado en las distintas probetas de hormigón se obtuvo los valores de la resistencia a la compresión para edades de 7, 14, y, 28 días.

Los resultados obtenidos determinaron que la mezcla en donde se reemplazó el 36% de agregado fino por vidrio triturado permitió obtener la resistencia de diseño a edades tempranas además de proveer mejor trabajabilidad y adherencia en sus componentes, estableciendo de esta manera que el vidrio triturado puede ser empleado como un material que aporte al desarrollo de la construcción sostenible.

- d) Catalan Arteaga (2013)**, en la tesis “Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30”, de la Universidad Austral de Chile, tuvo por finalidad dar una perspectiva al lector, acerca de la reutilización del vidrio de desecho, como un agregado no natural en el hormigón, considerándolo como un árido más, reemplazando una cantidad controlada de arena. Para determinar la influencia del vidrio triturado en la mezcla, se confeccionaron mezclas de hormigón de prueba, de graduación H15, H20 y H30, con porcentajes variables de vidrio en reemplazo de una fracción de la arena. Las resistencias obtenidas se compararon con la resistencia de hormigones patrones, sin adición de vidrio.

Los resultados mostraron que el hormigón con adición de vidrio, mantiene prácticamente inalterable sus propiedades, tanto en estado fresco como endurecido, observándose un ligero aumento en la resistencia de las mezclas con un 10% de agregado de vidrio, resultado que es consistente con estudios previos, y que además confirma la hipótesis propuesta.

2.1.2. A nivel nacional

A nivel nacional como antecedentes de la presente investigación se tiene:

- a) Ochoa Tapia (2018)**, en la tesis denominada “Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos”, de la Universidad Señor de Sipán, Pimentel, Perú.

Se realizaron ensayos al concreto en estado fresco y endurecido con las proporciones de: 0% (mezcla patrón), 10%, 20%, 30% de vidrio reciclado

molido en remplazo de agregado fino para una resistencia a la compresión de $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ donde se determinó que a medida que se aumenta la cantidad de vidrio la resistencia a la compresión aumenta, el asentamiento, el peso unitario disminuye y contenido de aire atrapado disminuyen en comparación con el concreto patrón, siendo el ideal las mezclas de concreto con 10% de vidrio reciclado molido para los tres diseños de mezcla debido a que aumenta la resistencia a la compresión pero a la vez la mezcla sigue siendo trabajable y el contenido de aire no varía mucho en comparación con las mezclas patrón.

- b) Rojas Lujan (2015)**, en su trabajo: “Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}$ adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico”, de la Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. La investigación estudió la resistencia a la compresión de un concreto con $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico a la mezcla, usando cemento Fortimax 3. Se determinó las características mecánicas del agregado fino y del agregado grueso para poder dar paso al diseño de mezcla de concreto mediante el método del ACI. Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión en sus diferentes edades de 7, 14, 21 y 28 días y finalmente se analizaron los resultados mediante gráficos y cuadros.

Tuvo como conclusión que La resistencia a la compresión obtenida fue de 318.75 Kg/cm^2 a los 28 días, utilizando una dosificación que incluye un porcentaje mínimo de vidrio molido y Los resultados obtenidos resultaron no satisfactorios en cuanto a la propiedad de resistencia a la compresión que debe tener el concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}$, al parecer el porcentaje de vidrio molido añadido a una dosificación normal fue insuficiente.

- c) Córdova Sánchez (2018)**, en la tesis “Análisis del concreto simple utilizando vidrio pulverizado como adición para concreto de alta resistencia con agregados de la ciudad de Chiclayo”, de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú. La presente investigación correspondió al estudio del concreto añadiendo vidrio pulverizado como adición a la mezcla,

sabiendo que existe en el distrito de Chiclayo déficit en reciclar el vidrio es por ello que se buscó ser aplicado al concreto, sabiendo que el vidrio posee alto contenido de sílice este puede aportar cierta resistencia al concreto, por lo que se buscó conocer cuál es el porcentaje y tamaño óptimo de vidrio que puede ser añadido al concreto. Tuvo como conclusiones que el vidrio pulverizado puede reemplazar el cemento sin afectar su resistencia en un 10% del peso del mismo a un tamaño de 0.15mm.

La adición del vidrio generó cambios considerables en cuanto a durabilidad, el vidrio pulverizado aportó dureza al desgaste en comparación al concreto patrón cuando este es sometido a tránsito vehicular pesado, así como también la adición del 10% a 0.15mm provocó expansiones perjudiciales a largo plazo, es decir existe las grandes probabilidades de sufrir la reacción álcali-sílice.

2.1.3. A nivel local

Como informe de investigación, aquí en la región Huancavelica no se encontró antecedentes similares al que se desarrolló.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Concreto

El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado.

La pasta es el resultado de la combinación química del material cementante con el agua. Es la fase continua del concreto dado que siempre está unida con algo de ella misma a través de todo el conjunto de este.

El agregado es la fase discontinua del concreto dado que sus diversas partículas no se encuentran unidas o en contacto unas con otras, sino que se encuentran separadas por espesores diferentes de pasta endurecida.

Las propiedades del concreto están determinadas fundamentalmente por las características físicas y químicas de sus materiales componentes, pudiendo ser

mejor comprendidas si se analiza la naturaleza del concreto. (Rivva López, 2004)

2.2.1.1. Componentes del Concreto

El concreto se fabrica mezclando homogéneamente: cemento, agua, arena y grava. A continuación, nos referiremos a cada uno de los componentes, enumerando en cada uno sus funciones dentro del concreto y sus características y cualidades para obtener un concreto de buena calidad.

2.2.1.1.1. Cemento

La palabra cemento se emplea para designar a toda sustancia que posea condiciones de pegante cualquiera sea su origen.

El cemento Portland se define, como el producto obtenido al pulverizar el Clinker con adición de yeso.

El Clinker resulta de la calcinación hasta una fusión incipiente de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos. (Gutiérrez de López, 2003).

a) Composición Química del Cemento Portland

Se ha visto que las materias primas utilizadas en la fabricación de cemento Portland consisten principalmente de cal, sílice, alúmina e hierro (tabla No. 2.1). (Rivera López, 2010)

ÓXIDO	CONTENIDO (%)
CaO	60-67
SiO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0,5 - 6,0
MgO	0,1-4,0
Alcalis	0,2-1,3
SO ₃	1 - 3

Tabla 2.1 Límites de composición aproximados para cemento Portland (Tipo 1)

Se suelen considerar cuatro compuestos como los componentes principales del cemento; se enumeran en la tabla 2.2., junto con sus símbolos de abreviación. Esta anotación abreviada, utilizada por los químicos del cemento, describe cada óxido con una letra, a saber:



Análogamente, el H₂O del cemento hidratado se indica por una H.

Nombre del Compuesto	Fórmula	Abreviatura
Silicato dicálcico	2CaO, SiO ₂	C ₂ S
Silicato tricálcico	3CaO, SiO ₂	C ₃ S
Aluminato tricálcico	3CaO, Al ₂ O ₃	C ₃ A
Aluminoferrito tetracálcico	4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	C ₄ AF

Tabla 2.2 Compuestos principales del cemento Portland

b) Tipos de Cementos Portland

A medida que varían los contenidos de C₂S, C₃S, C₃A, C₄AF se modifican las propiedades del cemento Portland, por lo tanto, se pueden fabricar diferentes tipos con el fin de satisfacer ciertas propiedades físicas y químicas para situaciones especiales.

❖ Cementos Portland estándar (Sin adición)

Tipo I: Para construcciones de concreto y mortero de uso general y cuando no se requiera propiedades específicas, se utiliza en concretos que no estén sujetos al ataque de factores agresivos como podría ser la presencia de sulfatos en el suelo o en el agua.

Tipo II: En obras donde se requiera resistencia moderada a la acción de los sulfatos (ejm. Estructuras de drenaje) y u o moderado Calor de hidratación (consecuencia de la hidratación del cemento). Se recomienda en edificaciones, estructuras industriales, puentes, obras portuarias, perforaciones y en general en todas aquellas estructuras de volumen considerable, y en climas cálidos.

Tipo III: Para obras que requiera alta resistencia elevadas a edades tempranas, normalmente a menos de una semana (ejm: adelanto de la puesta en servicio) y también en obras de zonas frías su uso permite reducir el curado controlado.

Tipo IV: Para estructuras se requiere bajo calor de hidratación, caso de represas, centrales hidroeléctricas y obras de grandes masas de concreto, también debe tenerse en cuenta que este cemento desarrolla resistencias a una velocidad inferior a la de los otros cementos.

Tipo V: Además de las cualidades del tipo II, es recomendado para obras donde se requiera elevada resistencia a los sulfatos. Es el caso de obras portuarias expuesta al agua de mar, también en canales, alcantarillas, túneles, suelos con alto contenido de sulfatos. estos cementos desarrollan resistencias mas lentamente que los cementos tipo I, incrementan su resistencia a los sulfatos.

Fuente: ACI 318

❖ **Cementos Portland Adicionados**

Tipo IP y IPM: Cementos cuya adición viene ha ser la puzolana, tienen uso similar al del Tipo I, y se recomienda en obras masivas o con ataques de aguas agresivas, aguas negras, en cimentaciones en todo terreno, son cementos de moderado calor de hidratación y de moderada resistencia a los sulfatos.

Tipo MS: Cementos adicionados de escorias se puede emplear en todo tipo de construcciones de concreto son resistentes a la agresión química, se puede utilizar en estructuras en ambientes y suelos húmedos-salitrosos, para estructuras en cimientos y pisos. En general se puede decir que tienen moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación.

Tipo ICo: Corresponde al cemento tipo I mejorado con mayor plasticidad, se puede utilizar en obras de concreto y de concreto armado en general, morteros en general, especialmente para tarrajeo y asentado de unidades de albañilería, pavimentos y cimentaciones.

2.2.1.1.2. Agregados

Los agregados ocupan del 70-80% del volumen del concreto, por lo tanto, muchas de las características del concreto dependen de las propiedades de los agregados. (Gutiérrez de López, 2003)

a) Agregado Fino

Se considera como agregados finos a la arena o piedra natural finamente triturada, de dimensiones reducidas y que pasan el tamiz 9.5 mm (3/8 ") y que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037.

Las arenas provienen de la desintegración natural de las rocas; y que arrastrados por corrientes aéreas o fluviales se acumulan en lugares determinados. (Abanto Castillo, 2009)

❖ Granulometría

La granulometría es la distribución por tamaños de las partículas de arena.

La distribución del tamaño de partículas se determina por separación con una serie de mallas normalizadas. Las mallas normalizadas utilizadas para el agregado fino son las N°s 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

El Reglamento Nacional de Construcción especifica la granulometría de la arena en concordancia con las normas, del ASTM.

Los requerimientos se dan en la siguiente tabla.

Malla #	Diámetro (mm)	% Que pasa	
		(Acumulativo)	
"3/8	9.50	100	100
N° 4	4.75	95	100
N° 8	2.36	80	100
N° 16	1.18	50	85
N° 30	0.60	25	60
N° 50	0.30	10	30
N° 100	0.15	2	10
N° 200	0.08	0	3

Tabla 2.3 Límites de granulometría según el ASTM

El control de la granulometría se aprecia mejor mediante un gráfico, en la que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa la malla, y las abscisas, las aberturas correspondientes. La figura 2.1 representa las curvas envolventes de la norma.

La norma ASTM, exceptúa los concretos preparados con más de 300 kg/m³ de los porcentajes requeridos para el material que pasa las mallas N° 50 y N° 100 que, en este caso puede reducirse a 5% y 0% respectivamente.

Esta posición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la plasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino.

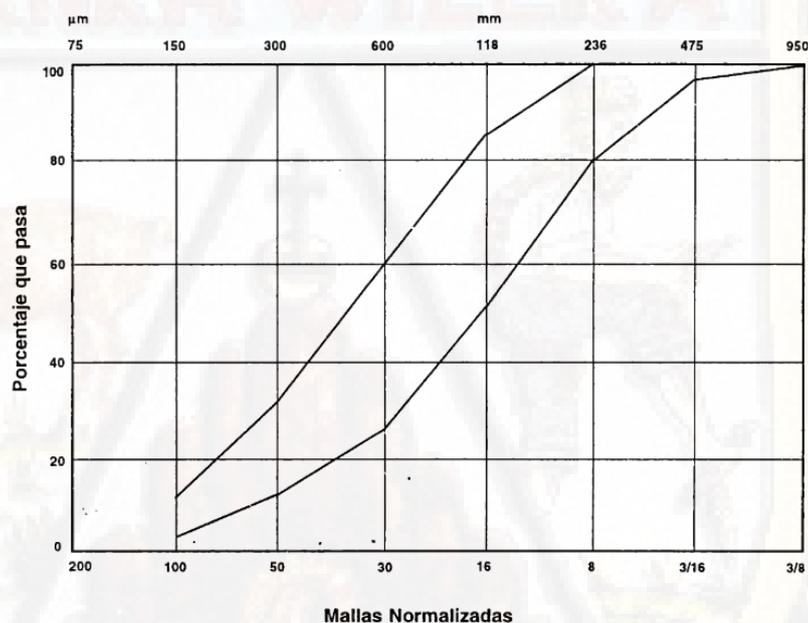


Figura 2.3 Curva normalizada

Además, la norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera, se tiende a una granulometría más regular.

b) Agregado grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz ITINTEC 4.75 mm (N° 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y

que cumple con los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc. (Abanto Castillo, 2009)

❖ Granulometría

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma ITINTEC 400.037 o en la norma ASTM C 33, los cuales están indicados en la siguiente tabla:

N° ASTM	Tamaño Nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS												
		100mm (4")	90mm (3 1/2")	75mm (3")	63mm (2 1/2")	50mm (2")	37.5mm (1 1/2")	25.0mm (1")	19.0mm (3/4")	12.5mm (1/2")	9.5mm (3/8")	4.75mm (N°4)	2.36mm (N°8)	1.18mm (N°16)
1	90 a 375 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	63 a 375 mm (2 1/2" a 1 1/2")			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	90 a 250 mm (2" a 1")				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	50 a 4.75 mm (2" a N°4)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	375 a 19.0 mm (1 1/2" a 3/4")					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	375 a 4.75 mm (1 1/2" a N°4)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	25.0 a 2.5 mm (1" a 1/2")						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	25.0 a 9.5 mm (1" a 3/8")						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	25.0 a 4.75 mm (1" a N°4)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	19.0 a 9.5 mm (3/4" a 3/8")							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	19.0 a 4.75 mm (3/4" a N°4)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N°4)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N°8)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Figura 2.4 Requerimientos de granulometría de los agregados gruesos

❖ El tamaño máximo

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encofrados y entre las barras de la armadura.

En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:

- un quinto, de la menor dimensión, entre caras de encofrados.
- un tercio de la altura de las losas.
- tres cuartos del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o duetos de presfuerzo.

Estas limitaciones están dirigidas a que las barras de refuerzo queden convenientemente recubiertas y no se presenten cavidades de las llamadas "cangrejeras". Sin embargo, pueden omitirse por excepción, si el ingeniero responsable comprueba que los métodos de puesta en obra y la trabajabilidad del concreto lo permiten.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 1 ½". En tamaños mayores, solo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

c) Módulo de fineza

Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando es alto es señal de lo contrario. El módulo de fineza, no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de los mismos.

El módulo de fineza de un agregado se calcula sumando los porcentajes acumulativos retenidos en la serie de mallas estándar: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 y dividiendo entre 100.

Para el caso de la arena también se puede calcular el módulo de fineza sumando los porcentajes (la malla de 3/8" no entrará en la suma) acumulativos que pasan a partir de la malla N° 4 y restando el valor que resulte de 600, según idea del ing. chileno Belisario Maldonado. En este caso $600 - 299 = 301$ que dividido entre 100, es también el módulo de fineza de la arena estudiada.

Según la Norma ASTM la arena debe tener un módulo de fineza no menor de 2.3 ni mayor que 3.1.

d) Tamaño máximo de agregados

El tamaño máximo del conjunto de agregados, está dado por la abertura de la malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más, al cribar por ella el agregado más grueso. (Abanto Castillo, 2009)

2.2.1.1.3. Agua

El agua es un componente esencial en las mezclas de concreto y mortero, pues permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. La NTP 339.088 habla sobre la calidad del agua en el concreto.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto, va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El agua utilizada en la elaboración del concreto y mortero debe ser apta para el consumo humano, libre de sustancias como aceites, ácidos, sustancias alcalinas y materias orgánicas.

En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable.

El agua de curado tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia. (Gutiérrez de López, 2003)

2.2.2. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

El diseño de mezclas de concreto tiene por objeto encontrar la dosificación más económica de cemento, agregado grueso y arena para producir un material con la resistencia, manejabilidad, impermeabilidad y durabilidad requeridos por el diseño de la estructura y por el método constructivo a utilizar.

Antes de diseñar una mezcla de concreto se debe conocer:

- el asentamiento requerido.
- la resistencia estructural f'_c para la cual se va a diseñar el concreto.
- las propiedades y características de los agregados, para lo cual se deben realizar los ensayos previos: granulometría, pesos unitarios sueltos y compactados, pesos específicos saturados y superficialmente secos, absorciones, etc.
- el espaciamiento del acero de refuerzo.
- la menor dimensión de formaleta.
- espesores de las losas.
- característica de la obra, en cuanto al proceso del concreto, mezclado, transporte y curado.
- condiciones ambientales de trabajo.
- control de calidad, etc.

Método ACI

El comité ACI 211 recomienda un método para calcular las proporciones en que deben entrar los componentes del concreto para obtener un material con las características deseadas por el calculista de la obra y por las necesidades de la obra. (Gutiérrez de López, 2003)

El método, además del principio básico de la relación agua-cemento, se basa fundamentalmente en las siguientes suposiciones:

- a) La trabajabilidad y la consistencia de las mezclas usando un agregado dado quedará aproximadamente constante entre los límites prácticos de contenidos

de cemento, si a la vez el agua y el agregado grueso por unidad de volumen de hormigón se mantienen constantes.

- b) Las mezclas con diferentes tipos de agregados gruesos del mismo tamaño máximo, tendrán también el mismo grado de plasticidad y trabajabilidad cuando ellas contengan el mismo volumen compactado de agregado grueso.
- c) El volumen resultante, o rendimiento de cualquier hormigón es la suma de los volúmenes absolutos de todos los materiales componentes: cemento, agregados y agua.

El método comprende 11 pasos:

Paso 1: Selección de asentamiento

Paso 2: Selección del tamaño máximo del agregado

Paso 3: Estimación del contenido de agua (A) en litros:

Tabla 2.4 Requisitos de agua de mezcla y contenido de aire para distintos requerimientos

Asentamiento(mm)	Agua en Lts/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado y consistencia indicados							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2" 25 a 50	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4" 75 a 100	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7" 150 a 175	243	228	216	202	190	178	160	---
Cantidad aproximada de aire atrapado en un concreto sin aire incluido, porcentaje	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Concretos con aire incorporado								
1" a 2" 25 a 50	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4" 75 a 100	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7" 150 a 175	216	205	197	184	174	166	154	---
Promedio del contenido de aire total recomendado, para el nivel de exposición, porcentaje								
Exposición leve	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1

Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

Fuente: ACI 211.1.

Paso 4: Determinación de la Resistencia de Diseño:

Tabla 2.4 Determinación del f'_{cr} cuando no hay data histórica para calcular "s"

f'_{c} específico (kg/m ²)	f'_{c} media requerido (kg/m ²)
<210	$f'_{c} + 70$
210-350	$f'_{c} + 84$
>350	$f'_{c} + 98$

Fuente: Adaptada del ACI 318

Paso 5: Selección de la relación agua - cemento (A/C):

Tabla 2.5 Dependencia entre la relación agua - material cementante y la resistencia a la compresión

f'_{cr} (28 días), kg/cm ² (Mpa)	Relación agua-cemento de diseño en peso	
	Concretos sin aire incorporado	Concretos con aire incorporado
150 (15)	0.80	0.71
200 (20)	0.70	0.61
250 (25)	0.62	0.53
300 (30)	0.55	0.46
350 (35)	0.48	0.40
400 (40)	0.43	0.34
450 (45)	0.38	0.31

Fuente: Adaptada del ACI 211.1. del ACI 211.3.

Paso 6: Cálculo del contenido de cemento

Paso 7: Estimación del contenido de agregado grueso:

Tabla 2.6 Volumen de Agregado Grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado grueso mm (pulg.)	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino			
	MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 (3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19.00 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6
25.00 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.76	0.74	0.72	0.7
50.00 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75.00 (3")	0.81	0.79	0.77	0.75
150.00 (6")	0.87	0.85	0.84	0.81

Paso 8: Estimación del contenido del agregado fino

Paso 9: Cálculo de las proporciones iniciales

Paso 10: Ajuste por humedad de los agregados

Paso 11: Ajustes a las mezclas de prueba

2.2.3. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL CONCRETO

2.2.3.1. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto normalmente se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto, aunque en estructuras especiales como túneles y presas, o cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días.

En túneles es bastante frecuente utilizar la resistencia a los 7 días o menos, mientras en presas se suele utilizar como referencia la resistencia a los 56 días o más.

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm. de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas. (Torre C., 2004)

Para medir la resistencia a la compresión, se elaboran cilindros testigos de las mezclas que se están usando en la estructura; los cilindros son generalmente de 30 cms de altura por 15 cms de diámetro (12" y 6"); se elaboran en tres capas y a cada capa se le dan 25 golpes con una varilla standard, la norma NTP 339.033 indica el procedimiento a seguir en la toma y elaboración de cilindros testigos y la norma NTP 339.034 especifica la forma de someterlos a la compresión. Ver figura No.2.3.

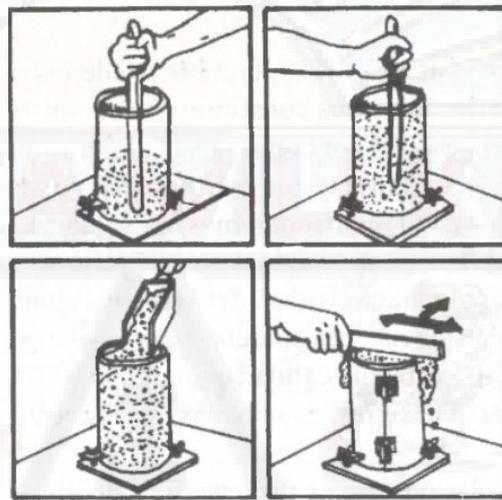


Figura 2.5 Toma de cilindros de concreto

La prueba de resistencia a la compresión se efectúa generalmente en cilindros con 28 días de fabricados, pero se puede ensayar a edades más tempranas, 3,7, ó 14 o edades más tardías 90 y 120 días.

Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura). (Abanto Castillo, 2009)

La resistencia a la compresión de la probeta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\frac{f'c}{A} = \frac{P}{A} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right); A = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Donde:

$f'c$: Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto. (kg/cm²).

P: Carga de rotura (kg).

ϕ : Diámetro de la probeta cilíndrica (cm).

A: Área promedio de la probeta (cm²).

Módulo de elasticidad: Al igual que en otros materiales, la determinación del módulo de elasticidad del concreto es muy importante para el diseño estructural.

El valor del módulo de elasticidad no es una constante y es un valor que depende de:

- el tipo de agregado;
- la dosificación utilizada;
- el contenido del aire;
- la velocidad de aplicación de la carga en el ensayo;
- la humedad de la muestra en el momento de hacer el ensayo;

Para encontrar el módulo de elasticidad se grafica el esfuerzo contra la deformación unitaria en una curva esfuerzo-deformación del ensayo de compresión, y el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo en el campo elástico y su respectiva deformación unitaria. Se determina con la pendiente de la secante trazada desde el origen hasta el punto de la curva en el cual hay una resistencia $f_e = 0.45 F'c$ siendo f_e la máxima resistencia en el ensayo de compresión.

Los concretos de peso normal tienen un módulo de elasticidad estimado para cálculos como $13.000\sqrt{f'c}$ dependiendo de la resistencia.

$$E_c = 57\,000 * \sqrt{(f'c) * \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1 \text{ lb}}{0.4536 \text{ kg}} * \frac{2.54^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ pulg}^2}} \dots \text{psi}$$

La relación de Poisson, en el concreto de peso normal está comprendida entre 0.15 y 0.25 y depende del tipo de agregado, de la edad y humedad del concreto. (Gutiérrez de López, 2003).

2.2.3.2. Resistencia a la flexión

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El pandeo de un pavimento de concreto bajo cargas axiales produce esfuerzos de compresión y flexión. Sin embargo, las relaciones de los esfuerzos y resistencias de compresión son demasiado pequeños para influenciar en el diseño del espesor de la losa. Las relaciones de los esfuerzos y resistencias de flexión son mucho más altos, excediendo a menudo valores de 0.5. Como resultado, los esfuerzos flexores y la resistencia a la flexión del hormigón son usados en el diseño de espesores.

Existe una prueba normalizada por la ASTM C78 para la obtención del módulo de rotura la cual consiste en aplicar carga a la viga de concreto en los tercios de su claro de apoyo (Figura 2.4). Se puede realizar otra prueba similar aplicándole carga al centro del claro. Una diferencia importante en estos métodos de prueba es, que la prueba de la carga en los tercios da la mínima resistencia en el tercio central de la viga ensayada, mientras que la prueba de la carga en el centro de la viga muestra la resistencia en un solo punto.

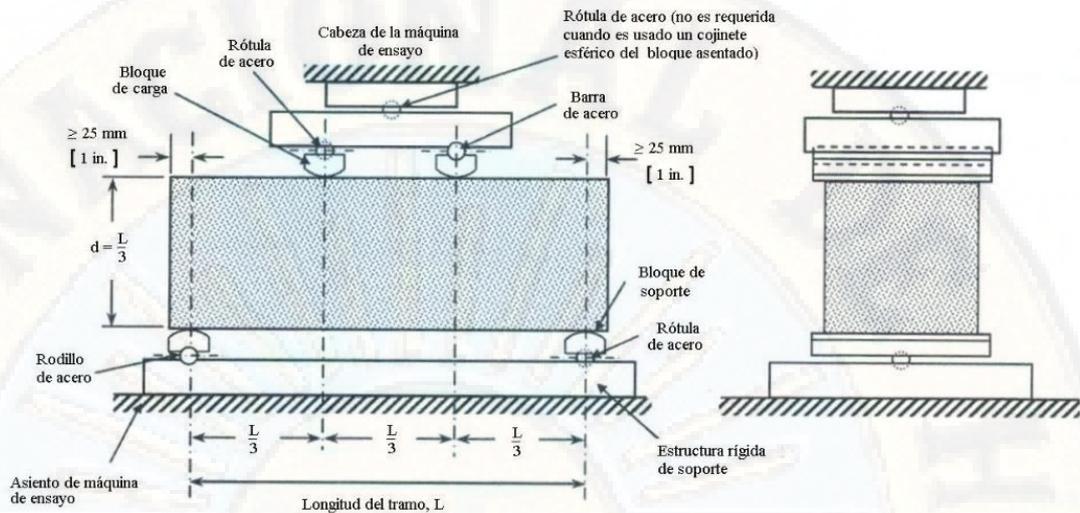


Figura 2.6 Ensayo a flexión Norma ASTM C78

El ensayo debe realizarse en especímenes de forma prismática y sección rectangular que cumplan con los requisitos dimensionales establecidos para su elaboración, tal como sigue:

La sección puede ser rectangular o cuadrada, y si es rectangular el peralte h no debe exceder a 1.5 veces el ancho b ; la longitud del espécimen (viga) debe ser por lo menos 50 mm mayor que el triple del peralte, a fin de que el claro de prueba sea exactamente igual a $3h$; el ancho b , debe ser igual o mayor que tres veces el tamaño máximo del agregado que contenga el concreto. Se considera en este caso como espécimen estándar la viga de sección cuadrada de 100 x 100 mm o (4 x 4 pulg) y longitud igual a 400 mm (12 pulg), que es aplicable a todo concreto cuyo tamaño máximo de agregado no exceda a 51 mm (2 pulg).

En la siguiente tabla se muestran los valores recomendados de resistencia del concreto según el rango de tráfico.

Tabla 2.7 Valores recomendados de resistencia del concreto según rango de tráfico

Rangos de tráfico pesado expresado en EE	Resistencia mínima a la flexotracción del concreto (M_r)	Resistencia mínima equivalente a la compresión del concreto (f'_c)
$\leq 5\ 000\ 000$ EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
$> 5\ 000\ 000$ EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
$\leq 15\ 000\ 000$ EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²
$> 15\ 000\ 000$ EE		

Fuente: MTC-SGGP, 2013

El módulo de rotura se calcula mediante las siguientes expresiones:

- Si la fractura se presenta en el tercio medio del claro el módulo de rotura se calcula con la siguiente expresión: Fórmula usada para la presente investigación.

$$M.R. = \frac{P.L}{b.h^2}$$

Donde:

P = carga máxima en kilogramos, l = largo en cm, b = ancho en cm, h = peralte en cm.

- Si la fractura se presenta fuera del tercio medio del claro, se calcula el módulo de rotura con la siguiente expresión:

$$M.R. = \frac{3.P.a}{b.h^2}$$

a = distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más próximo, medida sobre la superficie a tensión de la viga (cm.).

Relación entre la resistencia a compresión del concreto ($f'c$) y el módulo de rotura.

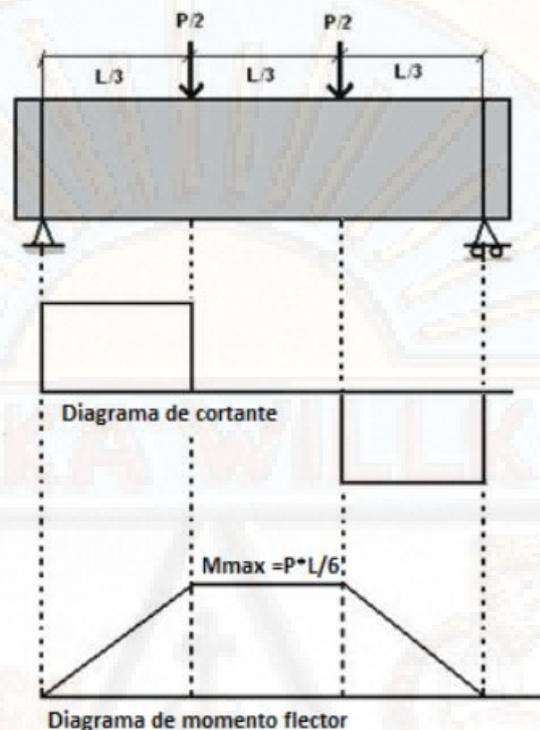
El módulo de rotura (M_r) del concreto se relaciona con la resistencia a compresión ($f'c$) del concreto mediante la siguiente expresión:

$$M_r = a\sqrt{f'c}(\text{kg/cm}^2), \text{según el ACI 363}$$

Donde los valores de “a” varían entre 1.99 y 3.18 (el valor tomado es el promedio 2.585) (Ispilco Infante & López Alaya, 2017).

2.2.3.3. Deducción del módulo de rotura

Figura 2.7 Diagrama de momento flector de una viga simplemente apoyada



Teniendo en cuenta los gráficos anteriores:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x.} \cdot y}{I}$$

Donde:

σ = esfuerzo normal

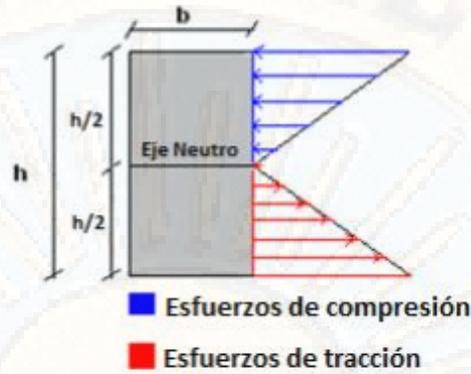
M_{max} = momento máximo determinado en el diagrama de momento flector.

y = distancia a la cual deseamos determinar el esfuerzo normal ya sea tensión o compresión medida desde el centro de gravedad de toda la sección.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12}, \text{ con respecto al eje } z$$

Considerando que el esfuerzo normal máximo se da cuando $Y=h/2=c$

Figura 2.8 Diagrama de esfuerzos en una viga simplemente apoyada



Se tiene que:

$$\sigma = \frac{\frac{P * L}{6} * \frac{h}{2}}{\frac{b * h^3}{12}} \rightarrow \sigma = \frac{12 * P * L * h}{12 * b * h^3} \rightarrow \sigma = \frac{P * L}{b * h^2}$$

$$fr = \sigma = \frac{P * L}{b * h^2} \text{ Donde } fr = \text{módulo de rotura}$$

El módulo de rotura está cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones hasta en un 15%.

El ensayo de resistencia a flexión es útil para los diseñadores de pavimentos cuando utilizan una teoría basada en la resistencia a la flexión. Por tal razón se puede utilizar para el control de campo y de aceptación de los pavimentos. (Augusto Delgado & Legarda Caicedo, 2011)

2.2.3.4. Curva esfuerzo - deformación

Para la determinación de las deflexiones se requiere de diversas variables, pero entre otras una muy importante, es la denominada; módulo de rotura; fr, esfuerzo este, que en la presente investigación se ha establecido, y que para tal efecto se ensayaron vigas a flexión, lo que permitió determinar el mencionado modulo (fr). En efecto para la

evaluación de la flecha elástica en una viga construida con cualquier material (de comportamiento elástico) simplemente apoyada en sus extremos y con una carga uniformemente distribuida sobre toda su longitud; se emplea la siguiente expresión:

$$\delta = \left\{ \left(\frac{5}{384} \right) * \left(\frac{W * L^4}{E * I} \right) \right\}$$

En donde, los términos empleados tienen los siguientes significados:

δ ; Deflexión elástica inmediata

W; Carga

L; Luz

E; Módulo de elasticidad

I; Momento de inercia de la sección bruta

Ensayo:

- ✓ Aplicar la fuerza en una constante de velocidad apuntando a la plaqueta.
- ✓ Establecer la velocidad de la máquina de ensayo de 0,05 a 0,20 pulg./ min (1,27 a 5,1 mm/min). Establecer la velocidad de grafico a 75 +/- 25 veces la velocidad que se utiliza.
- ✓ La velocidad de grafico puede verse reducido o detenido después de que la curva de esfuerzo – deformación alcanza su punto de desviación de la linealidad (P_y en la figura) (Afá Saldaña & Loyola Carrascal, 2016)

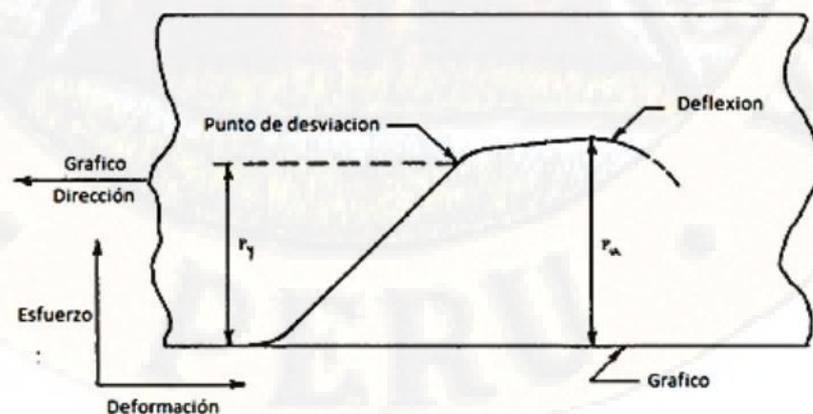


Figura 2.9 Ejemplo del Diagrama Fuerza vs. Deformación (Ballan, 2000)

2.2.4. VIDRIO

El vidrio es un material cuyo componente mayor es la sílice proveniente de arena, pedernal o cuarzo de apariencia dura, frágil y generalmente transparente, aunque se comporta como un sólido, es un fluido de muy alta viscosidad. Está compuesto por una mezcla de óxidos metálicos, siendo su componente principal el óxido de sílice, conocido como silicio (SiO_4). Si bien a simple vista pareciera ser muy similar a un cristal, la diferencia con este radica en el ordenamiento que tienen las moléculas que lo componen, donde los enlaces Si-O están distribuidos de manera irregular, sin un patrón determinado, siendo por definición, un material amorfo. (Catalan Arteaga, 2013)

Una posible clasificación de los vidrios según su composición química, sería la siguiente: (Pearson)

- Vidrio sodo - cálcico
- Vidrio plomado
- Vidrio borosilicato
- Vidrio especial

2.2.4.1. TIPOS DE VIDRIOS SEGÚN SU COMPOSICION QUÍMICA

Según su composición química, los vidrios pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Vidrio sodo-cálcico:

Este es el vidrio comercial más común y el menos costoso. El amplio uso de este tipo de vidrio es debido a sus importantes propiedades químicas y físicas. El vidrio sodo-cálcico es primariamente usado para:

- envases (botellas, jarros, vasos de uso diario, etc.) y
- vidrio para ventanas (en la industria de la construcción y en la industria automotriz).

b) Vidrio plomado:

Si se utiliza óxido de plomo en lugar de óxido de calcio, y óxido de potasio en lugar de todo o la mayoría del óxido de sodio, tendremos el tipo de vidrio comúnmente llamado cristal plomado. El óxido de plomo se agrega para bajar la temperatura de fusión y la dureza y también elevar el índice de refracción del vidrio.

c) Vidrio borosilicato:

El vidrio borosilicato es cualquier vidrio silicato que contenga al menos 5% de óxido bórico en su composición. Este vidrio tiene mayor resistencia a los cambios térmicos y a la corrosión química.

d) Vidrios Especiales

Se pueden inventar vidrios con propiedades específicas para casi cualquier requerimiento que se pueda imaginar. Sus composiciones son diversas e involucran numerosos elementos químicos. Así pueden obtenerse vidrios especiales para uso en diversos campos tales como en química, farmacia, electro-tecnología, electrónica, óptica, aparatos e instrumentos, etc. (Pearson)

2.2.4.2. Reutilización de vidrio en mezclas de concreto

En el proceso de fabricación del vidrio se utiliza más cantidad de material del necesario, para dotarles de mayor resistencia y poder hacer más rotaciones, antes de que finalice su ciclo de vida y puedan ser reciclados. En la industria vidriera también se generan desperdicios de vidrio que resultan en forma de polvo después de un proceso de lavado incluido en la etapa de producción, el cual es desechado y se puede convertir en un proveedor importante para su utilización en mezclas de concreto.

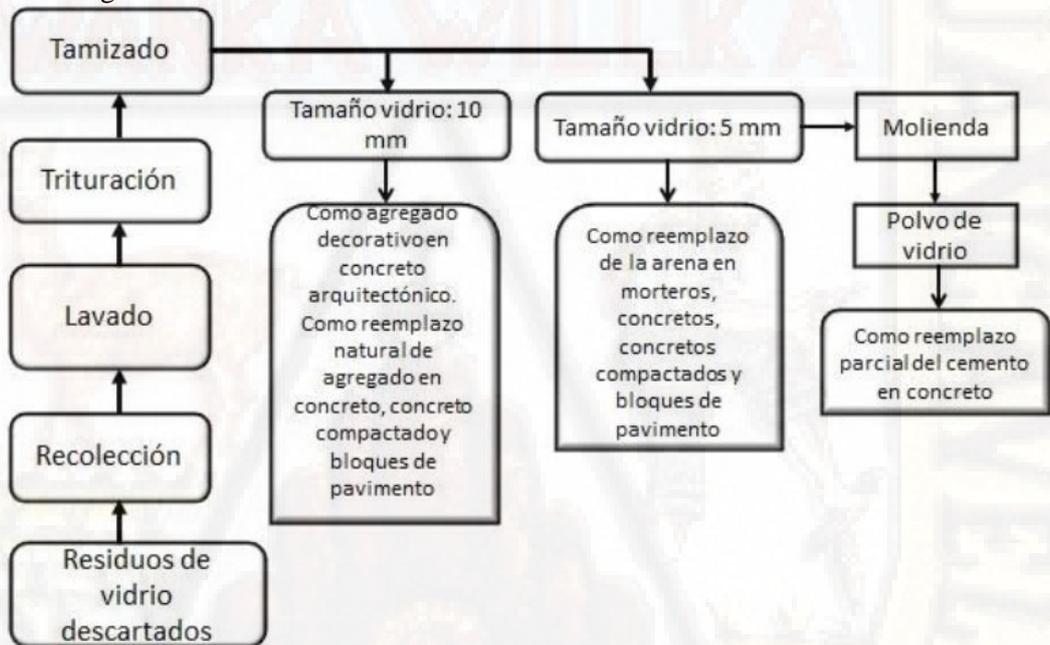
2.2.4.3. La utilización del vidrio en la preparación de concretos

Se considera posible la incorporación del vidrio en la industria cementera debido a que el vidrio posee grandes proporciones de sílice y de calcio convirtiéndolo en teoría en un compuesto puzolánico o incluso del cemento,

así como también comparte características con las arenas que se utilizan como agregado fino (Cassar & Camilleri, 2012; Shi & Zheng, 2007; Jani & Hogland, 2014). Además, el concreto provee una solución de largo plazo a la disposición del vidrio. (Vargas Castro, 2015)

Posteriormente, se volvieron a realizar estudios hasta hace unos 10 años y se ha estudiado la utilización del vidrio como sustituto parcial del cemento, del agregado fino y del agregado grueso, así como sus propiedades puzolánicas (de Castro & de Brito, 2013). En la Figura 2.10 Ling et al (2013) proponen usos para el vidrio desechado de acuerdo al tamaño deseado.

Figura 2.10 Usos del vidrio desechado de acuerdo al tamaño al cual se lleve.



Fuente: (Ling Poon, & Wong, 2013)

La reacción Alkali-Silica (ASR, por sus siglas en inglés) es la formación de un gel el cual se expande por el concreto causando el agrietamiento del mismo de manera prematura. Shayan & Xu (2004) explican que la formación de este gel se debe a que el vidrio por tener alto contenido de sílice y una estructura amorfa es susceptible a un ataque químico de condiciones altamente alcalinas, las cuales presenta la pasta de cemento.

Esta reacción tiende a darse mayormente cuando el vidrio utilizado tiene tamaños grandes, mientras que el vidrio finamente molido no suele afectar pues por el contrario presenta propiedades puzolánicas evitando la ASR (Shao, Lefort, Moras, & Rodriguez, 2000). Partículas de vidrio de tamaño mayor a 1.2 – 1.5 mm son potenciales para que ocurra la ASR en el concreto, esto quiere decir que al utilizar partículas de este tamaño o mayores no necesariamente se va presentar dicha reacción, pero sí que existe el riesgo de darse por lo que se deben tomar medidas y precauciones a la hora de realizar concretos con estas características como por ejemplo agregar cenizas volátiles (Shayan & Xu, 2004; Schwarz et al, 2008)

Es importante destacar que esta reacción no es exclusiva de concretos en los que se utilicen vidrio como agregado ya que también puede ocurrir en el concreto convencional si los agregados utilizados contienen minerales silicios (Meyer, Egosi, & Andela, 2001).

En cuanto a los usos del vidrio en la industria constructora, el vidrio como agregado grueso es la menos recomendable sin embargo se puede utilizar en pequeñas cantidades. Esto debido a que su naturaleza plana y alargada afecta la trabajabilidad (para agregado grueso es recomendable que se tenga una superficie rugosa), lo que genera uniones débiles entre el agregado y la pasta disminuyendo la resistencia a la compresión; además el manejo se hace más difícil pues se requiere Equipo de Protección Personal en todo momento por el riesgo a cortaduras (Vijayakumar et al, 2013; Cassar & Camilleri, 2012).

Mezclas de concreto de este tipo no se puede realizar sin tomar en cuenta la ASR pues las posibilidades que dicha reacción suceda son mayores, por lo que Federico & Chidiac (2009) citan un estudio donde se afirma que el vidrio de desecho como agregado grueso solo se debe recurrir si se utiliza cemento poco alcalino o si se agregan grandes porcentajes de puzolanas.

El vidrio como agregado fino es mayormente recomendado por la literatura pues no produce cambios notables en las propiedades del concreto, tiende a aumentar la resistencia a la compresión, especialmente a largo plazo, mejora

las propiedades térmicas del concreto, no afecta la durabilidad del concreto, además si el vidrio es molido de manera fina éste no contribuye a la ASR (Shi & Zheng, 2007). Sin embargo, la característica que mayormente se ve afectada por el vidrio es el asentamiento del concreto y la trabajabilidad, esta última se puede mejorar agregando más agua a la mezcla (Ismail & Al-Hashmi, 2009; Jani & Hogland, 2014).

Dentro de los beneficios que se pueden obtener del utilizar vidrio desechado en el cemento y en el concreto Shi & Zheng (2007) citan los siguientes:

- Elimina o disminuye los costos de disposición, los cuales en algunos lugares van en aumento debido a los controles y costos impuestos por los rellenos sanitarios.
- La vida útil de los rellenos sanitarios no se ve disminuida por las enormes cantidades de vidrio.
- Ayuda a preservar recursos naturales, como las arenas de río, que no estarían siendo usados en la industria constructora y cementera.
- Si se utilizara como sustituto parcial del cemento se ayuda a ahorrar energía utilizada en el proceso de realización de este producto así como se reduciría las emanaciones de contaminantes atmosféricos generados en este proceso.
- Potencial para aumentar la conciencia ambiental en cuanto a los beneficios del reciclaje y reúso de residuos valorizables.

2.2.5. Diseño Estructural del Pavimento Rígido por la Metodología AASHTO93

2.2.5.1. Pavimento Rígido

Según (Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013) establece que los pavimentos llamados rígidos, son nombrados con aquel apelativo debido la capa de rodadura es de una losa de concreto. (Fernández Altamirano, 2017)

Debido a su naturaleza, la capa de concreto absorbe casi el total de los esfuerzos producidos por la carga de tránsito; dando menos intensidad de absorción de cargas a la capa base y la subrasante (MSGGP, 2013).

Según lo estipula el presente manual citado, en nuestra realidad existen tres tipos de pavimentos rígidos:

- ✓ Pavimentos de concreto simple con juntas
- ✓ Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- ✓ Pavimentos de concreto continuamente reforzados

2.2.5.2. Diseño de Pavimentos

La metodología de diseño está basada en la AASHTO 93, estimando esta, que con el transcurrir del tiempo y las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método estipula un servicio final, que se mantiene al terminar el periodo de diseño (MSGGP,2013).

El método consiste en un proceso iterativo, donde se tantean espesores de losa ‘‘D’’ hasta llegar al equilibrio de la ecuación AASHTO 93.

$$\text{Log}(W_{18}) = Z_R \times S_O + 7.35 \times \text{Log}(D+1) - 0.06 + \frac{\text{Log} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \cdot x_{p_t}) \cdot \log \left[\frac{S'_c \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

- ✓ W18 = número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas.
- ✓ ZR = desviación normal estándar
- ✓ SO = error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
- ✓ D = espesor de pavimento de concreto, en milímetros
- ✓ ΔPSI= diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- ✓ Pt = índice de serviciabilidad o servicio final
- ✓ Mr = resistencia media del concreto (en Mpa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)

- ✓ Cd = coeficiente de drenaje
- ✓ J = coeficiente de transmisión de carga en las juntas
- ✓ Ec = módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
- ✓ K = módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

La guía AASHTO 93 propone la solución de la ecuación anterior por medio de un nomograma, con el cual se obtiene directamente el espesor de la capa de rodadura de la estructura de pavimento rígido.

a) Variable de tiempo

Periodo de análisis: Es el tiempo total que cada estrategia de diseño debe cubrir (establece al inicio). El periodo de análisis comprende varios periodos de vida útil.

Vida útil: Es el periodo que media entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento que éste alcanza un grado de serviciabilidad mínimo.

Para efectos de diseño se considera el período de vida útil, mientras que el período de análisis se utiliza para la comparación de alternativas de diseño, es decir, para el análisis económico del proyecto. Los períodos de análisis recomendados son mostrados en la tabla N° 2.11.

Tabla 2.8 Periodo de diseño en función de tipo de carretera

Condiciones de la carretera	Periodos de análisis (años)
Altos volúmenes. Urbano	30 - 50
Altos volúmenes. Rural	20 - 50
Bajos volúmenes. Pavimentado	15 - 25
Altos volúmenes. Afirmado	10 - 20

Fuente: Guide for Desing of Pavement Structures, AASHTO, 1993

b) Tránsito

Los resultados de la AASHTO Road Test mostraron que el efecto dañino del paso de un eje de cualquier peso puede ser representado por un número de repeticiones de carga, equivalentes a 8.2 toneladas ó 18 Kips (ESAL's), aplicadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño del pavimento. A

través de los factores de carga LEFs (Load equivalent factor), determinados por la AASHTO, cuyo valor se determina en función de un espesor de losa estimado al principio. Estos valores lo proporcionan AASHTO en tablas.

El tráfico es una de las variables más significativas del diseño de pavimentos, y una de las que más incertidumbre presenta al momento de estimarse; su determinación usualmente se basa en tasas de crecimiento vehicular, las cuales no son muy precisas. La mayoría de los métodos de diseño consideran esta incerteza, y la guía AASHTO 1993 propone el uso de niveles de confiabilidad, los cuales toman en cuenta estas incertezas en la predicción de las cargas del tráfico y su comportamiento.

El tráfico se debe de convertir a ESALs por medio de la multiplicación de varios factores, tal como lo define la guía AASHTO, lo cual se presenta en la ecuación.

$$ESAL_S = \sum (N_o \text{ de vehiculos por categoría} * F_{\text{sentido}} * F_{\text{carril}} * F_{\text{crecimiento}} * F_{\text{eje equivalente}})$$

c) Confiabilidad

La confiabilidad “R” es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de este, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad está asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

Tabla 2.9 Niveles de confiabilidad recomendados por AASHTO 93

Clasificación Funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatal y otras vías	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectores	80 - 95	75 - 95
Local	50 - 80	50 - 80

d) Desviación estándar y factor de desviación normal

La curva de diseño propuesta por la AASHTO, de acuerdo a los resultados obtenidos en sus tramos experimentales, no coincide con la curva del comportamiento real del pavimento, a pesar de tener la misma forma, debido a errores asociados a la ecuación de comportamiento propuesta y a la dispersión de la información utilizada en el dimensionamiento del pavimento. Los resultados del diseño para el nivel de confianza elegido deberán ser corregidos utilizando un factor de corrección, que representa la desviación estándar y evalúa los datos dispersos que configuran la curva real de comportamiento del pavimento.

Tabla 2.10 Desviación Normal de la Confiabilidad

Confiabilidad R (%)	Desviación Estándar Normal Z_R
50	0.0000
60	-0.2533
70	-0.5244
75	-0.6745
80	-0.8416
85	-1.0364
90	-1.2816
91	-1.3408
92	-1.4051
93	-1.4758
94	-1.5548
95	-1.6449
96	-1.7507
97	-1.8808
98	-2.0537
99	-2.3263
99.9	-3.0902
99.99	-3.7190
99.999	-4.2649

Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

e) **Serviciabilidad**

La serviciabilidad se define como la capacidad del pavimento de desempeñarse adecuadamente ante todo tipo de tráfico que circula en la vía, se mide en una escala del 0 al 5, en donde 0 (cero) significa pavimento intransitable y 5 significa pavimento en excelentes condiciones. Este factor es una medida subjetiva de la calificación del pavimento; sin embargo, la tendencia es definirla usando parámetros como el índice de regularidad internacional (IRI).

La serviciabilidad inicial (P_0) es la condición de un pavimento inmediatamente después de la construcción de este. La guía AASHTO recomienda para pavimentos rígidos un $P_0 = 4.5$, mediante el uso de adecuadas técnicas de construcción. La serviciabilidad final (P_t) es la capacidad funcional que se espera tenga un pavimento al final del periodo de diseño. La AASHTO sugiere que para carreteras principales se utilice un valor de $P_t = 2.5$ ó 3.0 y para carreteras de bajo nivel un valor de serviciabilidad final de 2.0 .

El cambio total en el índice de serviciabilidad (ΔPSI) viene dado por:

$$\Delta PSI = P_0 - P_t$$

f) **Módulo de reacción de la subrasante (K)**

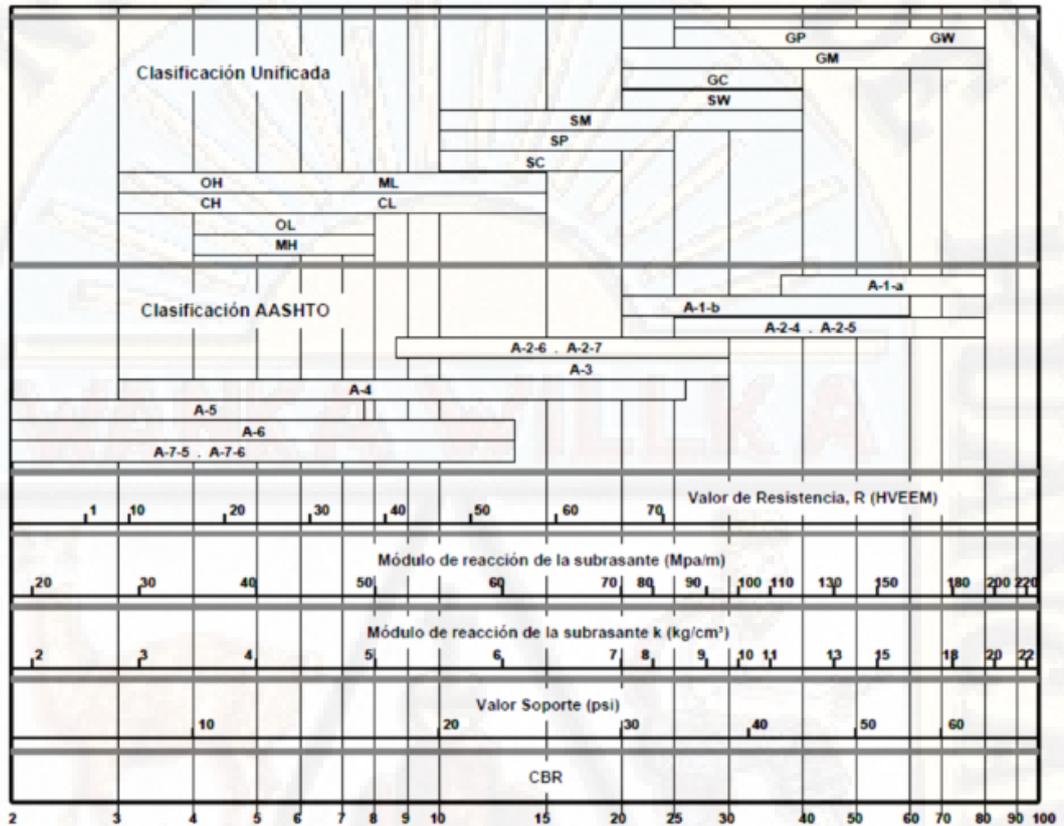
Este factor nos da idea de cuánto se asienta la subrasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga.

Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R . El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k ;

las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

Figura 2.11 Relaciones aproximadas entre los valores de resistencia y clasificación del suelo



Fuente: NTE CE 0 10 Pavimentos Urbanos Pag. 57

g) Módulo de rotura de concreto (S'C)

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios o mediante carga puntual. Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho

punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo, siendo esta metodología la utilizada en la presente investigación.

h) Módulo de elasticidad del concreto (EC)

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, la AASHTO sugirió:

$$E_c = 57000 \times \sqrt{f'_c} \text{ (psi)}$$

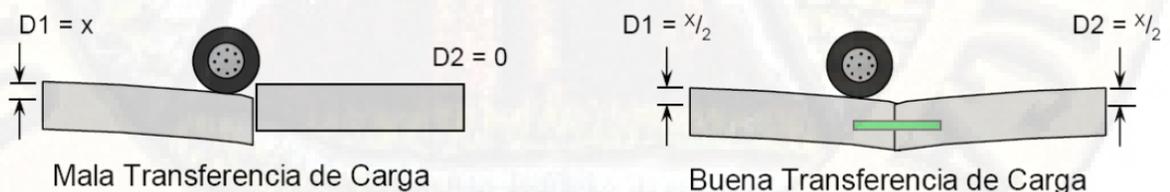
Dónde:

f'_c : Resistencia del concreto en (psi)

i) Coeficiente de transferencia de carga (J)

El coeficiente J representa la eficiencia de transferencia de carga que tiene una losa del pavimento al transmitir fuerzas cortantes a las losas adyacentes, esto tiene por objeto minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento.

Figura 2.12 Esquema de transferencia de carga entre losas vecinas



Fuente: Adaptado del Instituto del cemento portland argentino ICPA, presentación de diseño de pavimentos rígidos. Ing. Diego H. Calo [2008: P.25]

Tabla 2.11 Coeficiente de transferencia de carga

Tipo de Berma	Concreto Asfáltico		Anclada y de concreto de cemento Pórtland	
	Si	No	Si	No
Dispositivos de transmisión de cargas				
Pavimentos con juntas de concreto simple o concreto reforzado	3.2	3.4 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Pavimentos de concreto continuamente reforzado	2.9 - 3.2	NA	2.3 - 2.9	NA

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

j) Coeficiente de drenaje (CD)

La capacidad de drenaje se determina en función del tiempo que tardan las aguas de lluvia en ser evacuadas del pavimento. Mientras que el coeficiente de drenaje está relacionado con el porcentaje de tiempo que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 2.12 Coeficiente de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	AGUA REMOVIDA EN:
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Malo	agua no drenada

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

Se muestra también el porcentaje del tiempo a lo largo de un año, en el cual la estructura del pavimento pueda estar expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación.

Tabla 2.13 Coeficiente de drenaje para pavimento rígido

CALIDAD DEL DRENAJE	Porcentaje de tiempo al cual esta expuesta la estructura del pavimento a niveles de Humedad próxima a la saturación			
	Menor del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Mayor del 25%
Excelente	1.25 - 1.20	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10
Bueno	1.20 - 1.15	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00
Regular	1.15 - 1.10	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90
Pobre	1.10 - 1.00	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80
Malo	1.00 - 0.90	0.90 - 0.80	0.80 - 0.70	0.70

Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993

k) Determinación del espesor del pavimento

Se emplea la ecuación de comportamiento para despejar el espesor de la losa (D) en pulgadas. El rango del espesor varía entre 5.0 y 14.0 pulgadas.

Si las condiciones de construcción lo permiten, se debe reportar el espesor de diseño redondeado a 0.5 pulgadas.

Se recuerda que los valores de cada variable deben ser promedios pues el método considera el análisis por confiabilidad aplicado al tránsito W18. (Isidro Chagua, 2018)

2.3. Hipótesis

2.3.1. Hipótesis general

El vidrio triturado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.

2.3.2. Hipótesis específicas

- ✓ El vidrio tamiz N° 30 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.
- ✓ El vidrio tamiz N° 16 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.
- ✓ El vidrio tamiz N° 8 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.
- ✓ El vidrio tamiz N° 4 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.

2.4. Definición de términos

❖ Agregado

Un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

❖ **Granulometría**

Graduación del tamaño de las piedras o granos que constituyen los agregados fino y grueso. Método para determinar dicha graduación.

❖ **Concreto**

Es un material de construcción compuesto por materiales inertes y cemento, caracterizado por ser éste del tipo frágil y soportar grandes cargas.

❖ **Cemento**

Es el material más activo de la mezcla de concreto, por tanto, sus características y sobre todo su contenido (proporción) dentro de la mezcla tienen una gran influencia en la resistencia del concreto a cualquier edad. A mayor contenido de cemento se puede obtener una mayor resistencia y a menor contenido la resistencia del concreto va a ser menor.

❖ **Propiedades físicas del concreto**

Usualmente se le conoce como las propiedades que presenta el concreto en estado fresco, siendo altamente reconocibles como la trabajabilidad, consistencia y homogeneidad

❖ **Propiedades mecánicas del concreto**

Es conocido como la resistencia que el concreto muestra en estado endurecido cuando es sometido a la acción de fuerzas externas. Entre las principales figuran: la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, rigidez, impacto, etc.

❖ **Pavimento rígido**

Constituido por cemento Pórtland como aglomerante, agregados y de ser el caso aditivo.

❖ **Resistencia**

Es considerada la cuantificación de la capacidad que tiene el concreto de soportar cargas y esfuerzos.

❖ **Resistencia a la compresión simple**

Es la característica mecánica principal del concreto. Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm², MPa y con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi).

❖ **Resistencia a la flexión**

Es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón). Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada.

❖ **Vidrio**

Sustancia transparente o translúcida, dura y frágil a la temperatura ordinaria, que se obtiene fundiendo una mezcla de sílice con potasa o sosa y pequeñas cantidades de otras bases, y a la cual pueden darse distintas coloraciones mediante la adición de óxidos metálicos; se emplea para fabricar recipientes, materiales de construcción, lentes ópticas, etc.

❖ **Reciclaje**

Consiste en convertir materiales ya utilizados en materias primas para fabricar nuevos productos.

2.5. Variables

Variable independiente: Vidrio triturado

Variable dependiente: Resistencia a la flexión

2.6. Operacionalización de variables

VARIABLE	DESCRIPCIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE Vidrio triturado	Es la variación de las dimensiones de vidrio triturado, según la retención en la malla del tamiz granulométrico	Vidrio tamiz N° 30 (molido)	Diámetro: 0.6 mm (2/85")
		Vidrio tamiz N° 16 (semimolido)	Diámetro: 1.18 mm (2/43")
		Vidrio tamiz N° 8 (tamizado)	Diámetro: 2.36 mm (4/43")
		Vidrio tamiz N° 4 (granular)	Diámetro: 4.75 mm (3/16")
DEPENDIENTE Resistencia a la flexión	Es la fuerza de flexión que se ejerce sobre un área resistente	Módulo de rotura	L (cm), Carga (kgf), Esfuerzo(kgf/cm ²)
		Curva esfuerzo - deformación	Deformación unitaria, Carga (kgf) Esfuerzo(kgf/cm ²)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es **APLICADA**, toda vez que se aplicaron instrumentos en base a la teoría revisada para medir la influencia del vidrio triturado en la resistencia del concreto. Los resultados servirán como base para investigaciones futuras y permitirá verificar si la teoría se cumple en el ámbito de estudio.

3.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación será **EXPLICATIVO**, toda vez que se establecerá la relación causa – efecto de la influencia del vidrio triturado en la resistencia del concreto, mediante la prueba de hipótesis.

3.2.1. Método de investigación

La metodología de dicha investigación será experimental dado a que se manipulará el porcentaje de vidrio triturado en el concreto para analizar su efecto en la resistencia a la flexión, es decir se provocará un estímulo para observar e interpretar su resultado.

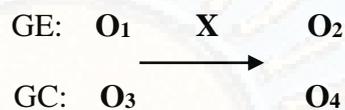
3.2.2. Diseño de investigación

El diseño de la presente investigación es **CUASI-EXPERIMENTAL** porque existirá manipulación de variables, es decir, se interpreta lo que es. Con un tipo de experimento cuasi experimental porque sus integrantes no se asignan al

azar, sino que los grupos ya están formados antes del experimento alcanzando una validez interna en la medida que se demuestra la equivalencia en los grupos y en el proceso de experimentación.

DG: Cuasi Experimental

DE: Cuasi Experimental con dos grupos no equivalentes y con pre test y post test



Dónde: (X) aplicación de vidrio triturado

GE = Grupo Experimental (Diseño de concreto con vidrio triturado)

GC = Grupo de control (Diseño de concreto convencional)

O₁ y O₃= Pre Test

O₂ y O₄= Post test

3.3. Población, muestra y muestreo

La muestra está constituida por 45 viguetas de concreto con un diseño de $f'c=280$ kg/cm ensayadas a 7,14 y 28 días. 3 viguetas para concreto convencional, 3 viguetas con vidrio de espesor N° 30, 3 viguetas con vidrio de espesor N° 16, 3 viguetas con vidrio de espesor N° 8 y 3 probetas con vidrio de espesor N° 4.

Para garantizar la calidad del concreto, se efectuaron ensayos de resistencia a la compresión la cantidad de 30 briquetas; haciendo un total de 75 especímenes sometidos.

		7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	NÚMERO DE MUESTRAS	POBLACIÓN	
ENSAYO A COMPRESIÓN	Patrón	3		3	30	75	
	vidrio triturado	molido	3				3
		semimolido	3				3
		tamizado	3				3
		granular	3				3
ENSAYO A FLEXIÓN	patrón	3	3	3	45		
	vidrio triturado	molido	3	3			3
		semimolido	3	3			3
		tamizado	3	3			3
		granular	3	3		3	

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Variables dependientes	Recolección de datos		
	Fuente	Técnica	Instrumento
Resistencia a la flexión	Experimento: Ensayos	Observación directa	Fichas de ensayos. Hoja de datos

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

Observación: Se estudió los efectos que genera la adición del vidrio triturado al concreto convencional, y se anotarán los resultados parciales que se obtengan.

Análisis de Documentos: Se tuvo en cuenta libros, tesis, revistas, normas técnicas, etc., relacionados al tema que se investigó.

3.4.2. Instrumentos de recolección de datos

Se realizará mediante los diferentes formatos para cada tipo de ensayo. Se emplearán los siguientes formatos:

- ✓ Formato para ensayo granulométrico de agregados.
- ✓ Formato para ensayo de contenido de humedad de agregados.
- ✓ Formato para ensayo de absorción de los agregados.
- ✓ Formato para ensayo de peso unitario de los agregados.
- ✓ Formato para ensayo de peso específico de agregados.

- ✓ Formato para anotar la resistencia mecánica de las probetas.

Guía de análisis de documentos

Se revisaron normas técnicas que facilitaron, un adecuado desarrollo de la investigación.

Guiándonos de las normas MTC, ASTM y NTP específicos para cada ensayo, también de las guías de laboratorio que se mostraran en las siguientes descripciones:

- ✓ Contenido de humedad (MTC 108/ASTM D2216 / NTP 339.127).
- ✓ Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (N.T.P. 400.012: 2001 / MTC E204 - ASTM C 136-96).
- ✓ Cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 (MTC E202 – ASTM C117 – NTP 400.018).
- ✓ Peso unitario de los agregados (MTC E 203 – ASTM C29 – NTP 400.017)
- ✓ Gravedad específica y absorción de agregado fino (MTC E 205 / ASTM C128 / NTP 400.022).
- ✓ Peso específico y absorción de agregados gruesos (MTC E206 – ASTM C127 – NTP 400.021)
- ✓ Diseño de mezcla mediante el método ACI.
- ✓ Resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (MTC E704 – ASTM C39 – NTP 339.034)
- ✓ Resistencia a la flexión (ASTM C78-02 – NTP 339.078)

3.5. Técnica y procesamiento de análisis de datos

Para el análisis de datos se hace uso del software Excel, para el procesamiento de los distintos ensayos que se realizaron. y posteriormente hallar los resultados respectivos.

Para el análisis de datos se realizó con el método ANOVA y para la comparación de resultados el método Tukey utilizando el software Excel y Minitab v18.

De igual manera se hace uso de histogramas, gráficos, tablas, etc. para la presentación de datos.

3.6. Descripción de procesos

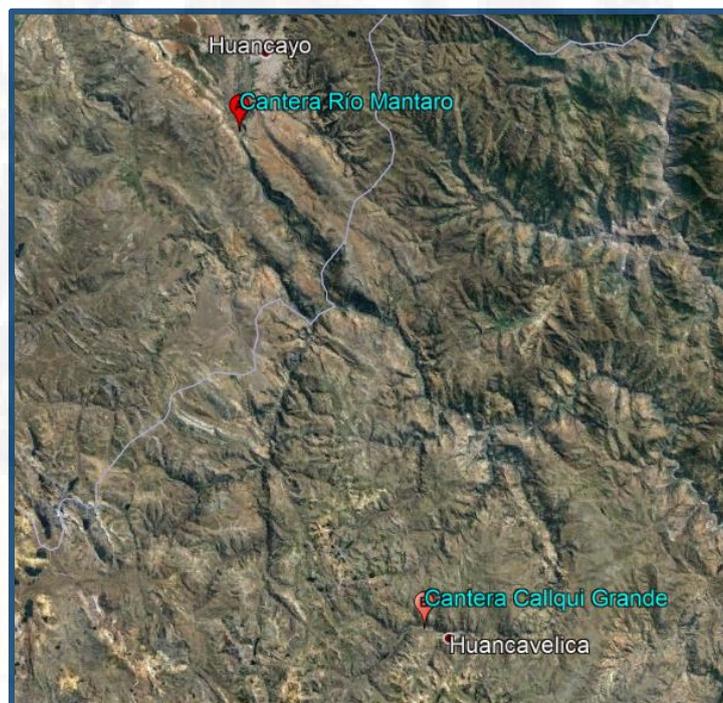
3.6.1. Selección de materiales

Se tendrá especial cuidado en seleccionar la procedencia de los materiales. Tienen que estar aptos para su uso, libres de impurezas y de partículas orgánicas; los agregados serán obtenidos de la cantera local Callqui Grande y Mantaro, el cemento será Portland Tipo I y el vidrio triturado a utilizar será recolectada de la Macrorregión Centro y procesada en la ciudad de Huancayo.

a) **Obtención del material agregado fino y grueso**, la obtención de estos materiales se realizó de manera manual, se extrajo de:

- ✓ Agregado grueso (piedra chancada) de la cantera de Callqui Chico - Huancavelica
- ✓ Agregado fino (arena) de la cantera del río Mantaro - Huancayo

Figura 3.13 Ubicación de las canteras



Fuente: Google maps

- b) **Obtención del cemento portland Tipo I**, este material se obtuvo en una Ferretería local. El cemento que se utilizó fue el **Cemento Andino Tipo I**
- c) **Obtención de vidrio triturado**, esto se realizó de la ciudad de Huancayo del Empresa Laboratorio “c3 Ingeniería Especializada”. Se dispuso la trituración del vidrio en 4 tamaños diferentes según el tamiz granulométrico, lo cual detallaremos a continuación:

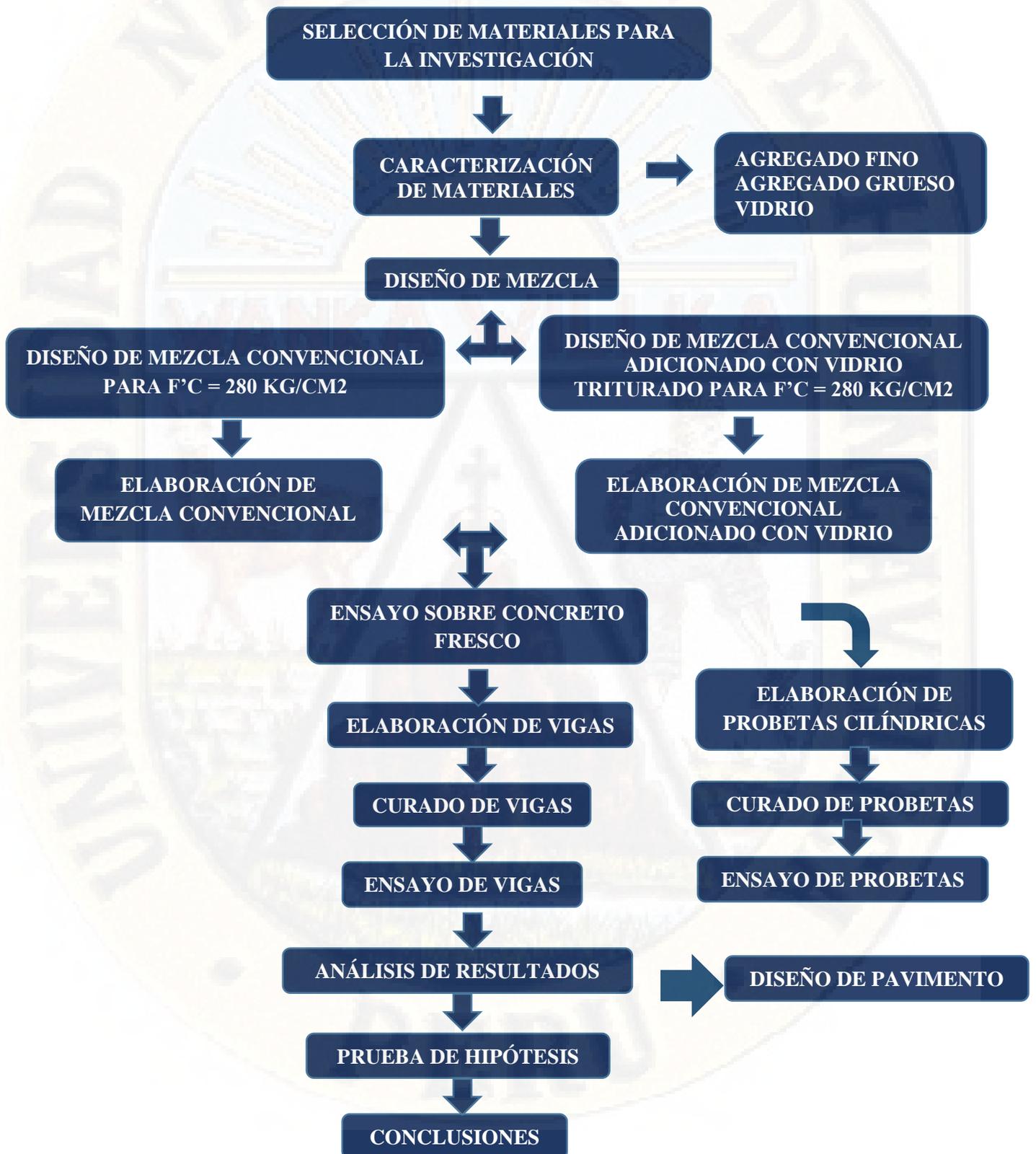
Vidrio triturado	Descripción	Diámetro (mm)	Diámetro (pulg.)	Sobrenombre
Vidrio tamiz N° 30	Retención en malla # 30 según tamiz granulométrico	0.6 mm	2/85"	Molido
Vidrio tamiz N° 16	Retención en malla # 16 según tamiz granulométrico	1.18 mm	2/43"	Semimolido
Vidrio tamiz N° 8	Retención en malla # 8 según tamiz granulométrico	2.36 mm	4/43"	Tamizado
Vidrio tamiz N° 4	Retención en malla # 4 según tamiz granulométrico	4.75 mm	3/16"	Granular

3.6.2. Ensayos de Materiales

Se realizaron todos los ensayos necesarios en el laboratorio de la Universidad Nacional de Huancavelica al agregado grueso, agregado fino, resistencia a la compresión y flexión; según especificaciones de la Norma Técnica Peruana y el Reglamento Nacional de Edificaciones.

3.6.3. Procedimiento para la recolección de datos

3.6.3.1. Diagrama de Flujo de procesos



3.6.3.2. Para analizar información.

Se analizó la información adquirida en los ensayos realizados a los agregados (grueso, fino) y al vidrio, los cuales son: análisis granulométrico, contenido de humedad, peso unitario, peso específico y absorción. Se realizó diferentes hojas de cálculo para el procesamiento de datos en cada uno de ellos.

Para el caso de análisis granulométrico se realizó el procesamiento del tamizado y también se realizó su respectiva curva granulométrica.

Para la determinación de las dosificaciones se utilizó el método ACI, se definió la cantidad de cada elemento (agregado grueso y fino, cemento, agua) y también la cantidad necesaria en función al tamaño de vidrio.

Se analizó también los ensayos realizados a las probetas cilíndricas y prismáticas que fueron el de resistencia a la compresión y flexión, también se realizó hojas de cálculos para el procesamiento de datos de cada uno.

En el ensayo de resistencia a la compresión se determinó el esfuerzo producido por la carga ultima. Así mismo se determinó la resistencia la flexión de cada una de las muestras y la resistencia promedio para cada tipo de vigueta.

CAPÍTULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

4.1.1. Caracterización de agregados

4.1.1.1. Análisis granulométrico de agregados finos y gruesos (ASTM C-136 / NTP 400.012)

a) Análisis granulométrico de agregados grueso (ASTM C-136 / NPT 400.012)

Permite saber el conjunto de propiedades con las que cuenta el agregado teniendo también un propósito que es la obtención del módulo de finura para posteriormente ser utilizado en un diseño para concreto.

Tabla 4.14 Resultados de la granulometría del agregado grueso

Malla #	Diámetro (mm)	Peso retenido (gr.)	% Retenido (%)	% Retenido acumulado (%)	% Que pasa
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	0.81	13.26	13.26	86.74
1/2"	12.50	3.73	61.05	74.30	25.70
3/8"	9.50	1.30	21.28	95.58	4.42
N° 4	4.75	0.16	2.62	98.20	1.80
	Fondo	0.11	1.80	100.00	0.00
	Total	6.11	100.00		

Módulo de fineza	7.07
------------------	------

TM	1"
TMN	3/4"

Tabla 4.15 Límites granulométricos

Malla #	Diámetro (mm)	% Que pasa	
		Especificaciones	
1	25.00	100	100
"3/4"	19.00	90	100
"1/2"	12.50	20	55
"3/8"	9.50	0	15
N 4	4.75	0	5

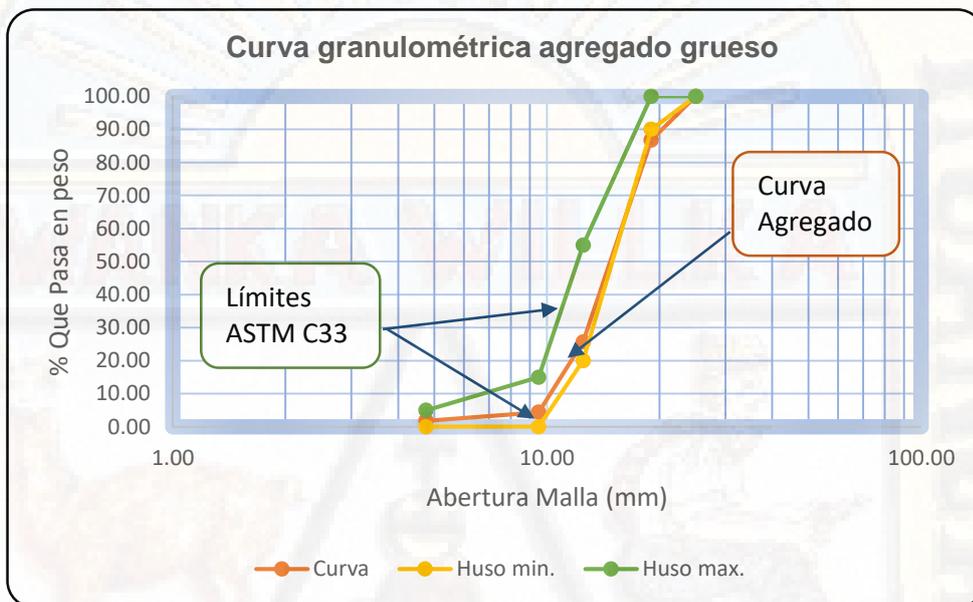


Figura 4.14 Curva granulométrica del agregado grueso

b) Análisis granulométrico del agregado fino (ASTM C-136 / NPT 400.012)

Este ensayo permite saber el conjunto de propiedades con las que cuenta el agregado tales como su dimensión proporciones y forma de las partículas teniendo un propósito que es la obtención del módulo de finura para posteriormente ser utilizado en un diseño para concreto.

Tabla 4.16 Resultados de la granulometría del agregado fino

Malla #	Diámetro (mm)	Peso retenido(gr.)	% Retenido(%)	% Retenido acumulado	% Que pasa
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100
N 4	4.75	0.15	5.16	5.16	94.84
N 8	2.36	0.42	14.34	19.50	80.50
N 16	1.18	0.58	19.87	39.37	60.63
N 30	0.60	0.79	27.12	66.49	33.51
N 50	0.30	0.60	20.73	87.22	12.78
N 100	0.15	0.27	9.33	96.55	3.45
N 200	0.08	0.07	2.42	98.96	1.04
	Fondo	0.03	1.04	100	0
	Total	2.89	100		

Módulo de fineza	3.14
-------------------------	------

Tabla 4.17 Límites granulométricos

Malla #	Diámetro (mm)	% Que pasa	
		Especificaciones	
3/8	9.50	100	100
N 4	4.75	95	100
N 8	2.36	80	100
N 16	1.18	50	85
N 30	0.60	25	60
N 50	0.30	10	30
N 100	0.15	2	10
N 200	0.08	0	3

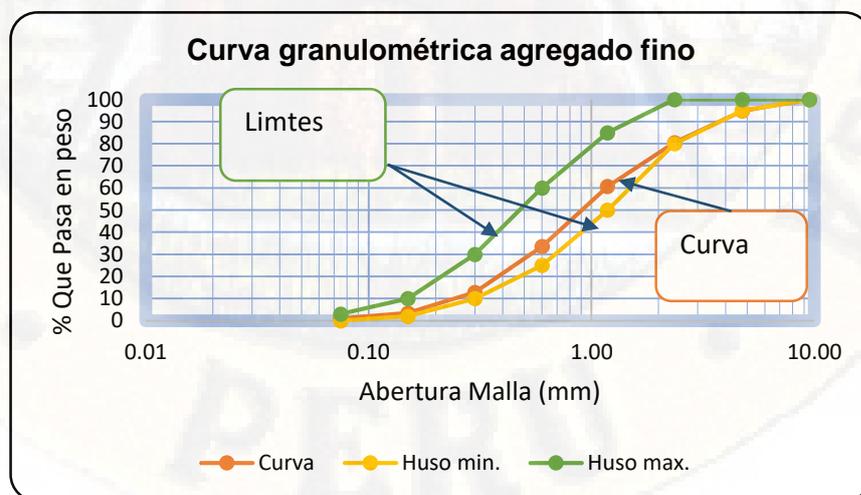


Figura 4.15 Curva granulométrica del agregado fino

**4.1.1.2. Contenido de humedad total evaporable de los agregados por secado
(ASTM C566/ NPT 339.185)**

a) Contenido de humedad del agregado grueso (ASTM C-566 / NPT 339.185)

Permite saber el contenido de humedad que presenta una muestra mediante una relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso seco.

ENSAYO	MUESTRA		
	1	2	3
Peso de tara (gr.)	155	155	155
Peso de tara + muestra húmeda(gr.)	1155.00	1155.00	1155.00
Peso de tara + muestra seca(gr.)	1135.00	1145.00	1125.00
Peso muestra húmeda(gr.)- (H)	1000.00	1000.00	1000.00
Peso muestra seca(gr.)- (S)	980.00	990.00	970.00
Contenido de humedad (%) - (W)	2.04	1.01	3.09
Contenido de humedad promedio(%)	2.05		

Tabla 4.18 Resultados del contenido de humedad del agregado grueso

b) Contenido de humedad del agregado fino (ASTM C-566 / NPT 339.185)

Ensayo que permite saber el contenido de humedad que presenta una muestra mediante una relación entre el peso del agua contenida en la muestra y el peso seco.

ENSAYO	MUESTRA		
	1	2	3
Peso de tara (gr.)	82.75	82.75	82.75
Peso de tara + muestra húmeda(gr.)	582.75	582.75	582.75
Peso de tara + muestra seca(gr.)	542.75	572.75	572.75
Peso muestra húmeda(gr.)- (H)	500.00	500.00	500.00
Peso muestra seca(gr.)- (S)	460.00	490.00	490.00
Contenido de humedad (%) - (W)	8.70	2.04	2.04
Contenido de humedad promedio(%)	4.26		

Tabla 4.19 Resultados del contenido de humedad agregado fino

4.1.1.3. Peso unitario y de vacíos de los agregados (ASTM C-29 / NPT 400.017)

a) Peso unitario seco suelto y compactado del agregado grueso (ASTM C-29 / NPT 400.017)

Justamente trata de determinar el peso unitario seco compactado y suelto es decir varillado para la obtención de un resultado cuantitativo utilizado para un diseño posterior de concreto.

ID	ENSAYO	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Volumen del molde	m ³	0.01	0.01	0.01	
B	Peso del molde + agreg. compactado	Kg	18.11	17.84	18.12	
C	Peso del molde	Kg	10.17	10.17	10.17	
D	Peso del agreg. compactado (D=B-C)	Kg	7.95	7.68	7.96	
E	Peso unitario compactado(E=D/A)	Kg/m ³	1428.96	1380.40	1430.76	1413.37
F	Peso del molde + agreg. suelto	Kg	17.35	17.29	17.51	
G	Peso del agreg. suelto (G=F-C)	Kg	7.18	7.12	7.34	
H	Peso unitario suelto (H=G/A)	Kg/m ³	1291.37	1280.58	1320.14	1297.36

Tabla 4.20 Resultados del peso unitario seco compactado y suelto del agregado grueso

b) Peso unitario seco suelto y compactado del agregado fino (ASTM C-29 / NPT 400.017)

Trata de determinar el peso unitario seco compactado y suelto es decir varillado para la obtención de un resultado cuantitativo utilizado para un diseño posterior de concreto.

ID	ENSAYO	UND	1	2	3	RESULTADO
A	Volumen del molde	m ³	0.01	0.01	0.01	
B	Peso del molde + agreg. compactado	Kg	18.84	18.94	19.05	
C	Peso del molde	Kg	10.17	10.17	10.17	
D	Peso del agreg. compactado (D=B-C)	Kg	8.67	8.77	8.89	
E	Peso unitario compactado (E=D/A)	Kg/m ³	1559.35	1577.34	1598.02	1578.24
F	Peso del molde + agreg. suelto	Kg	18.15	18.10	18.49	
G	Peso del agreg. suelto (G=F-C)	Kg	7.98	7.93	8.33	
H	Peso unitario suelto (H=G/A)	Kg/m ³	1435.25	1426.26	1497.30	1452.94

Tabla 4.21 Resultados del peso unitario seco compactado y suelto del agregado fino

4.1.1.4. Peso específico y absorción del agregado grueso (ASTM C-127 / NPT 400.021)

Este ensayo determina directamente el peso específico de masa para un diseño de mezcla posterior.

Ensayo	Unid.	Resultado
Peso agregado al aire SSS (B)	gr.	3000.00
Peso agregado sumergido (C)	gr.	1842.10
Peso agregado secado al horno (A)	gr.	2940.00
Pem (Peso específico de masa)	gr/cm³	2.54
Pemsss	gr/cm ³	2.59
Pea (Peso específico aparente)	gr/cm ³	2.68
Absorción	%	2.04

Tabla 4.22 Resultados del peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.

4.1.1.5. Peso específico y absorción de agregados finos (ASTM C-128 / NTP 400.022)

Este ensayo determina directamente el peso específico de masa para un diseño de mezcla posterior.

ID	Ensayo	Unid.	Resultado
A	Peso saturado superficialmente seco del suelo (Psss)	gr.	500.00
B		gr.	660.14

	Peso del frasco + agua hasta marca de 1000ml		
C	Peso del frasco + agua + Psss, $C = A + B$	gr.	1160.14
D	Peso del frasco + Psss + agua hasta marca de 1000ml	gr.	963.25
E	Volumen de masa + volumen de vacío $E = C - D$	cm ³	196.89
F	Peso seco del suelo (En estufa a 105°C±5°C)	gr.	482.98
G	Volumen de masa, $G = E - (A - F)$	cm ³	179.87
H	Peso específico masa (base seca), $H = F/E$	gr./cm³	2.453
I	Peso específico sss (base saturada), $I = A/E$	gr./cm ³	2.539
J	Peso específico aparente(base seca), $J = F/G$	gr./cm ³	2.685
K	Absorción, $K = (A - F/F)*100$	%	3.524

Tabla 4.23 Resultados del peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.

4.1.1.6. Cuadro resumen de las características físico - mecánicas de los agregados

Tabla 4.24 Cuadro resumen de las características físico - mecánicas del agregado grueso

CARACTERÍSTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL AGREGADO GRUESO		
ENSAYO (NORMA)	VALOR	UNIDAD
Módulo de finura (ASTM C136/NTP 400.012)	7.07	-
Contenido de humedad (ASTM C566/NTP 339.185)	2.05	%
Peso específico M (ASTM C127/NTP 400.021)	2.54	gr/cm ³
Peso específico M. SSS (ASTM C127/NTP 400.021)	2.59	gr/cm ³
Peso específico A (ASTM C127/NTP 400.021)	2.68	gr/cm ³
Absorción (ASTM C127/NTP 400.021)	2.04	%
Peso unitario suelto (ASTM C29/NTP 400.021)	1297.36	kg/m ³
Peso unitario compactado (ASTM C29/NTP 400.017)	1413.37	kg/m ³

Tabla 4.25 Cuadro resumen de las características físico- mecánicas del agregado fino

CARACTERISTICAS FÍSICO MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO		
ENSAYO(NORMA)	VALOR	UNIDAD
Módulo de finura (ASTM C136/NTP 400.012)	3.14	-
Contenido de humedad (ASTM C566/NTP 339.185)	4.26	%
Peso específico M (ASTM C127/NTP 400.021)	2.45	gr/cm ³
Peso específico M. SSS (ASTM C127/NTP 400.021)	2.54	gr/cm ³
Peso específico A (ASTM C127/NTP 400.021)	2.69	gr/cm ³
Absorción (ASTM C127/NTP 400.021)	3.52	%
Peso unitario suelto (ASTM C29/NTP 400.021)	1452.94	kg/m ³
Peso unitario compactado (ASTM C29/NTP 400.017)	1578.24	kg/m ³

4.1.2. DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

El siguiente método de aplicación ACI 211 permite obtener datos cuantitativos de las cantidades de los materiales como el cemento, agua, arena, piedra y aditivos

4.1.2.1. MATERIALES:

❖ **Cemento:**

- Andino Portland ASTM = Tipo IP
- Peso específico = 3.12
- Resistencia a la compresión: $F'c = 245 \text{ Kg/cm}^2$

❖ **Agua:**

- Potable, de la red de servicio pública de Huancavelica
- Peso específico = 1000 Kg/m³

❖ **Agregado grueso:**

- Tamaño máximo nominal = 3/4"
- Peso seco compactado = 1413.37 Kg/m³
- Peso específico aparente = 2.68
- Absorción = 2.04%
- Contenido de humedad = 2.05%

❖ **Agregado fino:**

- Peso específico aparente = 2.69
- Absorción = 3.52%
- Contenido de humedad = 4.26%
- Módulo de finura = 3.14

4.1.2.2. DISEÑO DE MEZCLA POR EL MÉTODO ACI 211

a) Selección de la resistencia a la compresión ($f'c$)

Se Seleccionó una resistencia de 280 kg/cm², ya que es el valor mínimo recomendado para pavimentos rígidos, según el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, considerando también que la finalidad del proyecto de investigación es un concreto de uso para el tipo de pavimentos mencionados.

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

b) Elección del asentamiento.

De acuerdo con el uso del concreto se elige un tipo consistencia, en este caso por tratarse de un concreto para pavimento rígido es necesario el uso de una mezcla de consistencia ‘seca’ valor que oscila entre 0’’ (0 mm) a 2’’(50mm). Y por criterios de trabajabilidad de la mezcla, se hará uso de un asentamiento de 1’’.

$$\text{Asentamiento} = 1''$$

c) Elección del tamaño máximo nominal (TMN) y tamaño máximo(TM).

El tamaño máximo nominal del agregado grueso será de 3/4’’, siendo un requerimiento según el ACI 318S-11 que el TMN del agregado debe ser menor o igual que 1/3 del espesor de la losa ($TMN \leq h/3$).

$$TMN = 3/4''$$

d) Cálculo del agua de la mezcla y contenido del aire.

El concreto diseñado, será del tipo ‘sin aire incluido’.

Considerando un TMN = 3/4''

Dato ya obtenido de asentamiento = 1''

Por lo tanto, según la tabla, corresponde a la **cantidad de agua= 190 L/m³**.

También, corresponde la cantidad de **aire incluido= 2%**.

e) Selección de la relación A/MC o A/C.

Se Seleccionó, mediante la siguiente tabla: la resistencia a la compresión media requerida.

$$f'_{cr} = f'_{c} + 84 \text{ (kg/ cm}^2\text{)}$$

$$f'_{cr} = 280 + 84 \text{ (kg/ cm}^2\text{)}$$

$$f'_{cr} = 364 \text{ kg/ cm}^2$$

Ahora, para determinar la relación agua/ cemento (A/C), se hizo uso de la siguiente tabla:

Nos ubicamos en la parte de la tabla donde se encuentra e interpolamos hasta llegar al valor correspondiente para el f'_{cr} trabajado.

$$f'_{cr} = 364 \text{ kg/ cm}^2$$

$$400 \text{ _____ } 0.43$$

$$364 \text{ _____ } x$$

$$350 \text{ _____ } 0.48$$

Interpolando, llegamos al valor de: $x = 0.466$

Por lo tanto: **Relación a/c = 0.4666**

f) Cálculo del contenido de cemento

Ya habiendo realizado los pasos anteriores como la cantidad de agua y la relación a/c, despejamos la formula mostrada a continuación, con el fin de encontrar la cantidad de cemento de diseño.

$$\text{Contenido de cemento(Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Contenido de agua de mezcla (l/m}^3\text{)}}{\text{Relación } \frac{a}{c} \text{ (para f' cr)}}$$

$$\text{Contenido de cemento(Kg/m}^3\text{)} = \frac{190 \text{ l/m}^3}{0.466}$$

$$\text{Contenido de cemento(Kg/m}^3\text{)} = 408 \text{ kg/m}^3$$

Tabla 4.26 Resumen de datos hasta el momento

Materiales	P. seco (kg/m3)	Volumen (m3)
Cemento Tipo 1	408	0.1308
Agua	190	0.1900
Agregado fino		
Agregado grueso		
Aire(2%)	-	0.0200
Balance volúmenes		0.3408
Saldo volúmenes		0.6592

Fuente: Autoría propia

g) Estimación del Agregado Fino y Grueso.

Ya en este paso, se determina los volúmenes absolutos de los agregados, teniendo en consideración los siguientes datos: (TMN A.G.= 3/4'' y MF A.F.= 3.14)

$$\text{Factor AG} = 0.60$$

$$\text{Peso seco AG} = \text{PUSC(AG)} \times \text{Factor AG}$$

$$\text{Peso seco AG} = 1,550 \times 0.60$$

$$\text{Peso seco AG} = 930 \text{ kg/m}^3$$

Por tanto, El volumen Absoluto de AG. es:

$$\text{Vol. Abs. AG} = 0.366 \text{ m}^3$$

Ahora calculamos, el Volumen absoluto y Peso Seco del Agregado Fino.

$$\text{Vol. AF} = \text{Volumen faltante agregados} - \text{Volumen AG}$$

Vol. AF= 0.6592 - 0.366

Vol. AF= 0.2932 m³

Peso seco AF= 0.2932 x 2450

Peso seco AF= 718.34

Peso seco AF= 718 kg/m³

Ya obteniendo los últimos datos, mostrados anteriormente; podemos determinar el Peso Seco y el Volumen de Todos los materiales, que serán agrupados en la siguiente tabla:

Tabla 4.27 Resumen de datos

Materiales	P. seco (kg/m ³)	Volumen (m ³)
Cemento Tipo 1	408	0.1308
Agua	190	0.1900
Agregado fino	930	0.3660
Agregado grueso	718	0.2932
Aire(2%)	-	0.0200
Total	2246	1.0000

Fuente: Autoría propia

Ahora realizaremos las correcciones por humedad y % absorción de los agregados

Corrección por % absorción

Para realizar la corrección por absorción, se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\text{Correc. Peso AG sss} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\%abs}{100}\right)$$

$$\text{Correc. Peso AF sss} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\%abs}{100}\right)$$

Tabla 4.28 Corrección por % Absorción

Materiales	P. seco (kg/m3)	Volumen(m3)	% Absorción	Correccion por % Absorción	Peso SSS(kg/m3)
Cemento Tipo 1	408	0.1308			408
Agua	190	0.1900			190
Agregado fino	930	0.3660	3.5239554	930x(1+3.52/100)	962.77
Agregado grueso	718	0.2932	2.0408163	718x(1+2.05/100)	732.65
Aire (2%)	-	0.0200			
Total	2246	1.0000			2293.43

Fuente: Autoría propia

Corrección por % humedad

Para realizar la corrección por humedad, se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$\text{Correc. Peso AG Hum.} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{Hum}}{100}\right)$$

$$\text{Correc. Peso AG Hum.} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{Hum}}{100}\right)$$

$$\text{Aporte de Agua AG} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{Abs}}{100}\right)$$

$$\text{Aporte de Agua AF} = \text{Peso AG seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{Abs}}{100}\right)$$

Tabla 4.29 Corrección por % Humedad.

Materiales	P. seco (kg/m3)	Peso SSS (kg/m3)	% Humedad	% Humedad	Peso Humedad (kg/m3)
Cemento Tipo 1	408	408.000			408.00
Agua	190	190.000			187.77
Agregado fino	930	962.773	2.05	-13.70779	949.07
Agregado grueso	718	732.653	4.26	15.933739	748.59
Aire(2%)	-	-			-
Total	2246	2293.426			2293.43

Fuente: Autoría propia

h) Resumen de los pesos (seco, SSS. y húmedo)

Finalmente, se transcriben todos los pesos obtenidos en una tabla resumen, como se muestra continuación:

Tabla 4.30 Resumen de pesos (seco, S.S.S y húmedo)

Materiales	P. seco (kg/m ³)	Peso SSS (kg/m ³)	Peso Húmedo (kg/m ³)
Cemento Tipo 1	408	408	408
Agua	190	190	188
Agregado fino	930	963	949
Agregado grueso	718	733	749
Aire(2%)	-	-	-
PUC(Kg/cm ²)	2246	2293	2293

Fuente: Autoría propia.

Proporciones en peso

cemento	Arena	Piedra	Agua
1	2.33	1.83	0.46

Dosificación en peso para un concreto patrón (1 m³).

Elemento	Peso(kg)
Agua	187.77
Cemento	408.00
Aire	-
Agregado grueso	748.59
Agregado fino	949.07
Total	2293.43

Dosificación en peso para un concreto, con agregado fino sustituido en 10% de vidrio triturado reciclado (1 m³).

Elemento	Peso(kg)
Agua	187.77
Cemento	408.00
Agregado grueso	748.59
Agregado fino	854.16
Vidrio triturado	94.91
Total	2293.43

Dosificación de elementos por probeta cilíndrica.

Volumen de una probeta cilíndrica. = 5.30E-03 m³

Cantidad de elementos para una probeta patrón y con 10% de vidrio.

Elemento	Peso(kg)
Agua	1.10
Cemento	2.38
Agregado grueso	4.37
Agregado fino	5.53
Total	13.37

Elemento	Peso(kg)
Agua	1.10
Cemento	2.38
Agregado grueso	4.37
Agregado fino	4.98
Vidrio triturado	0.55
Total	13.37

Dosificación de elementos por probeta prismática.

Volumen de una probeta prismática = 0.004 m³

Cantidad de elementos para una probeta patrón y con 10% de vidrio.

Elemento	Peso(kg)
Agua	0.83
Cemento	1.80
Agregado grueso	3.29
Agregado fino	4.18
Total	10.09

Elemento	Peso(kg)
Agua	0.83
Cemento	1.80
Agregado grueso	3.29
Agregado fino	3.76
Vidrio triturado	0.42
Total	10.09

4.1.3. Ensayos físicos

4.1.3.1. Determinación del asentamiento del concreto (ASTM C-143 / NTP 339.035)

Tabla 4.31 Resultados de Slump del concreto

Concreto	Pulgadas	cm
Patrón	7.5	3"
Vidrio #30	5.0	2"
Vidrio #16	4.0	1 1/2"
Vidrio #8	4.0	1 1/2"
Vidrio #4	5.0	2"

4.1.4. Ensayos mecánicos

4.1.4.1. Determinación de la resistencia a la compresión de testigos cilíndricos (ASTM C - 39 / NTP 339.034)

Se puede reflejar en las tablas 4.18 y 4.19 que las resistencias a compresión han ido aumentando gracias a la incorporación de vidrio triturado porque el sílice del vidrio aporta una gran ductilidad y tenacidad al concreto logrando aumentar sus resistencias iniciales.

a) Resistencia a la compresión a los 7 días

Tabla 4.32 Resultados cuantitativos de resistencia a compresión a los 7 días

DOSIFICACIÓN	PROBETAS			DIAM. PROM	AREA	Carga máxima (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		(cm)	cm ²			
Patrón	1	03/12/2018	10/12/2018	15.20	181.46	33724.04	185.85	185.90
	2	04/12/2018	11/12/2018	15.24	182.41	34248.36	187.75	
	3	05/12/2018	12/12/2018	15.16	180.50	33230.90	184.10	
Vidrio #30	1	03/12/2018	10/12/2018	15.30	183.85	33009.12	179.54	179.75
	2	04/12/2018	11/12/2018	15.34	184.82	33621.81	181.92	
	3	05/12/2018	12/12/2018	15.26	182.89	32514.86	177.78	
Vidrio #16	1	03/12/2018	10/12/2018	15.30	183.85	34590.26	188.14	190.41
	2	04/12/2018	11/12/2018	15.34	184.82	35200.14	190.46	
	3	05/12/2018	12/12/2018	15.26	182.89	35230.83	192.63	
Vidrio #8	1	04/12/2018	11/12/2018	15.30	183.85	37403.23	203.44	201.28
	2	05/12/2018	12/12/2018	15.34	184.82	37305.20	201.85	
	3	06/12/2018	13/12/2018	15.26	182.89	36311.73	198.54	
Vidrio #4	1	05/12/2018	12/12/2018	15.20	181.46	37364.10	205.91	203.30
	2	06/12/2018	13/12/2018	15.24	182.41	37134.16	203.57	
	3	07/12/2018	14/12/2018	15.16	180.50	36178.54	200.43	

b) Resistencia a la compresión a los 28 días

Tabla 4.33 Resultados cuantitativos de resistencia a compresión a los 28 días.

DOSIFICACIÓN	PROBETAS			DIAM. PROM. (cm)	AREA cm ²	Carga máxima (Kg)	f'c (Kg/cm ²)	f'c promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA						
Patron	1	03/12/2018	31/12/2018	15.12	179.55	52694.77	293.48	294.06
	2	03/12/2018	31/12/2018	15.20	181.46	53466.35	294.65	
	3	04/12/2018	01/01/2019	15.16	180.50	53079.64	294.06	
Vidrio #30	1	03/12/2018	31/12/2018	15.23	182.18	55980.67	307.29	307.44
	2	04/12/2018	01/01/2019	15.27	183.13	56108.46	306.38	
	3	05/12/2018	02/01/2019	15.19	181.22	55933.46	308.65	
Vidrio #16	1	03/12/2018	31/12/2018	15.23	182.18	59010.25	323.92	322.03
	2	04/12/2018	01/01/2019	15.27	183.13	59062.41	322.51	
	3	05/12/2018	02/01/2019	15.19	181.22	57930.50	319.67	
Vidrio #8	1	04/12/2018	01/01/2019	15.20	181.46	60532.70	333.59	336.78
	2	05/12/2018	02/01/2019	15.24	182.41	61794.80	338.76	
	3	06/12/2018	03/01/2019	15.16	180.50	61006.95	337.98	
Vidrio #4	1	05/12/2018	02/01/2019	15.18	180.98	64333.38	355.47	350.67
	2	06/12/2018	03/01/2019	15.22	181.94	62384.11	342.89	
	3	07/12/2018	04/01/2019	15.14	180.03	63667.13	353.65	

4.1.4.2. Determinación de la resistencia a la flexión en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo (ASTM C-78 / NTP 339.078)

Se puede reflejar en la tabla 4.20 y 4.21 que las resistencias a flexión han ido aumentando gracias a la incorporación de vidrio triturado debido a que el sílice del vidrio aporta una gran ductilidad y tenacidad al concreto logrando aumentar sus resistencias iniciales.

Resultados de ensayo a flexión del concreto patrón a las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 4.34 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión Patrón

N°	PROBETAS		EDAD Días	DIMENSIONES			Carga máxima (Kg)	Mr (Kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		ANCHO	PERALTE	LUZ LIBRE A.			
				(cm)	(cm)	(cm)			
1	27/12/2018	03/01/2019	7	9.80	10.10	30.00	911.39	27.35	28.39
2	27/12/2018	03/01/2019		9.93	9.80	30.00	901.53	28.35	
3	27/12/2018	03/01/2019		9.77	9.67	30.00	896.52	29.47	
1	27/12/2018	10/01/2019	14	10.40	9.83	30.00	1325.07	39.53	40.84
2	27/12/2018	10/01/2019		9.83	9.63	30.00	1290.64	42.43	
3	27/12/2018	10/01/2019		10.13	9.63	30.00	1271.40	40.56	
1	27/12/2018	24/01/2019	28	10.77	10.00	30.00	1451.49	40.44	44.41
2	27/12/2018	24/01/2019		10.40	9.83	30.00	1610.25	48.04	
3	27/12/2018	24/01/2019		9.83	9.63	30.00	1360.78	44.74	



Figura 4.16 Curva resistencia vs Tiempo – Flexión patron

Resultados de ensayo a flexión del concreto con vidrio tamiz #30 (molido) a las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 4.35 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #30

N°	PROBETAS		EDAD Días	DIMENSIONES			Carga máxima (Kg)	Mr (Kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		ANCHO	PERALTE	LUZ LIBRE A.			
				(cm)	(cm)	(cm)			
1	03/01/2019	10/01/2019	7	9.40	9.73	30.00	873.91	29.44	28.98
2	03/01/2019	10/01/2019		9.73	11.33	30.00	1215.60	29.17	
3	03/01/2019	10/01/2019		9.93	9.53	30.00	852.23	28.32	
1	03/01/2019	17/01/2019	14	9.73	11.33	30.00	1546.90	37.12	38.33
2	03/01/2019	17/01/2019		11.00	9.87	30.00	1404.26	39.34	
3	03/01/2019	17/01/2019		9.30	9.70	30.00	1124.13	38.54	
1	03/01/2019	31/01/2019	28	10.133333	9.63	30.00	1362.30	43.46	45.03
2	03/01/2019	31/01/2019		10.27	10.00	30.00	1530.76	44.73	
3	03/01/2019	31/01/2019		10.20	9.40	30.00	1409.29	46.91	



Figura 4.17 Curva resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #30 (Molido)

Resultados de ensayo a flexión del concreto con vidrio tamiz #16 (semimolido) a las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 4.36 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #16-Semimolido

N°	PROBETAS		EDAD Dias	DIMENSIONES			Carga maxima (Kg)	Mr (Kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		ANCHO	PERALTE	LUZ LIBRE A.			
				(cm)	(cm)	(cm)			
1	08/01/2019	15/01/2019	7	9.67	9.43	30.00	778.78	27.16	26.64
2	08/01/2019	15/01/2019		9.77	10.33	30.00	940.31	27.05	
3	08/01/2019	15/01/2019		10.50	9.90	30.00	881.94	25.71	
1	08/01/2019	22/01/2019	14	9.80	9.83	30.00	1168.40	36.99	40.42
2	08/01/2019	22/01/2019		9.67	9.43	30.00	1162.44	40.54	
3	08/01/2019	22/01/2019		9.77	10.33	30.00	1519.80	43.72	
1	08/01/2019	05/02/2019	28	9.63	9.63	30.00	1302.53	43.71	40.27
2	08/01/2019	05/02/2019		9.87	10.07	30.00	1258.16	37.75	
3	08/01/2019	05/02/2019		9.47	10.17	30.00	1283.45	39.35	



Figura 4.18 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio Semimolido

Resultados de ensayo a flexión del concreto con vidrio tamiz #8 (tamizado) a las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 4.37 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #8 (Tamizado)

N°	PROBETAS		EDAD Dias	DIMENSIONES			Carga maxima (Kg)	Mr (Kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		ANCHO	PERALTE	LUZ LIBRE A.			
				(cm)	(cm)	(cm)			
1	09/01/2019	16/01/2019	7	9.37	9.70	30.00	908.63	30.93	30.22
2	09/01/2019	16/01/2019		10.27	10.00	30.00	1020.16	29.81	
3	09/01/2019	16/01/2019		10.50	10.00	30.00	1047.20	29.92	
1	09/01/2019	23/01/2019	14	10.30	9.53	30.00	1251.58	40.11	42.46
2	09/01/2019	23/01/2019		9.37	9.70	30.00	1244.41	42.36	
3	09/01/2019	23/01/2019		10.27	10.00	30.00	1536.92	44.91	
1	09/01/2019	06/02/2019	28	9.67	9.80	30.00	1152.44	37.24	37.90
2	09/01/2019	06/02/2019		10.07	9.80	30.00	1253.30	38.89	
3	09/01/2019	06/02/2019		10.00	9.83	30.00	1211.26	37.58	



Figura 4.19 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #8 - Tamizado

Resultados de ensayo a flexión del concreto con vidrio tamiz #4 (granular) a las edades de 7, 14 y 28 días.

Tabla 4.38 Resultados cuantitativos de resistencia a flexión V. tamiz #4 - Granular

N°	PROBETAS		EDAD Días	DIMENSIONES			Carga maxima (Kg)	Mr (Kg/cm ²)	Mr promedio (Kg/cm ²)
	FECHA DE VACEADO	FECHA DE ROTURA		ANCHO	PERALTE	LUZ LIBRE A.			
				(cm)	(cm)	(cm)			
1	10/01/2019	17/01/2019	7	9.77	10.07	30.00	845.89	25.64	24.90
2	10/01/2019	17/01/2019		9.57	10.10	30.00	817.48	25.13	
3	10/01/2019	17/01/2019		9.57	10.10	30.00	778.44	23.93	
1	10/01/2019	24/01/2019	14	9.90	10.17	30.00	1043.26	30.59	32.02
2	10/01/2019	24/01/2019		9.83	9.73	30.00	1029.65	33.16	
3	10/01/2019	24/01/2019		9.77	10.07	30.00	1065.94	32.31	
1	10/01/2019	07/02/2019	28	9.70	9.77	30.00	1341.94	43.51	45.91
2	10/01/2019	07/02/2019		9.77	9.93	30.00	1485.69	46.25	
3	10/01/2019	07/02/2019		9.93	10.33	30.00	1695.99	47.97	



Figura 4.20 Curva Resistencia vs Tiempo – Flexión vidrio tamiz #4 – Granular

4.1.4.3. Módulos de rotura del concreto patrón y con adición de vidrio triturado

Los resultados obtenidos que se presentan en las siguientes tablas y gráficos son los resultados de los módulos de rotura de cada vigueta sometida a flexión, además está los esfuerzos - deformación de cada una de las viguetas para el concreto patrón y concreto con adición de vidrio triturado de cada medida y a edades distintas.

Más adelante se podrá ver el resumen de los esfuerzos – deformaciones de estas viguetas para notar mejor los resultados.

a) Concreto patrón a edad de 7 días

- **Viga P1-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.47	0.0035
544.31	0.07	17.36	0.0069
557.92	0.10	17.80	0.0104
566.99	0.13	18.09	0.0138
589.67	0.17	18.81	0.0173
612.35	0.20	19.54	0.0208
657.71	0.23	20.98	0.0242
680.39	0.27	21.71	0.0277
703.07	0.30	22.43	0.0311
725.75	0.33	23.15	0.0346
757.50	0.37	24.17	0.0381
780.18	0.40	24.89	0.0415
807.39	0.43	25.76	0.0450
816.47	0.47	26.05	0.0484
839.15	0.50	26.77	0.0519
884.50	0.53	27.35	0.0554

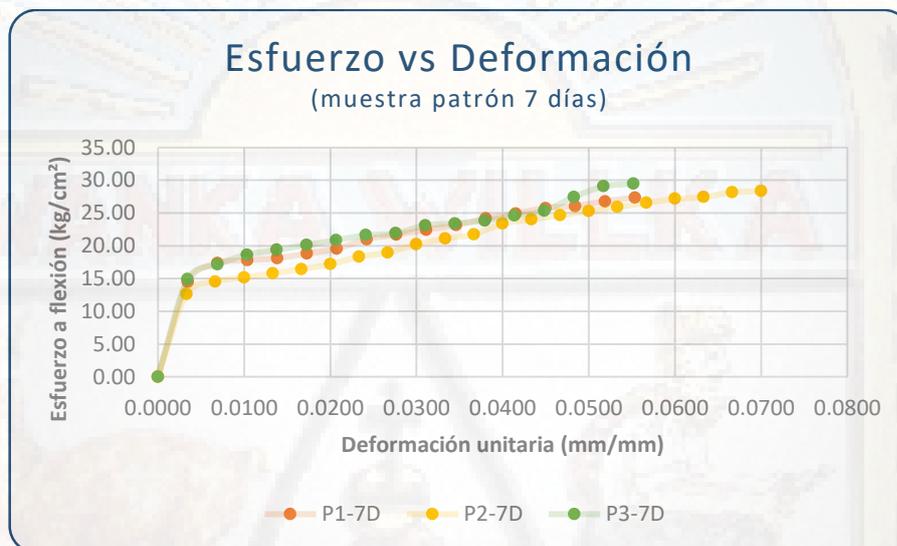
- **Viga P2-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.64	0.0033
521.63	0.07	14.53	0.0067
544.31	0.10	15.17	0.0100
566.99	0.13	15.80	0.0133
589.67	0.17	16.43	0.0167
616.89	0.20	17.19	0.0200
657.71	0.23	18.33	0.0233
680.39	0.27	18.96	0.0267
725.75	0.30	20.22	0.0300
757.50	0.33	21.11	0.0333
780.18	0.37	21.74	0.0367
839.15	0.40	23.38	0.0400
861.82	0.43	24.01	0.0433
884.50	0.47	24.65	0.0467
907.18	0.50	25.28	0.0500
929.86	0.53	25.91	0.0533
952.54	0.57	26.54	0.0567
975.22	0.60	27.17	0.0600
984.29	0.63	27.43	0.0633
1011.51	0.67	28.18	0.0667
1047.80	0.70	28.35	0.0700

- **Viga P3-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.91	0.0034
521.63	0.07	17.15	0.0069
566.99	0.10	18.64	0.0103
589.67	0.13	19.38	0.0138
612.35	0.17	20.13	0.0172
635.03	0.20	20.87	0.0207
657.71	0.23	21.62	0.0241
666.78	0.27	21.92	0.0276

703.07	0.30	23.11	0.0310
712.14	0.33	23.41	0.0345
725.75	0.37	23.86	0.0379
748.43	0.40	24.60	0.0414
771.11	0.43	25.35	0.0448
834.61	0.47	27.43	0.0483
884.50	0.50	29.08	0.0517
898.11	0.53	29.47	0.0552



b) Concreto patrón a los 14 días

• **Viga P1-14D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.64	0.0033
521.63	0.07	14.53	0.0067
544.31	0.10	15.17	0.0100
566.99	0.13	15.80	0.0133
589.67	0.17	16.43	0.0167
616.89	0.20	17.19	0.0200
657.71	0.23	18.33	0.0233
680.39	0.27	18.96	0.0267
725.75	0.30	20.22	0.0300
757.50	0.33	21.11	0.0333

780.18	0.37	21.74	0.0367
839.15	0.40	23.38	0.0400
861.82	0.43	24.01	0.0433
884.50	0.47	24.65	0.0467
907.18	0.50	25.28	0.0500
929.86	0.53	25.91	0.0533
952.54	0.57	26.54	0.0567
975.22	0.60	27.17	0.0600
984.29	0.63	27.43	0.0633
1011.51	0.67	28.18	0.0667
1047.80	0.70	29.20	0.0700
1088.62	0.73	30.33	0.0733
1179.34	0.77	32.86	0.0767
1315.42	0.80	36.65	0.0800
1428.81	0.83	39.53	0.0833

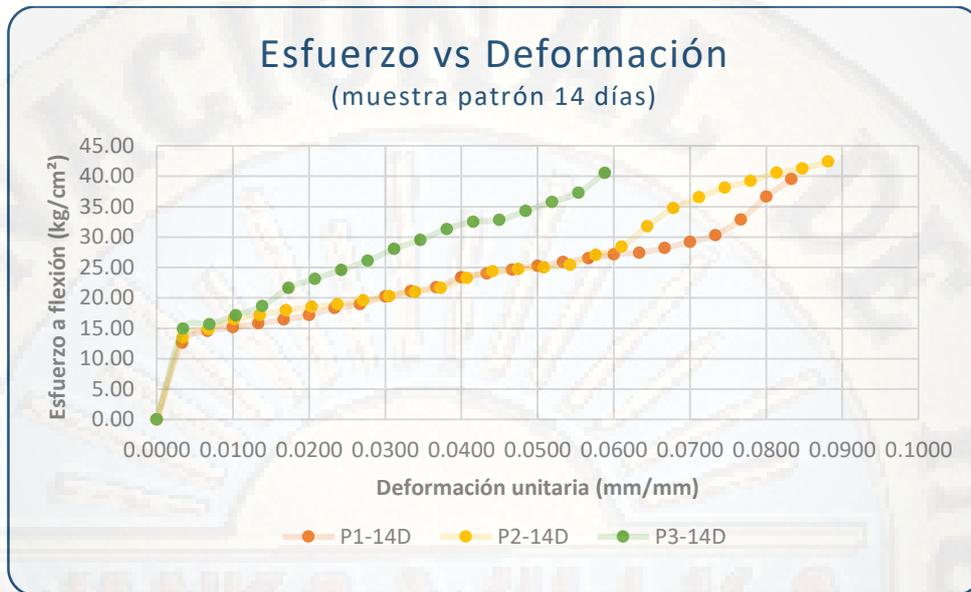
- **Viga P2-14D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.53	0.0034
498.95	0.07	14.88	0.0068
553.38	0.10	16.51	0.0102
576.06	0.13	17.19	0.0136
603.28	0.17	18.00	0.0169
621.42	0.20	18.54	0.0203
635.03	0.23	18.94	0.0237
657.71	0.27	19.62	0.0271
680.39	0.30	20.30	0.0305
703.07	0.33	20.97	0.0339
725.75	0.37	21.65	0.0373
780.18	0.40	23.27	0.0407
816.47	0.43	24.36	0.0441
830.07	0.47	24.76	0.0475
839.15	0.50	25.03	0.0508
852.75	0.53	25.44	0.0542
907.18	0.57	27.06	0.0576
952.54	0.60	28.42	0.0610
1065.94	0.63	31.80	0.0644
1165.73	0.67	34.78	0.0678
1224.70	0.70	36.54	0.0712

1279.13	0.73	38.16	0.0746
1315.42	0.77	39.24	0.0780
1360.78	0.80	40.60	0.0814
1383.46	0.83	41.27	0.0847
1428.81	0.87	42.43	0.0881

○ **Viga P3-14D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.91	0.0035
476.27	0.07	15.66	0.0069
521.63	0.10	17.15	0.0104
566.99	0.13	18.64	0.0138
657.71	0.17	21.62	0.0173
703.07	0.20	23.11	0.0208
748.43	0.23	24.60	0.0242
793.79	0.27	26.10	0.0277
852.75	0.30	28.03	0.0311
898.11	0.33	29.53	0.0346
952.54	0.37	31.31	0.0381
988.83	0.40	32.51	0.0415
997.90	0.43	32.81	0.0450
1043.26	0.47	34.30	0.0484
1088.62	0.50	35.79	0.0519
1133.98	0.53	37.28	0.0554
1238.31	0.57	40.56	0.0588



c) Concreto patrón a los 28 días

- Viga P1-28D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.64	0.0033
521.63	0.07	14.53	0.0067
544.31	0.10	15.17	0.0100
566.99	0.13	15.80	0.0133
589.67	0.17	16.43	0.0167
616.89	0.20	17.19	0.0200
657.71	0.23	18.33	0.0233
680.39	0.27	18.96	0.0267
725.75	0.30	20.22	0.0300
757.50	0.33	21.11	0.0333
780.18	0.37	21.74	0.0367
839.15	0.40	23.38	0.0400
861.82	0.43	24.01	0.0433
884.50	0.47	24.65	0.0467
907.18	0.50	25.28	0.0500
929.86	0.53	25.91	0.0533
952.54	0.57	26.54	0.0567
975.22	0.60	27.17	0.0600
984.29	0.63	27.43	0.0633
1011.51	0.67	28.18	0.0667

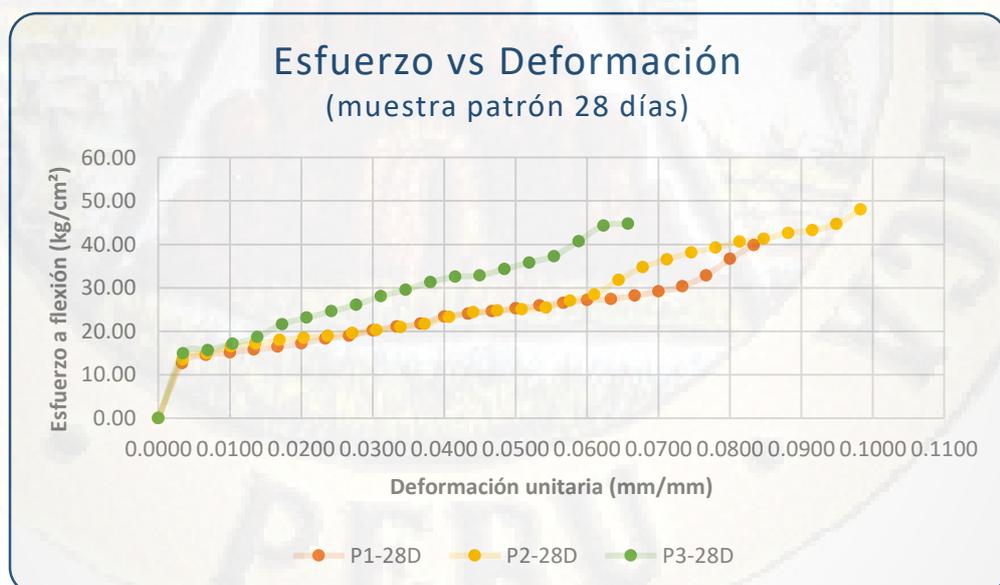
1047.80	0.70	29.20	0.0700
1088.62	0.73	30.33	0.0733
1179.34	0.77	32.86	0.0767
1315.42	0.80	36.65	0.0800
1428.81	0.83	39.81	0.0833

- **Viga P2 – 28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.53	0.0034
498.95	0.07	14.88	0.0068
553.38	0.10	16.51	0.0102
576.06	0.13	17.19	0.0136
603.28	0.17	18.00	0.0169
621.42	0.20	18.54	0.0203
635.03	0.23	18.94	0.0237
657.71	0.27	19.62	0.0271
680.39	0.30	20.30	0.0305
703.07	0.33	20.97	0.0339
725.75	0.37	21.65	0.0373
780.18	0.40	23.27	0.0407
816.47	0.43	24.36	0.0441
830.07	0.47	24.76	0.0475
839.15	0.50	25.03	0.0508
852.75	0.53	25.44	0.0542
907.18	0.57	27.06	0.0576
952.54	0.60	28.42	0.0610
1065.94	0.63	31.80	0.0644
1165.73	0.67	34.78	0.0678
1224.70	0.70	36.54	0.0712
1279.13	0.73	38.16	0.0746
1315.42	0.77	39.24	0.0780
1360.78	0.80	40.60	0.0814
1383.46	0.83	41.27	0.0847
1428.81	0.87	42.62	0.0881
1451.49	0.90	43.30	0.0915
1496.85	0.93	44.65	0.0949
1610.25	0.97	48.04	0.0983

- **Viga P3 - 28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.91	0.0035
476.27	0.07	15.66	0.0069
521.63	0.10	17.15	0.0104
566.99	0.13	18.64	0.0138
657.71	0.17	21.62	0.0173
703.07	0.20	23.11	0.0208
748.43	0.23	24.60	0.0242
793.79	0.27	26.10	0.0277
852.75	0.30	28.03	0.0311
898.11	0.33	29.53	0.0346
952.54	0.37	31.31	0.0381
988.83	0.40	32.51	0.0415
997.90	0.43	32.81	0.0450
1043.26	0.47	34.30	0.0484
1088.62	0.50	35.79	0.0519
1133.98	0.53	37.28	0.0554
1238.31	0.57	40.71	0.0588
1347.17	0.60	44.29	0.0623
1360.78	0.63	44.74	0.0657



d) Concreto adicionado vidrio tamiz #30 (molido) a los 7 días

• **Viga M1 - 7D**

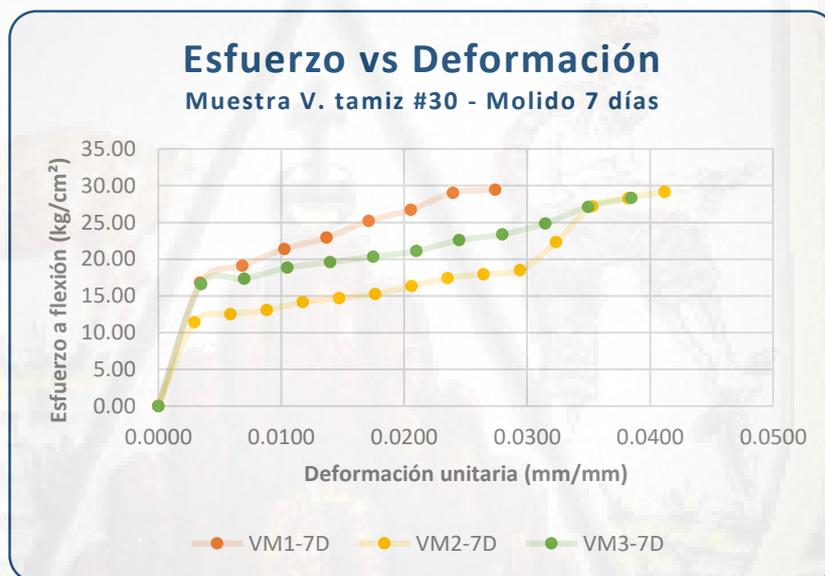
CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
498.95	0.03	16.81	0.0034
566.99	0.07	19.10	0.0068
635.03	0.10	21.39	0.0103
680.39	0.13	22.92	0.0137
748.43	0.17	25.21	0.0171
793.79	0.20	26.74	0.0205
861.82	0.23	29.03	0.0240
873.91	0.27	29.44	0.0274

• **Viga M2 – 7D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
476.27	0.03	11.43	0.0029
521.63	0.07	12.52	0.0059
544.31	0.10	13.06	0.0088
589.67	0.13	14.15	0.0118
612.35	0.17	14.69	0.0147
635.03	0.20	15.24	0.0176
680.39	0.23	16.33	0.0206
725.75	0.27	17.42	0.0235
748.43	0.30	17.96	0.0265
771.11	0.33	18.50	0.0294
929.86	0.37	22.31	0.0324
1133.98	0.40	27.21	0.0353
1179.34	0.43	28.30	0.0382
1215.60	0.47	29.17	0.0412

- **Viga M3 – 7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
498.95	0.03	16.58	0.0035
521.63	0.07	17.33	0.0070
566.99	0.10	18.84	0.0105
589.67	0.13	19.60	0.0140
612.35	0.17	20.35	0.0175
635.03	0.20	21.10	0.0210
680.39	0.23	22.61	0.0245
703.07	0.27	23.36	0.0280
748.43	0.30	24.87	0.0315
816.47	0.33	27.13	0.0350
852.23	0.37	28.32	0.0385



e) **Concreto adicionado vidrio tamiz #30 (molido) a los 14 días**

• **Viga M1-14D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.71	0.0034
476.27	0.07	13.34	0.0068
521.63	0.10	14.61	0.0101
544.31	0.13	15.25	0.0135
571.53	0.17	16.01	0.0169
589.67	0.20	16.52	0.0203
635.03	0.23	17.79	0.0236
680.39	0.27	19.06	0.0270
725.75	0.30	20.33	0.0304
771.11	0.33	21.60	0.0338
816.47	0.37	22.87	0.0372
852.75	0.40	23.89	0.0405
907.18	0.43	25.41	0.0439
952.54	0.47	26.69	0.0473
975.22	0.50	27.32	0.0507
997.90	0.53	27.96	0.0541
1065.94	0.57	29.86	0.0574
1115.84	0.60	31.26	0.0608
1179.34	0.63	33.04	0.0642
1224.70	0.67	34.31	0.0676
1270.06	0.70	35.58	0.0709
1546.90	0.73	37.12	0.0743

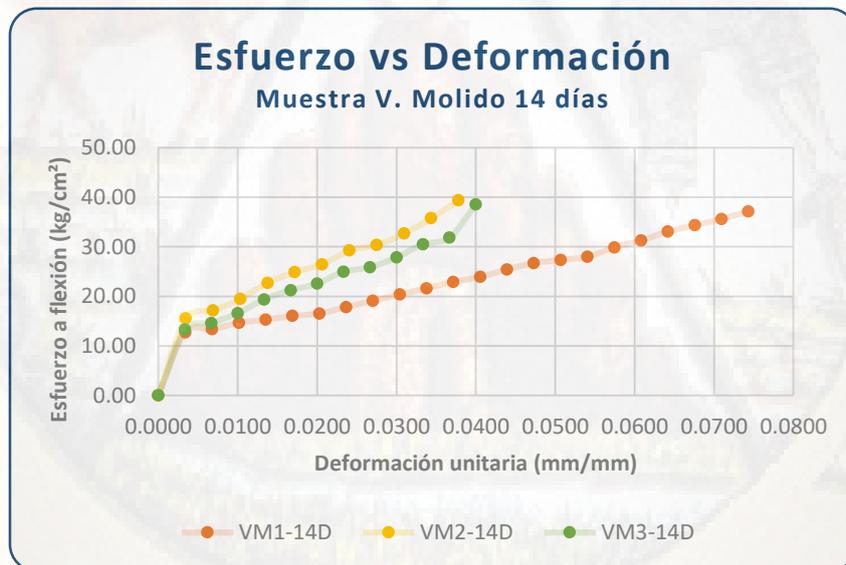
• **Viga M2-14D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	15.55	0.0034
498.95	0.07	17.11	0.0069
566.99	0.10	19.44	0.0103
662.24	0.13	22.70	0.0137
725.75	0.17	24.88	0.0172
771.11	0.20	26.44	0.0206
852.75	0.23	29.24	0.0241

884.50	0.27	30.32	0.0275
952.54	0.30	32.66	0.0309
1043.26	0.33	35.77	0.0344
1404.26	0.37	39.34	0.0378

- **Viga M3-14D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.25	0.0033
498.95	0.07	14.58	0.0067
566.99	0.10	16.57	0.0100
662.24	0.13	19.35	0.0133
725.75	0.17	21.21	0.0167
771.11	0.20	22.53	0.0200
852.75	0.23	24.92	0.0233
884.50	0.27	25.85	0.0267
952.54	0.30	27.83	0.0300
1043.26	0.33	30.48	0.0333
1088.62	0.37	31.81	0.0367
1124.13	0.40	38.54	0.0400



f) **Concreto adicionado vidrio tamiz #30 (molido) a los 28 días**

- **Viga M1-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.25	0.0033
521.63	0.07	15.24	0.0067
566.99	0.10	16.57	0.0100
612.35	0.13	17.89	0.0133
657.71	0.17	19.22	0.0167
703.07	0.20	20.54	0.0200
748.43	0.23	21.87	0.0233
793.79	0.27	23.20	0.0267
843.68	0.30	24.65	0.0300
893.58	0.33	26.11	0.0333
929.86	0.37	27.17	0.0367
975.22	0.40	28.50	0.0400
1043.26	0.43	30.48	0.0433
1156.66	0.47	33.80	0.0467
1251.91	0.50	36.58	0.0500
1365.31	0.53	39.90	0.0533
1451.49	0.57	42.41	0.0567
1573.96	0.60	43.46	0.0600

- **Viga M2-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	15.10	0.0035
526.17	0.07	17.51	0.0071
553.38	0.10	18.42	0.0106
576.06	0.13	19.17	0.0142
616.89	0.17	20.53	0.0177
635.03	0.20	21.14	0.0213
680.39	0.23	22.65	0.0248
694.00	0.27	23.10	0.0284
725.75	0.30	24.16	0.0319
762.03	0.33	25.37	0.0355

793.79	0.37	26.42	0.0390
816.47	0.40	27.18	0.0426
861.82	0.43	28.69	0.0461
907.18	0.47	30.20	0.0496
975.22	0.50	32.46	0.0532
1020.58	0.53	33.97	0.0567
1065.94	0.57	35.48	0.0603
1111.30	0.60	36.99	0.0638
1156.66	0.63	38.50	0.0674
1165.73	0.67	38.80	0.0709
1224.70	0.70	40.77	0.0745
1233.77	0.73	41.07	0.0780
1283.67	0.77	42.73	0.0816
1306.34	0.80	43.48	0.0851
1351.70	0.83	44.73	0.0887

- **Viga M3-28D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.22	0.0034
526.17	0.07	15.34	0.0067
553.38	0.10	16.13	0.0101
576.06	0.13	16.79	0.0135
616.89	0.17	17.98	0.0168
635.03	0.20	18.51	0.0202
680.39	0.23	19.83	0.0236
694.00	0.27	20.23	0.0269
725.75	0.30	21.16	0.0303
762.03	0.33	22.21	0.0337
793.79	0.37	23.14	0.0370
816.47	0.40	23.80	0.0404
861.82	0.43	25.12	0.0438
907.18	0.47	26.45	0.0471
975.22	0.50	28.43	0.0505
1020.58	0.53	29.75	0.0539
1065.94	0.57	31.07	0.0572
1111.30	0.60	32.40	0.0606
1156.66	0.63	33.72	0.0640
1165.73	0.67	33.98	0.0673
1224.70	0.70	35.70	0.0707

1233.77	0.73	35.97	0.0741
1283.67	0.77	37.42	0.0774
1306.34	0.80	38.08	0.0808
1351.70	0.83	39.40	0.0842
1409.29	0.87	46.91	0.0922



g) Concreto adicionado vidrio tamiz #16 (semimolido) a los 7 días

- Viga S1-7D**

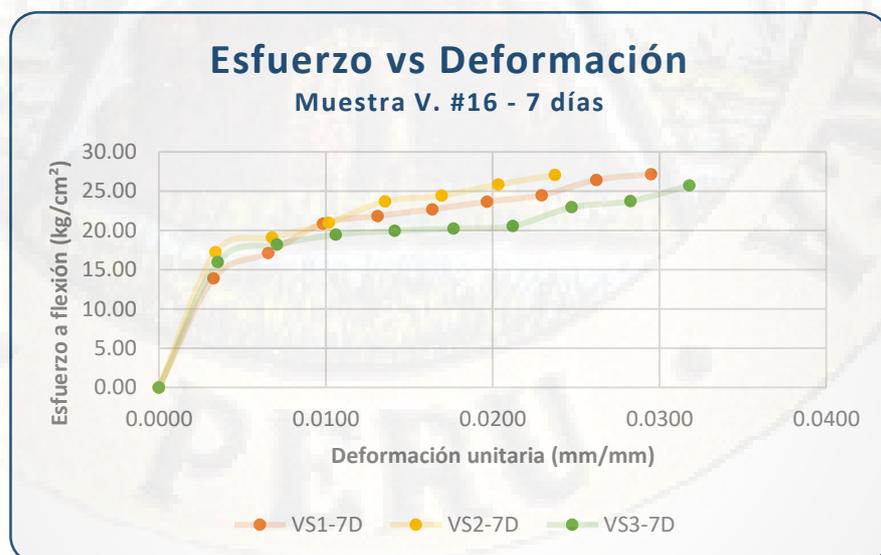
CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.91	0.0033
557.92	0.07	17.11	0.0066
680.39	0.10	20.86	0.0098
712.14	0.13	21.83	0.0131
739.35	0.17	22.67	0.0164
771.11	0.20	23.64	0.0197
798.32	0.23	24.48	0.0230
861.82	0.27	26.42	0.0262
893.58	0.30	27.16	0.0295

- **Viga S2-7D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
544.31	0.03	17.23	0.0034
603.28	0.07	19.10	0.0068
662.24	0.10	20.97	0.0102
748.43	0.13	23.69	0.0136
771.11	0.17	24.41	0.0169
816.47	0.20	25.85	0.0203
861.82	0.23	27.05	0.0237

- **Viga S3-7D**

CARGA(kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
458.13	0.03	15.98	0.0035
521.63	0.07	18.19	0.0071
557.92	0.10	19.46	0.0106
571.53	0.13	19.93	0.0141
580.60	0.17	20.25	0.0177
589.67	0.20	20.56	0.0212
657.71	0.23	22.94	0.0247
680.39	0.27	23.73	0.0283
752.96	0.30	25.71	0.0318



h) Concreto adicionado vidrio tamiz #16 - semimolido a los 14 días

• **Viga S1-14D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.22	0.0034
489.88	0.07	14.28	0.0067
521.63	0.10	15.21	0.0101
576.06	0.13	16.79	0.0135
612.35	0.17	17.85	0.0168
635.03	0.20	18.51	0.0202
657.71	0.23	19.17	0.0236
680.39	0.27	19.83	0.0269
703.07	0.30	20.50	0.0303
725.75	0.33	21.16	0.0337
771.11	0.37	22.48	0.0370
816.47	0.40	23.80	0.0404
852.75	0.43	24.86	0.0438
907.18	0.47	26.45	0.0471
929.86	0.50	27.11	0.0505
952.54	0.53	27.77	0.0539
997.90	0.57	29.09	0.0572
1043.26	0.60	30.41	0.0606
1088.62	0.63	31.73	0.0640
1133.98	0.67	33.06	0.0673
1179.34	0.70	34.38	0.0707
1224.70	0.73	35.90	0.0741
1270.06	0.77	36.99	0.0774

• **Viga S2-14D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
544.31	0.03	17.23	0.0034
603.28	0.07	19.10	0.0068
662.24	0.10	20.97	0.0102
748.43	0.13	23.69	0.0136
771.11	0.17	24.41	0.0169

816.47	0.20	25.85	0.0203
861.82	0.23	27.28	0.0237
907.18	0.27	28.72	0.0271
943.47	0.30	29.87	0.0305
975.22	0.33	30.87	0.0339
1043.26	0.37	33.03	0.0373
1133.98	0.40	35.90	0.0407
1224.70	0.43	38.77	0.0441
1292.74	0.47	40.54	0.0475

○ **Viga S3-14D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
458.13	0.03	15.98	0.0035
521.63	0.07	18.19	0.0071
557.92	0.10	19.46	0.0106
571.53	0.13	19.93	0.0141
580.60	0.17	20.25	0.0177
589.67	0.20	20.56	0.0212
657.71	0.23	22.94	0.0247
680.39	0.27	23.73	0.0283
752.96	0.30	26.26	0.0318
816.47	0.33	28.47	0.0353
907.18	0.37	31.64	0.0389
952.54	0.40	33.22	0.0424
988.83	0.43	34.49	0.0459
997.90	0.47	34.80	0.0495
1065.94	0.50	37.17	0.0530
1124.91	0.53	39.23	0.0565
1179.34	0.57	41.13	0.0601
1211.09	0.60	42.24	0.0636
1256.45	0.63	43.72	0.0671



i) Concreto adicionado vidrio tamiz #16 (semimolido) a los 28 días

- **Viga S1-28D**

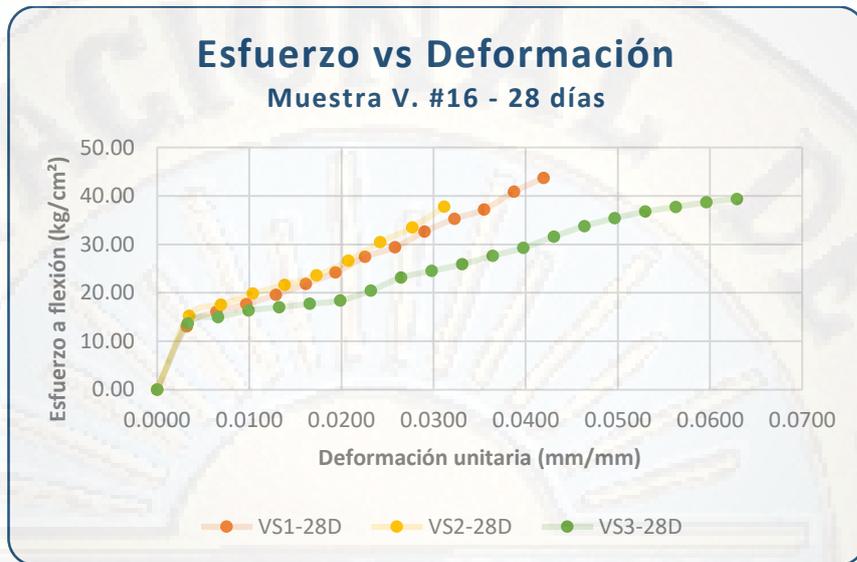
CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.05	0.0032
557.92	0.07	16.05	0.0065
612.35	0.10	17.62	0.0097
680.39	0.13	19.57	0.0129
757.50	0.17	21.79	0.0161
839.15	0.20	24.14	0.0194
952.54	0.23	27.40	0.0226
1020.58	0.27	29.36	0.0258
1133.98	0.30	32.62	0.0290
1224.70	0.33	35.23	0.0323
1292.74	0.37	37.19	0.0355
1419.74	0.40	40.84	0.0387
1546.75	0.43	43.71	0.0419

- **Viga S2-28D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	15.22	0.0035
521.63	0.07	17.50	0.0069
589.67	0.10	19.79	0.0104
644.10	0.13	21.61	0.0138
703.07	0.17	23.59	0.0173
793.79	0.20	26.64	0.0208
907.18	0.23	30.44	0.0242
997.90	0.27	33.49	0.0277
1079.55	0.30	37.75	0.0311

- **Viga S3-28D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.61	0.0033
498.95	0.07	14.97	0.0066
544.31	0.10	16.33	0.0099
566.99	0.13	17.01	0.0132
589.67	0.17	17.69	0.0166
612.35	0.20	18.37	0.0199
680.39	0.23	20.41	0.0232
771.11	0.27	23.14	0.0265
816.47	0.30	24.50	0.0298
861.82	0.33	25.86	0.0331
920.79	0.37	27.63	0.0364
975.22	0.40	29.26	0.0397
1052.33	0.43	31.57	0.0430
1124.91	0.47	33.75	0.0464
1179.34	0.50	35.38	0.0497
1224.70	0.53	36.75	0.0530
1256.45	0.57	37.70	0.0563
1288.20	0.60	38.65	0.0596
1319.95	0.63	39.35	0.0629



j) Concreto adicionado vidrio tamiz #8 (tamizado) a los 7 días

- Viga T1-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.07	0.0034
498.95	0.07	15.48	0.0068
544.31	0.10	16.89	0.0102
589.67	0.13	18.29	0.0136
603.28	0.17	18.72	0.0169
625.96	0.20	19.42	0.0203
680.39	0.23	21.11	0.0237
748.43	0.27	23.22	0.0271
771.11	0.30	23.92	0.0305
839.15	0.33	26.03	0.0339
861.82	0.37	26.74	0.0373
907.18	0.40	28.15	0.0407
952.54	0.43	29.55	0.0441
1020.58	0.47	30.93	0.0475

- **Viga T2-7D**

Carga (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.54	0.0035
521.63	0.07	16.72	0.0070
612.35	0.10	19.62	0.0105
662.24	0.13	21.22	0.0140
703.07	0.17	22.53	0.0175
748.43	0.20	23.99	0.0210
771.11	0.23	24.71	0.0245
816.47	0.27	26.17	0.0280
839.15	0.30	26.89	0.0315
861.82	0.33	27.62	0.0350
952.54	0.37	29.81	0.0385

- **Viga T3-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	15.44	0.0034
480.81	0.07	16.37	0.0069
512.56	0.10	17.45	0.0103
544.31	0.13	18.53	0.0137
557.92	0.17	18.99	0.0172
580.60	0.20	19.76	0.0206
589.67	0.23	20.07	0.0241
635.03	0.27	21.62	0.0275
648.64	0.30	22.08	0.0309
666.78	0.33	22.70	0.0344
694.00	0.37	23.62	0.0378
725.75	0.40	24.70	0.0412
771.11	0.43	26.25	0.0447
816.47	0.47	27.79	0.0481
870.90	0.50	29.65	0.0515
929.86	0.53	29.92	0.0550



k) Concreto adicionado vidrio tamiz #8 (tamizado) a los 14 días

- **Viga T1-14D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.96	0.0033
544.31	0.07	15.55	0.0067
589.67	0.10	16.85	0.0100
621.42	0.13	17.75	0.0133
657.71	0.17	18.79	0.0167
703.07	0.20	20.09	0.0200
748.43	0.23	21.38	0.0233
793.79	0.27	22.68	0.0267
843.68	0.30	24.11	0.0300
889.04	0.33	25.40	0.0333
952.54	0.37	27.22	0.0367
997.90	0.40	28.51	0.0400
1133.98	0.43	32.40	0.0433
1202.02	0.47	34.34	0.0467
1270.06	0.50	36.29	0.0500
1306.34	0.53	37.32	0.0533
1342.63	0.57	38.36	0.0567
1392.53	0.60	39.79	0.0600
1442.42	0.63	40.11	0.0633

- **Viga T2-14D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.54	0.0035
521.63	0.07	16.72	0.0070
612.35	0.10	19.62	0.0105
662.24	0.13	21.22	0.0140
703.07	0.17	22.53	0.0175
748.43	0.20	23.99	0.0210
771.11	0.23	24.71	0.0245
816.47	0.27	26.17	0.0280
839.15	0.30	26.89	0.0315
861.82	0.33	27.62	0.0350
952.54	0.37	30.53	0.0385
975.22	0.40	31.25	0.0420
997.90	0.43	31.98	0.0455
1043.26	0.47	33.43	0.0490
1065.94	0.50	34.16	0.0524
1111.30	0.53	35.61	0.0559
1156.66	0.57	37.07	0.0594
1224.70	0.60	39.25	0.0629
1256.45	0.63	40.27	0.0664
1338.10	0.67	42.36	0.0699

- **Viga T3-14D**

CARGA (kg)	Desplaza- miento (cm)	Esfuerzo (kg/cm²)	Deforma- ción unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	15.44	0.0034
480.81	0.07	16.37	0.0069
512.56	0.10	17.45	0.0103
544.31	0.13	18.53	0.0137
557.92	0.17	18.99	0.0172
580.60	0.20	19.76	0.0206
589.67	0.23	20.07	0.0241
635.03	0.27	21.62	0.0275
648.64	0.30	22.08	0.0309
666.78	0.33	22.70	0.0344

694.00	0.37	23.62	0.0378
725.75	0.40	24.70	0.0412
771.11	0.43	26.25	0.0447
816.47	0.47	27.79	0.0481
870.90	0.50	29.65	0.0515
929.86	0.53	31.65	0.0550
975.22	0.57	33.20	0.0584
997.90	0.60	33.97	0.0619
1043.26	0.63	35.51	0.0653
1088.62	0.67	37.06	0.0687
1111.30	0.70	37.83	0.0722
1165.73	0.73	39.68	0.0756
1192.95	0.77	40.61	0.0790
1229.23	0.80	41.84	0.0825
1292.74	0.83	44.91	0.0859



l) **Concreto adicionado vidrio tamiz # 8 (tamizado) a los 28 días**

• **Viga T1-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.25	0.0033
521.63	0.07	15.24	0.0067
571.53	0.10	16.70	0.0100
616.89	0.13	18.03	0.0133
625.96	0.17	18.29	0.0167
666.78	0.20	19.48	0.0200
703.07	0.23	20.54	0.0233
707.60	0.27	20.68	0.0267
748.43	0.30	21.87	0.0300
784.71	0.33	22.93	0.0333
798.32	0.37	23.33	0.0367
843.68	0.40	24.65	0.0400
861.82	0.43	25.18	0.0433
920.79	0.47	26.91	0.0467
952.54	0.50	27.83	0.0500
1043.26	0.53	30.48	0.0533
1111.30	0.57	32.47	0.0567
1147.59	0.60	33.53	0.0600
1202.02	0.63	35.12	0.0633
1265.52	0.67	36.98	0.0667
1329.02	0.70	37.24	0.0700

• **Viga T2-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.66	0.0034
498.95	0.07	16.12	0.0068
521.63	0.10	16.86	0.0102
544.31	0.13	17.59	0.0136
576.06	0.17	18.61	0.0170
635.03	0.20	20.52	0.0204
703.07	0.23	22.72	0.0238

748.43	0.27	24.18	0.0272
771.11	0.30	24.92	0.0306
789.25	0.33	25.50	0.0340
839.15	0.37	27.12	0.0374
907.18	0.40	29.31	0.0408
948.01	0.43	30.63	0.0442
997.90	0.47	32.25	0.0476
1065.94	0.50	34.44	0.0510
1147.59	0.53	37.08	0.0544
1183.88	0.57	38.26	0.0578
1224.70	0.60	38.89	0.0612

- **Viga T3-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.08	0.0034
535.24	0.07	16.61	0.0068
589.67	0.10	18.30	0.0102
612.35	0.13	19.00	0.0136
657.71	0.17	20.41	0.0170
707.60	0.20	21.96	0.0204
762.03	0.23	23.65	0.0238
793.79	0.27	24.63	0.0272
839.15	0.30	26.04	0.0306
861.82	0.33	26.74	0.0340
898.11	0.37	27.87	0.0374
920.79	0.40	28.57	0.0408
975.22	0.43	30.26	0.0442
1111.30	0.47	34.48	0.0476
1156.66	0.50	35.89	0.0510
1211.09	0.53	37.58	0.0544



m) Concreto adicionado vidrio tamiz #4 - granular a los 7 días

- **Viga G1-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	12.83	0.0032
512.56	0.07	14.50	0.0065
566.99	0.10	16.04	0.0097
621.42	0.13	17.58	0.0129
662.24	0.17	18.73	0.0161
680.39	0.20	19.24	0.0194
757.50	0.23	21.43	0.0226
798.32	0.27	22.58	0.0258
852.75	0.30	24.12	0.0290
929.86	0.33	25.64	0.0323

- **Viga G2-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.61	0.0034
498.95	0.07	16.07	0.0068
544.31	0.10	17.53	0.0103
589.67	0.13	18.99	0.0137
635.03	0.17	20.45	0.0171
680.39	0.20	21.91	0.0205
716.68	0.23	23.08	0.0240
757.50	0.27	24.39	0.0274
798.32	0.30	25.13	0.0308

- **Viga G3-7D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.75	0.0033
489.88	0.07	14.85	0.0066
544.31	0.10	16.50	0.0099
589.67	0.13	17.87	0.0132
703.07	0.17	21.31	0.0166
748.43	0.20	22.69	0.0199
771.11	0.23	23.37	0.0232
816.47	0.27	23.93	0.0265



n) Concreto adicionado vidrio tamiz #4 - granular a los 14 días

• Viga G1-14D

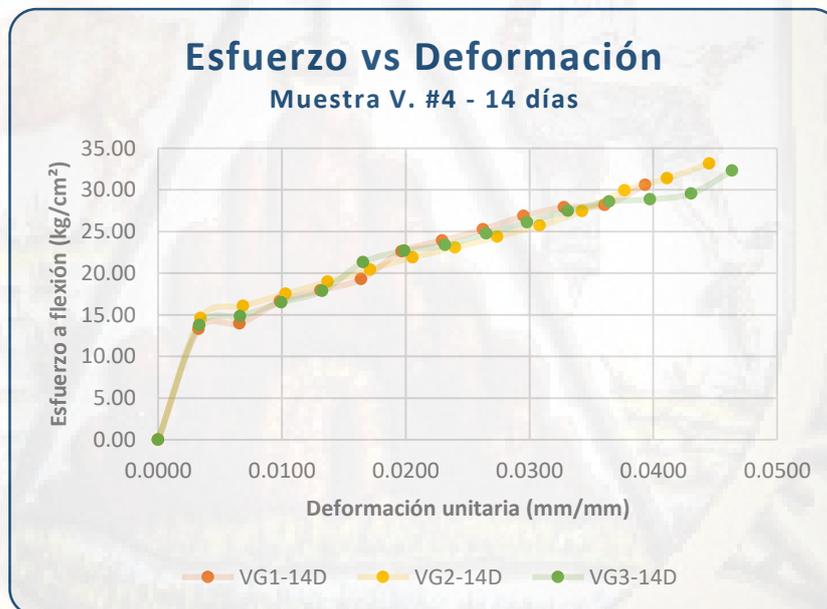
CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.30	0.0033
476.27	0.07	13.96	0.0066
566.99	0.10	16.62	0.0098
612.35	0.13	17.95	0.0131
657.71	0.17	19.28	0.0164
771.11	0.20	22.61	0.0197
816.47	0.23	23.94	0.0230
861.82	0.27	25.27	0.0262
916.26	0.30	26.86	0.0295
952.54	0.33	27.93	0.0328
961.62	0.37	28.19	0.0361
1043.26	0.40	30.59	0.0393

• Viga G2-14D

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.61	0.0034
498.95	0.07	16.07	0.0068
544.31	0.10	17.53	0.0103
589.67	0.13	18.99	0.0137
635.03	0.17	20.45	0.0171
680.39	0.20	21.91	0.0205
716.68	0.23	23.08	0.0240
757.50	0.27	24.39	0.0274
798.32	0.30	25.71	0.0308
852.75	0.33	27.46	0.0342
929.86	0.37	29.94	0.0377
975.22	0.40	31.41	0.0411
1029.65	0.43	33.16	0.0445

- **Viga G3-14D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.75	0.0033
489.88	0.07	14.85	0.0066
544.31	0.10	16.50	0.0099
589.67	0.13	17.87	0.0132
703.07	0.17	21.31	0.0166
748.43	0.20	22.69	0.0199
771.11	0.23	23.37	0.0232
816.47	0.27	24.75	0.0265
861.82	0.30	26.12	0.0298
907.18	0.33	27.50	0.0331
943.47	0.37	28.60	0.0364
952.54	0.40	28.87	0.0397
975.22	0.43	29.56	0.0430
1065.94	0.47	32.31	0.0464



o) Concreto adicionado vidrio tamiz #4 - granular a los 28 días

• **Viga G1-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	13.94	0.0033
544.31	0.07	16.73	0.0066
589.67	0.10	18.13	0.0099
630.49	0.13	19.38	0.0132
694.00	0.17	21.33	0.0165
739.35	0.20	22.73	0.0198
830.07	0.23	25.52	0.0231
879.97	0.27	27.05	0.0264
934.40	0.30	28.72	0.0297
952.54	0.33	29.28	0.0330
975.22	0.37	29.98	0.0363
1043.26	0.40	32.07	0.0396
1133.98	0.43	34.86	0.0429
1202.02	0.47	36.95	0.0462
1270.06	0.50	39.04	0.0495
1292.74	0.53	39.74	0.0528
1360.78	0.57	41.83	0.0561
1383.46	0.60	42.53	0.0594
1406.14	0.63	43.23	0.0627
1428.81	0.67	43.51	0.0660

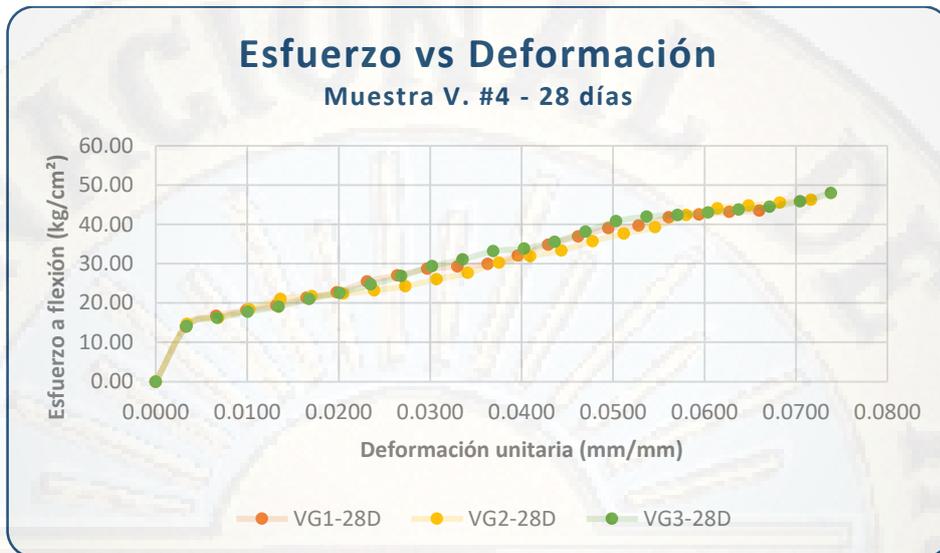
• **Viga G2-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.71	0.0034
498.95	0.07	16.18	0.0068
566.99	0.10	18.38	0.0102
648.64	0.13	21.03	0.0137
671.32	0.17	21.77	0.0171
689.46	0.20	22.35	0.0205
716.68	0.23	23.24	0.0239
748.43	0.27	24.27	0.0273

802.86	0.30	26.03	0.0307
852.75	0.33	27.65	0.0341
934.40	0.37	30.30	0.0375
984.29	0.40	31.91	0.0410
1029.65	0.43	33.38	0.0444
1102.23	0.47	35.74	0.0478
1161.20	0.50	37.65	0.0512
1211.09	0.53	39.27	0.0546
1306.34	0.57	42.36	0.0580
1360.78	0.60	44.12	0.0614
1383.46	0.63	44.86	0.0648
1406.14	0.67	45.59	0.0683
1428.81	0.70	46.25	0.0717

- **Viga G3-28D**

CARGA (kg)	Desplazamiento (cm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Deformación unitaria
0.00	0.00	0.00	0.0000
453.59	0.03	14.12	0.0034
521.63	0.07	16.24	0.0067
571.53	0.10	17.79	0.0101
612.35	0.13	19.06	0.0134
675.85	0.17	21.04	0.0168
725.75	0.20	22.59	0.0201
793.79	0.23	24.71	0.0235
861.82	0.27	26.83	0.0268
943.47	0.30	29.37	0.0302
997.90	0.33	31.07	0.0336
1065.94	0.37	33.18	0.0369
1088.62	0.40	33.89	0.0403
1143.05	0.43	35.58	0.0436
1224.70	0.47	38.13	0.0470
1310.88	0.50	40.81	0.0503
1349.44	0.53	42.01	0.0537
1360.78	0.57	42.36	0.0570
1383.46	0.60	43.07	0.0604
1406.14	0.63	43.77	0.0638
1428.81	0.67	44.48	0.0671
1474.17	0.70	45.89	0.0705
1519.53	0.73	47.97	0.0738



4.1.4.4. Esfuerzos y deformaciones unitarias

Se puede reflejar en la tabla 4.39 que los esfuerzos y deformaciones unitarias ensayadas a resistencias a flexión, han ido reduciendo gracias a la incorporación de vidrio triturado, debido a que el sílice del vidrio aporta una gran ductilidad y tenacidad al concreto logrando aumentar sus resistencias iniciales.

Tabla 4.39 Cuadro de resumen de esfuerzos y deformaciones unitarias

Concreto	Edad	Muestra	Mr (Esfuerzo) (Kg/cm ²)	Mr (Esfuerzo) pr. (Kg/cm ²)	Deformación unitaria	DU Prom. (mm/mm)
Patrón	7 días	P1-7D	27.35	28.39	0.0554	0.0602
		P2-7D	28.35		0.0700	
		P3-7D	29.47		0.0552	
	14 días	P1-14D	39.53	40.84	0.0833	0.0768
		P2-14D	42.43		0.0881	
		P3-14D	40.56		0.0588	
	28 días	P1-28D	40.44	44.41	0.0833	0.0825
		P2-28D	48.04		0.0983	
		P3-28D	44.74		0.0657	
Vidrio #30	7 días	M1-7D	29.44	28.98	0.0274	0.0357
		M2-7D	29.17		0.0412	
		M2-7D	28.32		0.0385	
	14 días	M1-14D	37.12	38.33	0.0743	0.0507
		M2-14D	39.34		0.0378	
		M3-14D	38.54		0.0400	

	28 días	M1-28D	43.46	45.03	0.0600	0.0803
		M2-28D	44.73		0.0887	
		M3-28D	46.91		0.0922	
Vidrio #16	7 días	S1-7D	27.16	26.64	0.0295	0.0283
		S2-7D	27.05		0.0237	
		S3-7D	25.71		0.0318	
	14 días	S1-14D	36.99	40.42	0.0774	0.0640
		S2-14D	40.54		0.0475	
		S3-14D	43.72		0.0671	
	28 días	S1-28D	43.71	40.27	0.0419	0.0453
		S2-28D	37.75		0.0311	
		S3-28D	39.35		0.0629	
Vidrio #8	7 días	T1-7D	30.93	30.22	0.0475	0.0470
		T2-7D	29.81		0.0385	
		T3-7D	29.92		0.0550	
	14 días	T1-14D	40.11	42.46	0.0633	0.0731
		T2-14D	42.36		0.0699	
		T3-14D	44.91		0.0859	
	28 días	T1-28D	37.24	37.90	0.0700	0.0619
		T2-28D	38.89		0.0612	
		T3-28D	37.58		0.0544	
Vidrio #4	7 días	G1-7D	25.64	24.90	0.0323	0.0299
		G2-7D	25.13		0.0308	
		G3-7D	23.93		0.0265	
	14 días	G1-14D	30.59	32.02	0.0393	0.0434
		G2-14D	33.16		0.0445	
		G3-14D	32.31		0.0464	
	28 días	G1-28D	43.51	45.91	0.0660	0.0705
		G2-28D	46.25		0.0717	
		G3-28D	47.97		0.0738	

4.1.5. Diseño de un pavimento rígido por el método AASHTO 93

Para la investigación se realizará el diseño del pavimento rígido de la av. Universitaria tramo Manchego Muñoz – Puente del ejército en la ciudad de Huancavelica

4.1.5.1. Periodo de diseño

(De acuerdo al tráfico proyectado que tienen tránsito mayor de 1,000,000 EE en el carril y por recomendación de la guía AASTHO)

Asumiremos un periodo de diseño variable e igual a 20 años.

4.1.5.2. Índice de serviciabilidad

Parámetro que está en función de la serviciabilidad inicial y final. La selección del índice de servicio final está basada en el valor más bajo que pueda tolerar el pavimento, antes de la rehabilitación o reconstrucción, estos valores se adoptan según la recomendación por el AASHTO.

$P_i = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_t = 2.0$ calles residenciales y estacionamientos

4.1.5.3. Factor de Confiabilidad

Para el diseño se adopta un nivel de confiabilidad de $R = 0.80$ para el tipo de camino local en zona urbana. Obteniendo una desviación estándar $Z_R = -0.841$.

4.1.5.4. Error estándar combinado (S_o)

Se asume el valor de $S_o = 0.32$, basado en el desarrollo de la carretera experimental efectuada por la AASHTO para pavimentos rígidos.

4.1.5.5. Coeficiente de transferencia de carga (J)

La utilización de pasajuntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, los investigadores recomiendan evaluar su utilización en vías de mayor importancia.

Para nuestro caso se considera un coeficiente de transferencia: $J = 3.0$.

4.1.5.6. Coeficiente de drenaje (C_d)

Se adopta el coeficiente de drenaje para pavimentos rígido. En consideración del material de base granular, al igual que el de sub-base, tienen buena capacidad de drenaje, también la zona en estudio presenta lluvias según el SENAHMI en meses de diciembre, enero, febrero, marzo y parte de abril por lo que se considera más del 25% del año la estructura del pavimento estará

expuesta a niveles de humedad, por lo que se ha determinado que el coeficiente de drenaje 30% bueno $m_2 = m_1 = 1.0$

4.1.5.7. Estimación de número de ejes equivalentes (Esal)

El diseño considera el número de ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de análisis (W18) en el carril de diseño. A partir de conteos vehiculares y conversión a ejes equivalentes, se debe afectar al ESAL en ambas direcciones por factores direccionales y de carril, aplicando la ecuación a continuación se presenta el cálculo de ESAL, en el carril de diseño:

$$W_{18} = D_D * D_L * \hat{W}_{18}$$

Donde:

W18 : Número de ejes equivalentes (ESAL) para el periodo de análisis en el carril de diseño

DD: Factor de distribución direccional

DL: Factor de distribución por carril

\hat{W}_{18} : Tráfico total en ambas direcciones para el periodo de diseño

Los factores de distribución direccional DD, según la recomendación del AASHTO para dos direcciones considera 50%. La distribución por carril DL, se asumió 100% por considerarse un carril en cada dirección.

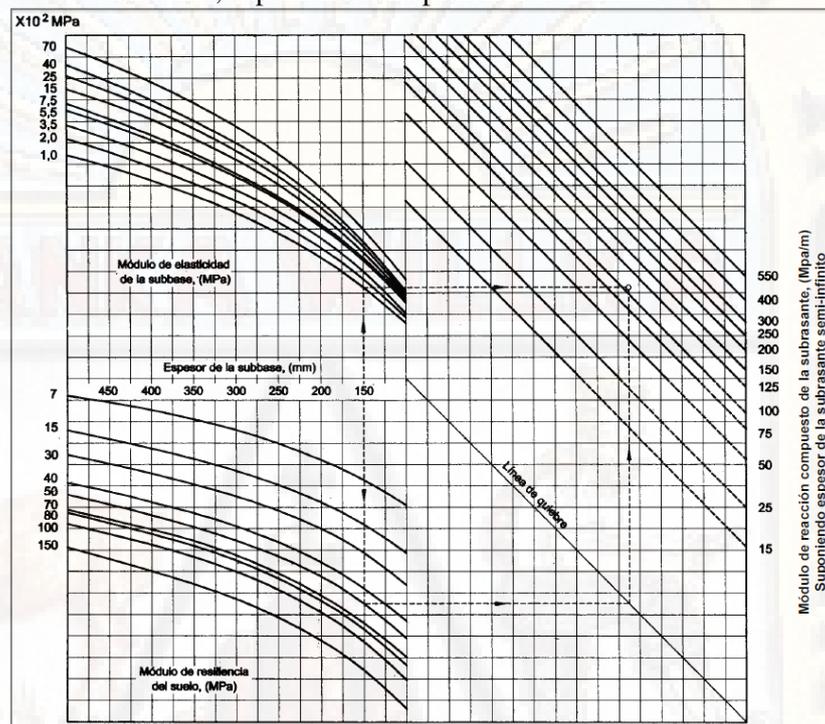
$$W_{18} = 744310.5858$$

4.1.5.8. Módulo de reacción de la subrasante (k)

En el monograma

- Estimamos el espesor de la sub base como dato preliminar
- Obtenemos el módulo resiliente y módulo de elasticidad del suelo de fundación y de la sub base respectivamente
- Proyectamos con las flechas y obtenemos el módulo de reacción compuesto

Figura 21.22 Monograma para determinar el módulo de reacción compuesto de la subrasante, suponiendo una profundidad infinita



Módulo de reacción compuesto de la subrasante (k) = **100.00** Mpa/m

❖ Método AASHTO

Datos de la Sub Base: CBR = **20.00** %, Espesor: **20.00** cm

Si $CBR \leq 10$

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si $CBR > 10$

$$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$$

$$K = 74.45 \text{ Mpa/m}$$

Datos del Suelo de Fundación: CBR = 8.00 %

Si CBR ≤ 10

$$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$$

Si CBR > 10

$$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$$

$$K = 49.96 \text{ Mpa/m}$$

Módulo de reacción compuesto de la subrasante (K) = 58.30 Mpa/m

4.1.5.9. Módulo de elasticidad del concreto

Se aplica la ecuación recomendado por el AASHTO.

$$E_c = 57\,000 * \sqrt{(f'c) * \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * \frac{1 \text{ lb}}{0.4536 \text{ kg}} * \frac{2.54^2 \text{ cm}^2}{1 \text{ pulg}^2}} = \dots \text{psi}$$

Descripción	Esfuerzo a la Compresión (Kg/Cm2)	Esfuerzo a la Compresión (Psi)	Módulo de Elasticidad (Psi)
Patrón	294.06	4173.78	3682474.40
Vidrio #30	307.44	4363.66	3765304.46
Vidrio #16	322.03	4570.79	3853632.77
Vidrio #8	336.78	4780.05	3940859.12
Vidrio #4	350.67	4977.24	4021325.42

Tabla 4.40 Módulos de elasticidad de las diferentes mezclas

4.1.5.10. Módulo de rotura del concreto (S'C)

El módulo de ruptura fue uno de los objetivos a estudiar en la presente investigación, cumpliendo con tal propósito presentamos la tabla N 4.28 indicando el incremento de la resistencia a flexión según la cantidad de vidrio triturado adicionada los cuales fueron utilizados para el respectivo diseño según la metodología AASHTO 1993.

Descripción	Módulo de Ruptura (Kg/Cm ²)	Módulo de Ruptura (Psi)
Patrón CN	44.41	630.27
Vidrio #30	45.03	639.18
Vidrio #16	40.27	571.57
Vidrio #8	37.90	537.98
Vidrio #4	45.91	651.62

Tabla 4.41 Módulos de rotura de las diferentes mezclas

4.1.5.11. Espesor de Losa (D)

Es la variable que se pretende determinar al realizar un diseño de una estructura de pavimento, el espesor se refiere solamente a la capa de concreto hidráulico que se coloca sobre la subbase y/o subrasante.

Se aplica la ecuación general de la guía AASHTO 93 para pavimentos rígidos:

$$W_{18} = \text{Tráfico (Número de ESAL's)} = 744310.5858$$

$$Z_R = \text{Desviación Estándar normal, } Z_R = -0.841 \text{ para } R = 80\%$$

$$S_0 = \text{Error estándar combinado de la predicción de tráfico} = 0.32$$

$$D = \text{Espesor de la losa del pavimento en (pulg.)} = ?$$

$$\Delta PSI = \text{Diferencia de serviciabilidad } (\Delta PSI = P_0 - P_t) = 2.5$$

$$P_t = \text{Serviciabilidad final} = 2.0$$

$$S'_C = \text{Módulo de rotura del concreto en (psi) indicado en la tabla N... según el tipo de vidrio. } 4.35 \text{ Mpa}$$

$$J = \text{Coeficiente de transferencia de carga} = 3.0$$

$$C_d = \text{Coeficiente de drenaje} = 1.00$$

$$E_c = \text{módulo de elasticidad del concreto (psi)} = \text{Ver tabla 4.25}$$

$$K = \text{módulo de reacción de la subrasante en pci (psi/pulg)} = 58.30 \text{ Mpa/m.}$$

Reemplazando datos en una hoja de cálculo Excel por el cual obtenemos la tabla N° 4.27 para un periodo de diseño de 20 años.

Tabla 4.42 Espesor de pavimento rígido según los módulos de ruptura de los testigos

DESCRIPCIÓN	MÓDULO DE RUPTURA (kg/cm ²)	MÓDULO DE RUPTURA (psi)	ESPESOR DE PAVIMENTO (pulg)	ESPESOR DE PAVIMENTO (cm)
Patrón	44.41	630.27	8.25	20.96
Vidrio #30	45.03	639.18	8.20	20.83
Vidrio #16	40.27	571.57	8.78	22.30
Vidrio #8	37.90	537.98	9.11	23.14
Vidrio #4	45.91	651.62	8.14	20.68



Figura 4.23 Espesor de pavimento de mezcla control vs mezcla experimental

4.2. Discusión de resultados

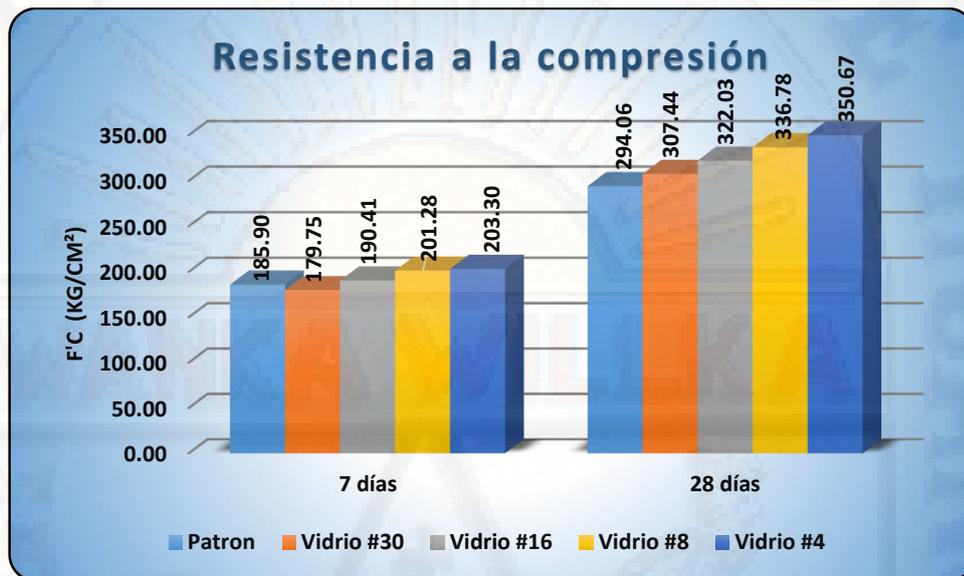
4.2.1. Resistencia a la compresión

Se refleja en la figura 4.24 un aumento y disminución de resistencia a compresión a los 7 días cada vez que se va incluyendo vidrio triturado reflejado los siguientes resultados: concreto patrón: 185.9 kg/cm², vidrio #30 molido: 179.75 kg/cm², vidrio #16 semimolido: 190.41 kg/cm², vidrio #8 tamizado: 201.28 kg/cm², vidrio #4 granular: 203.3 kg/cm², logrando un resultado parcial en la mejora del concreto usado para pavimentos rígidos.

También se ve un aumento de resistencia a compresión a los 28 días cada vez que se va incluyendo vidrio triturado reflejado los siguientes resultados: Concreto patrón: 294.06 kg/cm², vidrio #30 molido: 307.4 kg/cm², vidrio #16

semimolido: 322.03 kg/cm², vidrio #8 tamizado: 336.78 kg/cm², vidrio #4 granular: 350.67 kg/cm², logrando un resultado positivo en la mejora del concreto usado para pavimentos rígidos.

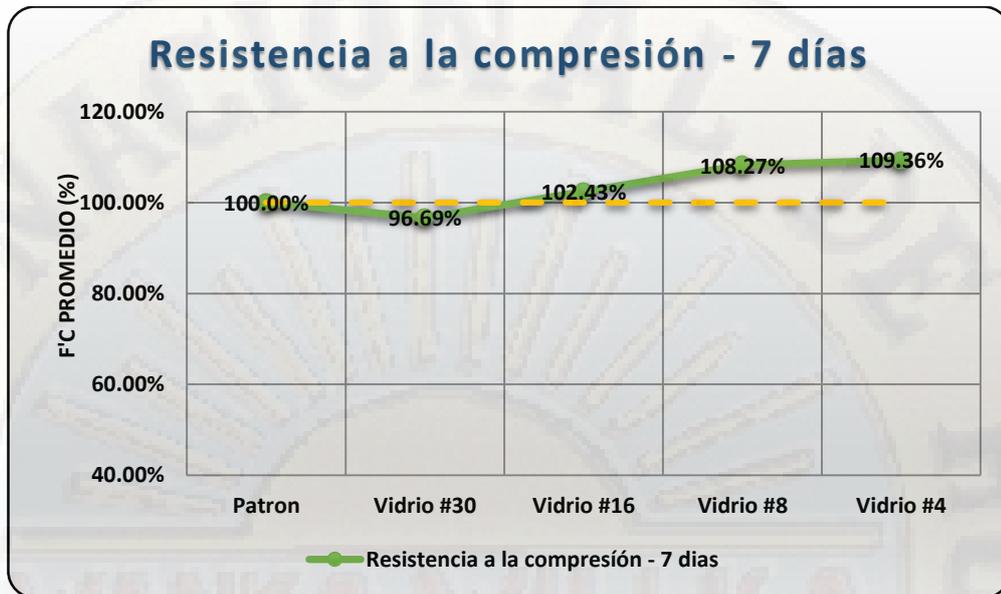
Figura 4.24 Resultados resistencia a la compresión



4.2.1.1. Comparación de la resistencia a compresión del concreto sin y con reemplazo de vidrio triturado para 7 días de curado

En el gráfico N° 4.25 se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia disminuye en 3.31% con el reemplazo de agregado fino por vidrio #30 con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con vidrio #16, #8 y #4 aumentaron en 2.43%, 8.27% y 9.36% respectivamente con respecto a la resistencia de la probeta patrón.

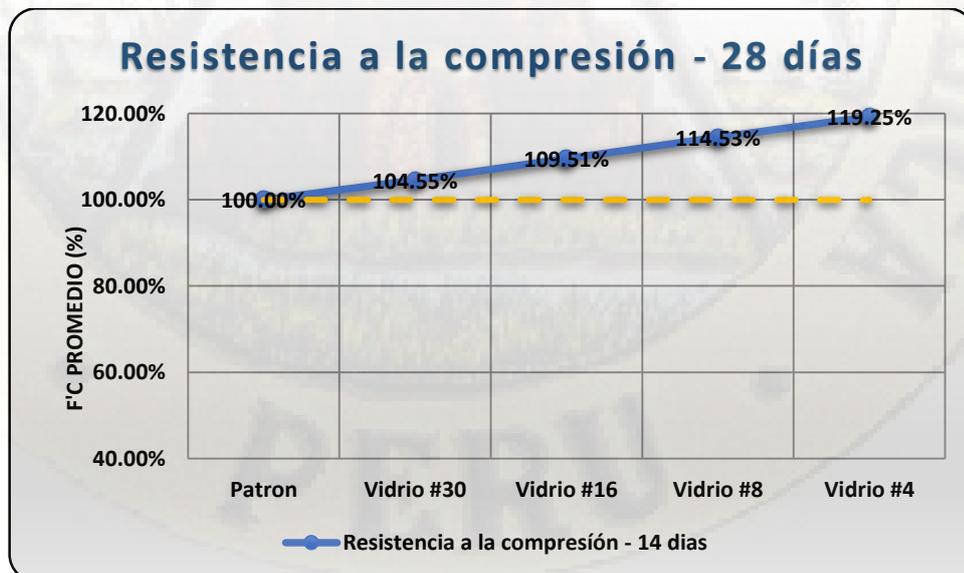
Figura 4.25 Comparación de resistencia a la compresión a los 7 días



4.2.1.2. Comparación de la resistencia a compresión del concreto sin y con reemplazo de vidrio triturado para 28 días de curado

En el gráfico N° 4.26 se puede apreciar que a 28 días de edad de ensayo la resistencia aumenta en 4.55% con el reemplazo de agregado fino por vidrio #30 con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con vidrio #16, #8 y #4 aumentaron en 9.51%, 14.53% y 19.25% respectivamente con respecto a la resistencia de la probeta patrón.

Figura 4.26 Comparación de resistencia a la compresión - 28 días



4.2.2. Resistencia a la flexión

4.2.2.1. Comparación de la resistencia a flexión del concreto sin y con reemplazo de vidrio triturado para 7 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 7 días como se muestra en el gráfico N° 4.27 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 28.39 kg/cm² con 0% de reemplazo de agregado fino; 28.98 kg/cm² al reemplazar 10% de agregado fino por vidrio #30, 26.64 kg/cm² por vidrio #16, 30.22 kg/cm² por vidrio #8 y 24.90 kg/cm² por vidrio #4. En el gráfico N° 4.28 se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia aumenta con el 10% de reemplazo de agregado fino por vidrio #30 y #8 en 2.07% y 6.45% respectivamente con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con vidrio #16 y #4 disminuyen en 6.16 % y 12.28% respectivamente con respecto a la resistencia de la probeta patrón.



Figura 4.27 Resistencia a la flexión - 7 días



Figura 4.28 Comparación de resistencia a la flexión - 7 días

4.2.2.2. Comparación de la resistencia a flexión del concreto sin y con reemplazo de vidrio triturado para 14 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 7 días como se muestra en el gráfico N° 4.29 donde se puede observar que la resistencia alcanzada fue de 40.84 kg/cm² con 0% de reemplazo de agregado fino; 38.33 kg/cm² al reemplazar 10% de agregado fino por vidrio #30, 40.42 kg/cm² por vidrio #16, 42.46 kg/cm² por vidrio #8 y 32.02 kg/cm² por vidrio #4. En el gráfico N° 4.30 se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia aumenta con el 10% de reemplazo de agregado fino por vidrio #8 en 3.97% con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con vidrio #30, #16 y #4 disminuyen en 6.14 %, 1.02 y 21.6% respectivamente con respecto a la resistencia de la probeta patrón.



Figura 4.29 Resistencia a la flexión - 14 días

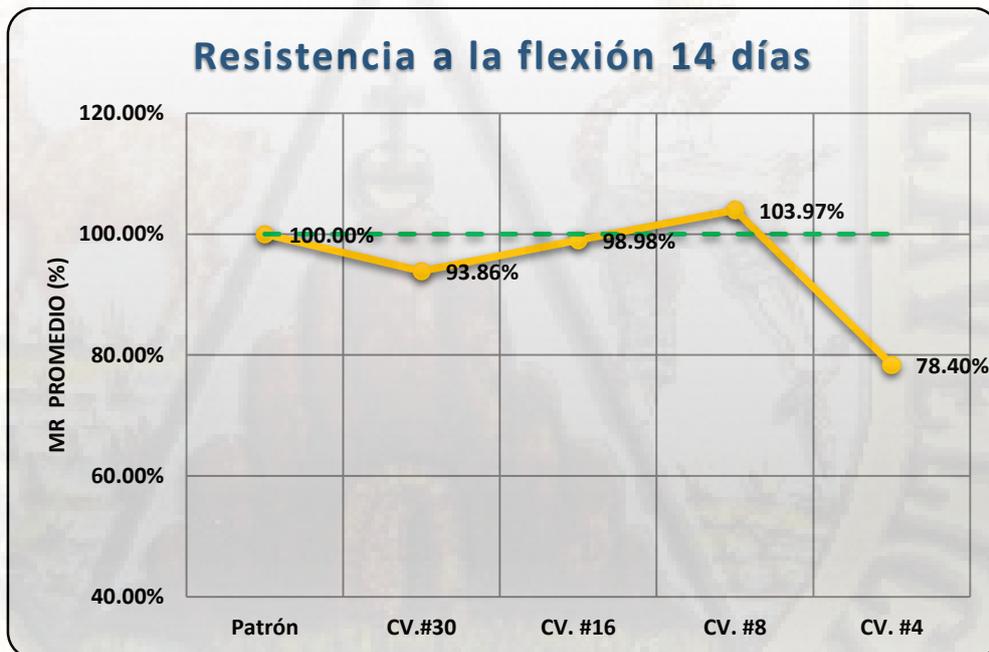


Figura 4.30 Comparación de resistencia a la flexión - 14 días

4.2.2.3. Comparación de la resistencia a flexión del concreto sin y con reemplazo de vidrio triturado para 28 días de curado

Los resultados obtenidos para en un tiempo de curado de 28 días como se muestra en el gráfico N° 4.31 donde se puede observar que la resistencia

alcanzada fue de 44.41 kg/cm² con 0% de reemplazo de agregado fino; 45.03 kg/cm² al reemplazar 10% de agregado fino por vidrio #30, 40.27 kg/cm² por vidrio #16, 37.9 kg/cm² por vidrio #8 y 45.91 kg/cm² por vidrio #4. En el gráfico N° 4.32 se puede apreciar que a partir de esta edad de ensayo la resistencia aumenta con el 10% de reemplazo de agregado fino por vidrio #30 y #4 en 1.4% y 3.37% respectivamente con respecto de la probeta patrón, también se puede observar que las resistencias con vidrio #16 y #8 disminuyen en 9.33 % y 14.67% respectivamente con respecto a la resistencia de la probeta patrón.



Figura 4.31 Resistencia a la flexión - 28 días

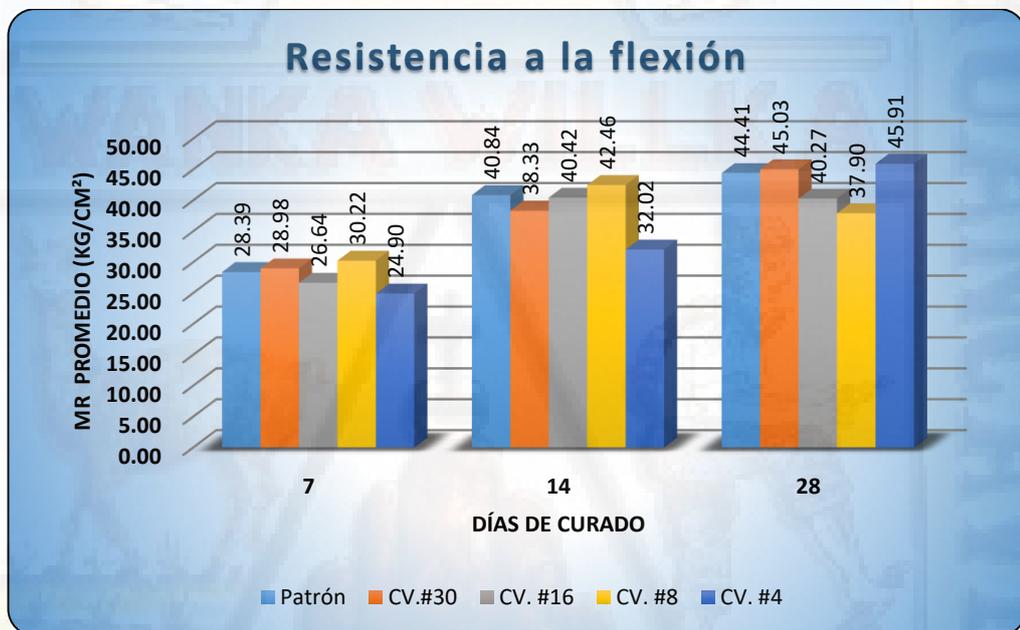


Figura 4.32 Comparación de resistencia a la flexión - 28 días

4.2.2.4. Resumen de Resistencias a la flexión a 7, 14 y 28 días de los diferentes tipos de concreto

En la figura 4.33 vemos variaciones de las resistencias a flexión de las diferentes viguetas de concreto patrón y adicionado 10 % con vidrio triturado; a 7, 14 y 28 días de curado. Notando que el concreto de vidrio #4 – granular sufrió un crecimiento notable mediante los días. El concreto con vidrio #16 y #8 sufrieron caídas prematuras en su resistencia durante su curado.

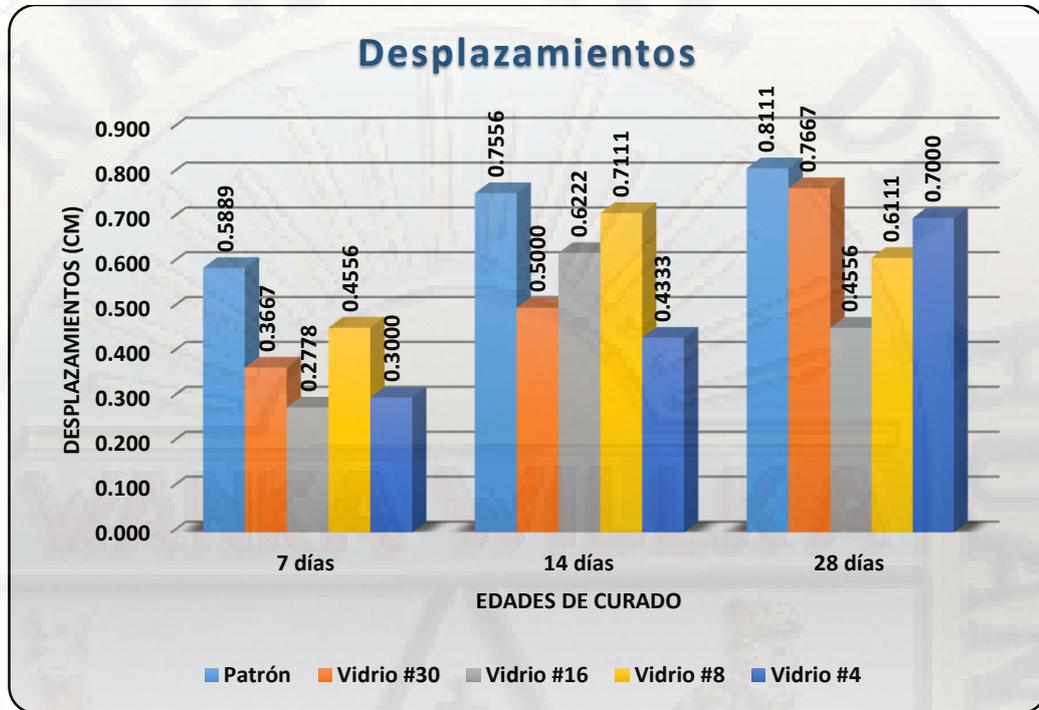
Figura 4.33 Resumen de resistencias a la flexión a diferentes edades



4.2.3. Desplazamientos y deformaciones unitarias del concreto patrón y adicionados en 10% de vidrio triturado a edades de 7, 14 y 28 días.

Se refleja en la figura 4.34 una reducción de desplazamientos a los 7, 14 y 28 días cada vez que se va incluyendo vidrio triturado reflejado en los siguientes resultados: Concreto Patrón: 0.5889, 0.7556 y 0.8111 cm respectivamente, Vidrio #30 Molido: 0.367, 0.5 y 0.767 respectivamente, Vidrio #16 Semimolido: 0.2778, 0.6222 y 0.4556 cm respectivamente, Vidrio #8 Tamizado: 0.4556, 0.7111 y 0.6111 respectivamente y Vidrio #4 Granular: 0.3, 0.4333 y 0.7 cm, logrando un resultado positivo en la mejora del concreto usado para pavimentos rígidos.

Figura 4.34 Desplazamientos de concreto patrón y adicionados en 10% de vidrio triturado a edades de 7, 14 y 28 días.



También en la figura 4.35 se nota una reducción de desplazamientos a los 7, 14 y 28 días cada vez que se va incluyendo vidrio triturado reflejado en los siguientes resultados: Concreto Patrón: 0.0602, 0.0768 y 0.0825 respectivamente, Vidrio #30 Molido: 0.0357, 0.0507 y 0.0803 respectivamente, Vidrio #16 Semimolido: 0.0283, 0.0640 y 0.0453 respectivamente, Vidrio #8 Tamizado: 0.0470, 0.0731 y 0.0619 respectivamente y Vidrio #4 Granular: 0.0299, 0.0434 y 0.0705, logrando un resultado positivo en la mejora del concreto usado para pavimentos rígidos.

Figura 4.35 Deformaciones unitarias de concreto patrón y adicionados en 10% de vidrio triturado a edades de 7, 14 y 28 días.



4.3. Prueba de hipótesis

4.3.1. Ensayo a compresión

Para tener un control de diseño de mezcla y de la calidad del concreto la cual se utilizó para la elaboración de las vigas experimentales y de control, se elaboraron probetas cilíndricas de 15x30cm y se ensayaron a los 7 y 28 días, que a continuación se presentan los resultados:

De acuerdo al código ACI 214, se puede evaluar la calidad del concreto para muestras menores a 10 ensayos, de la siguiente manera:

$$\sigma_1 = \frac{1}{d_2} \bar{R}$$

$$V_1 = \frac{\sigma_1}{\bar{x}} \bar{R}$$

Dónde:

\bar{R} : Es el intervalo, es la diferencia entre la resistencia más baja y alta.

d_2 : Constante que depende del número de cilindros de cada grupo

(Tabla 4.44).

σ_1 : Desviación estándar en los ensayos.

V_1 : Coeficiente de variación en los ensayos.

\bar{x} : Resistencia promedio de cada grupo.

Tabla 4.43 Normas de control de concreto - ACI

DISPERSION TOTAL					
Clase de Operación	Desviación Estándar para diferentes grados de control (Kg/cm ²)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> 49.2
Concreto en Laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> 24.6
DISPERSIÓN ENTRE TESTIGOS					
Clase de Operación	Coeficiente de variación V para diferentes grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en Obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> 6.0
Concreto en Laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> 5.0

Fuente: ACI - 214

Tabla 4.44 Factor para calcular la desviación estándar en los ensayos

Número de especímenes	d_2
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.97
10	3.078

Fuente: ACI – 214

Calidad del concreto utilizado para la siguiente tesis

Tabla 4.45 Calidad del Concreto patrón

EDAD	f'c	MEDIA	R _i	d ₂	σ	cv
7	185.85	185.90	3.65	1.69	2.16	1.16%
	187.75					
	184.10					
28	293.48	294.06	1.17	1.69	0.69	0.24%
	294.65					
	294.06					

Tabla 4.46 Calidad del Concreto con vidrio #30 molido

Dias	f'c	MEDIA	R _i	d ₂	σ	cv
7	179.54	179.75	4.14	1.69	2.45	1.36%
	181.92					
	177.78					
28	307.29	307.44	2.27	1.69	1.34	0.44%
	306.38					
	308.65					

Tabla 4.47 Calidad del Concreto con vidrio #16 semimolido

Dias	f'c	MEDIA	R _i	d ₂	σ	cv
7	188.14	190.41	4.49	1.69	2.65	1.39%
	190.46					
	192.63					
28	323.92	322.03	4.25	1.69	2.51	0.78%
	322.51					
	319.67					

Tabla 4.48 Calidad del Concreto con vidrio #8 Tamizado

Dias	f'c	MEDIA	R _i	d ₂	σ	cv
7	203.44	201.28	4.90	1.69	2.89	1.44%
	201.85					
	198.54					
28	333.59	336.78	5.17	1.69	3.05	0.91%
	338.76					
	337.98					

Tabla 4.49 Calidad del concreto utilizado con vidrio #4 Granular

Dias	f'c	MEDIA	R _i	d ₂	σ	cv
7	205.91	203.30	5.48	1.69	3.24	1.59%
	203.57					
	200.43					
28	355.47	350.67	12.58	1.69	7.43	2.12%
	342.89					
	353.65					

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a las consideraciones anteriores la calidad del concreto utilizado para esta investigación se clasifica como **concreto bueno**.

4.3.2. Ensayo a flexión

Hipótesis estadístico

Las hipótesis son:

$$H_0: u_i = u_c \quad i = 1, 2, \dots, 4$$

$$H_a: u_i \neq u_c$$

H_0 = Hipótesis nula (El vidrio triturado no influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto)

H_a = Hipótesis alternativa (El vidrio triturado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto)

Dónde:

u_i = Media de vigas reforzadas con vidrio triturado.

u_c = Media de vigas sin reforzar (del grupo control).

Detalle de cálculos para ANOVA

Análisis de varianza de dos factores con varias muestras por grupo

Tabla 4.50 Resumen estadístico del ensayo a flexión

EDAD	RESUMEN	Patrón	Vidrio #30	Vidrio #16	Vidrio #8	Vidrio #4	Total
7 días	Cuenta	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	15.00
	Suma	85.17	86.93	79.92	90.66	74.70	417.38
	Promedio	28.39	28.98	26.64	30.22	24.90	27.83
	Varianza	1.12	0.34	0.65	0.38	0.77	4.18
14 días	Cuenta	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	15.00
	Suma	122.52	115.00	121.25	127.38	96.05	582.20
	Promedio	40.84	38.33	40.42	42.46	32.02	38.81
	Varianza	2.16	1.26	11.33	5.77	1.72	17.40
28 días	Cuenta	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	15.00
	Suma	133.22	135.10	120.81	113.71	137.73	640.57
	Promedio	44.41	45.03	40.27	37.90	45.91	42.70
	Varianza	14.50	3.04	9.52	0.76	5.06	14.89
Total	Cuenta	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	
	Suma	340.91	337.03	321.98	331.75	308.48	
	Promedio	37.88	37.45	35.78	36.86	34.28	
	Varianza	57.47	49.94	52.32	30.43	87.52	

Cálculos manuales para ANOVA

Tabla 4.51 Cálculos manuales para ANOVA

ECUACION
$SC_T = \sum_{i=1}^{10} \sum_{j=1}^{10} Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{N}$
$SC_{TRAT} = \sum_{i=1}^n \frac{Y_{i.}^2}{n} - \frac{Y_{..}^2}{N}$
$SCE = SC_T - SC_{TRAT}$
$CM_{TRAT} = \frac{SC_{TRAT}}{k - 1}$
$CM_E = \frac{SCE}{N - k}$
$F_0 = \frac{CM_{TRAT}}{CM_E}$

Cálculo del valor – p, y valor crítico de F_0

El valor de la significancia observada es el área bajo la curva de la distribución: $F_{k-1, N-k}$ a la derecha de F_0 . (Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar, 2012). Dicho valor se determinó usando en el programa Microsoft Excel:

Tabla 4.52 Cálculo del valor - p

	Dias	Concreto	Dias-Concreto
F0	3.3158295	2.6896276	2.266163274
k-1	4	4	4
N-k	35	35	35
Valor - p	6.584E-19	0.0038938	9.22802E-07

El valor crítico de F_0 se calculó con la tabla de valores críticos para $\alpha = 5\%$ de la distribución F. La misma que se obtuvo: $F_{0.05, 4, 35} = 2.69$

Análisis de varianza del experimento

Tabla 4.53 ANOVA para vigas de distintos edades de rotura

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Dias	1786.35	2	893.18	229.45	6.58E-19	3.32
Concreto	75.48	4	18.87	4.85	3.89E-03	2.69
Dias-Concreto	318.41	8	39.80	10.22	9.23E-07	2.27
Dentro del grupo	116.78	30	3.89			
Total	2297.02	44				

Fuente: Elaboración propia

Prueba de hipótesis

La hipótesis se probó de acuerdo a las consideraciones descritas en el ítem 2.8.2.2, la hipótesis nula se rechaza si:

- Para el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, se tiene $F_0 = 4.85 > F_{\alpha, K-1, N-k} = 2.69$.
- $Valor - p = 3.89E-03 < \alpha = 0.05$.

Las consideraciones anteriores son indicadores suficientes para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa. Es decir, se puede afirmar que existe variación en las medias de resistencia a la flexión entre vigas reforzadas con vidrio triturado ensayada en diferentes etapas (7 días, 14 días, 28 días) y las vigas sin reforzar ensayados a 7, 14 y 28 días. Para la validez del resultado obtenido en el ANOVA los supuestos del modelo deben cumplirlas.

Agrupación de información utilizando el método LSD de Fisher y una confianza de 95%

Ya que se rechazó la hipótesis nula y también existe variación en las medias de las resistencias se procedió al agrupamiento de resultados, para la cual se utilizó el método de Tukey para lo cual se utilizó el software Minitab v18, las cuales se presentan a continuación:

Tabla 4.54 Método de Tukey para agrupamiento de resultados

CONCRETO*DIAS	N	Media	Agrupación								
Vidrio #4 - 28 días	3	45.91	A								
Vidrio #30 - 28 días	3	45.03	A	B							
Patrón - 28 días	3	44.41	A	B							
Vidrio #8 - 14 días	3	42.46		B	C						
Patrón - 14 días	3	40.84			C	D					
Vidrio #16 - 14 días	3	40.42			C	D					
Vidrio #16 - 28 días	3	40.27			C	D					
Vidrio #30 - 14 días	3	38.33				D					
Vidrio #8 - 28 días	3	37.90				D					
Vidrio #4 - 14 días	3	32.02					E				
Vidrio #8 - 7 Días	3	30.22					E	F			
Vidrio #30 - 7 Días	3	28.98					E	F	G		
Patrón 7 - Días	3	28.39						F	G		
Vidrio #16 - 7 Días	3	26.64							G	H	
Vidrio #4 - 7 Días	3	24.90								H	

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

CONCLUSIONES

Conclusión General

- En la presente investigación concluimos que el vidrio triturado influye en la resistencia a la flexión y al evaluar los tipos de vidrios triturados, se obtuvo la cuantía más óptima sobre la resistencia a la flexión, siendo esta la de tamiz N° 4 (4.75mm)-granular, llegando a 45.91 kg/cm², además produciendo una disminución de espesor de carpeta de rodadura.

Conclusiones Específicas

- Se determinó que el concreto con vidrio tamiz N° 30 influye en la resistencia a la flexión, ya que supera la resistencia del concreto patrón en 1.4 %, además produce una reducción del espesor de pavimento.
- Se determinó que el concreto con vidrio tamiz N° 16 no influye en la resistencia a la flexión, ya que no supera la resistencia del concreto patrón, además produce un aumento del espesor de pavimento.
- Se determinó que el concreto con vidrio tamiz N° 8 no influye en la resistencia a la flexión, ya que no supera la resistencia del concreto patrón, además produce un aumento del espesor de pavimento.
- Se determinó que el concreto con vidrio tamiz N° 4 influye en la resistencia a la flexión, ya que supera la resistencia del concreto patrón en 3.37 %, además produce una reducción del espesor de pavimento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda este tipo de investigaciones utilizando otros materiales reciclables para reducir el volumen de basura y la degradación del medio ambiente, y que influyan en las propiedades mecánicas del concreto.
- Según las fallas obtenidas en los ensayos a flexión y compresión de los diferentes testigos podemos afirmar que el vidrio triturado en el concreto, aumenta la durabilidad del concreto, debido a que el vidrio triturado controla la fisuración y evita la propagación de grietas, por el cual recomendamos el estudio profundo de la durabilidad del concreto adicionado vidrio triturado.
- Se recomienda que, en futuras tesis relacionadas con el tema de investigación, estudiar tamaños de vidrio superiores a 4.75mm e inferiores a 0.6mm, con un tamaño de residuo de 2 mm x 2 mm en los ensayos de resistencia a la compresión, flexión y asentamiento.
- Se recomendaría a las empresas que trabajen los materiales utilizados en la investigación, clasificarlos adecuadamente antes de arrojados a la basura.
- Se recomienda al gobierno del Perú promover y financiar las investigaciones de este tipo, para así poder reafirmar y cumplir con lo expuesto en la Ley General de los Residuos Sólidos.
- Se debe seguir evitando de cierto modo la degradación del medio ambiente, ya que, al utilizar estos desechos como refuerzo en el concreto; se reduce la contaminación, evitando la incineración de estos materiales y mala disposición de los desechos de las vidrierías. Se reducirá el volumen de basura que llega a diaria a los botaderos, periferias y terrenos baldíos que forman basureros clandestinos, proporcionando una forma adecuada de reutilización de estos desechos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Torre C., A. (2004). *Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros civiles*. Lima.
- Abanto Castillo, F. (2009). *Tecnología del concreto, Teoría y problemas*. Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L.
- Afá Saldaña, Y. S., & Loyola Carrascal, M. F. (2016). *Influencia del porcentaje en peso de fibra de vidrio AR y aditivo plastificante COPREPLAST 102, sobre la resistencia a la flexión en paneles de concreto reforzado con fibra de vidrio (GRC)*. Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.
- Almeida Beltran, J. B., & Trujillo Vivas, C. R. (2017). *Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones*. Universidad Central Del Ecuador, Quito, Ecuador.
- Augusto Delgado, J. C., & Legarda Caicedo, P. V. (2011). *Correlación entre el modulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto fabricado con materiales petreos de la mina "Las terrazas" y cantera "La victoria" del municipio de Pasto*. Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia.
- Cano Cano, J. D., & Cruz Pulgarin, C. M. (2017). *Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón*. Universidad Libre Seccional Pereira, Pereira, Colombia.
- Catalan Arteaga, C. J. (2013). *Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, y H30*. Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Córdova Sanchez, C. E. (2018). *Análisis del concreto simple utilizando vidrio pulverizado como adición para concreto de alta resistencia con agregados de la ciudad de Chiclayo*. Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo, Chiclayo, Perú.

- Fernández Altamirano, E. J. (2017). *Evaluación de las proporciones del residuo PVC de tapicería sobre la resistencia a la compresión, flexión, asentamiento y costos en un concreto para pavimento rígido*, Trujillo, La Libertad, 2017. Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiales*. Manizales, Colombia.
- Isidro Chagua, J. (2018). *Influencia de la adición de fibras de acero en las propiedades del concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la ciudad de Puno- Puno*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Ispilco Infante, J., & López Alaya, J. A. (2017). *Influencia de los agregados de las canteras Mashcón y Chonta para la obtención de módulos de elasticidad y rotura, en el diseño de pavimentos rígidos*. Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Perú.
- Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. (2013). Ministerio de transportes y comunicaciones. Perú.
- Ochoa Tapia, L. M. (2018). *Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos*. Universidad Señor de Sipán, Pimentel.
- Pearson, C. (s.f.). *Manual del Vidrio Plano*.
- Rivera López, G. A. (2010). *Concreto simple*. Cauca.
- Rivva López, E. (2004). *Naturaleza y Materiales del Concreto*. Lima.
- Rojas Lujan, J. F. (2015). *Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'c=210$ kg/cm² adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico*. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Vargas Castro, D. A. (2015). *Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos*. Tesis de licenciatura. Instituto Tecnológico De Costa Rica, Cartago, COSTA RICA.

ANEXOS

ANEXO 1

Panel Fotográfico



Ilustración 1: Agregado grueso



Ilustración 2: Vidrio tamiz #30 (molido)



Ilustración 3: Vidrio tamiz #4 (granular)



Ilustración 4: Ensayo de análisis granulométrico (ASTM C-136)



Ilustración 5: Ensayo de PUSC y PUSC (ASTM C-136)



Ilustración 6: Ensayo de PUSS y PUSC (ASTM C-136)



Ilustración 7: Ensayo de peso específico agregado fino (ASTM C-128)



Ilustración 8: Ensayo de peso específico agregado fino (ASTM C-128)

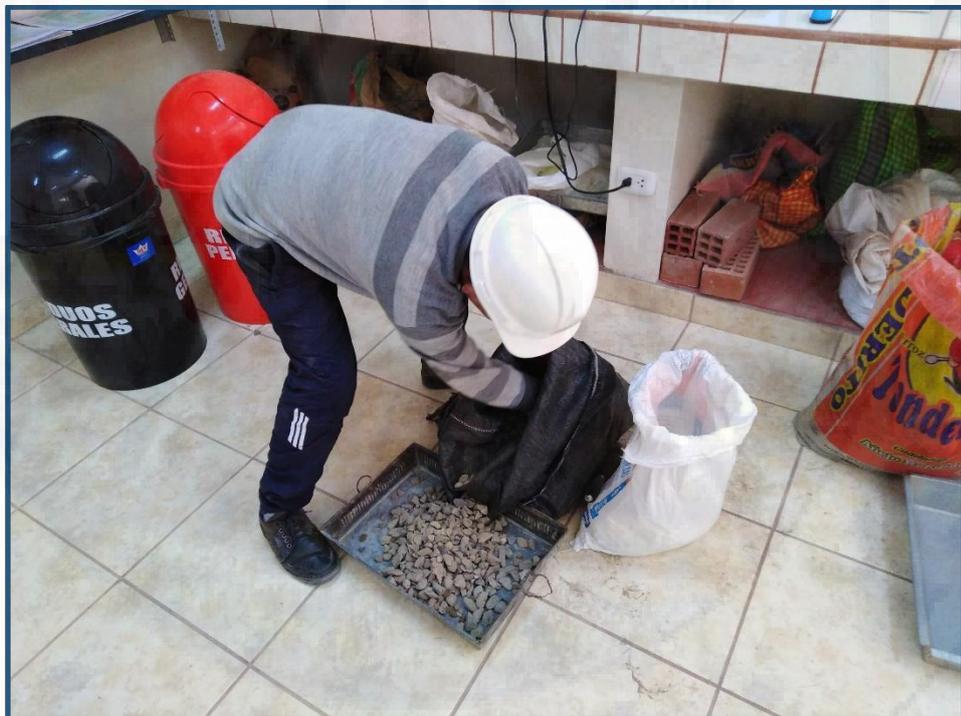


Ilustración 9: Selección de materiales para elaboración del concreto



Ilustración 10: Peso de materiales para la mezcla



Ilustración 11: Moldes para las vigas de concreto



Ilustración 12: Trompo con los materiales incluido vidrio



Ilustración 13: Ensayo de asentamiento en el concreto (ASTM C-143)



Ilustración 14: Llenado de moldes de 15 cm x 30 cm (ASTM C-31)



Ilustración 15: Curado de probetas (ASTM C-31)



Ilustración 16: Ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C-39)



Ilustración 17: Vigas a 7, 14 y 28 días de curado (ASTM C-31)



Ilustración 18: Ensayo de resistencia a la flexión (ASTM C-78)



Ilustración 19: Viga ensayada a flexión



Ilustración 20: Probeta ya ensayada a flexión (ASTM C-78)



Ilustración 21: Probeta ya ensayada a flexión (ASTM C-78)



Ilustración 22: Observación de vidrio triturado en viga ensayada



Ilustración 23: Especímenes y ensayos a compresión y flexión



Ilustración 24: Probetas cilíndricas después de los 7, 14 y 28 días de curado (ASTM C-31)



Ilustración 25: Probetas ya ensayadas a flexión (ASTM C-78)

ANEXO 2

ASTM Designación: C 78 – 02

Método de ensayo normalizado para determinar la resistencia a la flexión del hormigón (Usando una viga simple con carga en los tercios)¹

Esta norma ha sido editada con la designación C 78; el número que sigue inmediatamente a la designación señala su año de adopción original o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última aprobación. Una letra epsilon en superíndice (ϵ) señala un cambio editorial desde la última revisión o aprobación.

Estas especificaciones fueron aprobadas para ser utilizadas por los organismos pertenecientes al Departamento de Defensa.

1. Alcances

1.1 Este método de ensayo determina la resistencia a la flexión del hormigón usando una viga simple con carga en los tercios.

1.2 Los valores establecidos en unidades de pulg-libras deben mantenerse como norma. Las medidas equivalentes en SI han sido redondeadas para una aplicación práctica.

1.3 *Esta norma no se refiere a las medidas de seguridad, si las hubiera, asociadas con su uso. Es de responsabilidad del usuario de estas normas el establecer las medidas y prácticas de seguridad y de salud personal necesarias y determinar la aplicación de las limitaciones reglamentarias con anterioridad a su uso.*

2 Documentos de referencia

2.1 *Normas ASTM:*

C 31 Práctica para la preparación y curado de las probetas de hormigón en la obra².

C 42 Método de ensayo para la obtención y ensayo de testigos y vigas aserradas de hormigón².

C 192 Práctica para la preparación y curado de las probetas de hormigón en el laboratorio².

C 617 Práctica para refrentar las probetas cilíndricas de hormigón².

C 1077 Práctica para el ensayo de hormigón y de áridos para hormigón en el laboratorio para el uso en construcción y criterios para la evaluación en laboratorio².

E 4 Práctica para la verificación de la fuerza de las máquinas de ensayos³.

3 Significado y uso

3.1 Este método de ensayo se usa para determinar la resistencia a la flexión del hormigón preparado y curado de acuerdo con el Método de ensayo C 42 o con las Prácticas C 31 ó C 192. Los resultados se calculan e informan como módulo de ruptura. La resistencia determinada variará si existen diferencias en el tamaño de la muestra, preparación, condiciones de humedad, curado o cuando la viga ha sido moldeada o aserrada al tamaño preciso.

3.2 Los resultados de este método de ensayo pueden ser utilizados para determinar el grado de cumplimiento con las especificaciones o como base para la dosificación y operaciones de colocación. Se utiliza para ensayar el hormigón para la construcción de losas y pavimentos (Nota 1).

4 Aparatos

4.1 La máquina de ensayo debe cumplir con los requisitos de las secciones "Bases para la verificación", "Correcciones e Intervalo de tiempo entre verificaciones" de la Práctica E 4. No se permiten máquinas operadas manualmente, que posean bombas que no produzcan una carga continua en un solo recorrido. Se permiten máquinas mecánicas o bombas de desplazamiento positivo, operadas a mano, que posean la capacidad suficiente en un recorrido continuo para completar un ensayo sin reabastecerlas y deben ser capaces de aplicar las cargas a una velocidad uniforme, sin golpes o interrupciones.

4.2 *Aparato de carga* - El método de carga en los tercios se utiliza para realizar ensayos de flexión al hormigón, empleando placas de acero que aseguren que las fuerzas aplicadas a la viga sean perpendiculares a la cara de la probeta y aplicadas sin excentricidad. En la Fig. 1 se aprecia el diagrama de un aparato que cumple con estas condiciones.

1. Este método de ensayo se encuentra bajo la jurisdicción del Comité C09 de la ASTM sobre Hormigón y áridos para Hormigón y es de responsabilidad directa del Subcomité C09.61 sobre Métodos de Ensayo para la resistencia del hormigón.

La presente edición fue aprobada con fecha 10 de enero de 2002. Publicada en marzo de 2002. Originalmente publicada como C 78 -30 T.. La edición anterior es C 78 - 00.

2. Anuario de normas ASTM, Vol. 04.02

3. Anuario de normas ASTM, Vol. 03.01

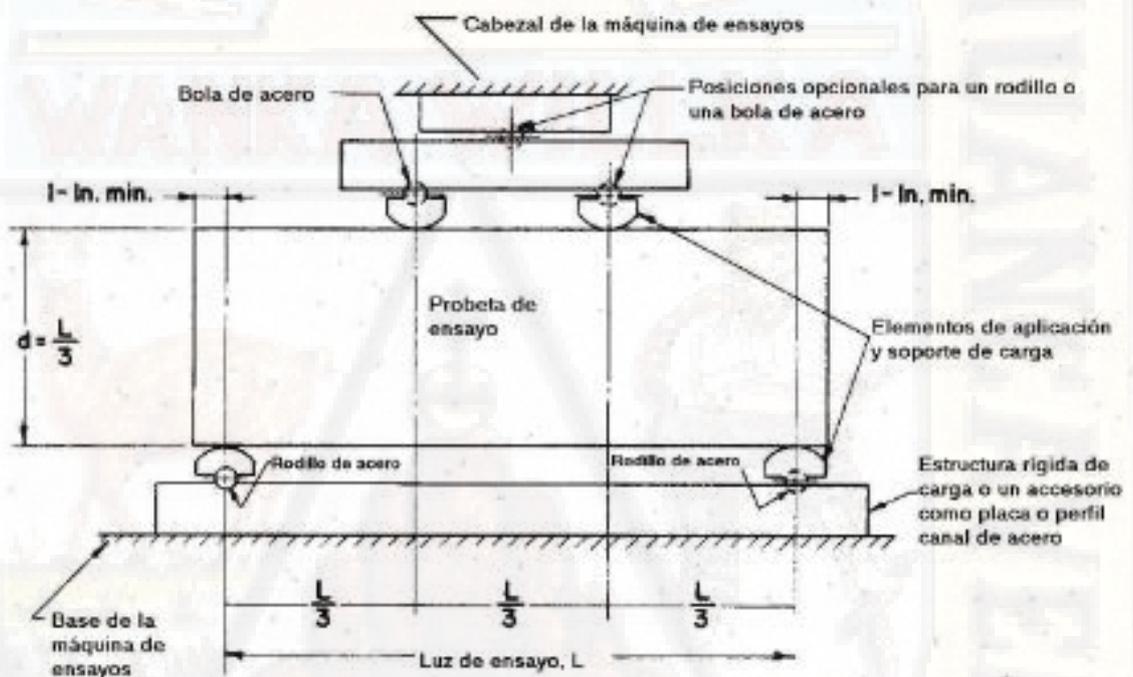
Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

4.2.1 Todos los aparatos para efectuar ensayos de flexión al hormigón deben ser capaces de mantener la luz de ensayo especificada y las distancias entre las placas de aplicación y soporte de cargas entre $\pm 0,05$ pulg ($\pm 1,3$ mm).

4.2.2 La razón de la distancia horizontal entre el punto de aplicación de la carga y el punto de aplicación de la reacción más próxima en la altura de la viga debe ser de $1,0 \pm 0,03$.

4.2.3 Si se emplea un aparato similar al de la Fig. 1, los elementos de aplicación y soporte de las cargas no deben tener más de $2 \frac{1}{2}$ pulg (64 mm) de alto, medidos desde el centro o eje del pivote, y deben extenderse a lo ancho de toda la probeta. Cada uno de estos elementos con la superficie endurecida en contacto con la probeta no debe desviarse del plano en más de 0,002

pulg (0,05 mm) y será una porción de cilindro, cuyo eje debe coincidir con los ejes del rodillo o con el centro de la bola, girando sobre la placa. El ángulo subtendido por la superficie curvada de cada porción del cilindro debería ser de 45° (0,79 rad) como mínimo. Las porciones de cilindro de aplicación y soporte de carga deben mantenerse en posición vertical y en contacto con el rodillo o bola mediante resortes atornillados que las mantenga en contacto con el rodillo o bola para pivotar. La placa superior y la bola del punto medio de la Fig. 1 pueden omitirse cuando la máquina emplee una placa superior rotulada, siempre que se use un rodillo y una bola como pivotes para las porciones de cilindro superiores de aplicación de carga.



Nota 1 - Este aparato puede ser utilizado en forma invertida. Si la máquina de ensayos aplica la fuerza a través de un cabezal esférico, el pivote central puede omitirse, siempre que una placa aplicadora de carga pivote sobre un rodillo y la otra sobre una bola.

Nota 2 - 1 pulg. = 25,4 mm.

Fig. 1 Diagrama de un aparato adecuado para los ensayos a la flexión del hormigón mediante el método de carga en los tercios.

5. Ensayo

5.1 La probeta de ensayo debe cumplir con los requisitos del Método de ensayo C 42 o de las Prácticas C 31 ó C 192 aplicables a las vigas y prismas, y debe tener una luz de ensayo dentro del 2% de tres veces su profundidad. Los lados de la probeta deben estar en ángulo recto con respecto a las caras superior e inferior. Todas las superficies deben ser suaves y no tener marcas, hendiduras, saltaduras o marcas de indentificación.

5.2 El técnico que realiza el ensayo a la flexión debe estar certificado como Técnico del ACI- Grado II, o por algún programa equivalente de ensayos, con exámenes escritos y de desempeño.

Nota 1 - El desempeño del laboratorio de ensayo donde se realiza este método de ensayo puede ser evaluado de acuerdo con la Práctica C1077.

6 Procedimiento

6.1 Los ensayos a la flexión de probeta curadas por vía húmeda se deben realizar lo antes posible después de retirar la probeta de su lugar de curado húmedo ya que el secado de la superficie de la probeta reduce la resistencia a la flexión.

6.2 Cuando se emplean probetas moldeadas, gire la probeta sobre un costado con respecto a la posición en que fue moldeada y céntrala sobre los elementos de apoyo. Cuando se usan probetas aserradas, se deben colocar de manera que la cara traccionada corresponda a la parte superior o inferior de la probeta tal como fue extraída del material original. Centre el sistema aplicador de carga con relación a la fuerza aplicada. Ponga los elementos de aplicación de carga en contacto con la superficie de la probeta en los tercios y aplique una carga de entre 3 y 6% de la carga última estimada. Utilizando láminas calibradas de 0,004 pulg (0,10 mm) y 0,015 pulg (0,38 mm), determine los espacios entre la probeta y los elementos de aplicación o apoyo de carga que sean mayores o menores a las láminas calibradoras en una longitud de 1 pulg (25 mm) o más. Cepille, refrente o utilice suples de cuero en toda la superficie de contacto de la probeta para eliminar cualquier espacio mayor a 0,004 pulg (0,10 mm) en el ancho. Los suples de cuero deben ser uniformes, de 1/4 pulg (6,4 mm) de espesor, de 1 a 2 pulg (25 a 50 mm) de ancho, y deben extenderse a través de todo el ancho de la superficie de la probeta.

Los espacios que exceden de las 0,015 pulg (0,38 mm) deben ser corregidos solamente por refrentado o cepillado. El cepillado de las superficies laterales debe ser minimizado en vista de que el cepillado puede cambiar las características físicas de la probeta. El refrentado debe concordar con las secciones aplicables de la Práctica C 617.

6.3 Ejerza la carga sobre la probeta de manera continua y sin golpes. La carga debe ser aplicada a una velocidad constante hasta el punto de rotura. Aplique la carga a una velocidad que aumente constantemente la tensión de las fibras extremas, entre 125 y 175 psi/min (0,86 y 1,21 MPa/min) hasta que ocurra la ruptura. La velocidad de carga se calcula usando la ecuación:

$$R = Sbd^2 / L \quad (1)$$

Donde:

R = velocidad de carga, lb/min (MN/min),
 S = velocidad de incremento del esfuerzo en las fibras extremas, psi/min (MPa/min),
 b = ancho promedio de la probeta, pulg (mm),
 d = altura promedio de la probeta, pulg. (mm) y
 L = largo de la luz, pulg (mm).

7 Medición de las probetas después del ensayo

7.1 Para determinar las dimensiones de la sección transversal de la probeta para usarlas en el cálculo del módulo de ruptura, tome las medidas a través de una de las caras fracturadas después del ensayo. Para cada dimensión, tome una medida en cada borde y una en el centro de la sección transversal. Use tres medidas para cada dirección para determinar el ancho promedio y la profundidad promedio. Aproxime todas las medidas a la 0,05 pulg (1 mm) más cercana. Si la fractura se produce en una zona refrentada, se debe incluir el espesor del refrentado en los cálculos.

8 Cálculos

8.1 Si la fractura se inicia en la superficie de tracción dentro del tercio medio del largo de la luz, calcule el módulo de ruptura de la siguiente manera:

$$R = PL/bd^2 \quad (2)$$

donde:

R = módulo de ruptura, psi, ó MPa,
 P = carga máxima aplicada indicada por la máquina de ensayos, lbf ó N,
 L = largo de la luz, pulg o mm,
 b = ancho promedio de la probeta, pulg o mm, en la fractura, y
 d = altura promedio de la probeta, pulg o mm, en la fractura.

Nota 2 - El peso de la viga no se encuentra incluido en los cálculos anteriores.

8.2 Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio del largo de la luz en no más del 5% del largo de la luz, calcule el módulo de ruptura de la siguiente manera:

$$R = 3Pa/bd^2 \quad (3)$$

donde:

a = distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano medido en la superficie de tracción de la viga, pulg (mm).

Nota 3 - El peso de la viga no se encuentra incluido en los cálculos anteriores.

8.3 Si la fractura ocurre en la superficie de tracción fuera del tercio medio del largo de la luz por más del 5% del largo de la luz, deseche los resultados del ensayo.

9 Informe

9.1 Entregue la siguiente información:

- 9.1.1 Número de identificación,
- 9.1.2 Ancho promedio aproximado a 0,05 pulg (1 mm) más cercana,
- 9.1.3 Altura promedio aproximada a 0,05 pulg (1 mm) más cercana,
- 9.1.4 Largo de la luz, pulg (mm)
- 9.1.5 Carga máxima aplicada en libras-fuerza [newtons],
- 9.1.6 Módulo de ruptura calculado, aproximado al 5 psi (0,05 MPa) más cercano,

9.1.7 Historial del curado y condiciones de humedad aparente de las probetas en el momento del ensayo,

9.1.8 Si las probetas han sido refrentadas, cepilladas, o se han utilizado suples de cuero,

9.1.9 Si las probetas han sido aserradas o moldeadas, y los defectos que aparecen en ellas, y

9.1.10 Edad de las probetas.

10 Precisión y sesgo

10.1 *Precisión* - Se ha observado que el coeficiente de variación de los resultados de los ensayos depende del nivel de resistencia de las vigas.⁴ El coeficiente de variación con el mismo operador es de 5,7%. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos realizados adecuadamente por el mismo operador, en vigas confeccionadas de una misma amasada no deberían diferir entre ellos en más del 16%. El coeficiente de variación multilaboratorio ha sido determinado en 7,0%. Por lo tanto, los resultados de dos laboratorios diferentes, en vigas confeccionadas de la misma amasada no deberían diferir entre ellos en más de un 19%.

10.2 *Sesgo* - Como no existen normas aceptadas para determinar el sesgo en este método de ensayo, no se han establecido estos errores.

11 Palabras clave

11.1 Vigas; hormigón; ensayos de resistencia a la flexión; módulo de ruptura.

4 Consulte "Improved Concrete Quality Control Procedures Using Third Point Loading" de P.M. Carrasquillo y R.L. Carrasquillo, Informe de Investigación 119-1F, Proyecto 3-9-87-1119, Center For Transportation Research, The University of Texas en Austin, Noviembre de 1987, para una mejor guía de las relaciones entre resistencia y variabilidad.

La American Society for Testing and Materials no tiene ninguna posición frente a la validez de cualquier derecho de patente relacionado con cualquiera de los puntos mencionados en esta norma. A los usuarios de esta norma se les advierte expresamente que la determinación de la validez de cualquiera de esos derechos patentados, y el riesgo de infringir esos derechos, son de su entera responsabilidad.

Esta norma podrá ser sometida a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y deberá ser revisada cada cinco años y, en caso de no ser revisada, será reprobada o revocada. La ASTM le invita a expresar sus comentarios ya sea para la revisión de esta norma o para otras normas adicionales, los que deberán dirigirse a las Oficinas Centrales de la ASTM. Sus comentarios serán estudiados cuidadosamente durante una reunión del comité técnico responsable, a la que usted podrá asistir. En caso de que usted encuentre que sus comentarios no fueron atendidos adecuadamente, puede presentar sus consideraciones al Comité de Normas de la ASTM, en la dirección señalada más adelante.

Los derechos de esta norma se encuentran reservados por la ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Se puede obtener reimpresiones (copias únicas o múltiples) de esta norma en la dirección mencionada o en el fono 610-832-9285, en el fax 610-832-9555, en el e-mail service@astm.org o bien el sitio web de la ASTM (www.astm.org).

ANEXO 3

Matriz de consistencia

TÍTULO: “Influencia del vidrio triturado en la resistencia a la flexión del concreto estructural para pavimentos rígidos en la ciudad de Huancavelica – 2018”

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema general</p> <p>¿De qué manera el vidrio triturado influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?</p> <p>Problemas específicos:</p> <p>a. ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 30 influirá en la resistencia a la</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Determinar la influencia del vidrio triturado en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>a. Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 30 en la resistencia a</p>	<p>Antecedentes</p> <p>A. Internacional</p> <ul style="list-style-type: none"> Instituto Tecnológico de Costa Rica – Costa Rica (2015): Vargas, “Reutilización de vidrio plano como agregado fino en la elaboración de morteros de cemento y concretos”. Universidad Libre Seccional Pereira 	<p>Hipótesis general</p> <p>El vidrio triturado influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.</p> <p>Hipótesis específicas:</p> <p>a. El vidrio tamiz N° 30 influye significativamente en la resistencia a la flexión del</p>	<p>Identificación de Variables:</p> <p>a. Variable Independiente:</p> <p>Vidrio triturado (en reemplazo de 10% de peso de agregado fino)</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> Vidrio triturado #30(molido). Vidrio triturado 	<p>Tipo: Aplicada</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño:</p> <p>DG: Cuasi Experimental.</p> <p>DE: Cuasi Experimental con dos grupos no equivalentes y con pre test y post test</p> <p>GE: O₁ X O₂</p> <p>GC: O₃ O₄</p>

<p>flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?</p> <p>b. ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 16 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?</p> <p>c. ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 8 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018?</p> <p>d. ¿De qué manera el vidrio tamiz N° 4 influirá en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad</p>	<p>la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica - 2018.</p> <p>b. Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 16 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p> <p>c. Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 8 en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p> <p>d. Determinar la influencia del vidrio tamiz N° 4 en la resistencia a la flexión del</p>	<p>– Colombia (2017): Cano & Cruz, “Análisis de mezclas de concreto con proporciones de vidrio molido, tamizado y granular como aditivo, a fin de aumentar la resistencia a la compresión del hormigón.”.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad Central del Ecuador – Ecuador (2017): Almeida, “Principios básicos de la construcción sostenible utilizando vidrio triturado en la elaboración de hormigones”. • Universidad Austral de Chile – Chile (2013): Catalan, “Estudio 	<p>concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p> <p>b. El vidrio tamiz N° 16 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p> <p>c. El vidrio tamiz N° 8 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p> <p>d. El vidrio tamiz N° 4 influye significativamente en la resistencia a la flexión del concreto para</p>	<p>#16(semimolido).</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vidrio triturado #8(tamizado) • Vidrio triturado #4(granular). <p>b. Variable dependiente:</p> <p>Resistencia a la flexión</p> <p>Dimensiones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Módulo de rotura. • Curva esfuerzo – deformación. 	<p>Donde: (X) aplicación de vidrio triturado</p> <p>GE = Grupo Experimental (Diseño de concreto con vidrio triturado)</p> <p>GC = Grupo de control (Diseño de concreto patrón)</p> <p>O₁ y O₃= Pre Test</p> <p>O₂ y O₄= Post test</p> <p>Población y Muestra:</p> <p>Población</p> <p>Concreto de 280 Kg/cm² para pavimento rígido.</p> <p>Muestra</p> <p>75 Probetas cilíndricas y prismáticas de concreto 280 Kg/cm².</p> <p>Técnicas e Instrumentos:</p> <p>Fuentes técnicas</p> <p>Las principales técnicas que se utilizará en este</p>
--	---	--	---	--	--

<p>de Huancavelica - 2018?</p>	<p>concreto para pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p>	<p>de la influencia del vidrio molido en hormigones grado H15, H20, Y H30”.</p> <p>B. Nacional</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad Señor de Sipán – Lambayeque (2018): Ochoa, “Evaluación de la influencia del vidrio reciclado molido como reductor de agregado fino para el diseño de mezclas de concreto en pavimentos urbanos”. • Universidad Privada Antenor Orrego – Trujillo (2015): Rojas, “Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto de $f'_c=210$ kg/cm 	<p>pavimento rígido en la ciudad de Huancavelica en el año 2018.</p>		<p>estudio serán por observación</p> <p>directa, análisis de documentos (ensayo a compresión y flexión de probetas prismáticas (vigas)).</p> <p>Instrumentos</p> <p>Formato para cada ensayo de laboratorio</p> <p>Se revisaron normas técnicas que facilitaron un adecuado desarrollo de la investigación. Guiándonos de las normas del ASTM, MTC y NTP; también con las guías de laboratorio.</p> <p>Recolección y Procesamiento de Datos</p> <p>1. Recolección de Datos</p> <p>La recolección de datos de la investigación se</p>
--------------------------------	--	--	--	--	---

		<p>adicionando un porcentaje de vidrio sódico cálcico”</p> <ul style="list-style-type: none"> • Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo – Chiclayo (2018): “Análisis del concreto simple utilizando vidrio pulverizado como adición para concreto de alta resistencia con agregados de la ciudad de Chiclayo”. <p>Marco Teórico Referencial</p> <ul style="list-style-type: none"> • Concreto • Componentes del concreto • Propiedades mecánicas del concreto 			<p>realizó en forma directa, la primera etapa a través del muestro para luego llevarlos al laboratorio y la segunda etapa a partir de los diseños y ensayos anotándolos en los formatos respectivos de acuerdo a los procedimientos técnicos y normativos establecidos y en función al cronograma establecido del proyecto de tesis; así como las fechas de obtención de las probetas cilíndricas y prismáticas, fecha de los respectivos ensayos de resistencia a la compresión axial ASTM C39 y de resistencia a la flexión o módulo de rotura ASTM C78.</p> <p>2. Procesamiento y análisis de datos</p>
--	--	--	--	--	---

		<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de mezcla de concreto • vidrio • Propiedades de vidrio • Resistencia a la flexión del concreto. • Pavimento de concreto. • Diseño de espesor de pavimento 			<p>Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó equipos de laboratorio, programas de ingeniería, Programa estadístico: Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel 2016, tomando en cuenta que los datos obtenidos son variables cuantitativas y cualitativas.</p>
--	--	---	--	--	--

AUTOR: LOBATÓN ESTRADA, José Alejandro