



UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE CUENCA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“INCIDENCIA DE LA VIRUTA DE ACERO EN EL
COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SOMETIDOS
A ESFUERZOS DE FLEXIÓN”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

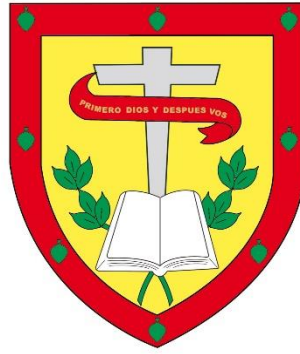
**AUTORES: ALEX ANTONY ARMIJOS LOJANO, NEYBER EDUARDO CRUZ
TORRES**

DIRECTOR: MSC. ING. CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“INCIDENCIA DE LA VIRUTA DE ACERO EN EL
COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS SOMETIDOS
A ESFUERZOS DE FLEXIÓN”**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES: ALEX ANTONY ARMIJOS LOJANO, NEYBER EDUARDO CRUZ
TORRES**

DIRECTOR: MSC. ING. CÉSAR HUMBERTO MALDONADO NOBOA

CUENCA - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO

DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD

Alex Antony Armijos Lojano y Neyber Eduardo Cruz Torres portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N° **1900667070** y **1950018513**. Declaramos ser autore(a)s de la obra: **“Incidencia de la viruta de acero en el comportamiento de pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos de flexión”**, sobre la cual nos hacemos responsables sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaramos que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaramos finalmente que nuestra obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también nos responsabilizamos y eximimos a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 24 de septiembre de 2024

F: 
.....
Alex Antony Armijos Lojano
1900667070

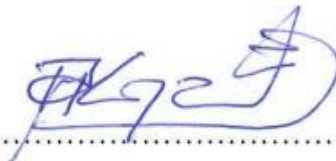
F: 
.....
Neyber Eduardo Cruz Torres
1950018513

CERTIFICACIÓN

Yo, **Ing. Msc César Humberto Maldonado Noboa**, certifico que el presente trabajo de titulación realizado por Alex Antony Armijos Lojano y Neyber Cruz Eduardo Torres, egresados de la UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN, fue desarrollado bajo mi supervisión y tutoría con el tema **“Incidencia de la viruta de acero en el comportamiento de pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos de flexión”**.

Atentamente,

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



.....

Ing. Msc César Humberto Maldonado Noboa

C.I: 0102260916

DOCENTE - TUTOR

DEDICATORIA

A mi Familia:

Dedicada con mucho amor y cariño a mis padres, Hilda Lojano y Jorge Armijos, por darme su apoyo ilimitado y ser mi sostén para conseguir cada uno de mis sueños, por educarme con valores y principios, me enseñaron a nunca rendirme y comprender que los altos y bajos de la vida te enseñan a ser mejor cada día. A mis dos hermanos y sobrinos que son mi motor para seguir día a día adelante, siempre están en mi corazón y en mis pensamientos.

A mis Abuelitos:

Por todo su cariño que me brindaron antes y durante el tiempo que estuvieron conmigo, por enseñarme que todo con sacrificio y buenos valores se alcanza. Quiero decirles desde aquí hasta el cielo que lo logre una de las tantas metas que quiero cumplir. ¡Lo logre papi José y mami Angela ;

A mis amigos y compañeros:

Por su paciencia y comprensión durante los momentos más difíciles, y por hacer que este camino sea más llevadero con su compañía.

-Alex Antony Armijos Lojano

DEDICATORIA

A Dios, quien ha sido mi luz y mi fuerza en cada paso de este largo recorrido. Agradezco su infinita bondad por haberme dado la sabiduría, el valor y la perseverancia para cumplir con este sueño de infancia, que desde pequeño anhelé alcanzar, sin su guía este logro no habría sido posible.

A la Virgencita del Cisne, quien me ha acompañado silenciosa pero constantemente, dándome esperanza y tranquilidad en los momentos de incertidumbre. A ella, que con su manto de protección me ha permitido avanzar con fe, aún en los días más difíciles.

A mi padre, Ney Yobani Cruz, mi mayor inspiración y motivo de orgullo. A él, quien con su ejemplo de esfuerzo, dedicación y sacrificio me enseñó que los sueños se alcanzan con trabajo constante y nunca rindiéndose. Gracias, papá por haber sido el pilar fundamental de mi vida, por tus consejos llenos de sabiduría y por creer en mí cuando muchos dudaban.

A mi amada hermana Enmita, quien con su alegría y optimismo ha sido una fuente de motivación. Gracias por estar siempre ahí para animarme y darme palabras de aliento cuando más las necesitaba. Tu apoyo ha sido un impulso invaluable en este camino.

A ti, papá, mamá, hermana, les dedico este logro que representa no solo el esfuerzo de estos años, sino también el cumplimiento de una promesa que me hice desde niño: convertirme en ingeniero civil.

-Neyber Cruz Torres.

AGRADECIMIENTO

Una vez alcanzado el fin de este proyecto de titulación, quiero dar mis más sentidos agradecimientos a todas las personas que han sido pieza fundamental todos estos años para cumplir con este logro.

En primer lugar, a Dios por darme la salud y la oportunidad para terminar mis estudios, por guiarme y darme fortaleza a lo largo de este camino.

A mis padres, por su inmenso sacrificio y esfuerzo, por su gran labor al formarme con valores. Gracias a ustedes he logrado cumplir muchas de mis metas, y se los debo infinitamente. ¡Gracias!

A mis docentes quienes me dieron todo el conocimiento y las herramientas para formarme como un profesional. A nuestro asesor de tesis por compartir sus conocimientos y por guiarnos a lo largo de toda nuestra investigación.

Por último, me gustaría expresar mi profunda gratitud a mi amigo Neyber y a todas aquellas personas que, de alguna manera, estuvieron a mi lado ofreciéndome su apoyo en los momentos en los que más lo requería. Su compañía, sus consejos y sus palabras de aliento fueron clave para superar los retos que se presentaron en mi camino, y siempre valoraré en lo más profundo de mi corazón su generosidad y amistad.

¡Gracias a todos por haber estado cuando más lo necesité!

-Alex Antony Armijos Lojano

AGRADECIMIENTO.

Al finalizar esta etapa tan importante de mi vida académica, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas que de alguna forma contribuyeron en este logro importante en mi vida.

En primer lugar, agradezco a Dios, por haberme dado la fortaleza y la sabiduría necesarias para concluir este trabajo.

A mis padres, quienes han sido mi pilar fundamental en todo momento. Gracias por su apoyo incondicional y por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia. Sin ustedes, este logro no habría sido posible.

A mis docentes, quienes, con su guía y conocimiento, no solo me enseñaron los aspectos técnicos de mi carrera, sino también la importancia de la ética profesional y el pensamiento crítico. Gracias por su paciencia, dedicación y por haber compartido su experiencia conmigo durante estos años.

Finalmente, a todas aquellas personas cercanas, en especial a mi amigo Alex que, contribuyeron al éxito en mi carrera, ya sea con palabras de aliento o con su ayuda desinteresada en los momentos en que más lo necesité. Gracias por estar presentes y por hacer que este camino sea más llevadero.

A todos, mi más sincero agradecimiento Neyber.

RESUMEN

Hoy en día al construir vías, una opción común son los pavimentos rígidos. Sin embargo, estos enfrentan grandes desafíos al ser sometidos a diferentes cargas para los cuales son diseñados. Un problema habitual son las fallas originadas debido a esfuerzos de flexión en el concreto, lo cual genera problemas de fisuración en el pavimento reduciendo así la vida útil de estos. Esta investigación evalúa el comportamiento a flexión del hormigón incorporando viruta de acero frente al hormigón habitual en los pavimentos. La metodología consistió en analizar el módulo de rotura tanto de vigas sin y con viruta de acero, mediante la normativa ASTM C78, diseñando un concreto con una resistencia a la compresión de 350 kgf/cm^2 , además del remplazo con viruta de acero del agregado fino en porcentajes del 3%, 6% y 9% respectivamente. Con base a los resultados obtenidos el concreto con el 9% de viruta alcanzó el mejor resultado, con un módulo de rotura de 46.929 kgf/cm^2 , por otra parte, el concreto tradicional obtuvo un resultado de 40.596 kgf/cm^2 , presentando así el hormigón con inclusión de viruta una mejora del 15.6%. Así mismo la mayor resistencia a la compresión fue de 449 kgf/cm^2 con el 6% de viruta, dejando así una clara idea de lo beneficioso que puede ser remplazar el agregado fino por viruta de acero en el hormigón para pavimentos. Finalmente, los pavimentos rígidos que incluyan viruta de acero en el concreto pueden llegar a asumir beneficios significativos en cuanto al módulo de rotura.

Palabras clave: viruta, pavimentos, esfuerzos, flexión, módulo de rotura.

ABSTRACT

Today, rigid pavements are a common option to build roads. However, these face significant challenges when subjected to different loads for which they are designed. Failures caused by bending stresses in the concrete are a common problem, which generates cracking problems in the pavement, thus reducing its useful life. This research evaluates the flexural behavior of concrete incorporating steel chips compared to the usual concrete in pavements. The methodology consisted of analyzing the modulus of rupture of both beams without and with steel chips, using the ASTM C78 standard, designing a concrete with a compressive strength of 350 kgf/cm², in addition to replacing the fine aggregate with steel chips in percentages of 3%, 6%, and 9% respectively. Based on the results obtained, the concrete with 9% chips achieved the best result, with a modulus of rupture of 46,929 kgf/cm²; on the other hand, the traditional concrete obtained a result of 40,596 kgf/cm², thus presenting an improvement of 15.6% in the concrete with the inclusion of chips. Likewise, the highest compressive strength was 449 kgf/cm² with 6% chips, thus leaving a clear idea of how beneficial it can be to replace the fine aggregate with steel chips in concrete for pavements. Finally, rigid pavements that include steel chips in the concrete can have significant benefits in terms of the modulus of rupture.

Keywords: chips, pavements, stresses, bending, modulus of rupture

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	14
1.1. INTRODUCCIÓN	14
1.2. ANTECEDENTES	15
1.2.1 Formulación del problema.....	15
1.2.2 Delimitación del problema	15
1.2.3 Justificación del problema	17
1.2.4 Definición de la zona de estudio.....	17
1.3. OBJETIVOS	18
1.3.1 Objetivo General.....	18
1.3.2 Objetivos Específicos	18
CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO.....	19
2.1. ESTADO DEL ARTE	19
2.2. MARCO TEORICO	20
2.2.1 Generalidades	20
2.2.2 El hormigón y sus componentes.....	21
2.2.3 Curado del Hormigón	21
2.2.4 Viruta de Acero	22
2.2.5 Tipos de Viruta.....	22
2.2.6 Selección de virutas de acero.....	23
2.2.7 Pavimentos	24
2.2.8 Tipos de Pavimentos.....	24
2.2.9 Pavimentos Rígidos	24
2.2.10 Pavimentos Rígidos	26
2.2.11 Consideraciones para el ensayo según la ASTM C78.....	27
2.2.12 Ensayo a flexión con carga a los dos tercios de la viga.....	27
CAPITULO III - METODOLOGIA Y DESARROLLO	29
3.1. ARIDOS PARA HORMIGÓN.....	29
3.1.1 Agregado fino	30
3.1.2 Agregado grueso.....	30
3.2. CEMENTO	31
3.3. VIRUTA DE ACERO RECICLADA.....	31

3.4.	ENSAYOS Y CARACTERISTICAS DE LOS ARIDOS	32
3.5.	DOSIFICACIÓN DE LA VIRUTA DE ACERO PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN	39
3.5.1	Recolección de la viruta de acero	39
3.5.2	Preparación de la viruta de acero.....	40
3.6.	DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON Y SIN VIRUTA DE ACERO	41
3.6.1	Diseño de Hormigón.....	42
3.6.2	Dosificaciones	47
3.7.	ELABORACIÓN DE ENCOFRADO PARA VIGAS	49
CAPITULO IV – ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS		50
4.1.	ANALISIS A FLEXIÓN DE VIGAS CON Y SIN VIRUTA DE ACERO	50
4.2.	VIGAS SIN VIRUTA DE ACERO - ENSAYO ASTM C78	54
4.3.	VIGAS CON VIRUTA DE ACERO - ENSAYO ASTM C78	55
CAPITULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		62
5.1.	CONCLUSIONES	62
5.2.	RECOMENDACIONES.....	63
BIBLIOGRAFÍA		64
ANEXOS.....		67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Componentes del concreto en porcentajes.....</i>	20
Figura 2	<i>Residuos de acero industriales.</i>	24
Figura 3	<i>Ensayo a flexión en vigas de concreto.....</i>	28
Figura 4	<i>Mina Rookaazul CIA Ltda.....</i>	29
Figura 5	<i>Arena de rio.</i>	30
Figura 6	<i>Grava de 3/4 de pulgada.....</i>	31
Figura 7	<i>Ensayo de Abrasión de los materiales</i>	34
Figura 8	<i>Granulometria de la grava.</i>	35
Figura 9	<i>Granulometria de la arena.</i>	36
Figura 10	<i>Gravedad Especifica de los agregados finos y gruesos.....</i>	37
Figura 11	<i>Peso volumétrico de los agregados.</i>	38
Figura 12	<i>Ubicación Talleres Mejía.....</i>	40

Figura 13 Tamizado - viruta de acero	40
Figura 14 Preparación de la viruta de acero.	41
Figura 15 Dimensiones del encofrado para elaboración de vigas.	49
Figura 16 Resistencia a la compresión del Hormigón- 14 días.	52
Figura 17. Resistencia a la compresión del Hormigón- 28 días.	53
Figura 18 Módulos de rotura con diferentes porcentajes de viruta de acero – 14 días.	56
Figura 19 Módulos de rotura con diferentes porcentajes de viruta de acero – 28 días.	58
Figura 20 Ensayo de flexión - Norma ASTM C78.....	58
Figura 21 Grafica comparativa - Modulo de Rotura - 14 y 28 días.	59
Figura 22 Incremento porcentual - Modulo de Rotura - 14 y 28 días.	60
Figura 23 Rotura de viga tercio medio de la viga	60
Figura 24 Rotura de vigas a flexión.	61
Figura 25 Rotura de vigas a flexión 2.	61

INDICE TABLAS

Tabla 1 Ensayos realizados en los áridos.	33
Tabla 2 Propiedades mecánicas de los agregados.	33
Tabla 3 Características para el diseño de mezcla.....	41
Tabla 4 Asentamiento	42
Tabla 5 Cantidad de Agua.	42
Tabla 6 Mayoración de resistencia.....	43
Tabla 7 Relación agua/cemento.....	43
Tabla 8 Estimación Agregado Grueso.....	44
Tabla 9 Presencia de Aire en base al tamaño máximo nominal.....	45
Tabla 10 Corrección por humedad.....	46
Tabla 11 Cantidad de Agua.	46
Tabla 12 Corrección de pesos de los agregados.	46
Tabla 13 Pesos finales luego de la corrección por humedad.....	47
Tabla 14 Dosificación para 1m ³ - 350kgf/cm ²	47
Tabla 15 Dosificación para 1m ³ - 350 kgf/cm ² (3% Viruta).	48
Tabla 16 Dosificación para 1m ³ - 350 kgf/cm ² (6% Viruta).	48
Tabla 17 Dosificación para 1m ³ - 350 kgf/cm ² (9% Viruta)	49

Tabla 18 <i>Revenimiento del hormigón a los 14 días</i>	50
Tabla 19 <i>Revenimiento del hormigón a los 28 días</i>	51
Tabla 20 Módulo de Rotura -Muestras a 14 días de curado.....	51
Tabla 21 Modulo de Rotura - 28 días de curado.	52
Tabla 22 <i>Módulo de rotura - Ensayo ASTM C78 – 14 días</i>	54
Tabla 23 <i>Módulo de rotura - Ensayo ASTM C78 – 28 días</i>	55
Tabla 24 Módulos de rotura ASTM C78 - 14 días de curado	55
Tabla 25 Módulos de rotura ASTM C78 - 28 días de curado	57

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, se utilizan materiales que mejoran las propiedades del hormigón al incorporar en su matriz productos de origen industrial, como fibras metálicas, de vidrio, carbono, y polietileno, entre otros. Aunque hay una amplia variedad de materiales disponibles para mejorar estas propiedades, las fibras metálicas son las más comunes y cuentan con productos comerciales ampliamente disponibles. (Lara Cando, 2016).

A causa del significativo crecimiento de la industria metalmeccánica, impulsado por el aumento en la producción y la expansión de los procesos mecanizados, se ha observado que estas industrias producen residuos metálicos en forma de láminas, comúnmente conocidos como “virutas” (Lara Cando, 2016). Las virutas utilizadas en esta investigación provienen de residuos de acero generados en talleres de tornería. Habitualmente, estos desechos se llevan a depósitos municipales como material descartado. Por ello, se pretende encontrarles un uso adicional, empleándolos como sustituto parcial del agregado fino en el hormigón.

El análisis de flexión se realiza comúnmente en vigas debido a la forma en que estas estructuras cargadas funcionan bajo la aplicación de fuerzas. La flexión es un tipo de deformación que ocurre en una viga cuando se aplica una carga perpendicular a su longitud. La forma alargada de las vigas permite una resistencia eficiente a las cargas de flexión. Distribuyen las cargas de manera uniforme a lo largo de su longitud, minimizando las tensiones y deformaciones locales (American Concrete Institute, 1989).

La investigación busca comprender la repercusión de la viruta de acero en los pavimentos rígidos bajo esfuerzos de flexión a través de los ensayos correspondientes en vigas de concreto que incluyen viruta de acero. Las actividades planificadas incluyen:

- Recopilación bibliográfica; permite establecer los lineamientos a seguir en el proyecto y un enfoque original en los porcentajes adecuados a utilizarse en la presente investigación.
- Preparación y realización de ensayos, incluyendo la obtención de materiales, ensayos para la caracterización de los agregados, proporción del hormigón,

ensayo de cono de Abrams, vertido y desencofrado de las muestras, y curado de las mismas.

- Análisis de resultados conseguidos, incluyendo comparaciones de los módulos de rotura de las muestras con los distintos porcentajes de viruta de acero y tiempos de curado, buscando determinar la incidencia de la viruta de acero al incluirse en mezclas de hormigón para pavimentos.

Por lo tanto, este trabajo de titulación e investigación propone analizar la influencia del uso de viruta de acero en la fabricación de hormigón, conforme a la normativa vigente. El estudio busca justificar técnica y económicamente su aplicación, manteniendo el respeto por el medioambiente, a través de pruebas y análisis comparativos de la resistencia a la flexión en comparación con el hormigón tradicional, según los códigos ASTM C78 y NEC-2015.

1.2. ANTECEDENTES

1.2.1 Formulación del problema

En la actualidad, el medio ambiente enfrenta una situación alarmante debido al incremento desmesurado de la demanda de recursos no renovables en la construcción. A esto se suma al desconocimiento de la materia y el desaprovechamiento de nuevos materiales que podrían incorporarse a las mezclas de pavimentos rígidos. El uso de viruta de acero en la fabricación de hormigón no solo asegura, sino que también puede mejorar ciertas propiedades requeridas en diversas obras viales, donde estos agregados no convencionales podrían ser empleados. (Ramirez Hernández & Antero, 2014).

Por lo tanto, resulta crucial introducir nuevos materiales en el mercado, asegurando que cumplan con ciertos requisitos mínimos para su futura aplicación. Esto contribuiría a disminuir la explotación excesiva de recursos naturales no renovables en la construcción. El empleo de materiales alternativos como la viruta de acero en el hormigón pretende marcar una diferencia frente a este problema. En particular, se buscan ventajas en la resistencia a la flexión respecto al hormigón tradicional empleado en pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca.

1.2.2 Delimitación del problema

Es importante recalcar que el tema de investigación está limitado por el tiempo y la economía condicionada que se da a los proyectos de titulación. Se limita al análisis a flexión de los hormigones con viruta de acero en comparación a los hormigones

tradicionales para el mejoramiento de los pavimentos rígidos en la ciudad de Cuenca. Se plantea pruebas y técnicas comparativas a flexión del hormigón que muestren ventajas significativas una de otra correspondientemente.

Las vigas, diseñadas para soportar cargas en su dirección longitudinal, exhiben un comportamiento estructural distintivo al ser sometidas a fuerzas perpendiculares, generando flexión, momentos flectores y fuerzas cortantes. Esto las convierte en elementos propicios para el análisis y comprensión de situaciones de flexión en la ingeniería. La resistencia de un componente particular de concreto reforzado está estipulada por el código y no siempre refleja la resistencia máxima real del componente. Por ello, se emplea el término más general "diseño por resistencia", aplicable tanto a la resistencia de vigas y columnas como a la resistencia al corte u otras resistencias. (American Concrete Institute, 1989).

Se realizarán diferentes ensayos como:

Granulometría por tamices: Se determinará la distribución de tamaño de partículas de los áridos según la norma ASTM C33.

Revenimiento del hormigón: Se medirá el asentamiento del concreto previo al curado mediante el ensayo del cono de Abrams según ASTM C143/C143M, asegurando la calidad en su colocación.

Abrasión: Se medirá la erosión y el desgaste de los agregados gruesos. Se lo realiza gracias al uso del aparato de abrasión de Los Ángeles; en base a la norma ASTM C131-01.

Peso Unitario: Se determinarán las características de los materiales, aplicando la normativa ASTM C29/C29M.

Peso Volumétrico: Se determinará el peso de los materiales para llenar un espacio vacío, empleando la norma ASTM C20.

Capacidad de carga a compresión: Se determinará la resistencia a la carga axial de cilindros de hormigón de acuerdo con la normativa ASTM C39.

Ensayo a flexión: Se evaluará la resistencia a la flexión del concreto reforzado con viruta según la norma ASTM C78, para garantizar su calidad en pavimentos rígidos.

1.2.3 Justificación del problema

El problema nace con la finalidad de evaluar y comparar de manera integral el comportamiento que presenta el concreto con viruta de acero y el concreto tradicional en términos de flexión, en el contexto específico como es la ciudad de Cuenca. Este análisis permitirá tomar decisiones informadas sobre la elección del material más adecuado para pavimentos rígidos, considerando factores de resistencia, durabilidad, condiciones climáticas locales, cargas vehiculares, aspectos económicos y sobre todo ambientales; que permitan disminuir el uso de recursos no renovables en la construcción. La incorporación de viruta de acero en el hormigón para pavimentos rígidos puede ser una solución prometedora, ofreciendo una opción sostenible a los materiales comunes. (Ramirez Hernández & Antero, 2014).

1.2.4 Definición de la zona de estudio

Santa Ana de los Ríos de Cuenca se encuentra en un valle interandino de la Sierra Austral del Ecuador. Es la capital de la provincia del Azuay, que limita al este con las provincias de Morona Santiago y Zamora Chinchipe, y al oeste con Guayas y El Oro. La provincia abarca un área de 8.639 km² y cuenta con una población aproximada de 810.000 habitantes (Fundación Turismo Cuenca, 2022). Dentro de la provincia se distinguen dos zonas: el este, dominado por los Andes Orientales y Occidentales, y el oeste, que pertenece a la región Costa y está caracterizado por ramificaciones subandinas. Los ríos más importantes son el Jubones y el Paute. El cantón Cuenca está subdividido en 15 parroquias urbanas y 21 rurales, las cuales están representadas por las Juntas Parroquiales ante el Municipio de Cuenca. (Fundación Turismo Cuenca, 2022).

Para el presente trabajo de titulación es importante las fuentes de los materiales para la formación de vigas de hormigón y su posterior análisis a flexión. En el Azuay, específicamente en el cantón Cuenca existen dos minas de agregados pétreos indispensables para la construcción. Una de ellas es la Minera Rookaazul CIA Ltda. presente en algunas sedes del Ecuador, principalmente en Cuenca. Dicha empresa se dedica a la elaboración y producción de arena y grava para los distintos usos específicamente la construcción, está ubicada en la Panamericana Norte Km. 15 1/2 Cuenca; Azuay, así mismo, Agregados del Austro S.A.S. empresa presente en Ecuador, principalmente ubicada en Jadán. Se mantiene constantemente en la producción de arena, grava, arcilla y minerales cerámicos.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento a flexión que alcanza el concreto reforzado con viruta de acero contra el concreto tradicional para pavimentos rígidos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el diseño de hormigón con y sin viruta de acero determinando el porcentaje adecuado de viruta buscando alcanzar la mejor resistencia a flexión.
- Elaborar muestras de hormigón con y sin viruta de acero, en forma de vigas para sus respectivos ensayos a flexión.
- Análisis y comparación de resultados obtenidos a través de los ensayos realizados de vigas de hormigón con y sin viruta de acero.

CAPÍTULO II: ESTADO DEL ARTE Y MARCO TEORICO

2.1. ESTADO DEL ARTE

En investigaciones recientes, se ha analizado la utilización de residuos industriales, como la viruta de acero, para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón específicamente en los pavimentos. Los estudios han evidenciado que la incorporación de fibras metálicas puede mejorar la resistencia a la flexión del material siendo una opción viable al día de hoy debido a los grandes desafíos y sollicitaciones de carga a los que están sometidos los pavimentos rígidos.

Según (García Badillo, 2008) en su proyecto de investigación concluye que la adición de viruta optima con la cual se debe remplazar el agregado fino y se obtiene mejores resultados son del 6% al 10%, sin embargo, valores porcentuales mayores pueden tener resultados negativos en el hormigón en cuanto a flexión.

Así mismo (Rojas Dianderas , 2020) señala que al analizar la influencia que tiene la viruta de acero en cuanto a flexión la adición de viruta en porcentajes del 4%, 6% y 8% tiene un efecto notable en la resistencia a la flexión de las vigas de concreto. Los resultados, junto con la prueba de hipótesis, indican que la inclusión del 4% de viruta en la mezcla de concreto aumentó significativamente la resistencia tanto a los 14 como a los 28 días de curado.

En la investigación con el tema denominado “Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado” se menciona que la resistencia a la flexión en las vigas ensayadas a los 28 días revela que se alcanzaron mayores módulos de ruptura con el uso de fibras metálicas comerciales, logrando un 25.14% más en comparación con el hormigón sin fibras, y un 5.90% adicional respecto al hormigón con fibras metálicas recicladas (Moya & Cando Lara, 2018).

Así mismo, (Montenegro & Harold, 2021) concluye que, a los 28 días, las fibras metálicas contribuyen significativamente a la resistencia a la compresión. No obstante, se destaca que las fibras muestran un mejor rendimiento en la resistencia a la flexión. Dado que el concreto está destinado para pavimentación, se prioriza la resistencia a la flexión sobre el impacto en la resistencia a la compresión (f'_c).

Numerosas investigaciones destacan las mejoras que aporta la sustitución del agregado fino por viruta de acero en diferentes porcentajes, especialmente en la

resistencia a la flexión (MR) del hormigón. Sin embargo, aunque se mencionan porcentajes óptimos que van del 4% al 10%, no se profundiza en el análisis del comportamiento del hormigón en cada uno de esos porcentajes, ni se determina claramente cuál de ellos ofrece los mayores beneficios en términos de resistencia a la flexión. Por ello, esta investigación tiene como objetivo identificar el porcentaje óptimo entre los mencionados anteriormente.

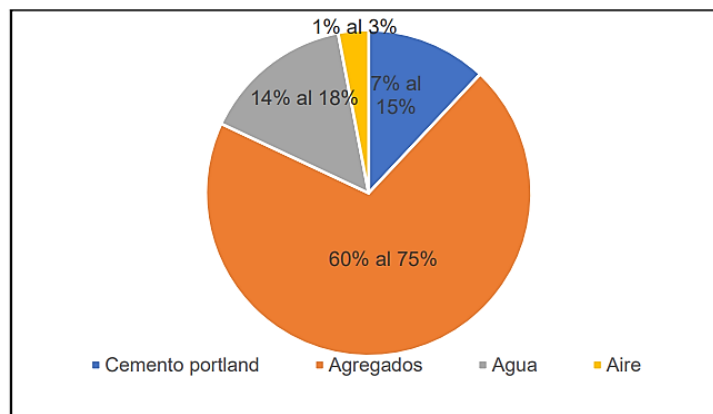
2.2. MARCO TEORICO

2.2.1 Generalidades

De acuerdo con (Abanto, 2017), el hormigón es un material altamente flexible cuando se acaba de preparar y aún no ha comenzado a endurecerse, lo que posibilita que tome diversas formas. Conforme el hormigón empieza su proceso de fraguado, este aumenta su resistencia a cargas axiales y, por lo tanto, adopta mejores propiedades de adherencia con diferentes elementos tales como viruta de acero. Debido a esto, el concreto puede ser empleado en diferentes ámbitos de la construcción tales como edificios, puentes, pavimentos, ductos, reservorios y más. La estructura del concreto generalmente incluye grava, arena, cemento, agua y aire, en distintas proporciones, teniendo en cuenta que muchas de las veces estos incluyen aditivos. Se puede apreciar en la figura 1 los componentes del concreto en porcentajes.

Figura 1

Componentes del concreto en porcentajes



Datos. Fuente: Elaboración propia basado en (Abanto, 2017).

2.2.2 El hormigón y sus componentes

2.1.2.1 Cemento

El cemento Portland es un agregado muy fino y de color gris, compuesto principalmente por silicatos de calcio y aluminio, que se obtienen de la mezcla de calizas, arcillas o pizarras, junto con yeso, mediante procesos específicos. Su nombre proviene del color similar al de las piedras de la región de Portland en Inglaterra. (Abanto, 2017).

2.1.2.2 Agregados

Los agregados se originan de la descomposición natural o a su vez se derivan del triturado de rocas. Así mismo se cuenta con áridos artificiales que mejoran el comportamiento del hormigón para una aplicación específica. Los agregados finos están caracterizados por contar con un diámetro hasta de 4.75 mm, y agregados gruesos a los que superan dicha medida. Los agregados deben poseer una curva granulométrica de características determinadas para asegurar una variedad de diámetros que corresponden con las normas vigentes en el país (Abanto, 2017).

2.1.2.3 Agua

Su principal función junto al cemento es, reaccionar químicamente para formar los productos de hidratación que comienzan el proceso de fraguado. Logra humedecer los componentes de la mezcla y la provisión de espacios libres para el desarrollo de los productos de hidratación (Abanto, 2017).

2.2.3 Curado del Hormigón

Con base al (ACI 308-92, 1994) “El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el hormigón recién colado para que puedan, así, desarrollar las propiedades deseadas”. En otras palabras, es esencial curar el hormigón de forma correcta para asegurar que sus propiedades, como la resistencia y la durabilidad, se desarrollen plenamente. Hay varios procedimientos, métodos y materiales disponibles para el curado del hormigón, todos con el objetivo común de mantener la humedad y la temperatura adecuadas para lograr las propiedades deseadas en el material. Es decir, cuanta más humedad se retenga, más eficaz será el método de curado.

2.2.4 Viruta de Acero

La viruta es un desperdicio del acero, que puede presentarse en forma de láminas curvas, espirales o en polvo, generado durante trabajos de cepillado, desbastado o tornado de metales. Generalmente, se considera un desecho industrial metalúrgico. Estos fragmentos se producen utilizando herramientas como cepillos de acero, brocas, tornos, limas, entre otras (Tovar Condori, 2021).

La industria (Novacero, 2015), referente al acero enumera las siguientes ventajas:

- Gran resistencia mecánica.
- Excelente soldabilidad.
- Aceptable ductilidad.
- Firmeza elevada.
- Suficiencia para absorber energía de deformación.
- Excelente comportamiento a fatiga de bajo ciclaje.

La ciudad de Cuenca es una de las más importantes a nivel industrial para el sur del Ecuador. La viruta de acero, es otro material residual industrial con una forma de lámina curvada o espiral de distintos tamaños y formas que provienen de las industrias relacionada con el acero. Muchas de las veces este material es enviado a los vertederos municipales con destino final (Morales García, 2016). Por esta razón, en el estudio se eligieron talleres que generan la mayor cantidad de desperdicios.

2.2.5 Tipos de Viruta

De acuerdo con la normativa (ASTM A820/A820M, 2016), existen cinco tipos de virutas de acero: alambre liso o corrugado estirado en frío; láminas de corte liso o corrugado; fibras obtenidas por extracción mediante fusión; fibras de acero provenientes de alambre modificado estirado en frío; y virutas de corte en fresadora, todas lo suficientemente pequeñas como para disipar de manera aleatoria en una mezcla de hormigón.; dichas virutas pueden presentar algunas condiciones en el hormigón como:

- Puede incrementar la capacidad portante influenciada por la mejora en la resistencia a la flexión, ductilidad y tenacidad del hormigón.
- Lograr una alta resiliencia (capacidad de absorber energía en impactos) y una alta resistencia para solicitaciones dinámicas bajo condiciones de impacto.
- Permitir economizar materiales ya que las proporciones de los elementos planeados con el concreto pueden reducir guardando las mismas propiedades.
- Puede presentar un excelente comportamiento con cada tipo de cemento y mezclas de concreto.
- Puede tener una excelente relación con los diversos compuestos de curado, súper plastificantes, reductores de agua medios o altos, endurecedores y selladores.

Debido a las características isotrópicas y a la repartición uniforme de fibras en toda la estructura, puede ser ideal para cargas sin punto de aplicación definida.

Es importante aclarar, que dichas características siempre son traídas de segunda mano, es decir, es información bibliográfica de otros autores, por lo que siempre es importante analizar y verificar.

2.2.6 Selección de virutas de acero

La variedad de virutas metálicas está influenciada en gran medida por el tipo de acero y el tipo de desgaste que sufre el material. Debido a la amplia gama de combinaciones posibles, es crucial identificar las fibras más adecuadas para la investigación. A partir de la clasificación de virutas de acero disponibles, se realizará una selección preliminar, separando aquellas con formas y tamaños similares. Esto permitirá elegir las fibras que ofrezcan las mejores características para la fabricación del hormigón. Las virutas se convierten en fibras cuando se cortan o tamizan en piezas adecuadas para su integración en el hormigón. (Moya & Cando Lara, 2018).

La facilidad para manipular las fibras está estrechamente relacionada con la forma de la viruta. Las virutas de acero laminar son más fáciles de manejar, ya que pueden cortarse a la longitud deseada sin alterar sus características. En cambio, las fibras en forma de zuncho también se pueden manipular, pero presentan la dificultad de no recuperar su forma original al estirarse, son útiles una vez tamizados o seleccionados, esto se aprecia en la figura 2. (Moya & Cando Lara, 2018).

Figura 2

Residuos de acero industriales.



Datos. Fuente: Autores.

2.2.7 Pavimentos

Los pavimentos para carreteras y vías urbanas son estructuras viales de varias capas, formadas por capas superpuestas y relativamente horizontales de materiales seleccionados. Están diseñados para soportar las cargas del tránsito y las condiciones ambientales, y proporcionan una superficie cómoda, segura y agradable para los vehículos que la transiten durante su vida útil. (Badillo, Carvajal, & Montoya, 2020).

2.2.8 Tipos de Pavimentos

- Pavimentos flexibles.
- Pavimentos rígidos.
- Pavimentos articulados o en adoquín.

2.2.9 Pavimentos Rígidos

Los pavimentos rígidos consisten principalmente en una losa de concreto que se coloca sobre una base o sub-base, y esta, a su vez, se asienta sobre la subrasante. En este tipo de estructura, la losa de concreto absorbe principalmente los esfuerzos, distribuyéndolos de manera uniforme a las capas inferiores. (Briceño, Gioconda González de Celis, Briceño, & Castellanos, 2019).

Uno de los problemas frecuentes en el pavimento rígido es el causado por la repetida aplicación de cargas de tránsito (fatiga), que lleva a la desintegración del pavimento y al agrietamiento de la losa, con la aparición de grietas transversales, longitudinales, en las esquinas y en forma de bloques, así como la falla conocida como piel de cocodrilo. Esto hace indispensable un diseño más adecuado para prevenir o reducir estas condiciones. (Briceño, Gioconda González de Celis, Briceño, & Castellanos, 2019).

3.2.2.1 Elementos que integran un pavimento rígido

Subrasante

La subrasante es la superficie debidamente escarificada y compactada la cual debe contar con una densidad máxima seca no menor al 95%, misma que adopta el material seleccionado previo a la colocación de la subbase granular, así mismo una subrasante que presente una capacidad de soporte (CBR) menor al 6% debe ser tratada previamente (Badillo, Carvajal, & Montoya, 2020).

Subbase

Es la capa en la estructura del pavimento diseñada principalmente para soportar, transmitir y distribuir de manera uniforme las cargas aplicadas a la superficie de rodadura. Su función es asegurar que la capa de subrasante pueda manejar estas cargas, absorbiendo las variaciones del suelo que podrían afectar a la subbase. La subbase debe gestionar los cambios en volumen y elasticidad que podrían resultar perjudiciales para el pavimento. (Badillo, Carvajal, & Montoya, 2020).

Superficie de rodadura

Es la capa superior de la estructura del pavimento, hecha de concreto hidráulico. Debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, su capacidad de carga se basa principalmente en la losa, en lugar de depender de la capacidad de la subrasante, ya que no se utiliza una capa de base. Como resultado, el concreto hidráulico distribuye de manera más eficiente las cargas a través de la estructura del pavimento. (Badillo, Carvajal, & Montoya, 2020).

3.2.2.2 Tipos de pavimentos rígidos

Pavimentos de concreto simple

Estos pavimentos no incluyen refuerzo de acero y son adecuados para tráfico ligero y climas templados. Están formados por losas de tamaño relativamente pequeño, generalmente menores de 6 m de largo y 3,50 m de ancho, con espesores que varían según el uso previsto (Ruiz Brito, 2011).

Pavimentos de concreto armado

Este grupo incluye pavimentos de concreto armado con juntas ampliamente separadas, las cuales se distribuyen a lo largo de la losa para controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción (Ruiz Brito, 2011). Este tipo de pavimentos son usados generalmente en zonas frías o en recubrimientos de pavimentos deteriorados, en donde el acero de refuerzo es el que asume las deformaciones (CIVIL GEEKS, 2011).

3.2.2.3 Diferencias entre pavimentos rígidos y pavimentos flexibles

La principal diferencia entre los pavimentos radica en la forma en que cada uno transmite las cargas a la subrasante. El pavimento rígido actúa como una placa, distribuyendo las cargas sobre una superficie más amplia de la subrasante y, por lo tanto, transmitiendo presiones mucho menores a las capas inferiores (Ruiz Brito, 2011).

El pavimento flexible, que está hecho de materiales menos rígidos y más débiles, se deforma con mayor rapidez, concentrando las cargas transmitidas a la subrasante. Por esta razón, el pavimento flexible suele requerir más capas y mayor espesor para soportar adecuadamente las cargas en comparación con el pavimento rígido (Ruiz Brito, 2011).

2.2.10 Pavimentos Rígidos

Para caracterizar los concretos reforzados con fibras o virutas, se realizan ensayos de flexión que permiten evaluar la resistencia de estos materiales cuando se utilizan en pavimentos. Generalmente, el módulo de ruptura sirve para presentar los resultados de estos ensayos. Las resistencias obtenidas pueden variar según las características de cada muestra, incluyendo su elaboración, condiciones de humedad y el proceso de curado (COGUANOR , 2014).

Los resultados del ensayo de flexión pueden utilizarse como especificaciones o requerimientos para la construcción de pavimentos. Este enfoque asegura que el concreto cumpla con los estándares necesarios para resistir las cargas y condiciones del ambiente a las que estará expuesto, garantizando la durabilidad e integridad estructural del pavimento (COGUANOR , 2014).

La norma (ASTM C78) proporciona detalles adicionales y especificaciones exactas que deben seguirse para garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados. Esta normativa insta el método para obtener la resistencia a la flexión del concreto a través ensayos con vigas prismáticas. Cumplir con esta norma es esencial para obtener resultados consistentes y confiables, lo que facilita la comparación de datos y la toma de decisiones informadas en la ingeniería de pavimentos.

2.2.11 Consideraciones para el ensayo según la ASTM C78

A continuación se muestran algunas consideraciones a tomar en cuenta según la norma (ASTM C78):

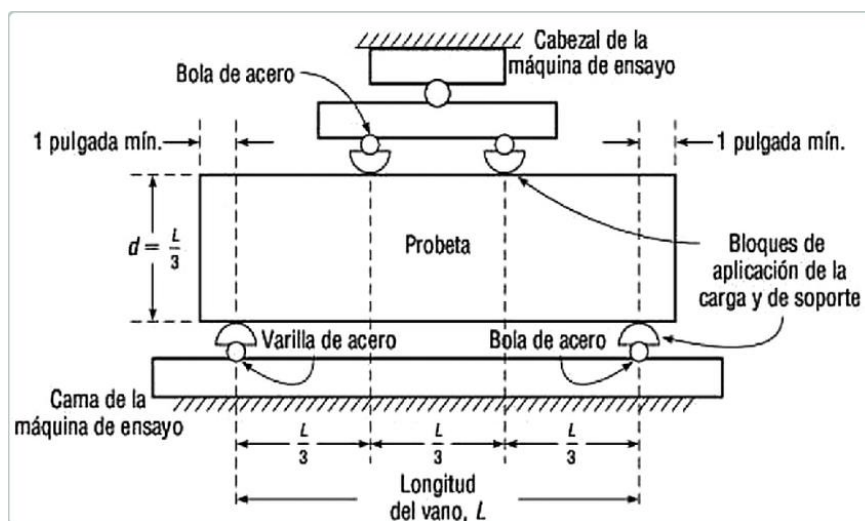
- Para las muestras previamente curadas en húmedo el ensayo de flexión debe realizarse seguidamente luego de retirarlas del curado, ya que el proceso de secado puede disminuir la resistencia a la flexión.
- El ensayo de las muestras debe realizarse por las caras moldeadas, es decir, la cara no moldeada de la viga debe estar girada respecto a la aplicación de la carga.
- Las muestras deben colocarse de forma continua, evitando golpes que puedan generar micro agrietamientos y disminuir el módulo de rotura.
- La carga del ensayo debe mantenerse hasta llegar a la rotura, con una velocidad de 0.86 hasta 1.21 MPa/min buscando que se produzca la fractura.

2.2.12 Ensayo a flexión con carga a los dos tercios de la viga

La normativa (ASTM C78) aclara que este ensayo se lo realiza empleando la carga en los tercios de la luz de la viga hasta que ocurra la falla como se aprecia en la figura 3. El módulo de rotura se calculará según el lugar donde se origine la falla, ya sea en el tercio medio o fuera de él, considerando la distancia de la falla respecto a la luz libre.

Figura 3

Ensayo a flexión en vigas de concreto.



Datos. Fuente: (ASTM C78)

Se tiene los siguientes criterios que permiten determinar la resistencia del módulo de rotura, en función del punto en que ocurre la falla durante el ensayo de flexión.

- Falla dentro del tercio medio de la luz

$$Mr = \frac{PL}{bh^2} \quad (1)$$

- Falla fuera del tercio medio y a una distancia de este no mayor al 5% de la luz libre

$$Mr = \frac{3Pa}{bh^2} \quad (2)$$

- Falla fuera del tercio medio y a una distancia de este mayor al 5% de la luz libre, en este caso se rechaza el ensayo

Donde:

Mr: Módulo de rotura, en MPa o kgf/cm²

P: Carga máxima de rotura indicada por la máquina de ensayo, en N o kgf.

L: Luz libre entre apoyos, en cm.

a: Distancia promedio entre la línea de falla y el apoyo más cercano, medida a lo largo de la línea central de la superficie inferior de la viga, en cm.

B: Ancho promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

H: Altura promedio de la viga en la sección de falla, en cm.

CAPITULO III - METODOLOGIA Y DESARROLLO

3.1. ARIDOS PARA HORMIGÓN

Para crear concreto, se demandan materiales comúnmente populares en el ámbito de la construcción como arena y grava, que corresponden a áridos finos y gruesos, respectivamente. Además, se necesita cemento, que opera como aglutinante y agua que permite la hidratación de la mezcla.

El material pétreo como la grava y arena, proviene de una de las principales productoras de áridos que abastece la ciudad de Cuenca la cual es: Minera Rookaazul CIA Ltda. Opera en minería de arena y grava para construcción, ubicada por el sector de la Panamericana Norte Km. 151/2 Cuenca; Azuay. Su ubicación exacta de muestra en la figura 4. Se eligió esta cantera ya que son los áridos más empleados en el Cantón y está ubicado dentro de la zona de estudio donde se obtuvo la viruta de acero.

Figura 4

Mina Rookaazul CIA Ltda.



Datos. Fuente: Google Earth

3.1.1 Agregado fino

Son materiales granulares, en este caso de río. Es un tipo de arena natural que se forma mediante el proceso de erosión y transporte de sedimentos por parte del agua de un río. Las partículas de la arena suelen ser redondeadas y lisas debido a la acción del agua y el roce entre ellas durante el transporte.

El agregado fino, de acuerdo con su granulometría, se describe como el árido que pasa a través del tamiz de 9,5 mm (3/8") y cuya mayor parte de las partículas atraviesa el tamiz de 4,75 mm (No. 4), pero queda retenido principalmente en el tamiz de 75 mm (No. 200). También se define como la fracción de un árido que pasa por el tamiz de 4,75 mm (No. 4) y es retenido en el tamiz de 75 mm (No. 200), conforme a la norma (NTE INEN 1762, 2014). Este material se enseña en la figura 5.

Figura 5

Arena de río.



Datos. Fuente: Autores

3.1.2 Agregado grueso

La grava cribada de 3/4 de pulgada tiene un tamaño consistente de aproximadamente 19 mm (0.75 pulgadas), garantizando que todas las partículas son similares en tamaño. Esto se logra mediante el proceso de cribado, que elimina las partículas más pequeñas y más grandes. Mantiene una forma angular con aristas vivas. Este material se ilustra en la figura 6.

Entonces, el agregado grueso se define granulométricamente como: aquel árido en el que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz de 4,75 mm (No.

4), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz de 4,75 mm (No. 4)” (NTE INEN 1762, 2014).

Figura 6

Grava de 3/4 de pulgada.



Datos. Fuente: Autores

3.2. CEMENTO

El cemento utilizado es de la marca “Atenas” Tipo GU, que se elabora en presentaciones de 50kg. Está diseñado para construcción en general y cumplir con las principales características: Resistencia, Durabilidad y Destacado desempeño, que cumple y excede los estándares de la INEN 2380:2011. Debe señalarse que dicho cemento presenta una densidad de 2900 kg/cm^3 , dato relevante y necesario para el diseño de mezclas de hormigón.

La norma NTE INEN 2380, equivalente a la ASTM–C1157, prioriza el desempeño de los cementos hidráulicos cuando se utilizan en hormigón. Esta norma permite desarrollar cementos adicionados que minimizan el impacto ambiental, logrando un uso eficiente de las materias primas y los subproductos de otros materiales. Es la norma más moderna en la industria, ya que establece requisitos de desempeño para los cementos hidráulicos y los clasifica según sus propiedades específicas, sin imponer restricciones sobre su composición o la de sus componentes. (ATENAS, 2021).

3.3. VIRUTA DE ACERO RECICLADA

Las virutas de acero recicladas provienen de los residuos generados por la industria metalúrgica y mecánica, específicamente de los desperdicios producidos

por tornos y otras máquinas. En la ciudad de Cuenca, que es el área de estudio, hay numerosos talleres dedicados a esta actividad, distribuidos en distintos sectores de la ciudad. La viruta metálica generada se almacena y se coloca en áreas de acopio para su posterior transporte a instalaciones de reciclaje.

Dado el considerable espacio que ocupan estas virutas, los propietarios de los talleres a menudo necesitan deshacerse rápidamente de estos residuos. En algunos casos, debido a la falta de regulaciones, encuentran fácil desecharlos en contenedores de basura doméstica, lo que finalmente resulta en su acumulación en vertederos o rellenos sanitarios sin control. Es importante destacar que los desechos metálicos son considerados materiales peligrosos y requieren un tratamiento específico.

Muchas veces, los tipos de virutas se caracterizan según el tipo de material y la herramienta empleada en los procesos mecánicos. Por lo general, las herramientas se mantienen constantes, y lo que determina el tipo de viruta es el material utilizado. Los materiales dúctiles, como los aceros suaves, originan virutas largas o menos onduladas. Por otra parte, los materiales frágiles, tales como el bronce y el latón, tienden a generar virutas cortas (Macías Cortés, 2021).

Según (Macías Cortés, 2021), en su artículo denominado Formación y Tipos de Viruta en base a la norma ISO-3685 la viruta recolectada que será empleada en la elaboración de vigas de concreto esta está caracterizada como una Viruta Arqueada Inconexa la cual presenta buenas características lo cual lo hace optima como objeto de estudio.

3.4. ENSAYOS Y CARACTERISTICAS DE LOS ARIDOS

Se realizaron los ensayos correspondientes tanto a los áridos gruesos (grava) como a los áridos finos (arena) con el propósito de determinar sus propiedades físicas y asegurar que cumplan con las normativas aplicables como se muestran en la tabla 1 y 2. Estos parámetros nos permiten identificar las características óptimas para el diseño de la mezcla de hormigón en la investigación.

De acuerdo con los ensayos realizados de los agregados gruesos y finos se menciona que los materiales cuentan con una distribución adecuada de partículas, forma, textura apropiada y sobre todo son resistentes al desgaste y la fragmentación.

Las características mencionadas anteriormente permiten desarrollar un óptimo diseño de hormigón, ya que cumplen con los requisitos según las normas aplicadas a cada uno de los ensayos, garantizando así la durabilidad, calidad y trabajabilidad de la mezcla de hormigón.

Por lo tanto, los áridos empleados en el diseño de la mezcla contribuirán a obtener una calidad adecuada del concreto, de acuerdo con los requerimientos planteados para la determinación del módulo de rotura en los ensayos.

Según la norma ASTM C131-01 los agregados gruesos con un tamaño máximo nominal de (19mm) deben cumplir con cierto porcentaje de desgaste al ser usados en superficies de rodadura, entre el 10% y 45 % aproximadamente. Para este caso como se enseña en a la figura 7 el agregado grueso cumple con un porcentaje de 15.31%.

Tabla 1

Ensayos realizados en los áridos.

Ensayos	Áridos Gruesos	Áridos Finos	Normativa
Granulometría	✓	✓	ASTM C-33
Abrasión	✓	X	ASTM C131-03
Peso Unitario	✓	✓	ASTM C29
Peso Volumétrico	✓	✓	ASTM C20

Nota. Fuente: Autores

Tabla 2

Propiedades mecánicas de los agregados.

AGREGADO FINO		
Propiedad Mecánica	Unidad	Característica
Módulo de Finura	adimensional	2.66
Masa Unitaria Suelta	kg/m ³	1394
Masa Unitaria Compactada	kg/m ³	1457
Peso Especifico	kg/m ³	2666
Absorción	%	3.34

AGREGADO GRUESO

Propiedad Mecánica	Unidad	Característica
Tamaño Máximo Nominal	mm	19.05
Masa Unitaria Suelta	kg/m ³	1375
Masa Unitaria Compactada	kg/m ³	1519
Peso Especifico	kg/m ³	2722
Abrasión	%	15.31
Absorción	%	1.594

Nota. Fuente: Autores

Figura 7

Ensayo de Abrasión de los materiales

ABERTURA DE LOS TAMICES EN (mm)		Peso del material según el tipo de gradación	GRADACIÓN			
Pasante	Retenido		Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D
37.5	25		1250±25	-----	'-----	'-----
25	19		1250±25	-----	'-----	'-----
19	12.5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
12.5	9.5		1250±10	2500±10	'-----	'-----
9.5	6.3		-----	'-----	2500±10	'-----
6.3	4.75		'-----	'-----	2500±10	'-----
4.75	2.36		'-----	'-----	'-----	5000±10
TOTAL			5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

A: PESO DE LA MUESTRA TAMIZADA EN EL NUMERO 12 (gramos)	4234.5
B: PESO TOTAL DE LA MUESTRA SEGÚN LA GRADACIÓN (gramos)	5000

Metodo utilizado B

$$\text{ABRASIÓN \%} = \frac{\text{B-A}}{\text{B}} * 100$$

15.31 CUMPLE Norma ASTM C131-03

Nota. Fuente: Autores

La granulometría del agregado grueso se encuentra dentro de las fajas granulométricas establecidas según la norma ASTM C33. Así mismo se determinó en la figura 8 el tamaño máximo nominal siendo de 19.05 mm.

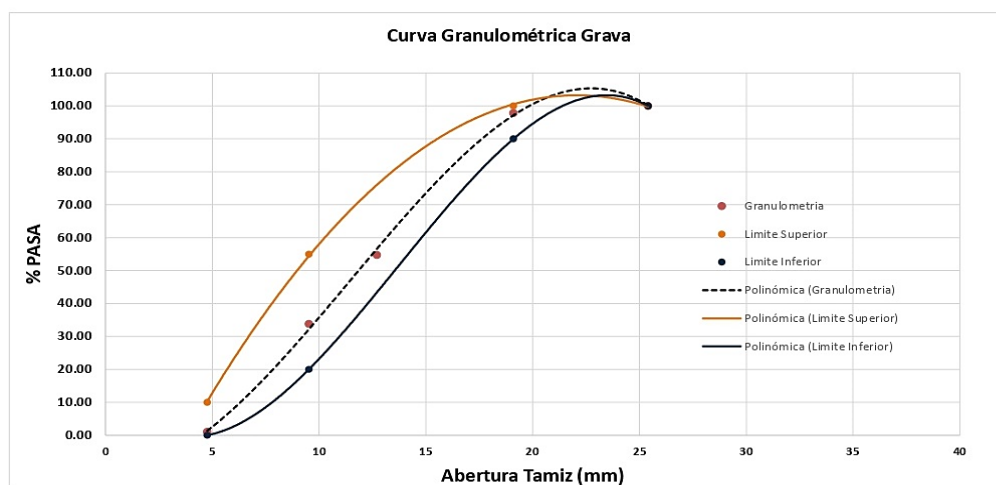
Figura 8

Granulometria de la grava.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL						
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN		GRANULOMETRÍA DE LA GRAVA						
PROYECTO:	Proyecto de titulación							
MUESTRA:	Rookaazul							
SOLICITADO POR :	Ing. César Maldonado							
ESTUDIANTES :	Alex Armijos, Neyber Cruz.							
Normativa	ASTM C-33							

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA		
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	% RETENIDO ACUMULAD
3"	76.2	0	0	0.00	100.00			0.00
2 1/2"	63.5	0	0	0.00	100.00			0.00
2"	50.8	0	0	0.00	100.00			0.00
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00			0.00
1"	25.4	0	0	0.00	100.00	100	100	0.00
3/4"	19.1	192.5	192.5	2.14	97.86	100	90	2.14
1/2"	12.7	3883.5	4076	43.15	54.71			45.29
3/8"	9.52	1880.5	5956.5	20.90	33.81	55	20	66.19
Nº4	4.76	2951.5	8908	32.80	1.02	10	0	98.98
Fondo		91.5						
Peso antes del ensayo (gramos) =			9012.5					
Peso después del ensayo (gramos) =			8999.5					

TMN	Abertura (mm)	Límite Superior (%)	Límite Inferior (%)
3/4"	19.05	100	90




Nota. Fuente: Autores

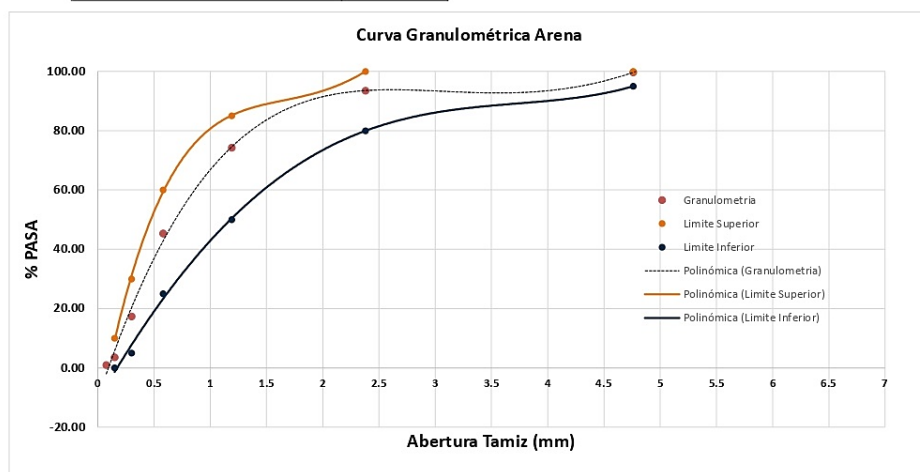
La granulometría del agregado fino se encuentra dentro de las fajas granulométricas establecidas según la norma ASTM C33. Así mismo se determinó el módulo de finura siendo de 2.66 como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Granulometria de la arena.

 Universidad Católica de Cuenca		FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN						
GRANULOMETRÍA DE LA ARENA								
PROYECTO:	Proyecto de titulación							
MUESTRA:	Rookaazul							
SOLICITADO POR :	Ing. César Maldonado							
ESTUDIANTES:	Alex Armijos, Neyber Cruz.							
NORMATIVA	ASTM C-33							

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA		
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR	% RETENIDO ACUMULADO
1"	25.4	0	0	0.00	100.00			0.00
3/4"	19.1	0	0	0.00	100.00			0.00
1/2"	12.7	0	0	0.00	100.00			0.00
3/8"	9.52	0	0	0.00	100.00			0.00
Nº4	4.76	2.5	2.5	0.31	99.69	100	95	0.31
Nº8	2.38	49.6	52.1	6.20	93.49	100	80	6.51
Nº16	1.19	153.9	206	19.24	74.24	85	50	25.76
Nº30	0.58	231.3	437.3	28.92	45.32	60	25	54.68
Nº50	0.3	223.7	661	27.97	17.35	30	5	82.65
Nº100	0.15	110.2	771.2	13.78	3.58	10	0	96.42
Nº200	0.075	21	792.2	2.63	0.95			99.05
FONDO		7.6						
TOTAL		799.8						
Peso antes del ensayo (gramos) =		800		Modulo de finura		2.66		
Peso después del ensayo (gramos) =		799.8						




Nota. Fuente: Autores

Se estableció la gravedad específica aparente de los agregados, un dato importante para la determinación de los pesos finales en la dosificación. Asimismo, se obtuvo el porcentaje de absorción mostrado en la figura 10, el cual es útil para las correcciones por humedad de la mezcla de hormigón.

Figura 10

Gravedad Especifica de los agregados finos y gruesos.

 Universidad Católica de Cuenca	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS	
	ENSAYO PARA LA DETERMINACIÓN DEL PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS	
(Método de la ASTM - C 29)		
Material	Grava y Arena	
Procedencia	Mina Rookazul	
Estudiantes	Alex Armijos, Neyber Cruz.	

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO GRUESO

D A T O S	ENSAYOS		
Masa de la muestra seca al horno	A	gf	1179.2
Masa en aire de la muestra SSS	B	gf	1198
Masa aparente en agua de la muestra saturada	C	gf	746

Gravedad específica seca al horno	2.609
Grav esp saturada superficialmente seca.	2.650
Gravedad específica aparente	2.722
% de Absorsion	1.594

GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL AGREGADO FINO

D A T O S	ENSAYOS		
Masa de la muestra seca al horno	A	gf	290.3
Picnometro + agua	B	gf	666.2
Picnometro + Agua+ Muestra SSS	C	gf	847.6
Masa de la muestra SSS	S	gf	300


Gravedad específica seca al horno	2.448
Grav esp saturada superficialmente seca.	2.530
Gravedad específica aparente	2.666
% de Absorsion	3.341

Nota. Fuente: Autores

Se obtuvo el peso volumétrico de los agregados mostrado en la figura 11, dato importante para la determinación del peso final del agregado grueso en la dosificación.

Figura 11

Peso volumétrico de los agregados.

 Universidad Católica de Cuenca	UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE SUELOS	
	ENSAYO PARA LA DETERMINACION DEL PESO VOLUMÉTRICO DE LOS AGREGADOS	
(Método de la ASTM - C 20)		
Material	Grava - Arena	
Alumnos:	Alex Armijos, Neyber Cruz	
Procedencia	Rookaazul	

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA SUELTA

D A T O S	ENSAYOS		
PESO DEL RECIPIENTE (gr)	5766.5	5766.5	5766.5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE (cm3)	9237	9237	9237
RECIPIENTE + MATERIAL	18601	18558	18240
PESO DEL MATERIAL	12834.5	12791.5	12473.5
PESO VOLUMÉTRICO	1.389	1.385	1.350
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm3)	1.375		

PESO VOLUMÉTRICO DE LA GRAVA COMPACTADA

D A T O S	ENSAYOS		
PESO DEL RECIPIENTE	5766.5	5766.5	5766.5
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	9237	9237	9237
RECIPIENTE + MATERIAL	19675	19822	19891.5
PESO DEL MATERIAL	13908.5	14055.5	14125
PESO VOLUMÉTRICO	1.506	1.522	1.529
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm3)	1.519		

PESO VOLUMÉTRICO DE LA ARENA SUELTA

D A T O S	ENSAYOS		
PESO DEL RECIPIENTE	4741	4741	4741
VOLUMEN DEL RECIPIENTE	2962.5	2962.5	2962.5
RECIPIENTE + MATERIAL	8906.5	8851.5	8857.5
PESO DEL MATERIAL	4165.5	4110.5	4116.5
PESO VOLUMÉTRICO	1.406	1.388	1.390
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO	1.394		

Nota. Fuente: Autores

3.5. DOSIFICACIÓN DE LA VIRUTA DE ACERO PARA EL ENSAYO A FLEXIÓN

Para la dosificación adecuada de viruta de acero se realizó una ardua tarea bibliográfica referente a los diferentes porcentajes utilizados en anteriores destacados proyectos y ensayos con viruta de acero.

Según (Miranda, Morales, Sánchez, & Caballero, 2023), los resultados obtenidos en ensayos para los 7 días y 28 días, se obtuvo una tendencia, la cual indica que existe porcentajes óptimos de resistencia del concreto con 0.5% a 5% de fibras de acero. Así mismo, (Obregon Leiva, 2019), concluye con la adición del 9% de viruta se alcanza la resistencia a la flexión, alcanza una resistencia de 33 kg/cm² a los 7 días, a los 14 días una flexión 35 kg/cm², finalmente a los 28 días de curado 46 kg/cm². Por otra parte, (Tovar Condori, 2021) menciona que remplazar porcentajes altos de viruta de acero reciclada por el agregado fino no justifica, ni mejora la resistencia a flexión. El autor citado aclara que la la resistencia a la flexión alcanzados los 28 días de curado fue de 57.30 kg/cm²; 61.88 kg/cm²; 63.60 kg/cm²; y 60.16 kg/cm², para los diseños de hormigón con: 0%; 5%, 10% y 15% respectivamente. Comprobando que al añadir 10% de viruta se alcanza un mejor desempeño.

Es sustancial tener en cuenta que la dosificación adecuada involucra también el reciclado del material y que tan conveniente es remplazarlo por el agregado fino (arena). Porcentajes de viruta muy altos pueden ser contraproducentes; no garantizan ser rentables comparándolos con variables como: tiempo de reciclado, calidad, precio y cantidad.

Entonces, los porcentajes tomados de acuerdo a las diferentes variables son: 3%, 6% y 9%.

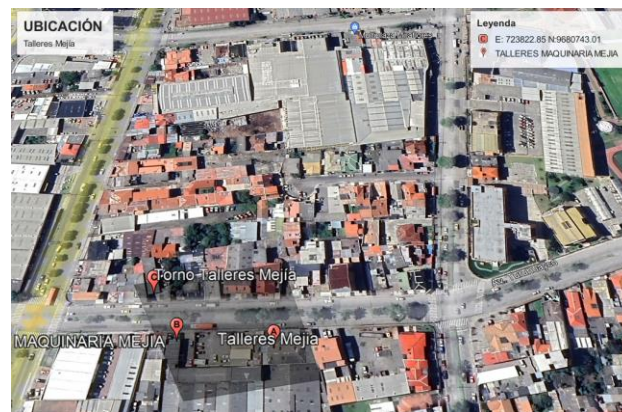
3.5.1 Recolección de la viruta de acero

El reciclado de la viruta de acero se dio gracias a la empresa Talleres Mejía, la misma fue fundada en 1952. Aporta al desarrollo del país y la ciudad de Cuenca mediante la producción de maquinaria para diversas áreas como: minería, construcción, agro industria y camaronera. Provee soluciones en el mantenimiento y construcción de

maquinaria industrial, utilizando materia prima de calidad y aportando al medio ambiente con su reciclaje. Su ubicación en la ciudad de Cuenca se muestra en la figura 12.

Figura 12

Ubicación Talleres Mejía.



Datos. Fuente: Google Earth.

3.5.2 Preparación de la viruta de acero

La viruta antes mencionada previo a la preparación de las vigas de concreto fue tamizada con el objetivo de no contar con irregularidades, por lo cual se procedió a emplear el tamiz número 10 (2 mm) y número 16 (1.16 mm) como se muestra en la figura 13 y 14.

Figura 13

Tamizado - viruta de acero



Nota. Fuente: Autores

Figura 14

Preparación de la viruta de acero.



Nota. Fuente: Autores

3.6. DISEÑO DE MEZCLA DE HORMIGÓN CON Y SIN VIRUTA DE ACERO

Para el desarrollo de la mezcla de hormigón se tuvo en cuenta la norma (ACI 211.1-91, 1991) la cual establece los lineamientos en cuanto a consistencia, cantidad de agua en función del tamaño máximo nominal, mayoración de resistencia, relación A/C, estimación del agregado grueso y volumen de aire, mismos que sirven para la determinación de los volúmenes de los materiales para la posterior obtención de los pesos. Las características para el diseño de la mezcla se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Características para el diseño de mezcla

Diseño de Mezcla Método ACI 211.1-91	
F'c	350 kgf/cm ²
Consistencia (Pavimentos)	Max: 75 mm Min: 25mm
Cantidad de Agua (TMN)	202.2 kg
Mayoración de Resistencia	f'c+100
Relación A/C	0.38
Estimación del A. grueso (MF)	0.634 m ³
Volumen de Aire	0.02 m ³

Nota. Fuente: Autores

3.6.1 Diseño de Hormigón

- Selección del Asentamiento

El ACI 211.1. establece parámetros máximos y mínimos para el revenimiento del hormigón. Para pavimentos rígidos, se toma el valor máximo de 75mm y mínimo de 25mm. Como se ilustra en la tabla 4.

Tabla 4

Asentamiento

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatatas y muros de cimentación	75	25
Zapatatas, cajones y muros de subestructura	75	25
Muros y vigas reforzadas	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y Losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Nota. Adaptado de la normativa ACI 211.1.

- Cantidad de agua en función del tamaño máximo nominal

El tamaño máximo del agregado es de 19 mm, como se demuestra en el apartado de ensayos de los materiales (ver figura 8), por lo tanto, se asume un peso del agua de 202.2kg para el diseño de la mezcla. A continuación, se muestra la tabla 5 que permite establecer la cantidad de agua de la mezcla.

Tabla 5

Cantidad de Agua.

<u>Agua en l/m³ para el tamaño nominal máximo indicado</u>								
Asentamiento (mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin entrada de aire								
25 a 50	208.1	199.2	187.3	178.4	163.5	154.6	130.8	113
75 a 100	228.9	217	202.2	193.2	178.4	169.5	145.7	124.9
150 a 175	243.8	229	214.1	202.2	187.3	178.4	160.5	
Más de 175								
Cantidad aprox. de aire en la mezcla (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

- Mayoración de resistencia

Se debe tener en cuenta la mayoración de resistencia según la ACI, con la finalidad de garantizar el cumplimiento de las resistencias de diseño. Entonces, se toma la mayoración de $f'c+100$ como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6

Mayoración de resistencia.

F'c especificado (kg/cm²)	f'cr (kg/cm²)
Menor a 210	f'c+70
Entre 210 a 350	f'c+84
Mayor a 350	f'c+100

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

- Relación Agua /Cemento

Para la selección de la relación agua/cemento se determina a través de la interpolación, debido a que en la tabla 7 no se tiene en cuenta la sobre resistencia de diseño ($f'c= 45\text{Mpa}$).

Tabla 7

Relación agua/cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (Mpa)	Relación a/c (ACI)
42	0.41
35	0.48
28	0.57
21	0.68
14	0.82

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

$$\frac{f'_{cm\acute{a}x} - f'_{ci}}{a/c_{m\acute{a}x} - a/c_i} = \frac{f'_{cm\acute{a}x} - f'_{min}}{a/c_{m\acute{a}x} - a/c_{i_{min}}} \quad (3)$$

$$\frac{450 \frac{kgf}{cm^2} - 420 \frac{kgf}{cm^2}}{x - 0.41} = \frac{420 \frac{kgf}{cm^2} - 350 \frac{kgf}{cm^2}}{0.41 - 0.48}$$

$$x = 0.38$$

Donde:

- a/c_i relación a hallar.
- $a/c_{m\acute{a}x}$ relación extremo superior.
- $a/c_{i_{min}}$ relación extremo inferior.
- f'_{ci} valor de resistencia a hallar (Mpa).
- $f'_{cm\acute{a}x}$ valor de resistencia extremo superior (Mpa).
- f'_{min} valor de resistencia extremo inferior (Mpa).

- Cantidad de Cemento

$$C = \frac{Agua}{ac} = \frac{202.2 \text{ kg}}{0.38} = 532.10 \text{ kg} \quad (4)$$

Se establece la cantidad de cemento de acuerdo a la relación agua/cemento obtenido anteriormente ($a/c = 0.38$).

- Estimación del agregado grueso

Con base al tamaño máximo nominal y al módulo de finura, en la tabla 8 se establece el volumen de agregado grueso, que se empleara en la mezcla.

Tabla 8

Estimación Agregado Grueso

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.59
25	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72

75	0.85	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

$$\frac{2.8 - 2.6}{0.62 - 0.64} = \frac{2.66 - 2.6}{x - 0.64} \quad (5)$$

$$x = 0.634m^3$$

- Estimación del volumen de aire

En base al tamaño máximo nominal, se establece el porcentaje de aire. Como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9

Presencia de Aire en base al tamaño máximo nominal.

Presencia de Aire en base al tamaño máximo nominal (Porcentaje)								
TMN (mm)	9,5 m m	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Cantidad aprox. de aire en la mezcla (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

$$Aire = \frac{2}{100} = 0.02 \quad V_{aire} = Aire * 1m^2 = 0.02m^2 \quad (6)$$

- Corrección por humedad

A continuación, se muestra en la tabla 10 las correcciones por humedad realizadas a los agregados, así mismo en la tabla 11 se muestra la corrección de la cantidad de agua empleada en la mezcla de diseño. Finalmente, se muestra los pesos finales obtenidos de los agregados en la tabla 12.

Tabla 10*Corrección por humedad.*

Corrección por humedad			
Agregado	% absorción	% humedad	Dif. Abs. - Hum. (%)
grueso	1.594	0.56	1.034
fino	3.34	5.57	-2.23

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.**Tabla 11***Cantidad de Agua.*

Cantidad de agua		
Agregado	Peso (1m³) kg	Exceso o adición de agua
grueso	962.412	9.951
fino	639.6	-14.263

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.**Tabla 12***Corrección de pesos de los agregados.*

Corrección de pesos de los agregados			
Agregado	Peso (1m³) seco kg	% humedad	Peso (1m³) húmedo kg
grueso	962.412	0.56	967.802
Fino	639.6	5.57	675.226

Nota. Fuente: Adaptado de la normativa ACI 211.1.

- Pesos Finales

La densidad del hormigón por lo general varía entre 2200kg/m³ y 2400 kg/m³, y pueden variar dependiendo de la composición específica del hormigón. En la tabla 13 se muestra la densidad de la mezcla obtenida.

Tabla 13

Pesos finales luego de la corrección por humedad por m³.

Peso Seco Final de los agregados	
Cemento	532.1 kg
Agua	197.888 kg
Agregado grueso	967.802 kg
Agregado fino	675.226 kg
TOTAL	2373.015 kg

Nota. Fuente: Autores.

$$densidad = \frac{2373.015 \text{ kg}}{1 \text{ m}^3} = 2373.015 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

3.6.2 Dosificaciones

Con base a las características se obtuvo la mezcla patrón para 1m³ de hormigón, misma que sirvió para determinar los pesos para cada una de las vigas con su respectiva probeta previo a los ensayos de flexión obteniéndose los siguientes resultados para la mezcla con y sin viruta de acero de acuerdo a los porcentajes planteados, ilustrados en la tabla 14, 15, 16 y 17 del presente documento.

Tabla 14

Dosificación para 1m³ - 350kgf/cm²

Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm²			
Material	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Cemento	2900	0.183	532.1
Grava	2722	0.354	962.412
Arena	2665	0.24	639.6
Agua	1000	0.202	202.2
Aire		0.02	
Total		0.999	2336.312
Densidad del Hormigón		2338.65	

Nota. Fuente: Autores.

Tabla 15*Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (3% Viruta).*

Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (3% Viruta)			
Material	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Cemento	2900	0.183	532.1
Grava	2722	0.354	962.412
Arena	2665	0.2328	620.412
Viruta		0.0072	19.18
Agua	1000	0.202	202.2
Aire		0.02	
Total		0.999	2336.304
Densidad del Hormigón		2338.64	

Nota. Fuente: Autores.**Tabla 16***Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (6% Viruta).*

Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (6% Viruta)			
Material	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Cemento	2900	0.183	532.1
Grava	2722	0.354	962.412
Arena	2665	0.2256	601.224
Viruta		0.0144	38.376
Agua	1000	0.202	202.2
Aire		0.02	
Total		0.999	2336.312
Densidad del Hormigón		2338.65	

Nota. Fuente: Autores.

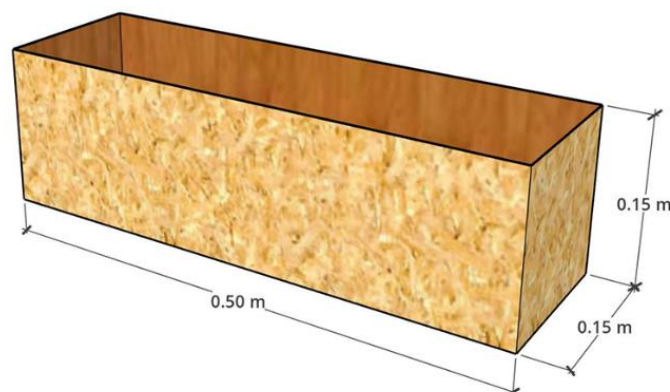
Tabla 17*Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (9% Viruta)*

Dosificación para 1m³ - 350 kgf/cm² (9% Viruta)			
Material	Densidad (kg/m³)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Cemento	2900	0.183	532.1
Grava	2722	0.354	962.412
Arena	2665	0.2184	582.036
Viruta		0.0216	57.564
Agua	1000	0.202	202.2
Aire		0.02	
Total		0.999	2336.312
Densidad del Hormigón			2338.65

Nota. Fuente: Autores.

3.7. ELABORACIÓN DE ENCOFRADO PARA VIGAS

La norma ASTM C78 establece los lineamientos para el ensayo de resistencia a la flexión de vigas de concreto, las vigas deben contar con las siguientes dimensiones 150x150x500 mm teniendo en cuenta que la separación entre apoyos debe tener una dimensión de 450mm como se enseña en la figura 15.

Figura 15*Dimensiones del encofrado para elaboración de vigas.**Nota.* Fuente: Autores.

CAPITULO IV – ANALISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANALISIS A FLEXIÓN DE VIGAS CON Y SIN VIRUTA DE ACERO

Para el cumplimiento de los objetivos planteados se realiza el análisis de flexión tanto en vigas con y sin viruta para determinar la resistencia de estos elementos según la norma (ASTM C78) y la influencia de la adición en las condiciones mecánicas. Así mismo previo a los ensayos se determinó parámetros fundamentales en el desarrollo de las pruebas a flexión tales como revenimiento del hormigón y resistencia a la compresión para lo cual, se obtuvo los siguientes resultados:

- Revenimiento del hormigón

Según la ACI para pavimentos, el asentamiento máximo y mínimo de la mezcla debe ser de 75-25 mm respectivamente. Entonces, en este proyecto para vigas con y sin viruta se obtuvo un revenimiento máximo de 33 mm (sin viruta) y un mínimo de 25 mm (con viruta) para las mezclas, lo cual está dentro de los parámetros establecidos para pavimentos. Sin embargo, de acuerdo con los resultados se puede evidenciar una disminución del revenimiento al incluir viruta de acero en el concreto lo cual disminuye la trabajabilidad de este, a continuación, se muestra los resultados en la tabla 18 y 19.

Tabla 18

Revenimiento del hormigón a los 14 días.

Revenimiento del Hormigón				
14 días				
Tipo	Viga	Máximo	Mínimo	Obtenido
Tradicional	1	75	25	30
	2	75	25	33
3%	1	75	25	27
	2	75	25	27
	3	75	25	29
6%	1	75	25	29
	2	75	25	27
	3	75	25	25
9%	1	75	25	28
	2	75	25	28
	3	75	25	25

Nota. Fuente: Autores.

Tabla 19*Revenimiento del hormigón a los 28 días*

Revenimiento del Hormigón				
28 días				
Tipo	Viga	Máximo	Mínimo	Obtenido
Tradicional	1	75	25	32
	2	75	25	30
3%	1	75	25	27
	2	75	25	26
	3	75	25	29
6%	1	75	25	29
	2	75	25	27
	3	75	25	28
9%	1	75	25	28
	2	75	25	26
	3	75	25	27

Nota. Fuente: Autores.

- MR en base a la resistencia a la compresión del hormigón a los 14 y 28 días

El módulo de rotura es un parámetro que depende de la resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se utiliza para determinar un factor mínimo del módulo de rotura esperado que sirve como base para los ensayos de flexión. A continuación, se presenta los resultados obtenidos a 14 y 28 días de curado tanto para el módulo de rotura (tabla 20 - 21) y la resistencia a la compresión de cada una de las muestras figura 16 y 17.

14 días**Tabla 20**

Módulo de Rotura -Muestras a 14 días de curado.

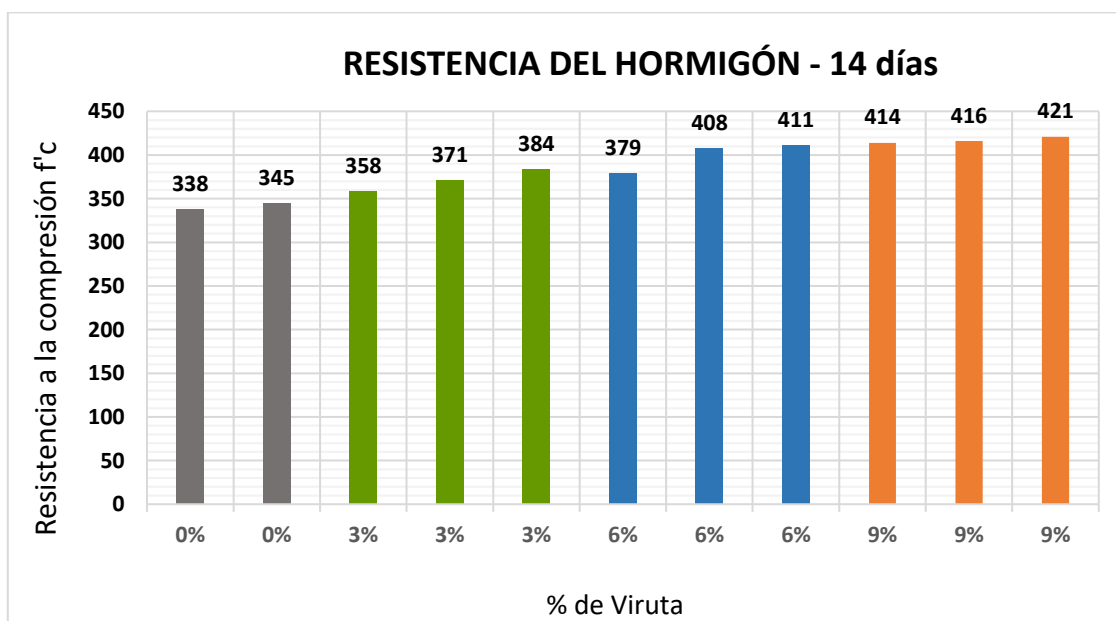
Mr Hormigón Normal - 14 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm²)	Mr (kg/cm²)	Densidad kg/cm³	Promedio Mr
1	345	11.516	2.307	11.457
2	338	11.399	2.269	
Mr Hormigón con 3% Viruta - 14 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm²)	Mr (kg/cm²)	Densidad kg/cm³	Promedio Mr
1	371	11.942	2.273	11.941
2	384	12.149	2.362	
3	358	11.731	2.318	

Mr Hormigón con 6% Viruta - 14 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr
1	379	12.070	2.382	
2	408	12.523	2.324	12.388
3	411	12.569	2.352	
Mr Hormigón con 9% Viruta - 14 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr
1	421	12.721	2.362	
2	414	12.615	2.366	12.661
3	416	12.646	2.364	

Nota. Fuente: Autores

Figura 16

Resistencia a la compresión del Hormigón- 14 días.



Nota. Fuente: Autores

28 días

Tabla 21

Modulo de Rotura - 28 días de curado.

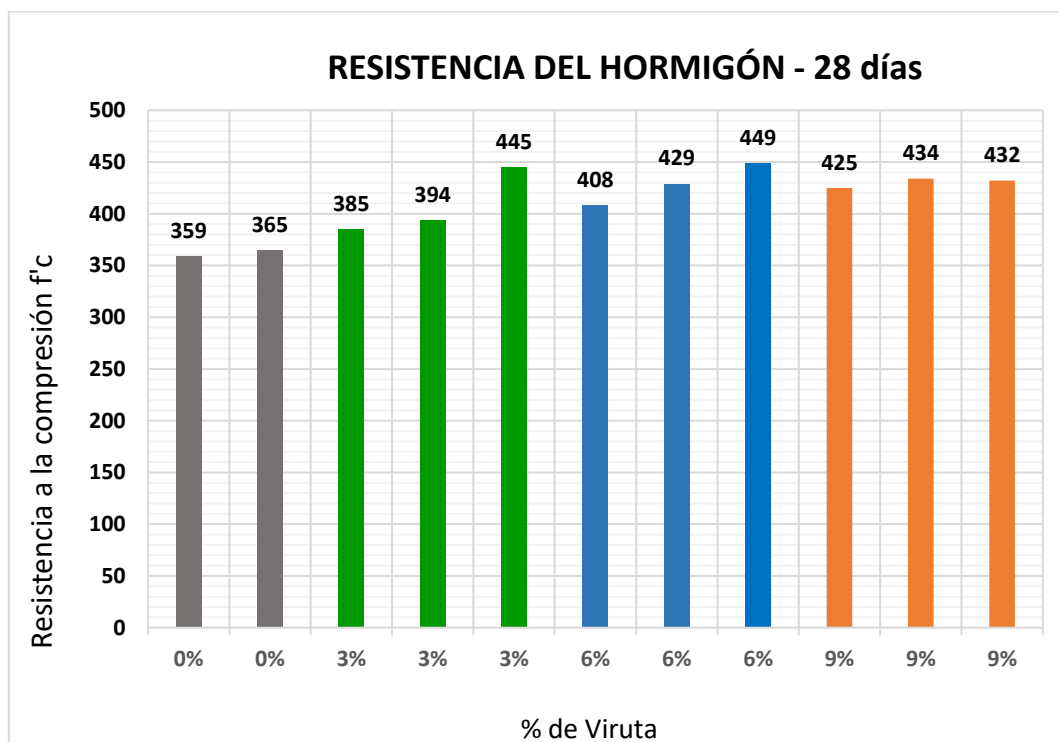
Mr Hormigón Normal - 28 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr
1	359	11.747	2.307	
2	365	11.845	2.269	11.796

Mr Hormigón con 3% Viruta - 28 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr
1	394	12.307	2.273	12.517
2	445	13.079	2.362	
3	385	12.165	2.318	
Mr. Hormigón con 6% Viruta - 28 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr. (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr.
1	449	13.138	2.382	12.834
2	408	12.523	2.324	
3	429	12.842	2.352	
Mr. Hormigón con 9% Viruta - 28 días (f'c)				
Probeta	f'c (kg/cm ²)	Mr. (kg/cm ²)	Densidad kg/cm ³	Promedio Mr.
1	434	12.916	2.362	12.861
2	432	12.886	2.366	
3	425	12.782	2.364	

Nota. Fuente: Autores.

Figura 17.

Resistencia a la compresión del Hormigón- 28 días.



Nota. Fuente: Autores.

Los pavimentos rígidos se caracterizan por su alta resistencia a la compresión, así mismo la resistencia del concreto generalmente aumenta con el tiempo de curado. En este caso, la mezcla de diseño se formuló para alcanzar una

resistencia mínima de 350 kg/cm², verificada mediante ensayos de compresión. A los 14 días, se obtuvo la resistencia esperada de acuerdo con el tiempo de curado en todos los casos, mientras que a los 28 días se logró una resistencia más allá del 100%.

Los módulos de rotura obtenidos bordean entre 11.45 y 12.86 kg/cm², lo cual representa el parámetro mínimo esperado. El valor del módulo de rotura a considerar se determina a través del ensayo a flexión según la norma ASTM C-78.

Un valor adecuado de densidad del hormigón indica una proporción correcta de agregados y cemento, lo que contribuye a la resistencia, durabilidad y estabilidad del material. Los resultados muestran que las vigas presentan una densidad mínima de 2269 kg/m³ y una máxima de 2382 kg/m³. Cumpliendo con la norma ASTM C138; esencial para asegurar que el concreto tenga las propiedades necesarias para el desempeño y la longevidad de las estructuras construidas con él.

4.2. VIGAS SIN VIRUTA DE ACERO - ENSAYO ASTM C78

Las vigas sin viruta de acero muestran un aumento en el módulo de rotura desde los 14 hasta los 28 días, indicando que el concreto sigue ganando resistencia con el tiempo. El promedio del módulo de rotura a los 28 días es significativamente mayor que a los 14 días como se muestra en los resultados de la tabla 22 y 23.

Tabla 22

Módulo de rotura - Ensayo ASTM C78 – 14 días.

Módulo de Rotura Hormigón Tradicional - 14 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr. (kg/cm²)	Promedio
1	15.25	15.54	45	2984.11	36.463	38.152
2	15.28	15.58	45	3283.7	39.840	

Nota. Fuente: Autores.

Tabla 23

Módulo de rotura - Ensayo ASTM C78 – 28 días.

Módulo de Rotura Hormigón Tradicional - 28 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr. (kg/cm²)	Promedio
1	15.75	15.35	45	3084.5	37.402	40.596
2	15.31	15.17	45	3428.47	43.789	

Nota. Fuente: Autores.

4.3. VIGAS CON VIRUTA DE ACERO - ENSAYO ASTM C78

- **14 días**

Las vigas con 3%, 6% y 9% de viruta de acero muestran un incremento en el módulo de rotura en comparación con las vigas sin viruta de acero, con los valores promedio de 40.018 kg/cm², 42.577 kg/cm² y 44.220 kg/cm² respectivamente.

A medida que aumenta el contenido de viruta de acero, se observa un aumento en el módulo de rotura, siendo más significativo en las vigas con 6% y 9% de viruta de acero como se muestra en la tabla 24 y en la figura comparativa 18.

Tabla 24

Módulos de rotura ASTM C78 - 14 días de curado

Módulo de Rotura Hormigón Normal - 14 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.25	15.54	45	2984.11	36.463	38.152
2	15.28	15.58	45	3283.7	39.840	
Módulo de Rotura Hormigón con 3% Viruta - 14 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.72	15.24	45	2779.53	34.258	40.018
2	15.17	15.4	45	3499.27	43.769	
3	15.32	15.47	45	3424.09	42.026	
Módulo de Rotura Hormigón con 6% Viruta - 14 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.28	15.59	45	3806.47	46.123	42.577
2	15.22	15.47	45	3123.63	38.590	
3	15.36	15.1	45	3348.01	43.018	

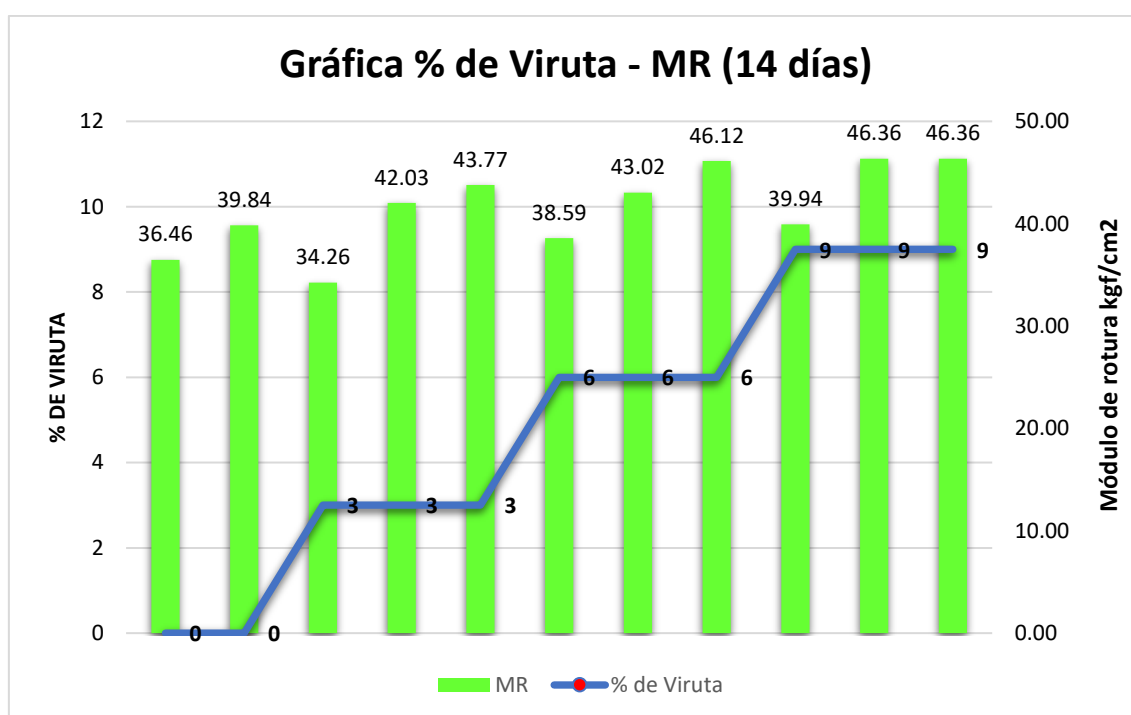
Módulo de Rotura Hormigón con 9% Viruta - 14 días

Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm ²)	Promedio
1	15.43	15.43	45	3784.85	46.362	
2	15.36	15.5	45	3801.35	46.355	44.220
3	15.32	15.17	45	3129.37	39.943	

Nota. Fuente: Autores.

Figura 18

Módulos de rotura con diferentes porcentajes de viruta de acero – 14 días.



Nota. Fuente: Autores.

- **28 días**

Similar a los resultados de 14 días, las vigas con viruta de acero continúan mostrando un mayor módulo de rotura en comparación con las vigas sin viruta de acero, con promedios de 42.854 kg/cm² (3%), 44.706 kg/cm² (6%) y 46.929 kg/cm² (9%).

Las vigas con mayor contenido de viruta de acero (9%) alcanzan el módulo de rotura más alto, indicando una mejora sustancial en la resistencia del concreto a medida que se incrementa la cantidad de viruta de acero.

La incorporación de viruta de acero en las vigas de concreto, mejora notablemente el módulo de rotura, tanto a los 14 como a los 28 días. Lo que se convierte en un buen indicador, pues proporciona mayor capacidad de carga y resistencia. Esto sugiere que el uso de viruta de acero puede ser una estrategia efectiva para mejorar las propiedades mecánicas del concreto.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la tabla 25 y una comparativa en la figura 19 de los módulos de rotura con los distintos porcentajes de viruta empleados. Así también en la figura 20 muestra el tipo de ensayo realizado a las muestras según la norma ASTM C78.

Tabla 25

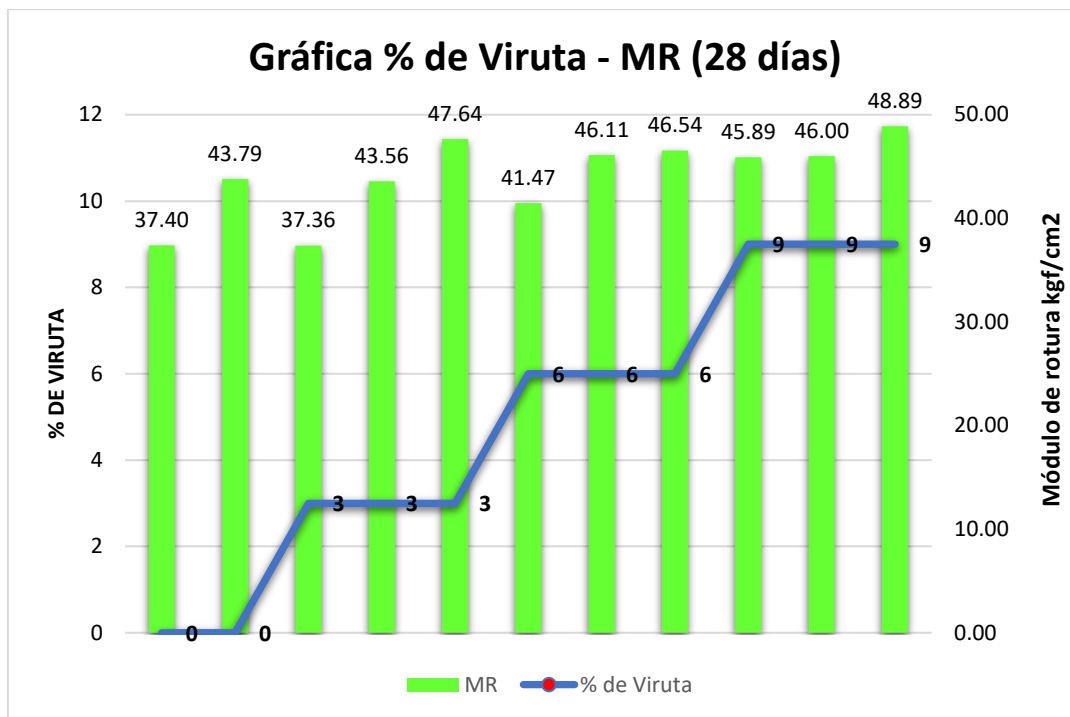
Módulos de rotura ASTM C78 - 28 días de curado

Módulo de Rotura Hormigón Normal - 28 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.75	15.35	45	3084.5	37.402	40.596
2	15.31	15.17	45	3428.47	43.789	
Módulo de Rotura Hormigón con 3% Viruta - 28 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.32	15.73	45	4013.09	47.640	42.854
2	15.25	15.76	45	3144.67	37.360	
3	15.32	15.32	45	3480.82	43.563	
Módulo de Rotura Hormigón con 6% Viruta - 28 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.33	15.68	45	3861.87	46.108	44.706
2	15.32	14.76	45	3451.7	46.539	
3	15.25	15.14	45	3221.53	41.472	
Módulo de Rotura Hormigón con 9% Viruta - 28 días						
Viga	Base (cm)	Altura (cm)	Luz Apoyos (cm)	Carga Máxima (kg)	Mr (kg/cm²)	Promedio
1	15.28	15.5	45	3752.66	46.001	46.929
2	15.28	15.58	45	3782.6	45.893	
3	15.21	15.32	45	3878.66	48.893	

Nota. Fuente: Autores.

Figura 19

Módulos de rotura con diferentes porcentajes de viruta de acero – 28 días.



Nota. Fuente: Autores.

Figura 20

Ensayo de flexión - Norma ASTM C78



Nota. Fuente: Autores.

- Comparativa del módulo de rotura para vigas con y sin viruta a los 14 y 28 días

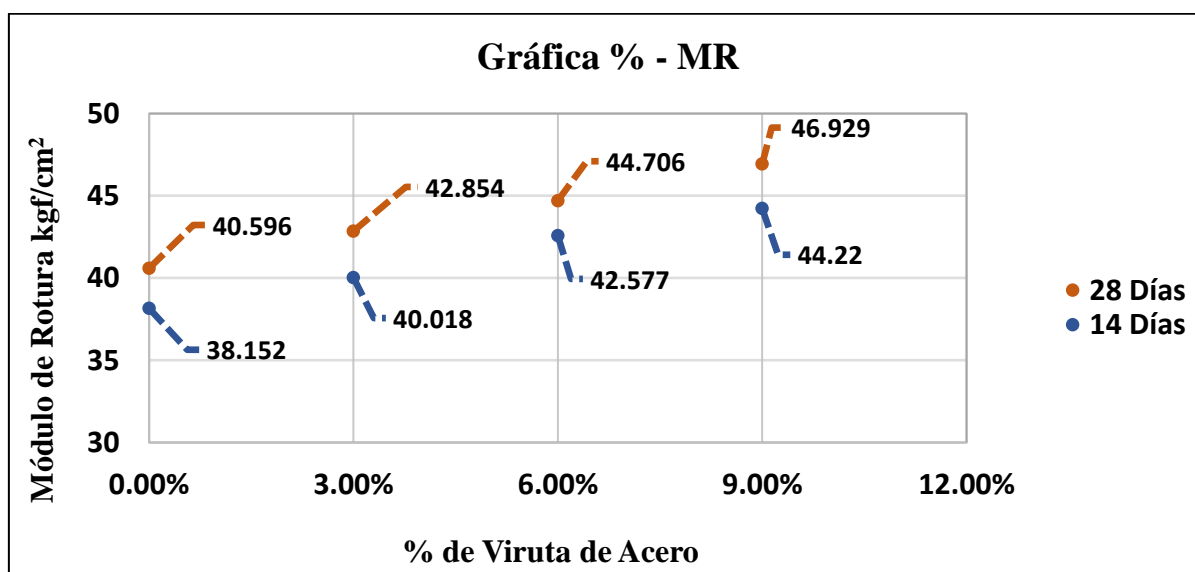
Al realizar el ensayo se pudo evidenciar que las fallas en las vigas se presentaron en el tercio medio de las mismas, lo cual es fundamental para determinar la fórmula que se emplea en la obtención del módulo de rotura. Los ensayos se efectuaron para un tiempo de curado de 14 y 28 días con tres vigas respectivamente, de lo cual se obtuvo un resultado promedio del módulo de rotura, donde se pudo comprobar que al incluir un mayor porcentaje de viruta se obtienen mejores resultados (figura 21).

El mayor módulo de rotura fue de 46.929 kgf/cm² para el 9% de adición de viruta a los 28 días, así también para los 14 días se obtuvo 44.22 kgf/cm²; lo cual representa una mejora del 15.6 al 15.9 % en comparación al hormigón tradicional como se muestra en la figura 22.

Así también al realizar los ensayos a las vigas de hormigón sin y con viruta se tuvo diferentes conductas, sin viruta la falla a la carga máxima fue de manera repentina y con viruta fue de una manera menos fortuita, lo cual implica que al adicionar viruta de acero las fallas que se produzcan en los pavimentos pueden verse disminuidas. En las figuras 23, 24 y 25 se evidencia lo antes mencionado.

Figura 21

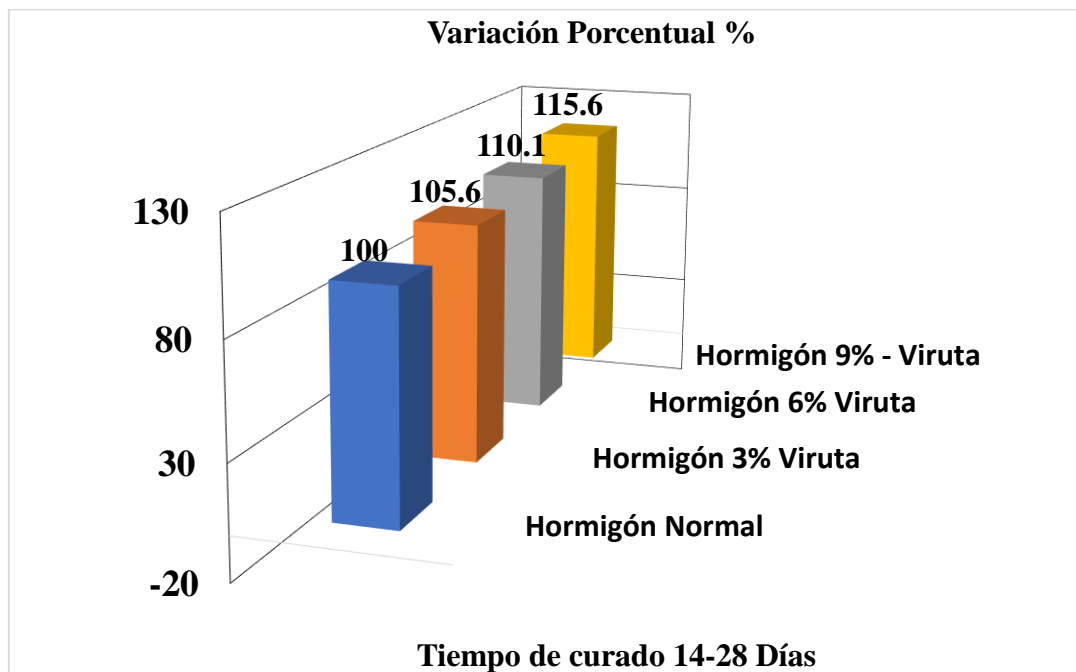
Grafica comparativa - Modulo de Rotura - 14 y 28 días.



Nota. Fuente: Autores.

Figura 22

Incremento porcentual - Modulo de Rotura - 14 y 28 días.



Nota. Fuente: Autores.

Figura 23

Rotura de viga tercio medio de la viga



Nota. Fuente: Autores.

Figura 24

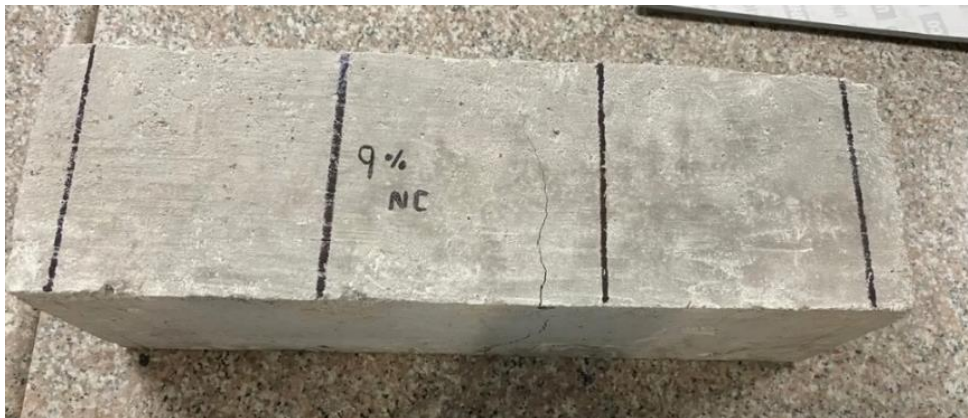
Rotura de vigas a flexión.



Nota. Fuente: Autores.

Figura 25

Rotura de vigas a flexión 2.



Nota. Fuente: Autores

CAPITULO V – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En el diseño de hormigón, se utilizó una mezcla de referencia y otra en la que el agregado fino fue reemplazado por un 3%, 6% y 9% de viruta de acero, respectivamente. De acuerdo con los resultados obtenidos del módulo de rotura, tanto a los 14 como a los 28 días de curado, las vigas con un 9% de viruta mostraron un mejor comportamiento a flexión, alcanzando 44.220 kg/cm² a los 14 días y 46.929 kg/cm² a los 28 días. Esto demuestra que el porcentaje óptimo y recomendado de viruta es el 9%.

Se elaboro las respectivas muestras en forma de vigas para el análisis a flexión tanto del hormigón tradicional y con el 3%, 6% y 9% de viruta de acero, las cuales muestran un incremento en el módulo de rotura en comparación con las vigas sin viruta de acero, con valores promedio de 40.018 kg/cm² (3%), 42.577 kg/cm² (6%), y 44.220 kg/cm² (9%), respectivamente a los 14 días: y con promedios de 42.854 kg/cm² (3%), 44.706 kg/cm² (6%) y 46.929 kg/cm² (9%) alcanzados 28 días.

Analizando los resultados, se logró un mejor módulo de rotura con la inclusión de viruta del 3%, 6% y 9%. En términos porcentuales, esta propiedad se ve incrementada en un 5.6%, 10.1% para muestras con 3% y 6% de viruta respectivamente. Así mismo el porcentaje óptimo (9%) logro mejorar en un 15.9% a los 28 días respecto al 100% de la resistencia a flexión del hormigón normal.

Las resistencias obtenidas en los ensayos de compresión superaron el valor de diseño de 350 kgf/cm². Las mayores resistencias alcanzadas fueron de 421 kgf/cm² a los 14 días con un 9% de viruta de acero, y 449 kgf/cm² a los 28 días con un 6% de viruta de acero. Estos resultados indican que la resistencia de diseño fue obtenida debido la mayoración de resistencia de acuerdo con la norma ACI 211.1.

Al reemplazar el agregado fino de la mezcla por viruta de acero, el revenimiento disminuye. A través del ensayo con el Cono de Abrams, se determinó un revenimiento mínimo de 25 milímetros al incorporar viruta de acero y un máximo de 33 milímetros sin su inclusión. Los resultados evidencian una reducción del 16.6% en el revenimiento al añadir viruta de acero en el concreto, lo que afecta negativamente su trabajabilidad.

La inclusión de viruta de acero reciclada en el hormigón representa una alternativa prometedora para mejorar su resistencia a flexión y compresión,

contribuyendo a la durabilidad de los pavimentos rígidos. Sin embargo, la viabilidad de su uso depende de factores económicos y logísticos relacionados con la obtención y procesamiento de la viruta, lo que plantea desafíos para su implementación a gran escala.

5.2. RECOMENDACIONES

Al diseñar mezclas de hormigón con reemplazo de agregado fino por viruta de acero, es crucial basarse en investigaciones previas que evalúen los beneficios y desventajas de los distintos porcentajes empleados. Además, para la ciudad de Cuenca es crucial considerar el impacto económico, ya que la inclusión de viruta de acero puede modificar los costos de producción debido a factores como la disponibilidad, el proceso de reciclado y el ajuste de las proporciones en la mezcla. Considerar estos factores es clave para optimizar el rendimiento técnico y la viabilidad económica de futuros proyectos.

Es fundamental realizar investigaciones complementarias con diferentes clases de virutas de acero con otras características, para determinar diferentes comportamientos al reemplazarlos por el agregado fino de la mezcla de hormigón.

Al realizar el ensayo de flexión, es fundamental observar dónde ocurre la falla tras aplicar la carga máxima, ya sea dentro del tercio medio o fuera de él. Es necesario considerar la distancia de la falla respecto a la luz libre, ya que el cálculo del módulo de rotura se basa en la ubicación de la falla en la muestra ensayada, siguiendo las ecuaciones establecidas por la norma ASTM C78.

Es importante considerar otros parámetros que influyen directamente en la resistencia a la flexión, como el método de curado. Por lo tanto, realizar un análisis de cómo esta propiedad se ve afectada por el uso de diferentes métodos de curado es fundamental, ya que el método más común empleado es el curado con agua.

En futuras investigaciones se recomienda plantear la determinación del módulo de rotura (flexión) en pavimentos rígidos con diferentes agregados a los utilizados en la presente investigación; teniendo en cuenta las diferentes zonas de producción de áridos, para establecer parámetros de comparación.

BIBLIOGRAFÍA

- Abanto, F. (2017). *Tecnología del Concreto*. Lima, Peru: San Marcos E.I.R.L.
- ACI 211.1-91. (1991). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete*: American Concrete Institute.
- ACI 308-92, A. C. (1994). *Práctica estándar para el curado del concreto*. A.C. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- American Concrete Institute. (1989). Building Code requirements for reinforced. *ACI 318*, Detroit.
- ASTM A820/A820M. (2016). *Especificación estándar para fibras de acero para hormigón reforzado con fibra*. ASTM C1202. (s.f.). AASHTO LFRD Bridge Design Specifications.
- ASTM C78. (s.f.). *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*. West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International.
- ATENAS. (2021). Cemento Atenas tipo GU - Ficha tecnica . *Atenas*.
- Badillo, Y., Carvajal, Y., & Montoya, G. (2020). *Diagnostico Patologico del pavimento rigido comprendido entre el K1+440 hasta k1+920 en la avenida ferrocarril de la ciudad de Ibagué - Tolima*. Ibagué - Tolima: Universidad Cooperativa ed Colombia.
- Briceño, J., Gioconda González de Celis, G., Briceño, B., & Castellanos, P. (2019). Comparación del desprendimiento de material en pavimentos rígidos reforzados con malla electrosoldada o fibras. *Ciencia e Ingeniería*, vol. 40, núm. 3.
- CIVIL GEEKS. (2011). *Tipos de pavimntos de concreto*. Perú: Sitio Web: <https://civilgeeks.com/2011/12/11/tipos-de-pavimentos-de-concreto/>.
- COGUANOR . (2014). *Método de ensayo. Determinación del esfuerzo de flexión en el concreto (Utilizando una viga simplemente soportada con carga al centro de la luz)*. Comisión Guatemalteca de Normas Ministerio de Economía: Norma tecnica Guatemala .
- Cruz, D., López de León, F., Pascual, L., & Battaglia, M. (2010). *Guía Técnica de producción de hongos comestibles de la especie de Hongos Ostra*.
- Fundación Turismo Cuenca. (7 de 03 de 2022). *Conoce Cuenca*. Obtenido de Alcanldia de Cuenca: <https://cuenca.com.ec/es/conoce-cuenca>
- García Badillo, A. (2008). *Mejoramiento del concreto con adición de viruta de acero a porcentajes de 12 y 14% respecto al agregado fino de la mezcla*. Bucaramanga:

Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga - Facultad de Ingeniería Civil.

- Lara Cando, L. F. (2016). *Análisis de las Propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Macías Cortés, A. (2021). *Formación Y Tipos De Viruta y Clasificación de aceros por su porcentaje de carbono*. Yahuquemecan Tlaxcala: Tecnológico Nacional de México.
- Miranda, M., Morales, Y., Sánchez, G., & Caballero, K. (2023). Aprovechamiento de virutas metálicas como adición. *RIC- Revista de Iniciación Científica*, Vol 9, No.2, PP. 98 - 104, ISSN-L: 2413-6786.
- Montenegro, N., & Harold, R. (2021). *Resistencia a la compresión y resistencia a la flexión del concreto con fibras macro sintéticas y metálicas en pavimentos rígidos*, Trujillo. Chiclayo: Tesis. Universidad Cesar Vallejo.
- Morales García, J. C. (2016). *Hormigones de altas prestaciones*. Cuenca: Tesis.
- Moya, J. C., & Cando Lara, L. (2018). Análisis de las propiedades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado. *Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática - Universidad Central del Ecuador*, 1-10.
- Nicole, B. P., Carlos, Z. M., & Muñoz Macías Jonathan Andrés. (2020). Análisis de la prestación mecánica del hormigón empleando virutas de acero como agregado fino. *RIEMAT*, Volumen 5, Numero 1.
- Novacero. (2015). *Obtenido de:*, <https://www.novacero.com/blog/?p=302>.
- NTE INEN 1762. (2014). *HORMIGÓN. DEFINICIONES Y TERMINOLOGÍA*. Quito: Publicación Oficial.
- Obregon Leiva, C. L. (2019). *Aplicación de viruta de acero en el diseño de concreto de pavimento rígido en la Av. Isidro Alcibar, en el distrito de San Martín de Porres – 2019*. Lima, Perú: Tesis de Grado, Universidad César Vallejo.
- Ramirez Hernández, V., & Antero, A. J. (2014). Evolución de las teorías de explotación de recursos naturales: hacia la creación de una nueva ética mundial. *Luna Azul*, pp. 291-313.
- Rojas Dianderas, A. (2020). *Influencia a la resistencia a flexión en vigas de concreto con adición de viruta de acero*. Huancayo: Tesis, Universidad Peruana los Andes.
- Ruiz Brito, C. A. (2011). *Análisis de los factores que producen el deterioro de los pavimentos rígidos*. Sangolquí: Escuela Politécnica del Ejercito.

Tovar Condori, J. L. (2021). *Propiedades mecánicas de concreto con viruta de acero en remplazo parcial del agregado fino*. Huancayo, Perú: Universidad Peruana Los Andes .

ANEXOS

Caracterización de los agregados.



Tamizado de los agregados.



Ensayos realizados.



Ensayos realizados.



Ensayos realizados.

Preparación de la mezcla.



Viruta Reciclada



Inclusión de viruta a la mezcla de hormigón.



Revenimiento del hormigón.



Encofrado para vigas.

Preparación de la mezcla y colado de vigas.



Elaboración de vigas de hormigón.

Formación de Vigas y Cilindros.



Fraguado del hormigón.



Muestras de vigas de hormigón.

Vigas – Ensayo a flexión.



Ensayo de flexión norma ASTM C78



Ensayo de flexión



Curado de vigas de hormigón



Ensayo de compresión de hormigón.

Vigas Ensayadas – Rotura al centro de la viga.



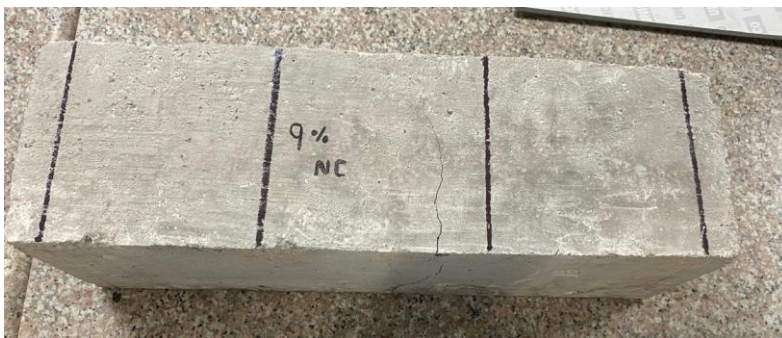
Viga normal



Viga con 3 % de viruta



Viga con 6 % de viruta



Viga con 9 % de viruta

Diseño de hormigón: resistencia a la compresión 350 kgf/cm²

Diseño de Hormigón Método ACI

Selección del Asentamiento

Tipos de construcción	Cada metro	
	Máximo +	Mínimo
Fundación reforzada paredes y zapatas	3	1
Zapatas lisas, cajones y muros de subestructura	3	1
Vigas y muros reforzados Columnas de construcción	4	1
Pavimentos y losas	4	1
Hormigón en masa	3	1
	2	1

* El asentamiento puede aumentar cuando se utilizan aditivos químicos, siempre que el hormigón tratado con aditivo tenga la misma relación agua-cemento o agua-cemento-cenicienta o menor y no presente potencial de segregación o sangrado excesivo.

Tipos de construcción	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75	25
Muros y vigas reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

Asentamiento $A_{max} := 4 \text{ in} = 10.16 \text{ cm}$ $A_{2max} := 10 \text{ cm}$

Muros y Vigas $A_{min} := 1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$ $A_{2min} := 7.5 \text{ cm}$

Cantidad de agua en función del tamaño máximo nominal

TAMIZ Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gramos)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gramos)	% RETENIDO	% PASA	ESPECIFICACIONES NORMA	
						LÍMITE SUPERIOR	LÍMITE INFERIOR
3"	76.2	0	0	0.00	100.00		
2 1/2"	63.5	0	0	0.00	100.00		
2"	50.8	0	0	0.00	100.00		
1 1/2"	38.1	0	0	0.00	100.00		
1"	25.4	0	0	0.00	100.00	100	
3/4"	19.1	192.5	192.5	2.14	97.86	100	90
1/2"	12.7	3883.5	4076	43.15	56.85		
3/8"	9.52	1880.5	5956.5	20.90	79.10	35	20
Nº4	4.76	2951.5	8908	32.80	67.20	10	0
Fondo		91.5					

$$TMN := \frac{3}{4} \text{ in} = 19.05 \text{ mm}$$

Tabla 2.2 Cantidad de agua aproximada y presencia de aire para diferentes asentamientos dados.

Asentamiento (mm)	Agua en l/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado							
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
Concreto sin entrada de aire								
25 a 50	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8	113,0
75 a 100	228,9	217,0	202,2	193,2	178,4	169,5	145,7	124,9
150 a 175	243,8	229,0	214,1	202,2	187,3	178,4	160,5	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

$$\text{Agua} := 202.2 \text{ kg}$$

Mayoración de Resistencia de Diseño (F'cr) (MPa)

F'c especificado (kg/cm ²)	f'cr (kg/cm ²)
Menor a 210	f'c+70
Entre 210 a 350	f'c+84
Mayor a 350	f'c+100

$$f'c := 350 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f'cr := 350 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} + 100 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} = 450 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Relación Agua/Cemento

Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Relación a/c (ACI)	Relación a/c (ASOCRETO)
42	0,41	-
35	0,48	0,40
28	0,57	0,47
21	0,68	0,57
14	0,82	0,72

Los valores que no están en la tabla 2.3 se pueden aproximar, mediante la ecuación 2.1.

$$\frac{f'_{cmáx} - f'_{ci}}{a/c_{máx} - a/c_i} = \frac{f'_{cmáx} - f'_{cmín}}{a/c_{máx} - a/c_{mín}} \quad (2.1)$$

Donde:

a/c_i relación a hallar.

$a/c_{máx}$ relación extremo superior.

$a/c_{mín}$ relación extremo inferior.

f'_{ci} valor de resistencia a hallar (MPa).

$f'_{cmáx}$ valor de resistencia extremo superior (MPa).

$f'_{cmín}$ valor de resistencia extremo inferior (MPa).

$$\frac{450 - 420}{x - 0.41} = \frac{420 - 350}{0.41 - 0.48} \xrightarrow{\text{solve, } x} 0.38$$

Relacion para 450 kgf/cm²

$$f'_{c_{inferior}} := 420 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cemento} := 0.41$$

$$f'_{c_{menor}} := 350 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$A_{cemento2} := 0.48$$

$$ac := 0.38$$

Cantidad de Cemento

$$C = \frac{\text{Agua}}{ac} \rightarrow C = 532.10526315789473684 \cdot \text{kg}$$

$$C := 532.10 \text{ kg}$$

Estimación del agregado grueso

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,59
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

$$M_{Finura} := 2.66$$

$$\frac{2.8 - 2.6}{0.62 - 0.64} = \frac{2.66 - 2.6}{x - 0.64} \xrightarrow{\text{solve, } x} 0.634$$

Estimación del volumen de aire

Tabla 2.2 Cantidad de agua aproximada y presencia de aire para diferentes asentamientos dados.

Agua en l/m ³ para el tamaño nominal máximo indicado							
Asentamiento (mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm 150 mm
Concreto sin entrada de aire							
25 a 50	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8 113,0
75 a 100	228,9	217,0	202,2	193,2	178,4	169,5	145,7 124,9
150 a 175	243,8	229,0	214,1	202,2	187,3	178,4	160,5 -
Más de 175	-	-	-	-	-	-	- -
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3 0,2

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

$$Aire := \frac{2}{100} = 0.02$$

$$V_{aire} := Aire \cdot 1 \text{ m}^3 = 0.02 \text{ m}^3$$

Volúmenes de los Agregados

$$V_{cemento} := \frac{532.10 \text{ kg}}{2900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.183 \text{ m}^3$$

$$V_{agua} := \frac{202.2 \text{ kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.202 \text{ m}^3$$

$$P_{especificograva} := 1.518 \frac{\text{gm}}{\text{cm}^3} = 1518 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V_{grueso} := \frac{P_{especificograva} \cdot 0.634 \text{ m}^3}{2722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.354 \text{ m}^3$$

$$V_{aire} = 0.02 \text{ m}^3$$

$$V_{agregadofino} = 1 \text{ m}^3 - V_{agua} - V_{cemento} - V_{aire} - V_{grueso} \xrightarrow{\text{solve, } V_{agregadofino}} 0.24074927664749555 \cdot \text{m}^3$$

Material

Densidad

Volumen

Peso

$$Cemento \quad D_c := 2900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_{cemento} = 0.183 \text{ m}^3 \quad P_1 := D_c \cdot V_{cemento} = 532.1 \text{ kg}$$

$$Agua \quad D_{agua} := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_{agua} = 0.202 \text{ m}^3 \quad P_2 := D_{agua} \cdot V_{agua} = 202.2 \text{ kg}$$

$$A_{grueso} \quad D_{ag} := 2722 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_{grueso} = 0.354 \text{ m}^3 \quad P_3 := D_{ag} \cdot V_{grueso} = 962.412 \text{ kg}$$

$$A_{fino} \quad D_{af} := 2665 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad V_{agregadofino} := 0.240 \text{ m}^3 \quad P_4 := D_{af} \cdot V_{agregadofino} = 639.6 \text{ kg}$$

$$A_{aire} \quad V_{aire} = 0.02 \text{ m}^3$$

Total

$$V_T := V_{cemento} + V_{agua} + V_{grueso} + V_{agregadofino} + V_{aire} = 0.999 \text{ m}^3$$

$$P_{total} := P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 2336.312 \text{ kg}$$

$$P_{espeH} := \frac{P_{total}}{V_T} = 2338.064 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad \text{PEH debe estar entre: 2200-2400 kg/m}^3$$

Corrección por Humedad

	% absorción	% humedad	% A - H
Agregado grueso	$ab_{grueso} := 1.594$	$h_g := 0.56$	$H_g := ab_{grueso} - h_g = 1.034$
Agregado fino	$ab_{fino} := 3.34$	$h_f := 5.57$	$H_f := ab_{fino} - h_f = -2.23$

	Peso por m3	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	$P_3 = 962.412 \text{ kg}$	$A_g := \frac{1.034}{100} \cdot P_3 = 9.951 \text{ kg}$
Agregado fino	$P_4 = 639.6 \text{ kg}$	$A_f := \frac{-2.23}{100} \cdot P_4 = -14.263 \text{ kg}$

$$Agua_{mezclado} := P_2 + A_g + A_f = 197.888 \text{ kg}$$

	Peso por m3 seco	% humedad	Peso por m3 húmedo
Agregado grueso	$P_3 = 962.412 \text{ kg}$	$h_g = 0.56$	$P_{3gruesof} := \left(1 + \frac{0.56}{100}\right) \cdot P_3 = 967.802 \text{ kg}$
Agregado fino	$P_4 = 639.6 \text{ kg}$	$h_f = 5.57$	$P_{4finof} := \left(1 + \frac{5.57}{100}\right) \cdot P_4 = 675.226 \text{ kg}$

Pesos Finales

$$Cemento \quad P_1 = 532.1 \text{ kg}$$

$$Agua \quad Agua_{mezclado} = 197.888 \text{ kg}$$

$$A_{grueso} \quad P_{3gruesof} = 967.802 \text{ kg}$$

$$A_{fino} \quad P_{4finof} = 675.226 \text{ kg}$$

$$A_{ire} \quad V_{aire} = 0.02 \text{ m}^3$$

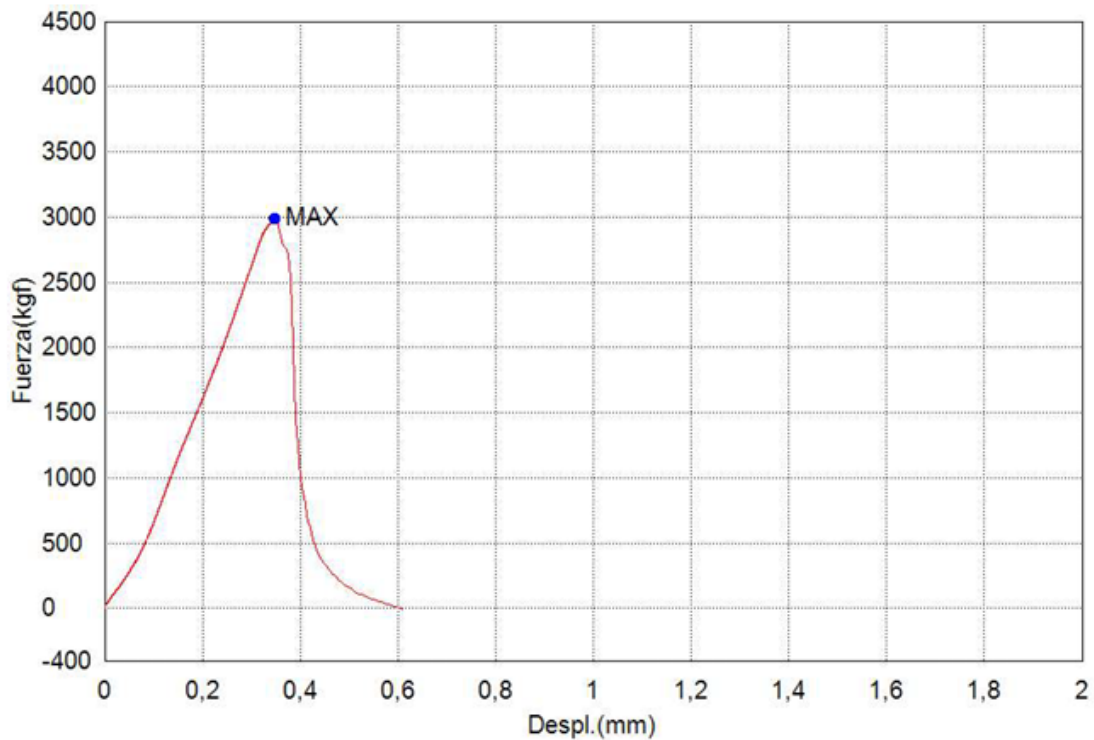
$$P_{total\ final} := P_1 + Agua_{mezclado} + P_{3gruesof} + P_{4finof} = 2373.015 \text{ kg}$$

Ensayos realizados: vigas con y sin viruta de acero

- Hormigón tradicional - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1730.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

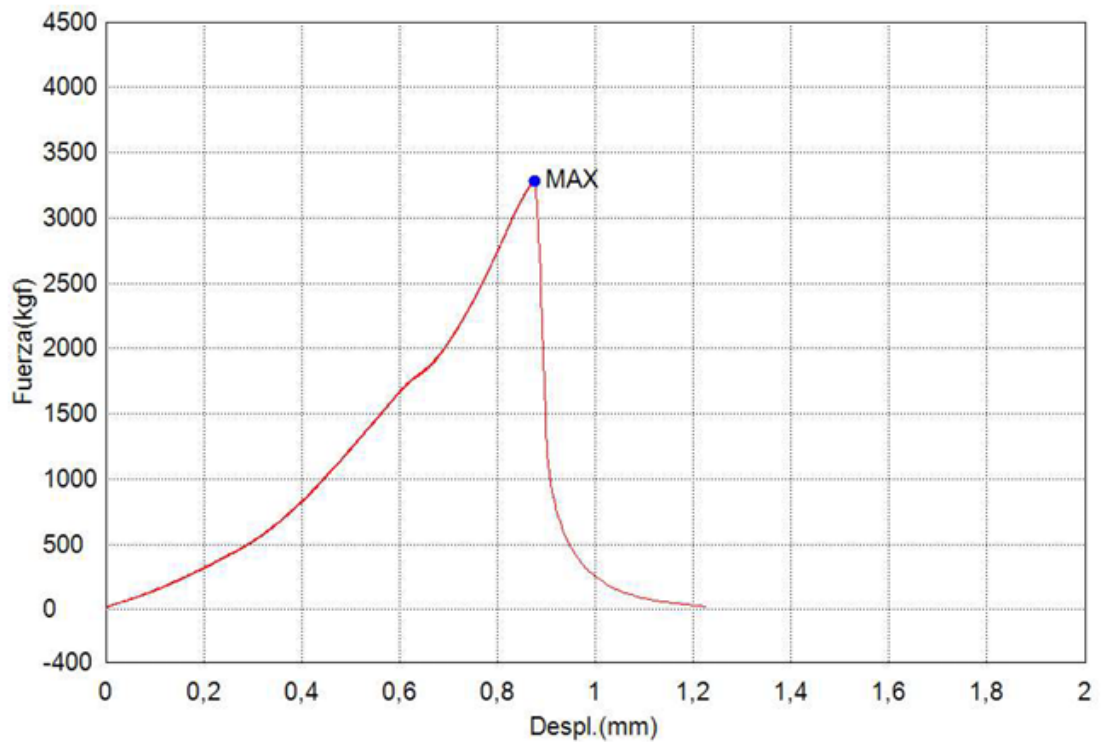
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	2984,11		0,34850	0,13940
Media	2984,11		0,34850	0,13940
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón tradicional - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1736.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

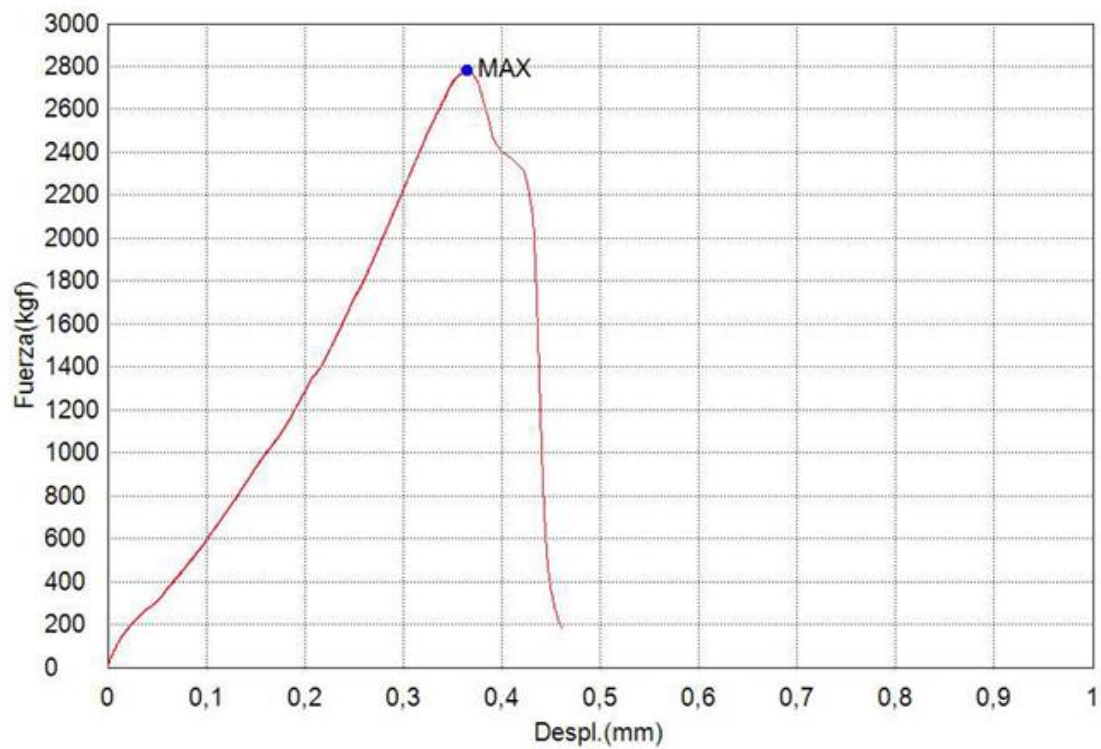
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3283,70		0,87525	0,35010
Media	3283,70		0,87525	0,35010
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1728.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

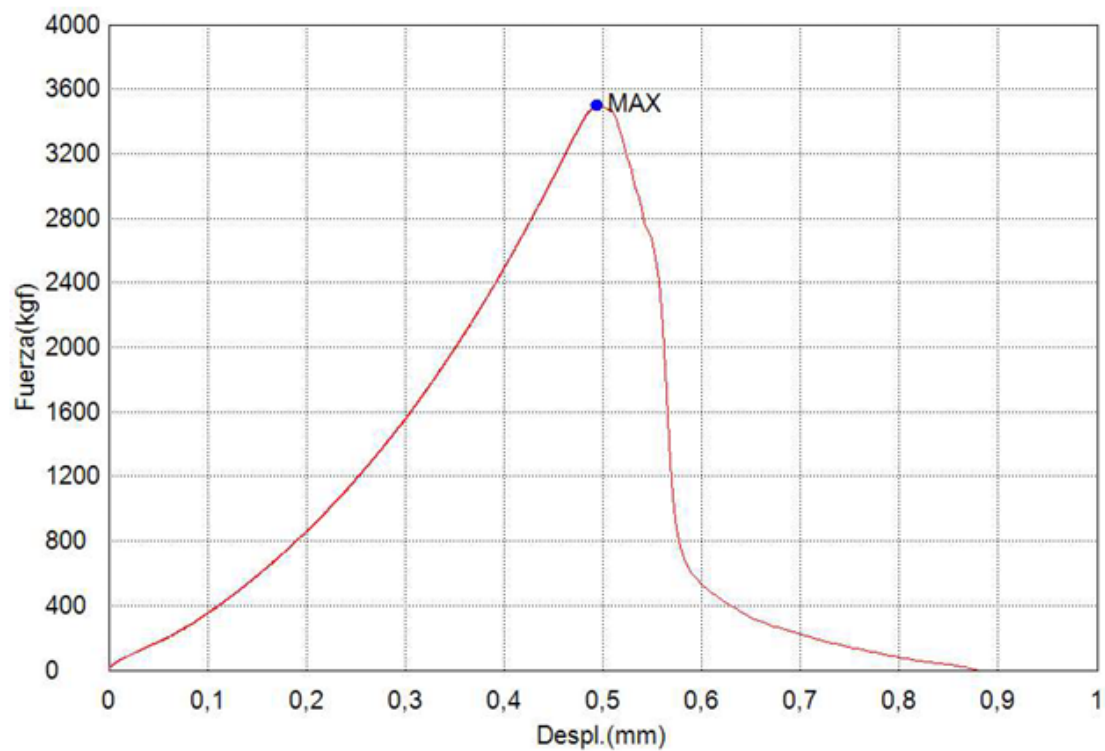
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	2779,53		0,36488	0,14595
Media	2779,53		0,36488	0,14595
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1734.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

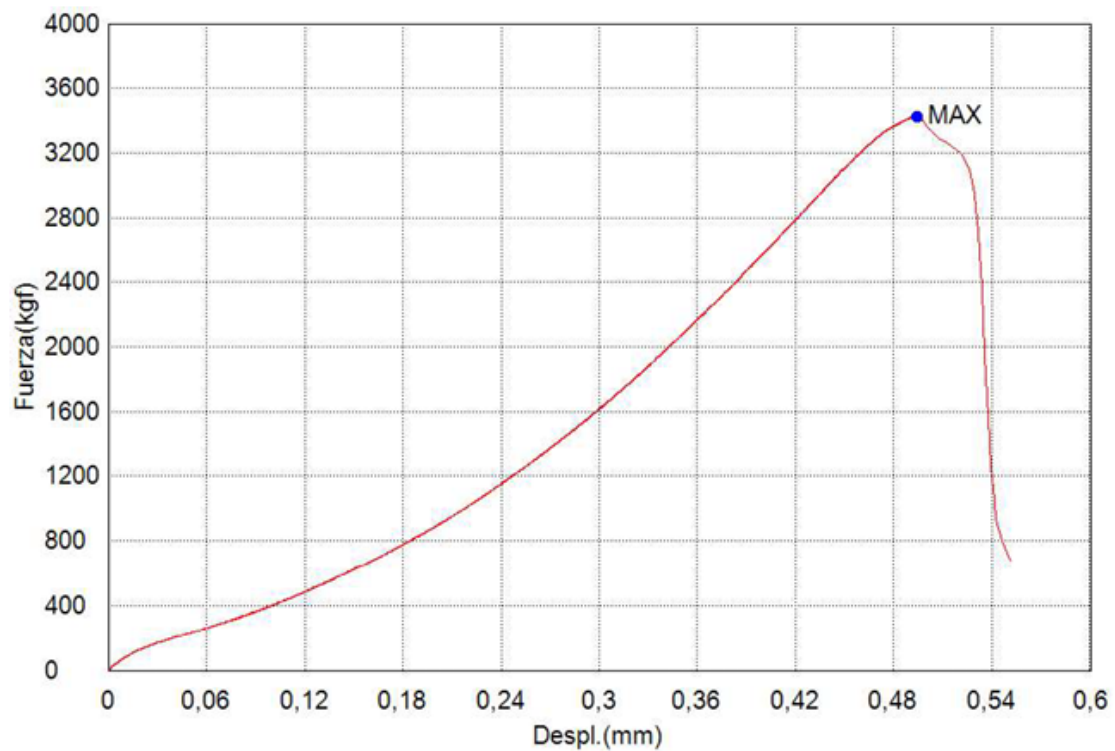
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3499,27		0,49388	0,19755
Media	3499,27		0,49388	0,19755
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1741.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

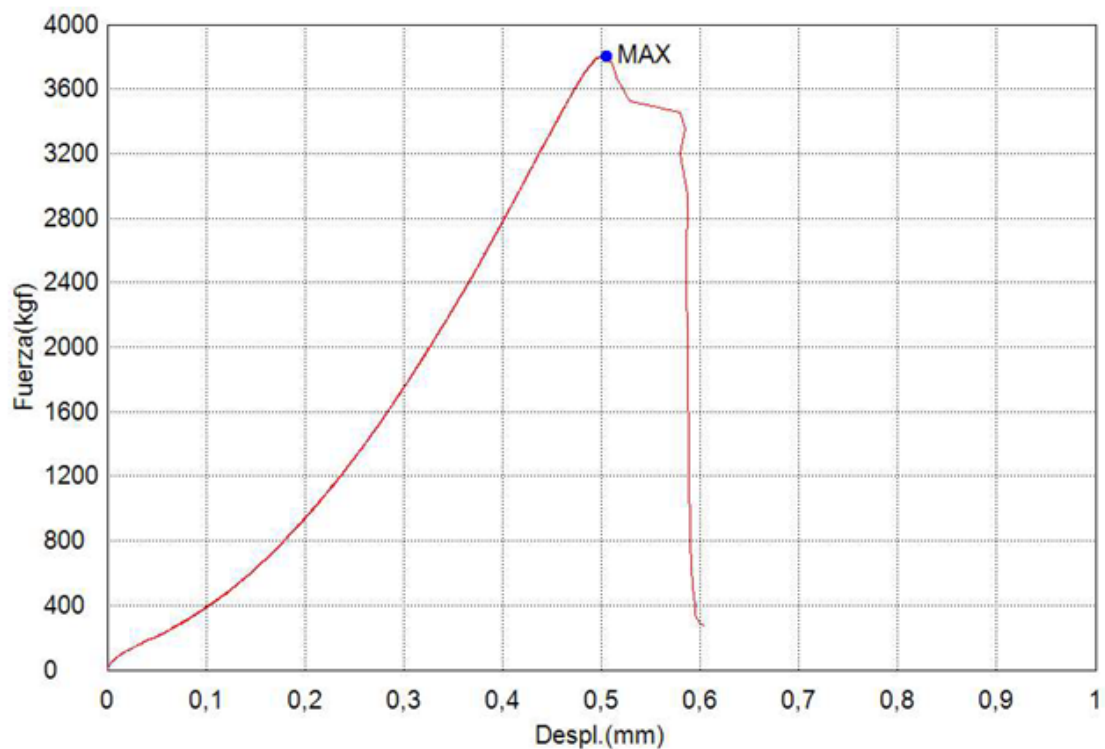
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3424,09		0,49413	0,19765
Media	3424,09		0,49413	0,19765
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1750.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

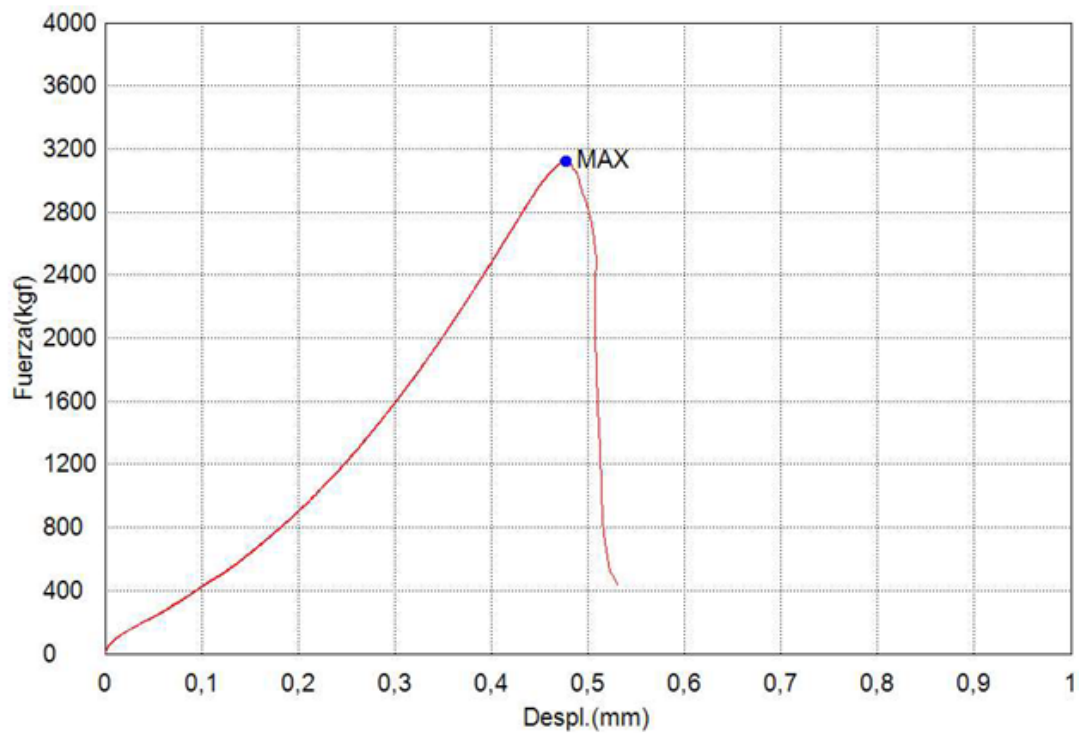
Nombre Parametros	Max. Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max. Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max. Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max. Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3806,47		0,50513	0,20205
Media	3806,47		0,50513	0,20205
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1757.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

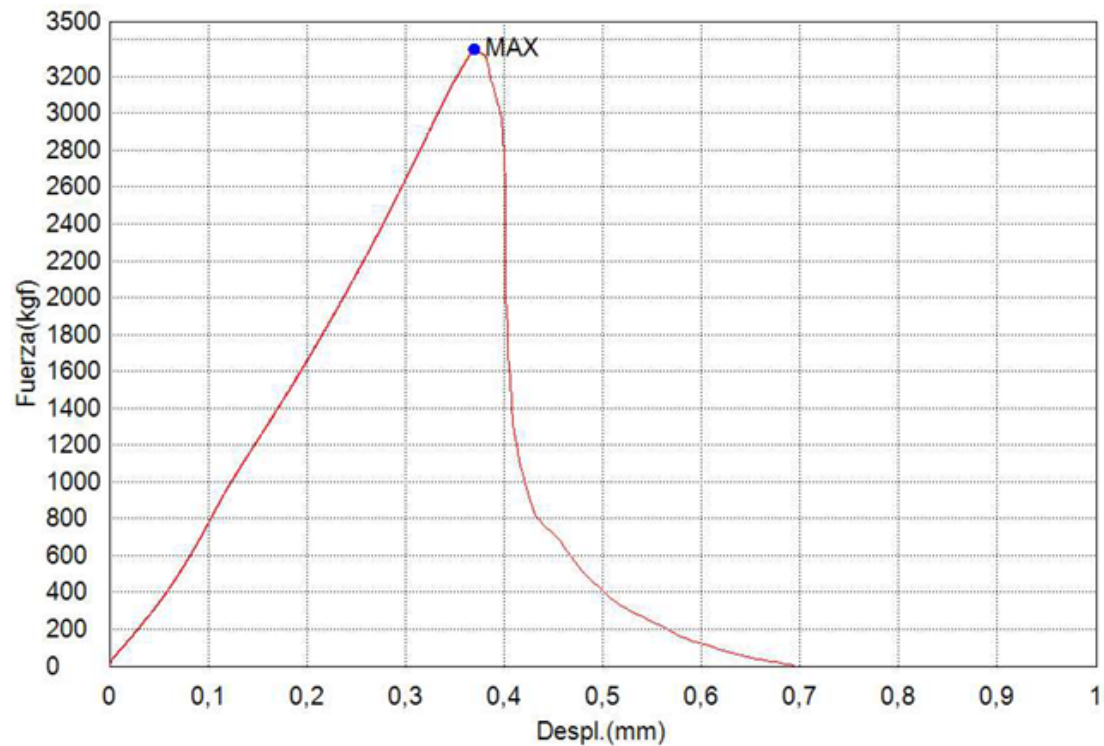
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3123,63		0,47713	0,19085
Media	3123,63		0,47713	0,19085
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1803.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

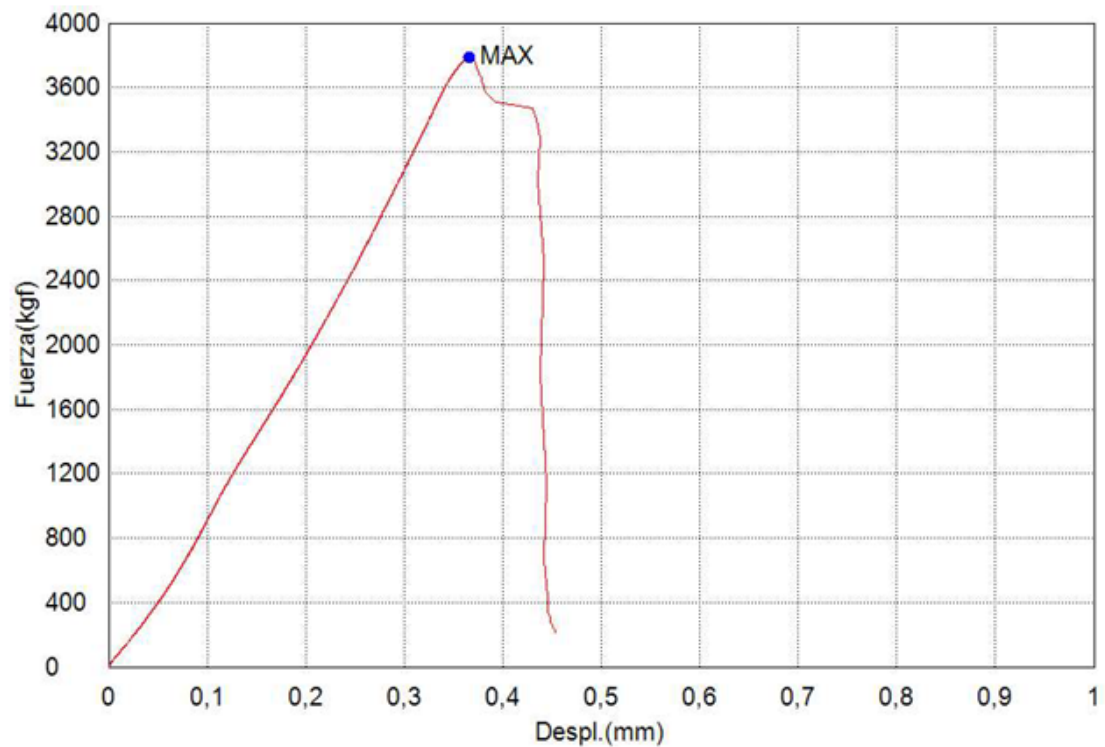
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3348,01		0,36975	0,14790
Media	3348,01		0,36975	0,14790
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1809.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

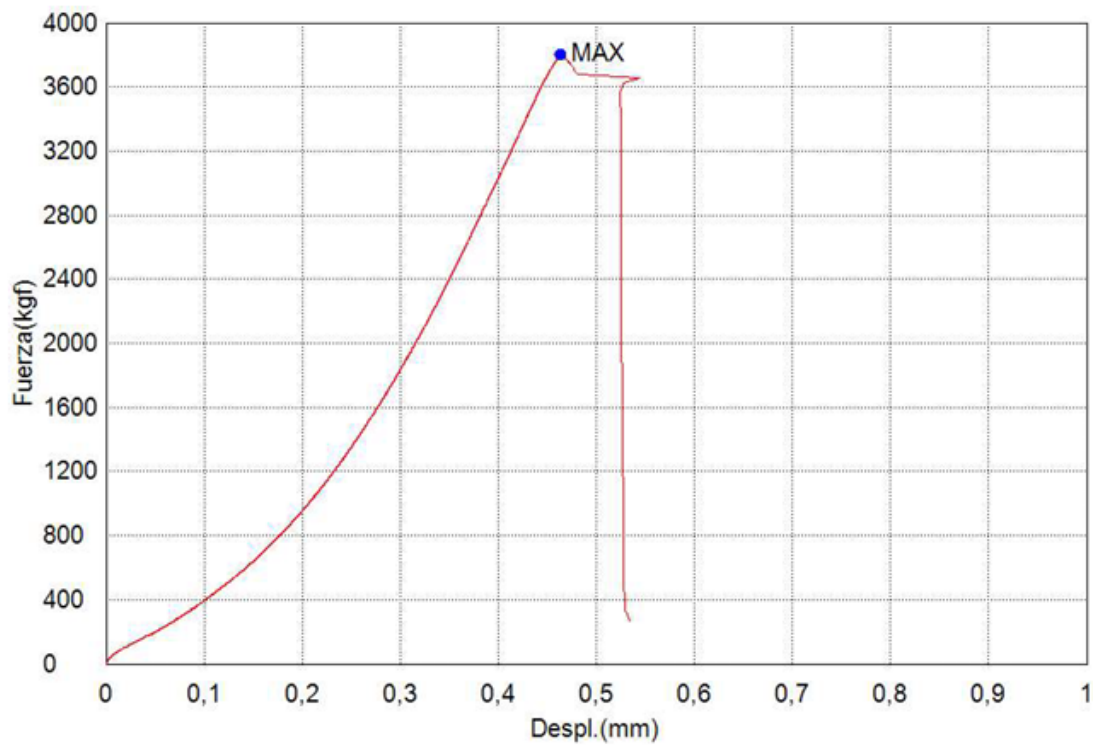
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3784,85		0,36550	0,14620
Media	3784,85		0,36550	0,14620
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1816.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

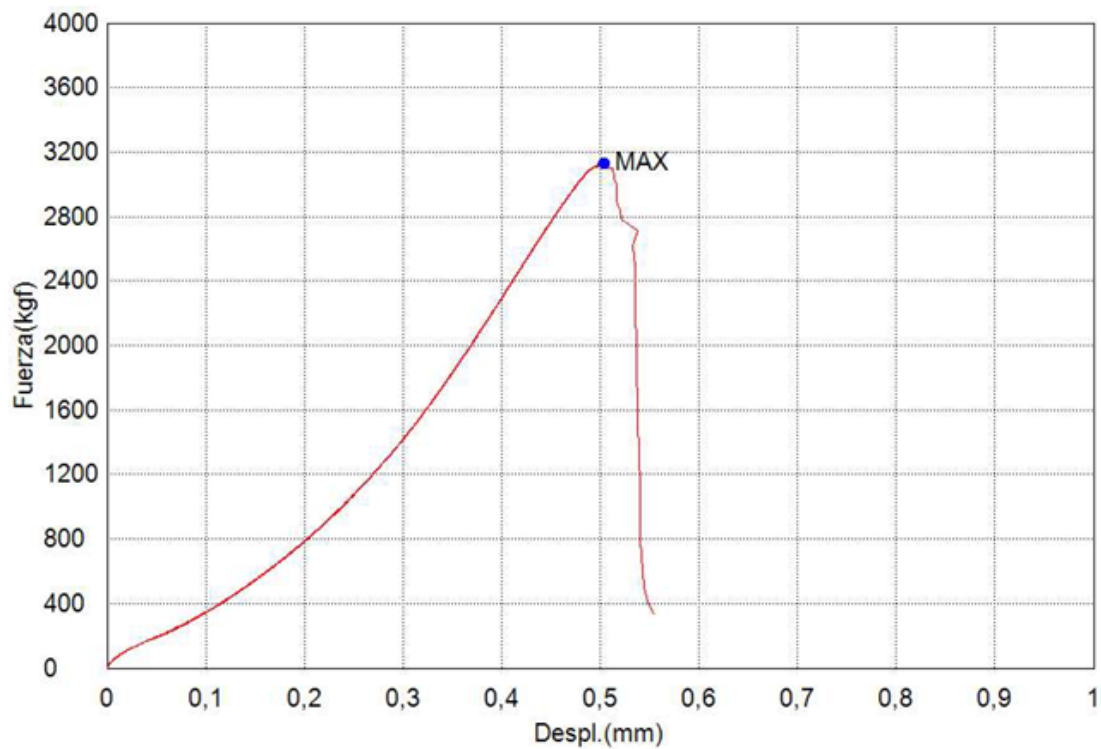
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3801,35		0,46325	0,18530
Media	3801,35		0,46325	0,18530
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 14 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240613_1823.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	13/6/2024	Fecha de ensayo	13/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

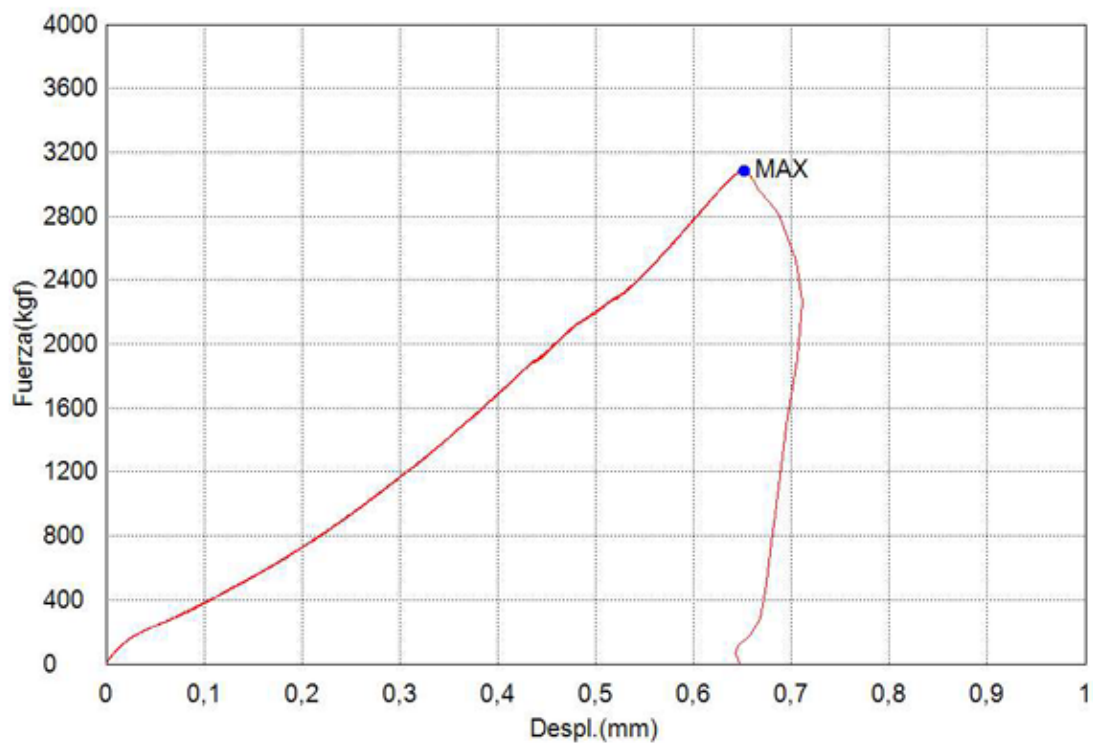
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3129,37		0,50388	0,20155
Media	3129,37		0,50388	0,20155
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón tradicional - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1712.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

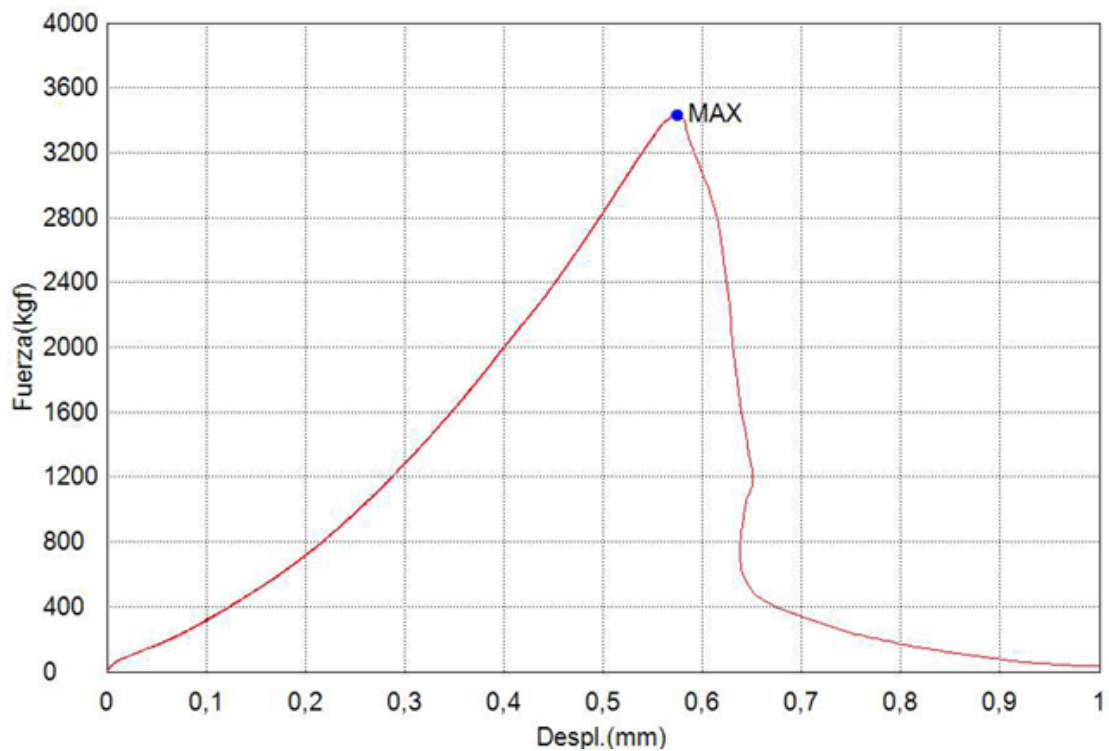
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3084,50		0,65138	0,26055
Media	3084,50		0,65138	0,26055
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón tradicional - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1722.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

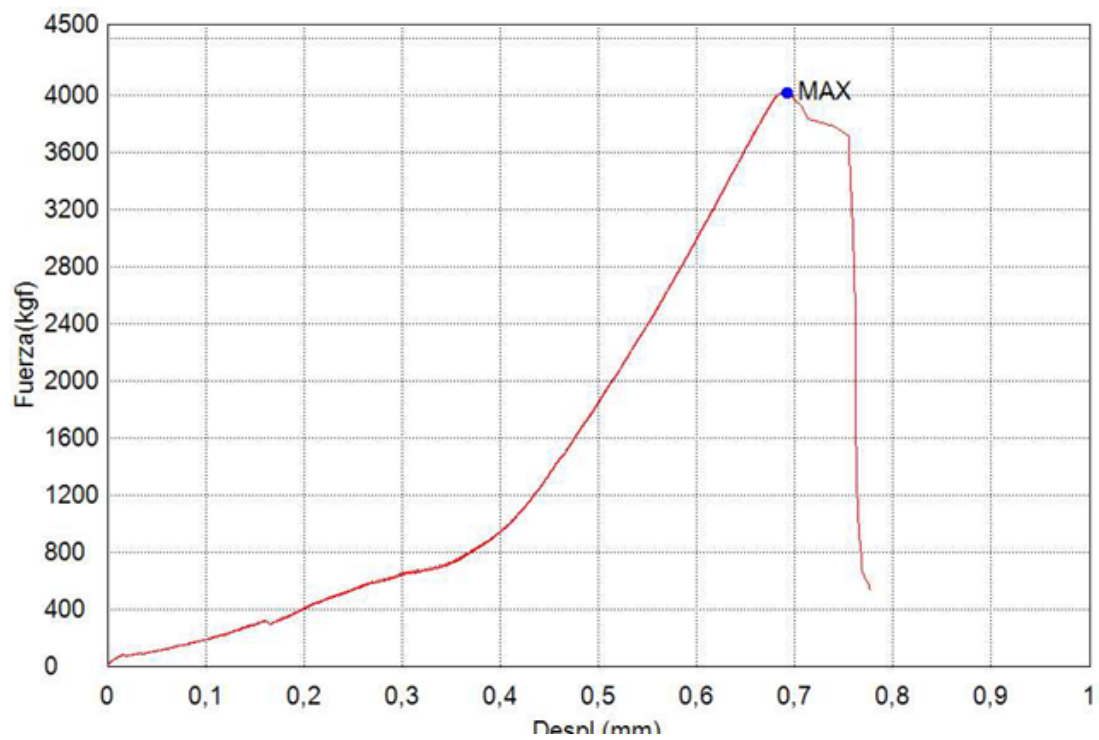
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3428,47		0,57488	0,22995
Media	3428,47		0,57488	0,22995
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240624_1619.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

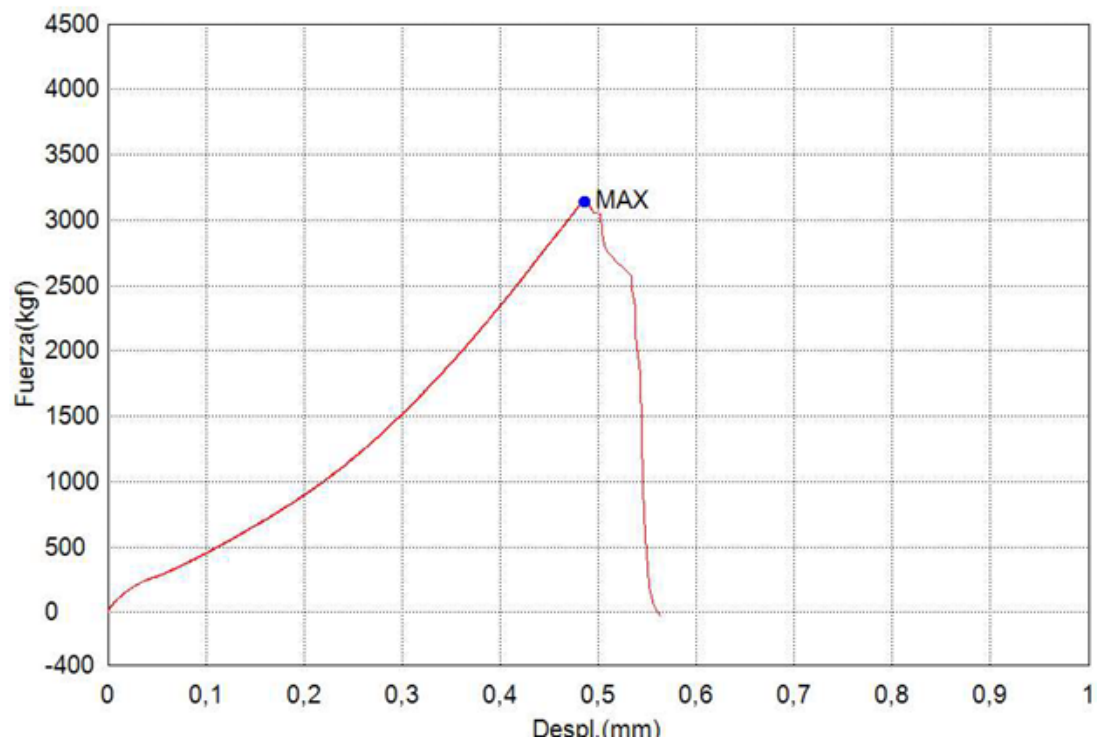
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas Unidad kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	4013,09		0,69275	0,27710
Media	4013,09		0,69275	0,27710
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1630.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

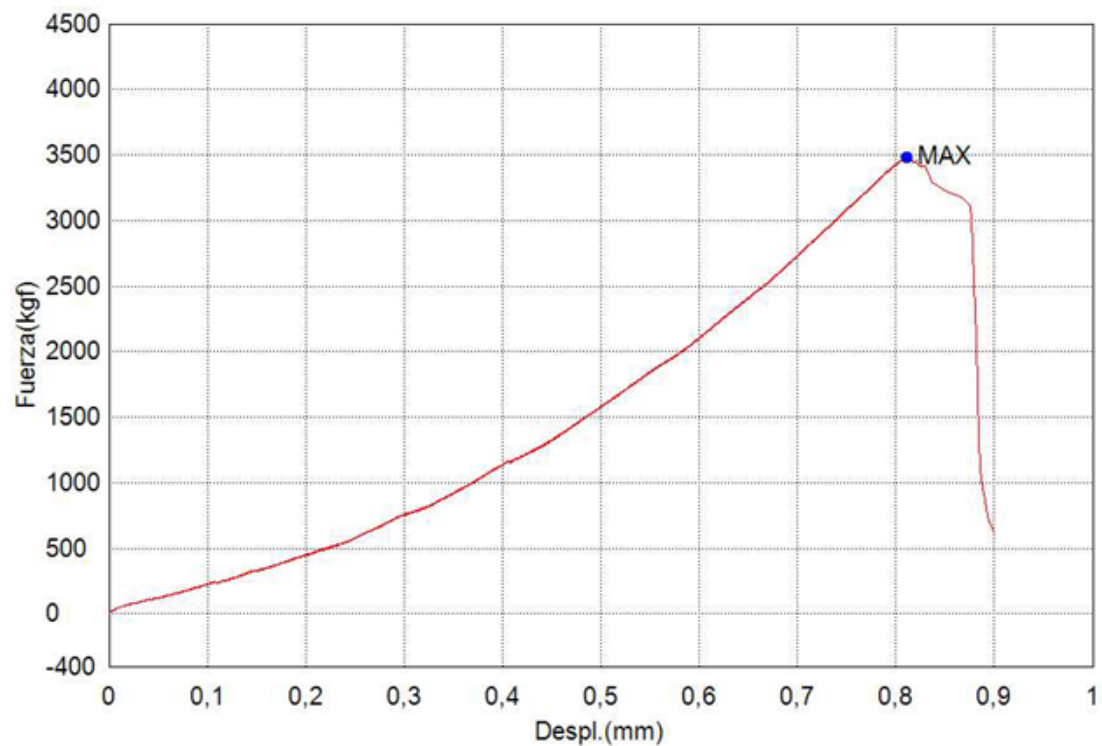
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3144,67		0,48563	0,19425
Media	3144,67		0,48563	0,19425
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 3% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1650.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

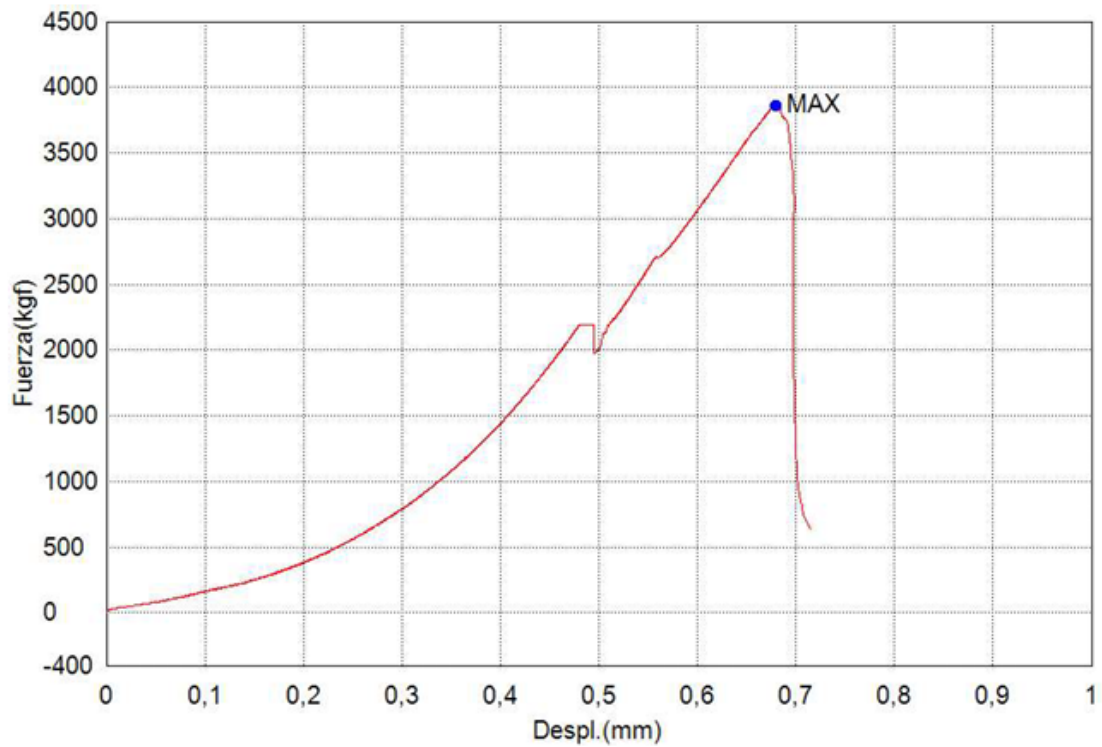
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas Unidad kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3480,82		0,81088	0,32435
Media	3480,82		0,81088	0,32435
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1706.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

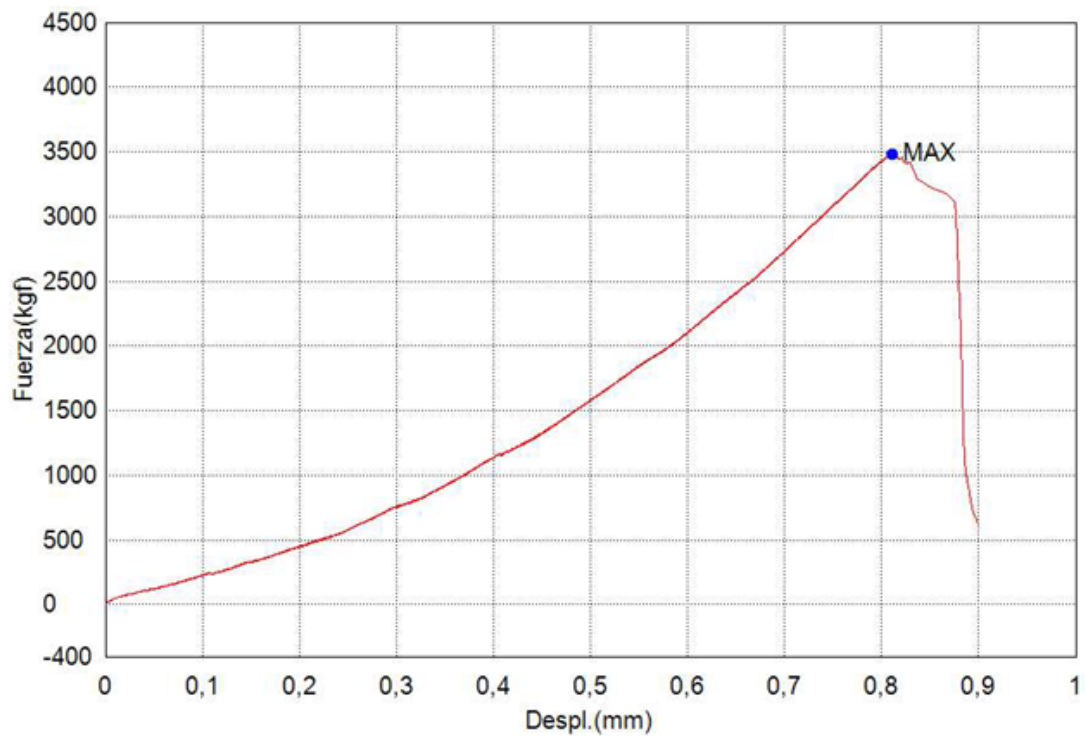
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3861,87		0,67938	0,27175
Media	3861,87		0,67938	0,27175
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1712.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

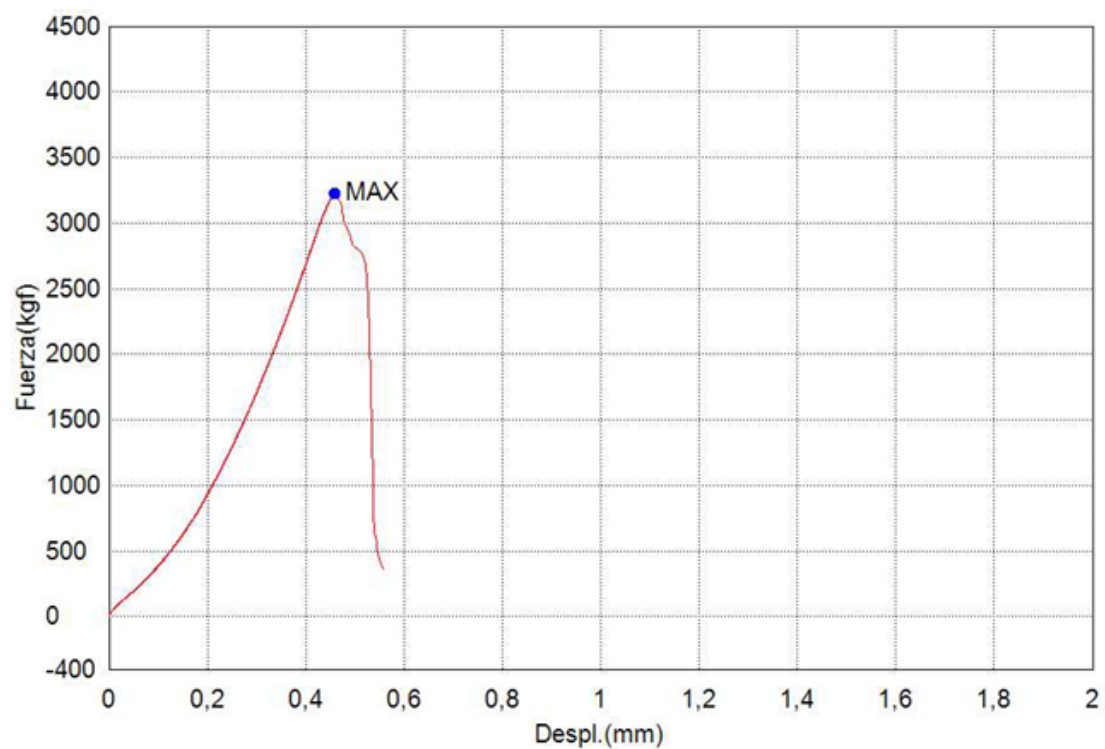
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3451,70		0,67888	0,27155
Media	3451,70		0,67888	0,27155
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 6% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1721.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

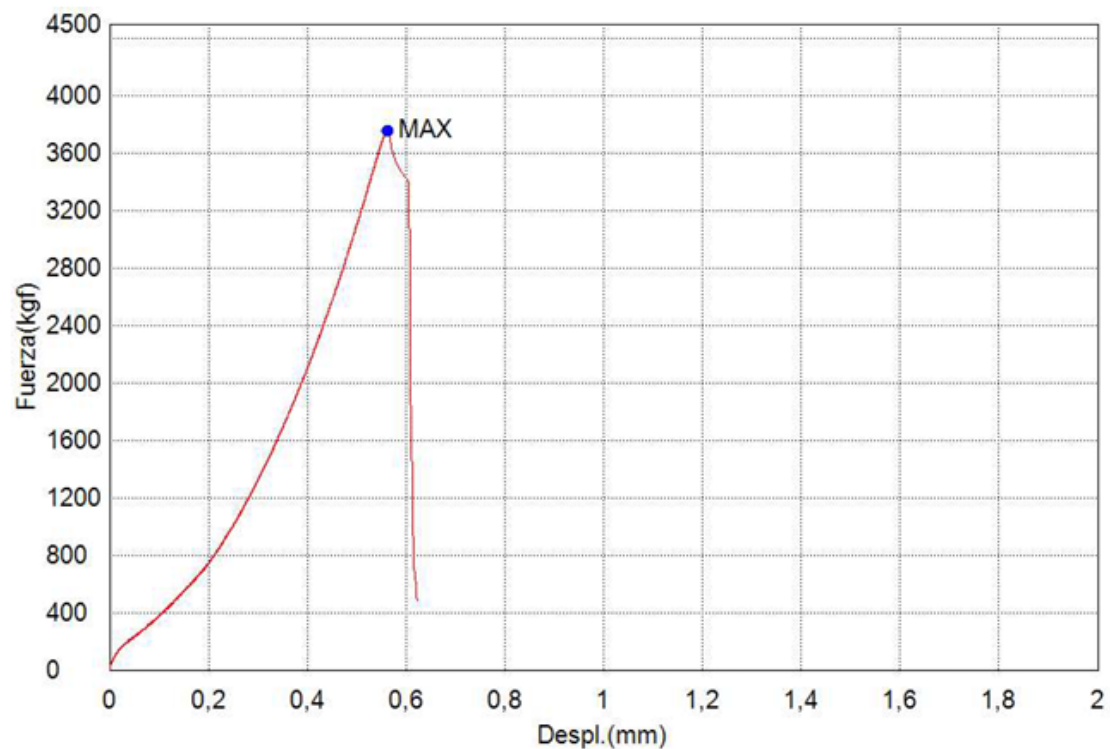
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3221,53		0,45863	0,18345
Media	3221,53		0,45863	0,18345
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1547.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

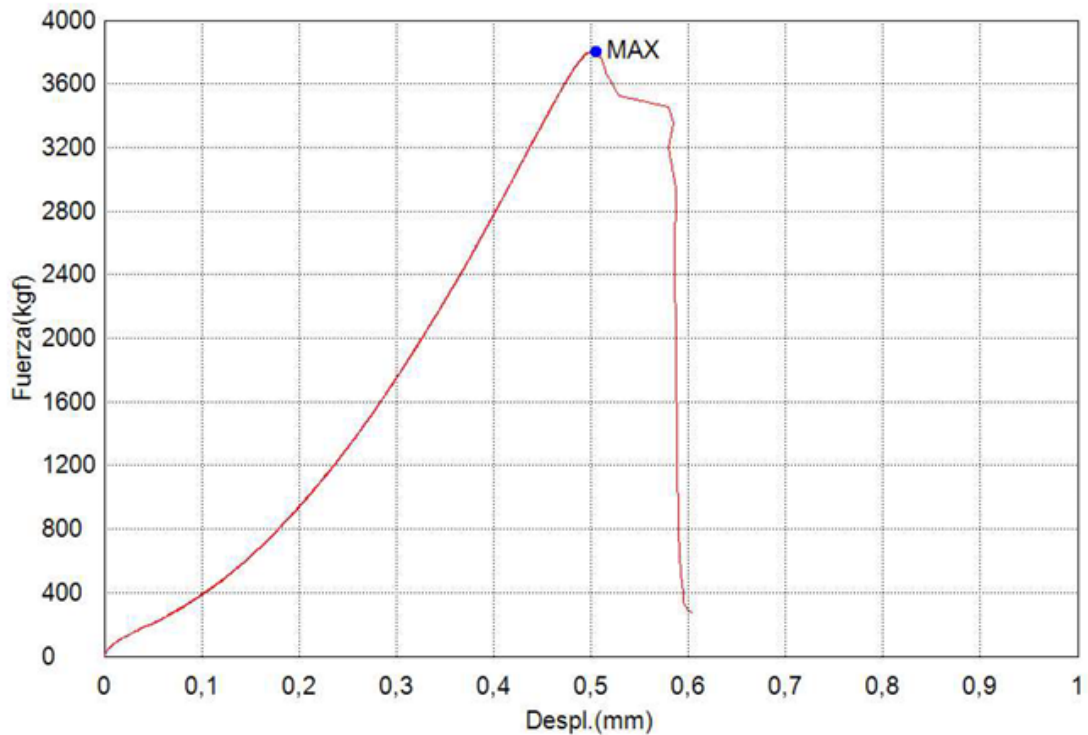
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max. _Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3752,66		0,56288	0,22515
Media	3752,66		0,56288	0,22515
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1547.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

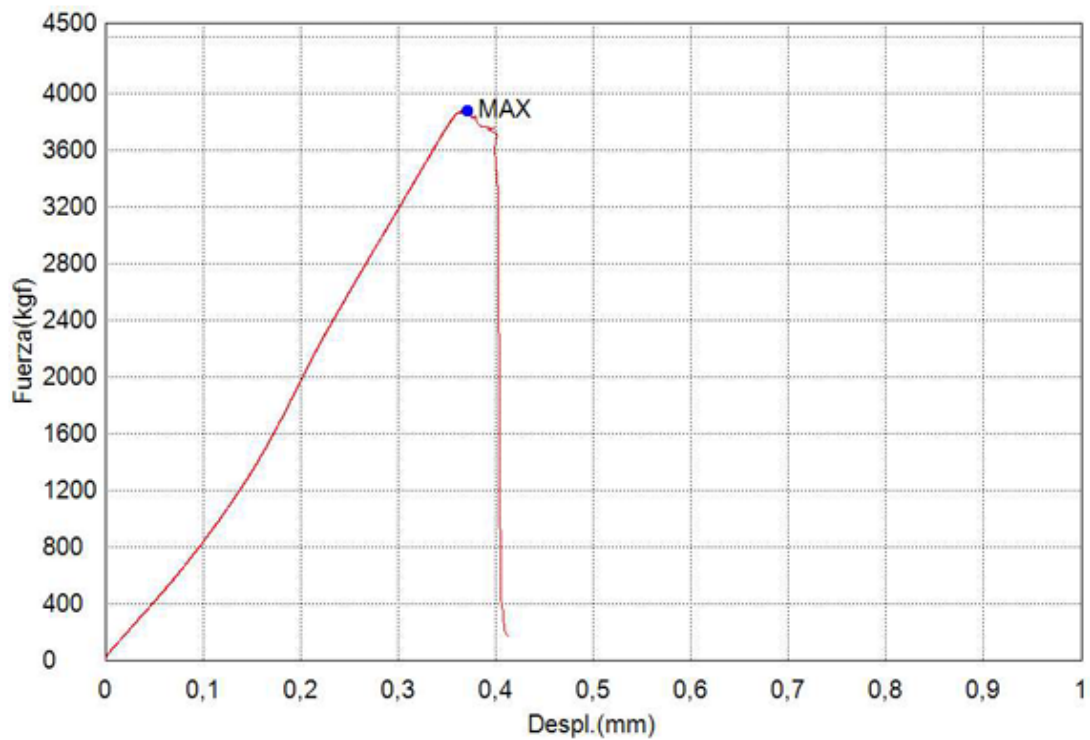
Nombre Parametros Unidad	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas kgf	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas kgf/cm2	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas mm	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas %
1_1	3782,6		0,56288	0,22515
Media	3782,6		0,56288	0,22515
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



- Hormigón con 9% de viruta - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1547.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Sencillo	Tipo de ensayo	Flexion 4 ptos.
Velocidad	12kgf/cm2/min	Forma	Plana
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1

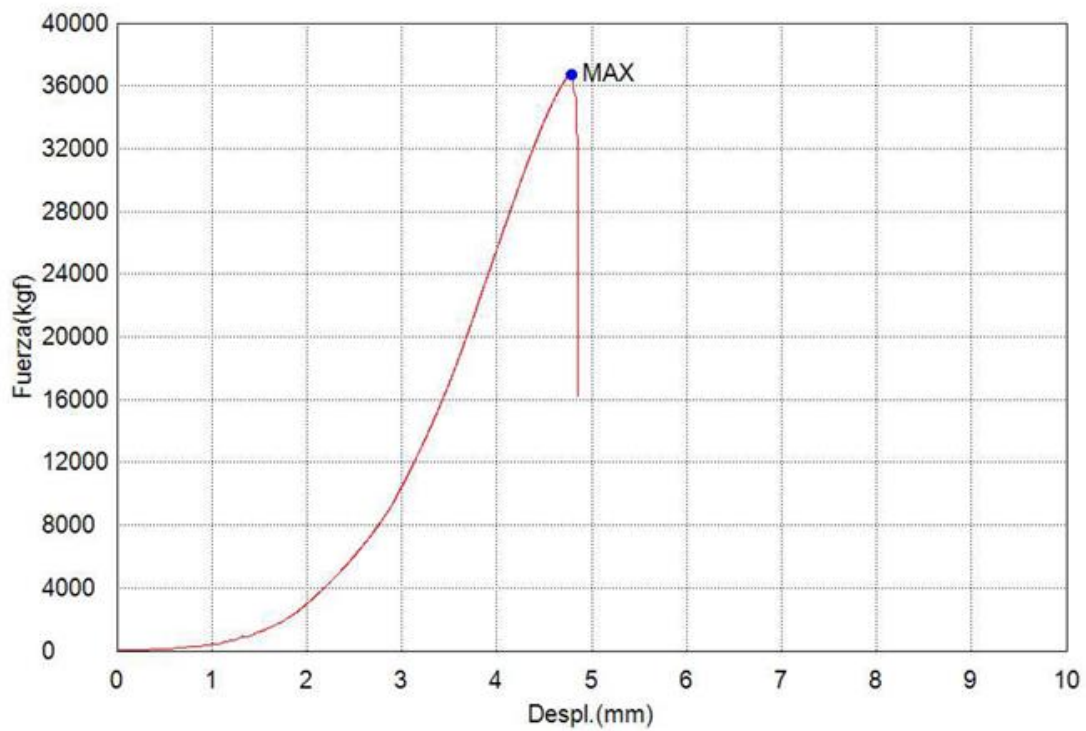
Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Esfuerzo Calc. at Entire Areas	Max._Desplazamiento Calc. at Entire Areas	Max._Deformacion Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2	mm	%
1_1	3878,66		0,37088	0,14835
Media	3878,66		0,37088	0,14835
Desviacion Estandar	--	--	--	--
Rango	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000



Resistencia máxima obtenida a la compresión 6% - 28 días

Palabra llave		Nombre de producto	
Nombre de archivo de ensayo	_20240626_1740.xtux	Nombre de metodo de ensayo	
Fecha de informe	26/6/2024	Fecha de ensayo	26/6/2024
Modo de Ensayo	Concrete	Tipo de ensayo	Compresion
Velocidad	2,5kgf/cm2/sec	Forma	Cylinder
Nºde partidas:	1	Nºde muestras:	1


Nombre Parametros	Max._Fuerza Calc. at Entire Areas	Max._Tension Calc. at Entire Areas
Unidad	kgf	kgf/cm2
1_1	36700	449
Media	36700	449
Desviacion Estandar	--	--
Rango	0,00000	0,00000




AUTORIZACIÓN DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Nosotros, **Alex Antony Armijos Lojano** y **Neyber Eduardo Cruz Torres** portadore(a)s de las cédulas de ciudadanía N.º 1900667070 y 1950018513. En calidad de autore(a)s y titulares de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación **“Incidencia de la viruta de acero en el comportamiento de pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos de flexión”** de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconocemos a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizamos a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 24 de septiembre de 2024

F:

Alex Antony Armijos Lojano
1900667070

F:

Neyber Eduardo Cruz Torres
1950018513