

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



**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de  
acero oxidadas**

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

**AUTOR**

**Victor Jesus Chozo Martinez**

**ASESOR**

**Jose Alfredo Rolando Cespedes Deza**

<https://orcid.org/0000-0003-1579-8388>

**Chiclayo, 2023**

**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de  
virutas de acero oxidadas**

PRESENTADA POR  
**Victor Jesus Chozo Martinez**

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

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

**Manuel Alejandro Borja Suarez**  
PRESIDENTE

**Gian Franco Perez Garavito**  
SECRETARIO

**Jose Alfredo Rolando Cespedes Deza**  
VOCAL

### **Dedicatoria**

El presente trabajo investigativo está dedicado a Dios Padre Celestial, por haberme dado la fortaleza y entendimiento en cada proceso de mi formación profesional.

A mi madre, por su sacrificio y vigor en este largo camino, por cuantas veces madrugaba para brindarme lo mejor y que, aquellas oraciones han sido ostensibles en cada una de las bendiciones que el Todopoderoso me ha otorgado.

A mis seres queridos, Julio Augusto y Luis Miguel, lo cual el tiempo no les alcanzó para compartir lo que más anhelaba pero que desde la eternidad ha sido mis ángeles en este caminar.

A mis hermanas y hermanos, en especial a Lorena Paredes, por todo su apoyo y amor brindado.

A mi novia, Claudia Medina, por tu apoyo sin condiciones, por haber confiado siempre en la capacidad de lograr mis objetivos, es muy significativo el hecho de haber logrado lo que siendo adolescente te confié, gracias por ser mi motor y motivo.

### **Agradecimientos**

Hacer extensivo mi agradecimiento, al Ing. Carlos Rafael Tafur Jiménez, por los conocimientos constantes que pudo compartirme para el inicio y desarrollo de esta investigación, y sobre todo por la calidad humana.

Agradecer a mi asesor, el Ing. Jose Cespedes Deza y al Ing. Miguel Fanzo Masias por el apoyo otorgado para culminar con éxito la presente investigación.

Al técnico de laboratorio Henry Rivadeneyra Oblitas, por las pautas técnicas que fueron necesarias para el desarrollo de la investigación.

## Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas.

### INFORME DE ORIGINALIDAD



### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>9%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.utea.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.uladech.edu.pe</b> Fuente de Internet	

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>14</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>15</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>16</b>
<b>Revisión de literatura .....</b>	<b>20</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>20</b>
Antecedentes Internacionales.....	20
Antecedentes Nacionales .....	23
Antecedes Locales.....	25
<b>Bases Teóricas.....</b>	<b>25</b>
Concreto Simple.....	25
Elementos constituyentes del concreto .....	26
Propiedades del concreto en estado fresco.....	28
Propiedades del concreto en estado endurecido.....	29
Variación volumétrica en el concreto .....	31
Efectos causantes de fisuración del concreto en estado plástico.....	31
Efectos causantes de fisuración del concreto en estado endurecido .....	33
Fibras de acero .....	34
Clasificación de fibras de acero .....	34
Ventajas del uso de fibras de acero .....	35
Virutas de acero.....	35
Clases de virutas de acero .....	35
Pavimento.....	36
Clasificación de pavimentos .....	36
Ensayos de los materiales .....	38
Agregados .....	38
Concreto en estado fresco .....	43
Concreto en estado endurecido .....	45
Virutas de acero.....	50
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>53</b>
<b>Tipo, nivel, método y diseño de la investigación.....</b>	<b>53</b>

Tipo de la investigación .....	53
Nivel de investigación.....	53
Método de investigación .....	53
Diseño de investigación .....	53
<b>Hipótesis .....</b>	<b>53</b>
Formulación de hipótesis .....	53
<b>Operacionalización de variables .....</b>	<b>54</b>
<b>Diseño de investigación .....</b>	<b>55</b>
Unidad de estudio.....	55
Población y muestra .....	55
<b>Muestreo.....</b>	<b>57</b>
<b>Criterios de Selección.....</b>	<b>57</b>
<b>Criterios de Aplicación .....</b>	<b>58</b>
<b>Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>58</b>
Técnicas .....	58
Instrumentos de recolección de datos .....	59
<b>Procedimientos .....</b>	<b>60</b>
<b>Resultados y Discusión.....</b>	<b>63</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>63</b>
<b>Identificación, clasificación y uniformización de virutas de acero oxidadas.....</b>	<b>63</b>
<b>Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas.....</b>	<b>64</b>
<b>Ensayos de los materiales granulométricos .....</b>	<b>66</b>
Granulometría de los agregados.....	66
Peso específicos y grado de absorción de los agregados .....	68
Contenido de humedad de los agregados .....	69
Peso unitario volumétrico .....	69
<b>Diseño de mezcla .....</b>	<b>71</b>
<b>Ensayos del Concreto en Estado Plástico.....</b>	<b>71</b>
Prueba de cono de abrams.....	71

Potencial de fisuración .....	72
<b>Ensayos del Concreto en Estado Endurecido .....</b>	<b>73</b>
Ensayo de resistencia a compresión .....	73
Ensayo de resistencia a tracción indirecta .....	74
Ensayo de resistencia a flexión .....	75
Ensayo de módulo de elasticidad y poisson .....	76
Ensayo de durabilidad del concreto .....	77
<b>Lineamientos de proceso constructivo para pavimento de concreto simple reforzado con virutas de acero oxidadas .....</b>	<b>79</b>
Verificación de equipos de mezclado, encofrados y equipos de transporte .....	79
Materiales puestos en mezcladora .....	79
Descarga de mezcla de concreto .....	80
Colocación del concreto .....	80
Acabado del concreto .....	80
Curado del concreto .....	80
<b>Análisis de costo unitario del concreto .....</b>	<b>81</b>
<b>Discusión .....</b>	<b>83</b>
<b>Ensayos del Concreto en Estado Plástico .....</b>	<b>83</b>
Prueba de cono de abrams .....	83
Potencial de fisuración .....	83
<b>Ensayos del Concreto en Estado Endurecido .....</b>	<b>83</b>
Ensayo de resistencia a compresión .....	83
Ensayo de resistencia a flexión .....	84
Ensayo de durabilidad del concreto .....	84
<b>Conclusiones .....</b>	<b>85</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>87</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>88</b>

**Anexos .....91**

## Lista de Tablas

Tabla 1: Análisis de índice unificado de acero de construcción corrugado y liso en los últimos 5 años. ....	18
Tabla 2: Clase de cementos de acuerdo con la normativa peruana .....	26
Tabla 3: Agregados y consideraciones de acuerdo con la normativa peruana.....	27
Tabla 4: Límites permisibles NTP 339.088:2006 .....	27
Tabla 5: Factores que afectan la manejabilidad. ....	28
Tabla 6: Tipos de acuerdo con la resistencia obtenida de compresión.....	30
Tabla 7 Factores que afectan la contracción por secado. ....	33
Tabla 8 evaluación de fisuras bajo la aplicación de cargas. ....	34
Tabla 9: Clasificación de pavimentos de concreto considerando el tipo de diseño. ....	38
Tabla 10: Operacionalización de variables. ....	54
Tabla 11 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=1” .....	64
Tabla 12 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=1.5” .....	65
Tabla 13 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=2” .....	65
Tabla 14 Granulometría del agregado fino. ....	66
Tabla 15 Granulometría del agregado grueso. ....	67
Tabla 16 Peso específico y absorción del agregado fino.....	68
Tabla 17 Peso específico y absorción del agregado grueso. ....	68
Tabla 18 Contenido de humedad del agregado fino.....	69
Tabla 19 Contenido de humedad del agregado grueso.....	69
Tabla 20 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino. ....	70
Tabla 21 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino. ....	70
Tabla 22 Resultado de diseño de mezcla, materiales en kg/m <sup>3</sup> . ....	71
Tabla 23 Resultado de diseño de mezcla, dosificación en peso y volumen. ....	71
Tabla 24 Crr promedio de ensayo potencial de fisuración. ....	72
Tabla 25 Resultados de resistencia a compresión en muestra patrón y virutas de acero oxidadas.....	73

Tabla 26 Cuadro comparativo de resistencia a compresión. ....	73
Tabla 27 Resistencia a tracción indirecta de concreto patrón y con adición de VAO .....	74
Tabla 28 Mr promedio de resistencia a flexión - 28 días. ....	75
Tabla 29 Porcentaje de incrementó en las adiciones de concreto. ....	76
Tabla 30 Análisis de coste para recolección y tratamiento de virutas de acero oxidadas.....	81
Tabla 31 Análisis de coste para losa f'c 280 kg/cm2. ....	81
Tabla 32 Análisis de coste para losa f'c 280 kg/cm2 con añadidura de VAO .....	82
Tabla 33 Síntesis de ACU para la fabricación de 1m3 de concreto. ....	82

## Lista de Figuras

Figura 1 Deterioro de Pavimento Rígido en Av. Chiclayo intersección con Carlos Llosa y Llosa.....	17
Figura 2: Proceso de efecto de exudación.....	29
Figura 3 Correlación de elasticidad y a/c .....	30
Figura 4 Tiempo de exposición y la contracción. ....	32
Figura 5 Niveles de capas estructurales de pavimentos asfálticos. Fuente propia. ....	37
Figura 6 Niveles de capas estructurales de un pavimento de tipo rígido. Fuente propia. ....	37
Figura 7 Caracterización de la forma geométrica de virutas de acero. Fuente propia. ....	50
Figura 9 Optimización de corte de virutas de acero.    Figura 8 Virutas de acero cortadas....	50
Figura 10 Virutas de acero sumergidas en agua durante un periodo de 3h. Fuente propia.....	51
Figura 11 Exposición de virutas de acero a condiciones ambientales. Fuente Propia .....	51
Figura 12 Comparación de virutas de acero en su estado normal vs superficialmente oxidadas. Fuente Propia.....	51
Figura 13 Medición de diámetro (espesor) de virutas de acero pre-tratamiento de oxidación. Fuente propia.....	52
Figura 14 Total de muestras cilíndricas ensayadas para resistencia a compresión .....	55
Figura 15 Total de muestras cilíndricas ensayadas para resistencia a tracción indirecta. ....	56
Figura 16 Total de muestras prismáticas ensayadas para resistencia a flexión en vigas.....	56
Figura 17 Total de muestras prismáticas ensayadas para ensayo de durabilidad al ataque de sulfatos. ....	56
Figura 18 Total de muestras cilíndricas ensayadas para ensayo de módulo de elasticidad. ....	57
Figura 19 Consideraciones de aplicación para pavimentos rígidos con adición de virutas de acero oxidadas.....	58
Figura 20 Ensayos de materiales empleados de la investigación.....	59
Figura 21 Ubicación de empresa manufacturera de servicio de torno. ....	60
Figura 22 Almacenamiento y selección de virutas de acero. ....	60
Figura 23 Virutas de acero de L=1" en su estado normal. ....	61
Figura 24 Tratamiento de oxidación a nivel superficial de virutas de acero.....	61

Figura 26 Torno de tipo vertical.....	63
Figura 25 Torno de puntos. ....	63
Figura 27 Identificación y clasificación de virutas de acero. ....	64
Figura 28 Proceso de oxidación de virutas de acero. ....	65
Figura 29 Registro de peso post-tratamiento.....	65
Figura 30 Curva del análisis granulométrico del agregado fino. Fuente propia .....	66
Figura 31 Curva granulométrica de agregado grueso. ....	67
Figura 32 Prueba de slump.....	72
Figura 33 Comparación de resistencias a compresión. ....	74
Figura 34 Cuadro comparativo de resistencia a tracción indirecta. ....	75
Figura 35 Resistencia a flexión - 28 días. ....	76
Figura 36 Módulo de elasticidad y coeficiente de poisson. ....	77
Figura 37 Ensayo de durabilidad del concreto para muestra patrón. ....	77
Figura 38 Ensayo de durabilidad del concreto con VA 1" al 4% .....	78
Figura 39 Ensayo de durabilidad para concreto con VAO 1" al 4%.....	78
Figura 40 Ensayo de durabilidad para concreto con VA 1 1/2" al 4%.....	78
Figura 41 Ensayo de durabilidad de concreto con VAO 2" al 4% .....	78
Figura 42 Visita a empresa de Torno. ....	91
Figura 41 Recolección de virutas de acero.....	91
Figura 44 Muestreo de virutas de acero. ....	91
Figura 43 Medición de espesor de virutas de acero. ....	91
Figura 45 Aspecto rugoso de viruta de acero oxidada .....	91
Figura 46 Aspecto liso de viruta de acero. ....	91
Figura 47 Fotos de ensayo de agregado fino para diseño de mezcla. ....	96
Figura 48 Ensayo de agregado grueso para diseño de mezcla. ....	100

## Lista de anexos

Anexo 1: Empresa de torno “Sr. De los Milagros” .....	91
Anexo 2 Ensayos de los agregados: grueso y fino. ....	92
Anexo 3: Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas L=1”, 1 ½” y 2” .....	101
Anexo 4: Diseño de mezcla patrón $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ .....	104
Anexo 5: Ensayos al concreto, Resistencia a compresión.....	105
Anexo 6 Ensayos al concreto, Resistencia a tracción indirecta.....	109
Anexo 7 Resistencia a flexión en vigas.....	112
Anexo 8 Ensayos al concreto, Módulo de elasticidad y relación de poisson. ....	114
Anexo 9 Ensayo de potencial de fisuración. ....	115
Anexo 10 Producción del concreto en laboratorio. ....	119
Anexo 11 Prueba de asentamiento para adiciones de concreto.....	120
Anexo 12 Prueba a flexión en vigas de concreto con adición de virutas de acero oxidadas. ....	121
Anexo 13 Prueba de tracción indirecta.....	122
Anexo 14 Prueba de potencial de fisuración. ....	123
Anexo 15 Prueba de módulo de elasticidad y relación de poisson. ....	123
Anexo 16 Prueba de resistencia a compresión. ....	124
Anexo 17 Prueba de ensayo de durabilidad del concreto.....	125
Anexo 18 Fichas de observación de virutas de acero oxidadas y sin oxidar.....	126

## Resumen

En los últimos años, el sector construcción se ha desarrollado de manera considerable, lo cual la sobre explotación de las materias primas para la ejecución de las diferentes obras ingenieriles como carreteras, ha llevado a optar por nuevas tecnologías, como reutilización de los insumos que han cumplido su tiempo de utilidad en otros sectores. En tal sentido, el aprovechamiento de estos y la eficiencia que presentan como adición radica en el tratamiento que se le brinda para ser adicionados y se presente como una alternativa sostenible de reutilización de materiales. Esta investigación ha buscado estudiar la añadidura de virutas de acero oxidadas realizándole un tratamiento superficial de oxidación con la finalidad de mejorar la adherencia de este insumo con los componentes del concreto para uso en pavimentos rígidos, y en efecto, lograr aumentar las propiedades mecánicas de estos. En el presente estudio se realizó una mezcla patrón de  $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$  y se ha evaluado la variación de las longitudes y porcentajes de 1", 1 ½", 2" y 2%, 3%, 4%, respectivamente con la finalidad de estudiar la resistencia a compresión, tracción indirecta y lograr una máxima resistencia a flexión con la adición de virutas de acero oxidadas.

### Palabras clave:

Fibras de acero, virutas de acero oxidadas, corrosión fibras.

### **Abstract**

In recent years, the construction sector has developed considerably, which the over exploitation of raw materials for the execution of different engineering works such as roads, has led to opt for new technologies, such as reuse of inputs that have fulfilled its useful life in other sectors. In this sense, the use of these and the efficiency that they present as an addition lies in the treatment that is given to be added and is presented as a sustainable alternative for the reuse of materials. This research has sought to study the addition of oxidized steel shavings, performing a superficial oxidation treatment to improve the adhesion of this input with the components of concrete for use in rigid pavements, and in effect, to increase the mechanical properties of these. In the present study, a standard mix of  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup> was made and the variation of the lengths and percentages of 1", 1 ½", 2" and 2%, 3%, 4%, respectively, to study the compressive strength, indirect traction and achieve maximum flexural strength with the addition of oxidized steel shavings.

### **Keywords:**

Steel fibers, rusty steel shavings, fiber corrosion.

## **Introducción**

El desarrollo de proyectos de infraestructura vial en cada país es uno de los elementos que favorece el desarrollo económico y social, ya que permite la accesibilidad y conectividad entre los diferentes pueblos y/o sociedades de cada ciudad.

Según Jakarni et al 2018, en el estudio realizado a 60 países del mundo, lograron analizar la influencia de la infraestructura vial en el crecimiento económico, obteniendo resultados favorables dado que los países con un mayor crecimiento económico tenían una mayor capacidad de red vial. [1]

En el 2019 se realizó el World Economic Forum, denominado “The Global Competitiveness Report” lo cual se evaluó pilares de competitividad que permitía el crecimiento económico en 141 países a nivel mundial, tales como el estudio de Instituciones, Estabilidad Macroeconómica e Infraestructura. El país que cuenta con una calidad superior en infraestructura vial es Singapur (1° - 84.8), seguido de Estados Unidos (2° - 83.7) y Hong Kong (3° - 37.1), teniendo la característica peculiar de ser potencias mundiales y tener una estabilidad económica estable. Por otra parte, en el análisis a países de América del Sur, se encuentra liderando la tabla Chile (N. 33), Uruguay (N. 54), Colombia (N. 57) y Perú (N. 65). [2]

La infraestructura vial, como son las redes nacionales compone la columna vertebral del transporte terrestre en Perú, siendo una red eficiente que junto a la red vial departamental y regional permite la integración nacional. Por tanto, la construcción de las diferentes redes viales ya sea carreteras pavimentadas y no pavimentadas ha ido avanzando considerablemente, lo que ha permitido brindarle a la población estándares de calidad de vida en salud, alimentación, educación y el ámbito laboral. En este último, se ha logrado generar la descentralización mercantil de regiones, es decir, la creación y desarrollo de nuevos mercados, disminución de los costos de transporte (flete), mayor productividad en bienes y servicios. En este sentido, las actividades que se dan mediante el sector primario, secundario y terciario, sin el avance progresivo de las redes viales tendrían muchas limitaciones debido a las condiciones climáticas y topográficas del país, además que desde el proceso de extracción hasta comercialización el modo de transporte principal se realiza de manera terrestre a través de las carreteras.

Provias Nacional en su Memoria Anual 2019, hace énfasis al desarrollo de las redes nacionales pavimentadas, incrementándose en un 45% durante los años 1990-2019. De modo que, se pavimentaron (asfalto y rígido) 22172.00 km, generando un incremento del 3% en el

último año de estudio. Sin embargo, la realidad es otra para las no pavimentadas, lo cual cada año su ejecución desciende, en el 2019 fue de solo 4881.00 km [3]

A pesar del incremento de las redes nacionales con la aplicación de pavimentos flexibles y rígidos, las diversas condiciones climáticas que posee el territorio peruano generan problemas en la durabilidad y tiempo de servicio de la estructura.

La rasante del pavimento rígido es la capa superficial que se somete a las elevadas temperaturas y vientos considerables de la zona, lo cual son factores climáticos que favorecen la manifestación prematura de grietas y/o fisuras ya que el concreto absorbe los esfuerzos generados a compresión de modo adecuado, sin embargo, el costo generado por la construcción es elevado, debido a que se debe mejorar la resistencia a tracción y flexión, proyectando muchas veces losas de concreto reforzadas con acero (mallas electrosoldadas) para de esta forma proyectar pavimentos que no necesite mantenimientos durante los primeros años de servicio.

Tal como refiere [4], en el análisis de los datos meteorológicos en la ciudad de Chiclayo, se indica que durante el verano se presentaron temperaturas por encima de los 25°C y vientos moderados entre 30km/h y 50 km/h, en consecuencia, estas condiciones promueven la variación volumétrica temprana en los elementos de concreto, como el agrietamiento por contracción plástica. De esta manera, en el medio regional de los diferentes distritos de la provincia de Chiclayo es evidente las patologías en pavimentos rígidos, ya sea grietas o fallas, lo cual afecta la transitabilidad vial y genera malestar en la población para el desenvolvimiento de sus actividades.

En esta perspectiva, surgió el problema de la presente investigación, lo cual se traduce en la siguiente expresión ¿Las virutas de acero oxidadas añadidas al concreto generan un acrecentamiento en la resistencia de sus propiedades mecánicas en comparación con el concreto convencional?

Figura 1 Deterioro de Pavimento Rígido en Av. Chiclayo intersección con Carlos Llosa y Llosa.



**Fuente:** Propia.

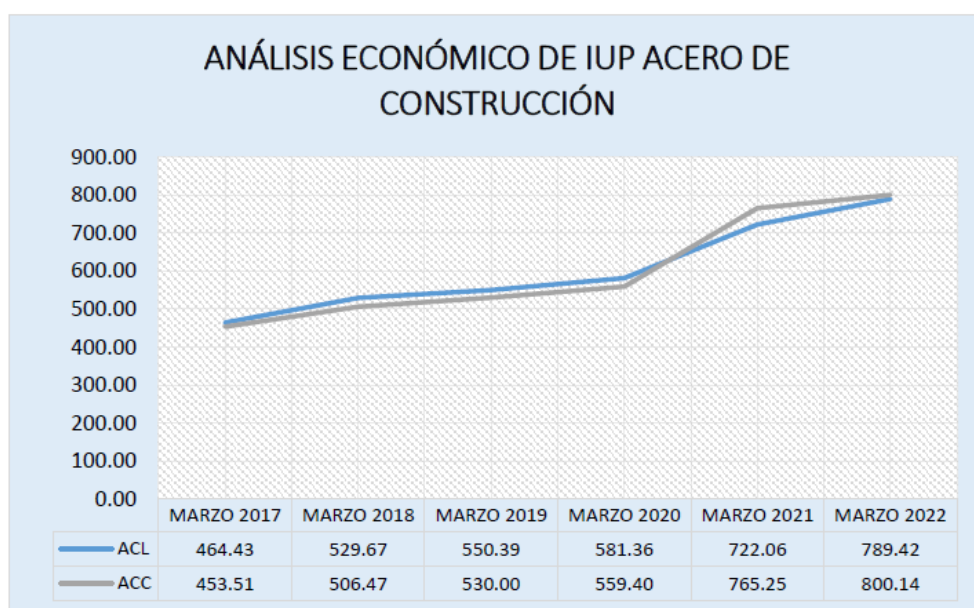
Para el desarrollo de la investigación se emplearon virutas de acero proveniente del taller de manufactura “Sr. De los Milagros” EIRL, ubicado en la calle Tahuantinsuyo No. 1550 del distrito de José Leonardo Ortiz, provincia de Chiclayo para posteriormente realizar un tratamiento superficial de oxidación a nivel superficial.

Debe señalarse que, en los últimos años, el sector construcción ha innovado en nuevas tecnologías de adición como la utilización de fibras de acero con el fin de mejorar de las propiedades mecánicas del concreto y brindar mayor tiempo de durabilidad. Además, debido a que las virutas de acero tienen un comportamiento similar a las fibras de acero industriales permite optimizar los excedentes de los talleres de manufactura, lo cual, su eficiencia estará sujeta al tratamiento que se les brinda antes de ser incorporadas.

En relación con la problemática expuesta, desde el enfoque económico, la investigación contribuye a presentar una alternativa para la optimización de los residuos generados por los talleres de torno debido a que son desechos que no tienen un alto costo respecto a las fibras comerciales. Asimismo, evita el sobrecosto en los materiales utilizados con el empleo de refuerzo con mallas de acero (acero de construcción corrugado) y mano de obra debido a la reducción de partidas que lo impliquen como la habilitación de acero en el proceso constructivo.

Según el INEI, en su análisis anual de los índices unificados de precios de la construcción, en los últimos 5 años, el acero de construcción ha incrementado su índice unificado, indicando de esa manera un aumento de su precio en el mercado.

Tabla 1: Análisis de índice unificado de acero de construcción corrugado y liso en los últimos 5 años.



**Fuente: INEI.**

De allí, la investigación se justifica de manera técnica debido a que la añadidura de virutas de acero oxidadas en la producción de concretos permitirá una mejor adherencia a sus componentes lo que significa mejorar las propiedades mecánicas con la finalidad de contrarrestar las fallas a lo cual se encuentra expuesto el pavimento rígido realizado con concreto simple.

Asimismo, permitirá beneficiar a las empresas manufactureras de torno debido a que podrán impulsar la venta de virutas de acero a través de la habilitación de industrias que le brinden el tratamiento de oxidación respectivo, generando puestos de trabajo en la población contribuyendo de esta manera su justificación a nivel social.

En lo que respecta a la justificación ambiental, las virutas de acero corroídas surgen como una alternativa sostenible y amigable con el medio ambiente ya que luego de haber desarrollado las diferentes actividades de torno, estas se encuentran como un material de desecho.

En tal sentido, la presente investigación tiene como objetivo general evaluar el comportamiento mecánico del concreto adicionado con virutas de acero oxidadas y concreto convencional, en pavimentos rígidos de la ciudad de Chiclayo.

Asimismo, se definieron objetivos específicos como identificar, clasificar y uniformizar las virutas de acero provenientes de torno que serán adicionadas a la mezcla del concreto, se describirá el proceso físico de tratamiento superficial de oxidación y aceptación de virutas de acero oxidadas. Además, se diseñará la mezcla de concreto convencional teniendo en consideración un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y la del concreto con virutas de acero oxidadas al 2%, 3%, 4% respecto al peso del cemento, teniendo en cuenta la variación de longitudes de 1", 1 ½" y 2". Posteriormente, se evaluará el porcentaje de adición y dimensión lineal óptimo de virutas de acero oxidadas para lograr la máxima resistencia a flexión en pavimentos rígidos. De esta manera, se podrá realizar el análisis de costo unitario para la producción de 1 m<sup>3</sup> del concreto patrón y concreto con añadidura de virutas oxidadas. Finalmente, se desarrollará los lineamientos del proceso constructivo de pavimento rígido con añadidura de virutas de acero oxidadas mediante la Norma Técnica CE. 010 Pavimentos Urbanos.

## Revisión de literatura

A nivel internacional, nacional y regional, con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas y físicas del concreto aplicado en pavimentos rígidos, se han desarrollado investigaciones de la incorporación de fibras de acero, de tipo comerciales (SIKAFIBER, WINRAND, DRAMIX) como así también las provenientes de talleres manufactureros de torno. Sin embargo, estas últimas se han incorporado de manera embrollado, sin hacer un tratamiento previo que permita una distribución uniforme en los especímenes sometidos a prueba de laboratorio. Asimismo, las características físicas de las virutas de acero de torno denotan un aspecto liso, de lo cual las investigaciones han depreciado la significancia de adherencia que pueda tener esta respecto a la mezcla del concreto.

## Antecedentes

### Antecedentes Internacionales

- **O. Osturk y N. Ozyurt. “Sustainability and cost-effectiveness of steel and polypropylene fiber reinforced concrete pavement mixtures” Scopus, pp. 09-13 (2022)**

En la presente investigación, el objetivo de los autores fue examinar el uso de macrofibras de polipropileno y fibras de acero con fines aplicativos en pavimentos de hormigón debido a la problemática existente relacionado con la deficiente durabilidad de los pavimentos y aminorar el impacto ambiental que genera la elaboración de estas estructuras, con el fin de mantener los recursos para las siguientes generaciones. En el desarrollo de su investigación, llevo a cabo el diseño de 3 tipos de concretos: Normal, Resistente y Compactado con Rodillo. Además, realizó 14 diseños de mezcla con la añadidura de fibras, teniendo dosificaciones de 300 kg/m<sup>3</sup> y 350 kg/m<sup>3</sup> con relación a/c de 0.45 y 0.60, respectivamente. Finalmente, concluyeron que la aplicación de estas fibras disminuye el espesor de la losa del pavimento, además, la adición de fibras de acero y polipropileno al 0.25% se obtuvo una resistencia de 52.5 Mpa y 50.6 Mpa respectivamente, frente a la muestra patrón de 32.7 Mpa.

- **I. Hussein, B. Alli, T. Akhtar, M. Sohail y S. Safdar. “Comparisson of mechanical properties of concrete and design thickiness of pavement with different types of fiber-reinforcements (Steel, glass, and polypropylene)”, ScienceDirect, pp.03-10, 2020.**

El presente artículo científico [5], considera que la problemática del concreto convencional aplicado a pavimentos rígidos surge de la baja resistencia a flexión y tracción que posee, lo cual genera que su comportamiento sea deficiente cuando se encuentra expuesto a las cargas continuas de tráfico. El objetivo del autor fue confrontar la función de las fibras de acero, vidrio y polipropileno en el concreto. En su desarrollo, para el análisis, realizó los ensayos de compresión con especímenes cilíndricos 200x100 mm de altura y diámetro, respectivamente. Como así también, el ensayo a flexión con especímenes prismáticos de 100x 100x350 mm. De este modo, los autores llevaron a cabo el análisis comparativo de los 3 tipos de fibra, a nivel de influencia en las propiedades mecánicas y beneficio económico, considerando el espesor del diseño del pavimento.

Los resultados corroboraron que el comportamiento a compresión de concreto con resistencia 30Mpa, las fibras de polipropileno aumentaban un 5%, fibras de vidrio 7% y fibras de acero 10% respecto a la muestra patrón, siendo este último el del mejor desempeño. De la misma forma, el concreto con resistencia a 45Mpa, se obtuvo la mejora adicionando las fibras de vidrio al concreto, aumentando en un 12% la resistencia a los 28 días. Por otra parte, estos elementos permitieron aminorar considerablemente el grosor del pavimento, de 180mm (valor normal) a 120mm en concreto de 30Mpa. Sin embargo, el análisis costo-beneficio de la incorporación de fibras de acero es superior respecto a las fibras de polipropileno y vidrio.

➤ **Arroyo, Jorge & Montes, Fausto & Flor, Gino & Chipre, Christopher & Cabrera, Diana & Yanez, Alcibar, “Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de Hormigón de Cemento Portland para losas de Pavimentos Rígidos” 2019**

El presente artículo científico [6] refleja la problemática de los pavimentos urbanos del país de Ecuador, debido al corto periodo de servicio que presentan, lo cual se ve evidenciado a través de fisuras o grietas, pese a la inversión económica que genera la aplicación de concreto reforzado con mallas electrosoldadas. Asimismo, hace énfasis a las causas de la aparición de fisuras en las losas de concreto, lo cual a edades tempranas se debe la contracción del concreto, donde influye de manera directa la variación de temperatura. En sus objetivos, evaluó la influencia de las fibras de acero DRAMIX 80/60 (fibras comerciales) respecto a las cualidades físicas y mecánicas en estado fresco y endurecido del concreto con  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$ , adicionándole 5, 10, 20, 30 y 40 kg/m<sup>3</sup> de fibras respecto a la mezcla del concreto, con la finalidad de controlar las

fisuras en losas para pavimentos rígidos. En el desarrollo, el autor elaboró 15 probetas cilíndricas de 150x150x550 mm por cada % de fibra adicionada, que fueron sometidos a ensayos, tales como contenido de aire, temperatura y cono de Abrams. Asimismo, los especímenes cilíndricos y prismáticos fueron sometidos a ensayos en estado como la resistencia a compresión y a resistencia a flexión durante los 7, 14 y 28 días, respectivamente.

Los resultados del artículo de investigación muestran mejoras. En cuanto al primer ensayo, la resistencia obtenida a los 28 días sin la incorporación de fibras fue de 462.38  $kg/cm^2$  y 508.27  $kg/cm^2$  para el porcentaje óptimo de 40  $kg/m^3$ , aumentando un 9.92 % respecto a la muestra patrón. Mientras que, en el segundo ensayo el incremento de flexión fue significativo, valor de 30.69 % más respecto a la muestra patrón, de esta manera la resistencia sin la incorporación de fibras fue de 5.18 Mpa y 6.77 Mpa con la incorporación óptima de 40  $kg/m^3$ . Por lo contrario, el investigador concluyó la trabajabilidad y el aire incluido disminuía a medida que se aumenta la añadidura de las fibras de acero.

- **Y. Sink y D. Yeol Too, “Combined chelating and corrosion effects of steel fiber on the interfacial bond and tensile behaviors of ultra-high-performance concrete” Scopus, pp. 05-12, 2022.**

En este trabajo de investigación [7], su objetivo del autor es estudiar el impacto que genera las fibras de acero oxidadas frente al comportamiento mecánico de tracción del concreto, de calidades que implican un alto rendimiento. Para el desarrollo de su investigación científica, el autor emplea dos tipos de tratamientos químicos, la primera, a través de la aplicación directa de cloruro de sodio al 3.5% que permita generar en las fibras de acero tener una corrosión al 2% y 5% respecto a su peso; la segunda con la aplicación de EDTA, una solución electrolítica. De esta manera, el tratamiento de oxidación se realizó durante 3h, 6h y 9h.

El autor concluye, que la aplicación de solución electrolítica es más eficiente como acción corrosiva permitiendo un efecto de rugosidad en su superficie. Asimismo, las fibras de acero corroídas que dieron un mejor comportamiento a tracción en la investigación fueron las sometidas a 3h, recomendando de esta manera el periodo óptimo de oxidación aplicando la solución de electrolito EDTA.

## Antecedentes Nacionales

- **C. Miranda y M. Rado, “Propuesta de concreto reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región Apurímac”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil, Facu. de Ingeniería Civil, Unv. Peruana de Ciencias Aplicadas, Apurímac, Perú, 2019.**

En la tesis [8], el autor plantea brindar una alternativa para el reforzamiento de concreto en pavimentos rígidos, a través del empleo de fibra de acero y cemento de clasificación puzolánica en la ciudad de Apurímac, además considera la aplicación de pavimentos rígidos reforzados con fibras como una estructura que brindará mayor tiempo servicio, menor costo en mantenimiento vial y sostenible con el entorno. En el desarrollo, el investigador llevo a cabo la etapa experimental con diversos diseños de mezcla, de lo cual pudo obtener diseños óptimos: muestra 6 – A20 con relación a/c 0.45, adición de 20 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero metálica y muestra 7 – A25 con relación a/c 0.45, adición de 25 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero metálica. Además, utilizó probetas cilíndricas de medidas 150 – 300 mm para determinar las propiedades mecánicas durante los 7 y 28 días, teniendo la muestra patrón de resistencia a compresión  $f'_c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, resistencia flexión  $M_r=45$  kg/cm<sup>2</sup> y resistencia a tracción de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

El autor concretizó que la compresión, flexión y tracción de la muestra 6-A20 incremento a 380 kg/cm<sup>2</sup>, 46.4 kg/cm<sup>2</sup> y 37 kg/cm<sup>2</sup>, respectivamente. Asimismo, la muestra 7-A25 tuvo un mejor desempeño en la resistencia a flexión debido al incremento de su módulo de rotura en un 8.67% respecto a la muestra patrón. Por esta razón, el autor recomienda la relación a/c= 0.45 óptima.

- **R. Castañeda, “Influencia de la adición de fibra de acero y plastificante en la resistencia a compresión del concreto convencional”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil, Fac. de Ingeniería Civil, Unv. Privada del Norte, Trujillo, Perú, 2018.**

En este trabajo de investigación [9], el autor explica la problemática de la falta de aplicación de nuevas tecnologías para obtener concretos de mayor calidad y de esta forma, controlar las fallas continuas que suscitan en los elementos estructurales con la utilización de concreto convencional, tal como es el caso de pavimentos rígidos, lo cual se evidencia a través del apareamiento de grietas y fisuras, originándose la falla en un primer momento, en la parte superior de la losa de concreto para luego transferirse a la base y subbase. Asimismo, en su metodología, plantea la mezcla de concreto  $f'_c=210$

kg/cm<sup>2</sup>, utilizando un total de 90 especímenes de medidas 150 – 300 mm, para lo cual se tuvo 30 especímenes para la muestra patrón, 30 especímenes con adición de 20 kg/m<sup>3</sup> y 30 especímenes para la adición de 40 kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero tipo Sika Fiber CHO 80/60 NB, utilizando la selección de muestreo probabilístico ya que definió el número de especímenes cilíndricos y tamaño de la muestra mediante fórmulas estadísticas. Cabe resaltar, que se añadió 250 ml Sika Cem Plastificante por cada bolsa de cemento a las muestras de concreto reforzado con fibras, con la finalidad de tener mayor trabajabilidad en la mezcla de concreto.

Se concluyo que la compresión a edades tempranas de 7 días no era tan significativa. En tal sentido, durante la etapa de curado a los 28 días del concreto patrón fue de 220.40 kg/cm<sup>2</sup>, mientras tanto con adición de 20 kg/m<sup>3</sup> y 40kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero la resistencia se incrementó en 4.49% y 8.39%, respectivamente.

- **B. Rafael y A. Reynal, “Influencia de las fibras de acero reciclado y comercial sobre las propiedades mecánicas del concreto f’c=210 kg/cm<sup>2</sup>, Trujillo 2020” tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil, Fac. de Ingeniería Civil, Unv. Privada del Norte, Trujillo, Perú, 2020.**

Los autores Brayan Rafael y Abel Reynal [10], en su investigación científica evalúan el aporte que pueden brindar las fibras de acero en la reología del concreto. Asimismo, su objetivo es comparar y determinar la influencia de las fibras comerciales frente a las fibras de acero provenientes de talleres manufactureros de torno pertenecientes a la ciudad de Trujillo con la finalidad de optimizar su uso y plantear un sistema alternativo de aprovechamiento de estos residuos. En su metodología, plantean un f’c equivalente a 210 kg/cm<sup>2</sup>, la incorporación de 1%, 2.5% y 4% fibras de acero de tipo Metálica Z 65/35 y virutas de acero trituradas. En esta perspectiva, evalúa 63 muestras cilíndricas de 150 x 300 mm y 21 muestras prismáticas de 150 x 150 x 300 mm.

Finalmente, de la investigación procedente concluyen que la incorporación de las virutas de acero no difiere mucho a las fibras de hacer debido a que con la adición de 4% se logra una resistencia a flexión de 5.57 Mpa y 5.80, respectivamente. Sin embargo, el costo por unidad de concreto convencional, adición de virutas de acero y fibras de acero para un rendimiento de 22 m<sup>3</sup>/día equivale a S/. 371.03, S/. 452. 15 y S/. 1153.81 nuevos soles, respectivamente. De esta forma, los autores demuestran el sobre costo que genera el uso de fibras de acero comerciales.

## Antecedes Locales

- **M. Fanzo, “Influencia de las virutas de acero en la fisuración asociada a la contracción plástica en pavimentos de concreto simple para un módulo de rotura de 34 kg/cm<sup>2</sup> en la provincia de Chiclayo, Lambayeque 2019” tesis para obtener el título profesional de Ingeniería Civil, Fac. de Ingeniería Civil, Unv. Católica Santo Toribio de Mogrovejo, Chiclayo, Perú, 2021.**

Para el presente estudio [11], el autor evaluó de qué forma interviene la adición de virutas de acero en las fisuras a edades tempranas originadas por la retracción plástica del concreto en losas de pavimentos rígidos sin refuerzo. En relación con el objetivo expuesto, en su metodología determina la longitud óptima de la viruta de acero al 1% respecto al peso del cemento a través de la aplicación del ensayo de tracción indirecta. De esta manera, lo mencionado anteriormente le permitió al investigador establecer el porcentaje óptimo de incorporación de virutas de acero, teniendo en cuenta los porcentajes de 0.5%, 0,75%, 1% y 1.2% respecto al peso del cemento. Además, en la aplicación de la investigación utiliza la relación a/c de 0.50 y virutas de acero de longitud 40mm, 50mm, 60mm, 70 mm, 80 mm para compararlas con las fibras de acero SIKA FIBER CHO 80/60 NB a través de los ensayos de potencial de fisuración, tracción y flexión.

El investigador considera que el uso de fibra comercial en concreto tiene un mejor desempeño que las virutas, además, la dimensión lineal óptima fue de 7cm en virutas para la tracción con un valor de 360 kg/cm<sup>2</sup>. Se comprobó la reducción significativa de fisuras mediante el uso de virutas de acero en un 58% mientras que SIKA FIBER CHO 80/60 NB en 88%.

## Bases Teóricas

### Concreto Simple

El empleo del concreto a nivel mundial en la época antigua se vincula con la aplicación del cemento durante el periodo de los egipcios, antigua Grecia y romanos. Por otra parte, su empleo en Perú data en el siglo XVI durante la colonización española.

Según [12] el concreto es un elemento constituido por la cohesión del cemento que actúa como aglutinante, el agua, material agregado de tipo grueso y fino además de la presencia opcional de aditivos. Se caracteriza por desarrollarse a edades tempranas como un sistema

dúctil y consistencia factible de adaptar, para posteriormente durante la culminación del tiempo de fraguado ser un elemento rígido.

Resulta claro que el concreto cuenta con propiedades mecánicas que influirán en su comportamiento, tolera los esfuerzos a compresión, no obstante, presenta dificultades frente a los esfuerzos de tracción y flexión, para lo cual el avance del sector construcción ha innovado en refuerzos con la finalidad de mejorar sus propiedades.

### Elementos constituyentes del concreto

Los elementos que constituyen el concreto estarán sujetos a normas técnicas de acuerdo con el Reglamento Nacional de Edificaciones, que especifican el control de calidad y los requisitos necesarios de estos, para la obtención de concreto con óptimo desempeño y alta calidad.

Los elementos constituyentes del concreto son los siguientes:

#### ➤ Cemento

Según [13] define al cemento hidráulico como el elemento primordial del concreto producto de la incineración de materias primas (piedras calizas) que dan como producto final el Clinker. Sus propiedades de adherencia y cohesión permitirán generar una pasta que junto a los agregados conformen la mezcla del concreto, todo esto originado por reacción de sus componentes químicos y el disolvente universal (agua).

El reglamento nacional de edificaciones hace énfasis a 3 clasificaciones de cemento para la producción de concreto:

Tabla 2: Clase de cementos de acuerdo con la normativa peruana.

NTP	CLASIFICACIÓN Y EMPLEO	PREESCRIBE
CEMENTOS PORTLAND 334.009:2011	<ul style="list-style-type: none"> <li>o TIPO I: empleo general.</li> <li>o TIPO II: empleo con fines de resistencia a sulfatos prudentes.</li> <li>o TIPO II (MH): empleo con fines de calor de hidratación y resistencia a sulfatos prudente.</li> <li>o TIPO III: empleo para resistencias iniciales elevadas.</li> <li>o TIPO IV: empleo para bajo calor de hidratación</li> <li>o TIPO V: empleo para resistencia a sulfatos elevadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Composición.</li> <li>o Requisitos físicos.</li> <li>o Requisitos químicos.</li> </ul>
CEMENTOS PORTLAND ADICIONADOS 334.090: 2013	<ul style="list-style-type: none"> <li>o TIPO IS: Añadidura de escoria de alto horno.</li> <li>o TIPO IP: Añadidura de puzolanas 15% - 40%.</li> <li>o TIPO I (PM): Añadidura de puzolanas &lt;15 %.</li> <li>o TIPO IT: Añadidura de cemento terciario.</li> <li>o TIPO ICQ: Añadidura de cemento compuesto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Composición.</li> <li>o Requisitos físicos.</li> <li>o Requisitos químicos.</li> <li>o Requisitos de tiempos para ensayos.</li> </ul>
CEMENTOS PORTLAND PERFORMONCE 334.082: 2010	<ul style="list-style-type: none"> <li>o TIPO GU: empleo general.</li> <li>o TIPO HE: empleo con fines de resistencias iniciales elevadas.</li> <li>o TIPO MS: empleo con fines de resistencia a sulfatos prudentes.</li> <li>o TIPO HS: empleo con fines de resistencia a los sulfatos elevados.</li> <li>o TIPO MH: empleo con fines de calor de hidratación prudente.</li> <li>o TIPO LH: empleo con fines de calor de hidratación bajas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>o Requisitos físicos.</li> </ul>

### ➤ Agregados

De acuerdo con [14] precisa que el agregado es un material natural o artificial de tipo inertes que son triturados mecánicamente para darle forma granular ya sea fino o grueso de acuerdo con la limitación granulométrica especificados en la NTP 400.011:2008, siendo el factor constituyente poco más o menos del 60% a 75% de la masa del concreto.

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, la norma técnica peruana 400.011:2008, considera dos tipos para la clasificación de agregados por su estructura granulométrica:

Tabla 3: Agregados y consideraciones de acuerdo con la normativa peruana.

TIPO DE AGREGADO	LIMITES GRANULOMETRICOS	CONSIDERACIONES
AGREGADO FINO	Pasa por el tamiz No. 04 y se retiene hasta el No. 100.	<ul style="list-style-type: none"> <li>El módulo de finesa no debe rebasar el límite permisible de 2.3 – 3.1.</li> <li>Precaución ante la presencia de 2 tamices consecutivos para no retener cantidades mayores al 45%.</li> </ul>
AGREGADO GRUESO	Pasa por el tamiz de 3/8" y se retiene en el tamiz No. 04	<p>El tamaño máximo nominal no debe exceder de:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La longitud menor del interior de encofrado en 1/5.</li> <li>Peralte de losa en 1/3.</li> <li>¼ de la dimensión libre entre varillas.</li> </ul>

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones

### ➤ Agua

El agua es el solvente que permitirá el desarrollo de las propiedades aglutinantes del cemento originado por la añadidura de este a la mezcla de concreto y por efecto, la formación de la pasta debido a la hidratación de sus componentes. [15]

De acuerdo con [14] el agua constituye rangos de 14% y 18% de la masa de concreto. Además, es el encargado de proporcionar la trabajabilidad de la mezcla.

Para la utilización del agua para la producción del concreto, la norma técnica peruana 339.088: 2006 fija los requisitos y límite de la presencia de elementos químicos permisibles.

Tabla 4: Límites permisibles NTP 339.088:2006

ELEMENTO QUIMICO	LIMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (ppm)
Cloruros ( $Cl^-$ ) en estructuras pretensadas	500
Cloruro ( $Cl^-$ ) en estructuras expuestas a circunstancias húmedas	1000
Sulfatos ( $SO_4$ )	3000
Álcalis	600
Sólidos en suspensión	50 000

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones

## Propiedades del concreto en estado fresco

### ➤ Manejabilidad

Según Enrique Pasquel [12] se describe como la simplicidad o dificultad que posee la mezcla de concreto para ser trasladada, distribuida y compactada a la estructura.

La manejabilidad va a ser influenciado por factores internos como las propiedades físicas del agregado, relación a/c, contenido de aire atrapado y factores externos como la situación climática que se presente durante la etapa de colocación.

Tabla 5: Factores que afectan la manejabilidad.

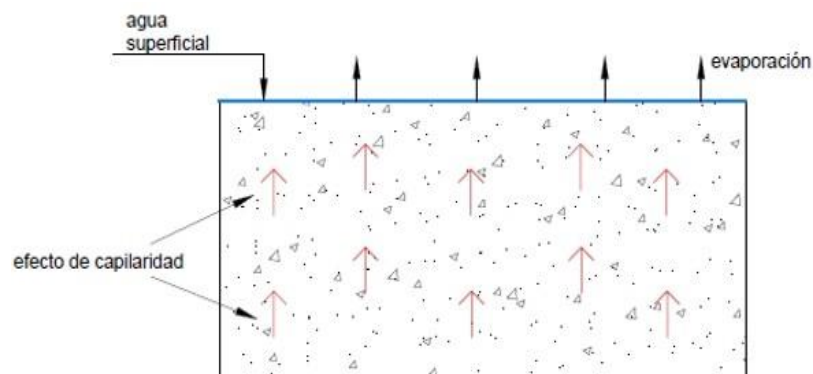
FACTORES QUE AFECTAN LA MANEJABILIDAD	
FACTORES	CONSIDERACIONES
CUALIDADES FÍSICAS DEL AGREGADO	<i>GRADACIÓN</i> -Agregados muy finos genera exceso de demanda de agua. -Agregados muy gruesos genera vacíos en la mezcla.
	<i>FORMA Y TEXTURA</i> -La mezcla es manejable con la presencia de agregados naturales de tipo liso y redondeados.
RELACIÓN a/c	-A superior relación a/c, superior manejabilidad. -A inferior relación a/c, menos manejabilidad.
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	-A superior contenido de aire, superior manejabilidad. -A inferior contenido de aire, menos manejabilidad.
FACTORES EXTERNOS	<i>SITUACIÓN CLIMÁTICA</i> -Intensidad solar origina la reducción del tiempo de fraguado y menor manejabilidad. -Presencia de climas fríos origina mayor tiempo de fraguado y mayor manejabilidad.
	<i>PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN</i> -La deficiente dosificación de la mezcla, procedimientos de mezclado, procedimiento de distribución y compactación influirán de manera externa en la manejabilidad del concreto.

**Fuente:** Reglamento Nacional de Edificaciones

### ➤ Exudación

La exudación se da en el estado fresco durante el arranque de fraguado inicial, consiste en el ascenso de agua libre de la mezcla hacia la zona superior de la estructura mediante efectos de capilaridad cuando este ha quedado en reposo (posterior a la colocación) y cada uno de sus componentes han descendido a la parte inferior generando la sedimentación de cada uno de estos. [16]

Figura 2: Proceso de efecto de exudación.



**Fuente:** Elaboración propia

### ➤ Segregación

Según [15] la segregación surge debido a la existencia de agregados de dimensiones variables, generando una mezcla heterogénea por efecto de la independencia de los elementos que integran el concreto.

### **Propiedades del concreto en estado endurecido**

Para [12] es imprescindible considerar 3 aspectos fundamentales que intervienen como propiedades del concreto en estado endurecido:

#### ➤ Resistencia

La resistencia es la disposición por la cual el concreto se diseña para tolerar la aplicación de esfuerzos a compresión, flexión y tracción, dependiendo exclusivamente de la concentración del material cementante, es decir, la relación a/c.

En la información técnica [20] se establece la correlación entre el desarrollo de la resistencia a flexión y compresión, considerando que este se encuentra entre 0.10 y 0.20 del  $f^nc$ , en este sentido se comprende, cuando el concreto desarrolle un  $f^nc$  de 42Mpa, el módulo de rotura será equivalente entre un 4.2 Mpa – 8.4 Mpa aproximadamente.

Durante el término de la etapa de curado, el concreto desarrolla sus propiedades, desempeñando óptimamente la resistencia a compresión expresado en Kg/cm<sup>2</sup> o MPa,

considerando reforzar la estructura con la innovación de materiales y/o optimización de recursos con la finalidad de mejorar su resistencia frente a esfuerzos de flexión y tracción.

Tabla 6: Tipos de acuerdo con la resistencia obtenida de compresión.

RESISTENCIA A COMPRESIÓN	
TIPO DE RESISTENCIA	RESISTENCIA 28 DÍAS (MPa)
NORMAL	<42 MPa
ALTA	42 Mpa – 100MPa
ALTA	>100MPa

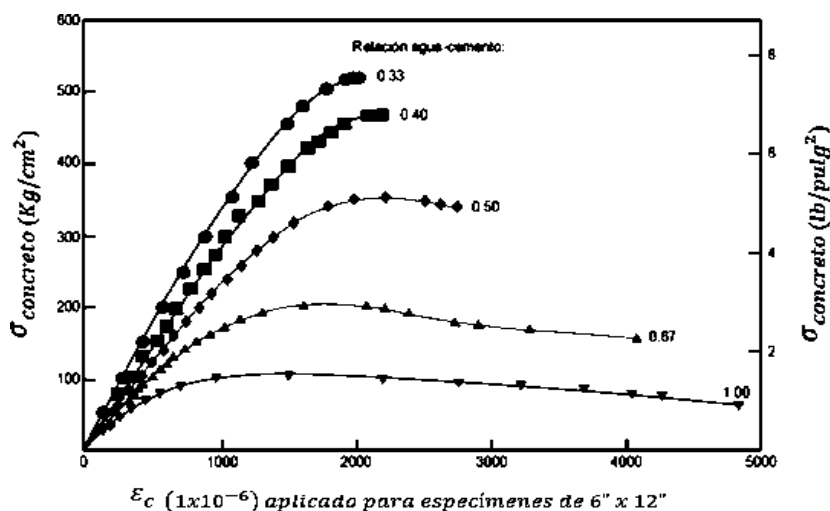
Fuente: Elaboración propia

### ➤ ELASTICIDAD

La elasticidad es la propiedad por la cual el concreto ante la distribución de cargas sobre su sección tiende a generar una deformación debido a que posee las características de un elemento de tipo rígido.

La producción de mezclas de concreto con calidades elevadas ocasionará un incremento en el módulo de elasticidad y capacidad para tolerar la rotura durante la prueba de resistencia a compresión.

Figura 3 Correlación de elasticidad y a/c



Tomado de: Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torres.

### ➤ **Extensibilidad**

La extensibilidad se define como la capacidad de deformación que posee el concreto bajo la aplicación de cargas sin originar la aparición de fisuras en el espécimen sometido a prueba.

Según [12] luego de que el concreto se haya sometido a un valor de 60% del último esfuerzo se visualizará la presencia de microfisuración en la probeta.

### **Variación volumétrica en el concreto**

El concreto como un elemento estructural durante la etapa de endurecimiento se verá influenciado por factores internos y externos que ocasionarán su inestabilidad volumétrica, es decir, su volumen sufrirá variaciones, ya sea mediante el fenómeno de expansión o contracción, causando la aparición de fisuras o grietas.

Si se analiza las propiedades mecánicas del concreto, la limitada capacidad del concreto de resistir los esfuerzos a flexión implica un menoscabo comportamiento a edades tempranas.

Para [17] sostiene que la temperatura y la humedad da proceso a la variación volumétrica del concreto, causando el acrecentamiento de tensiones superficiales. Por la misma razón, con el propósito de controlar el agrietamiento, se debería realizar una inspección continua durante el periodo de hidratación de la mezcla.

### **Efectos causantes de fisuración del concreto en estado plástico**

#### ➤ **Contracción plástica**

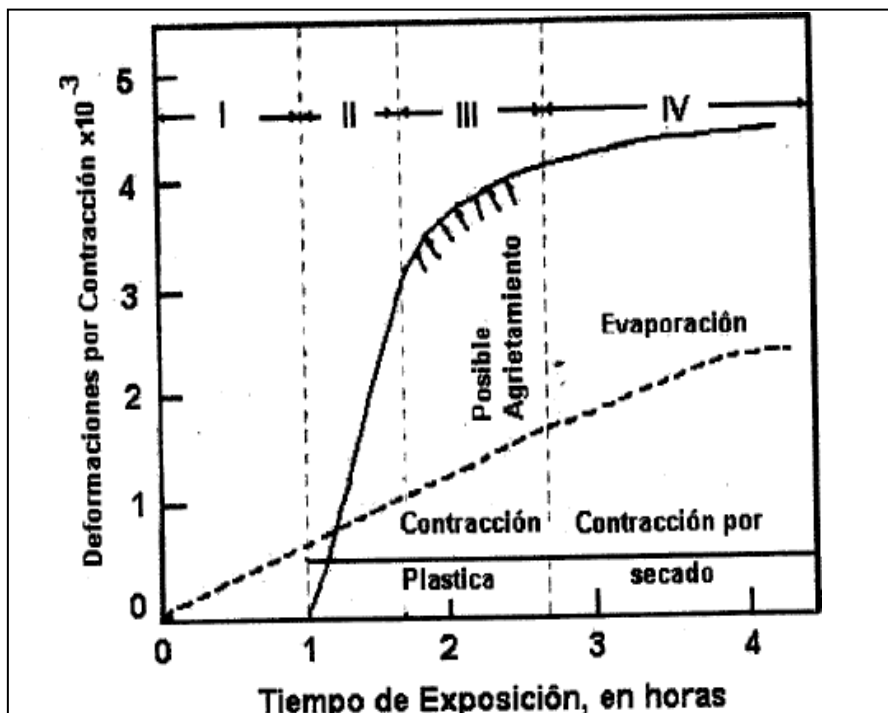
Según el autor [18] se le denomina también como retracción hidráulica. Manifiesta que, es el fenómeno originado en la superficie de la estructura (principalmente losas y pisos) debido a la disipación del agua de mezcla durante el fraguado final, teniendo como consecuencia la manifestación visual de fisuras.

Uno de los aspectos a considerar de este fenómeno, es la situación climática, debido a que se presenta en zonas con elevados grados de temperatura y vientos formidables.

Por su parte [18], considera la siguiente descripción de fisuras causado por efecto de la contracción plástica:

- ✓ Se manifiestan durante las primeras 10 horas.
- ✓ Fisuras con hundimientos de 20 a 40mm.
- ✓ Fisuras de longitudes cortas, si la estructura presenta uniformidad en su espesor.
- ✓ Si la estructura presenta disconformidad en su espesor, las fisuras se desarrollarán en el espesor de menor longitud.

Figura 4 Tiempo de exposición y la contracción.



Tomado de: Cambios volumétricos, Universidad de Sonora.

La figura 4 indica la correlación del tiempo de exposición de la mezcla de concreto y las deformaciones que implique, ya sea por contracción plástica o secado. En este caso, durante la I fase, se visualiza la evolución de la evaporación sin generar ningún tipo de contracción. En la fase II, el autor considera que posterior a 1h de colocación del concreto en la superficie, se comienza a originar la contracción plástica.

#### ➤ Asentamiento plástico

De acuerdo con [18], este efecto de acomodamiento plástico acontece en el concreto mientras sus elementos se adaptan al encofrado de la estructura, debido a la densidad, en la zona inferior se situarán todos elementos sólidos relegando hacia la zona superior el aire atrapado y agua de exudación, causando de esta manera fisuras.

#### ➤ Contracción intrínseca

La contracción intrínseca es un efecto irreversible que se origina debido a la hidratación del material cementante producto de la combinación con el agua. Asimismo, el cemento forma parte fundamental para el desarrollo de este efecto ya que las especificaciones técnicas para su uso influirán de manera directa en el proceso. [14]

No obstante, no ocasiona la aparición de fisuras puesto que sus tracciones son insignificantes.

## Efectos causantes de fisuración del concreto en estado endurecido

### ➤ Contracción por secado

La contracción por secado es el fenómeno físico con efecto no irreversible causado por la ausencia del agua de adsorción dentro de los poros gel. De esta forma, la contracción ocasiona que la humedad de la pasta disminuya. [12]

En este sentido, Enrique Pasquel, hace referencia a que la resistencia a tracción será la propiedad del concreto que tolere las tensiones ocasionadas por la contracción por secado, esfuerzos que varían entre  $100 \text{ kg/cm}^2$  y  $275 \text{ kg/cm}^2$ . Sin embargo, cuando se diseña mezclas de concreto la resistencia tracción equivale al 10% del  $f^nc$ . Por lo tanto, el concreto sin ningún tipo de refuerzo no resiste a este fenómeno, produciéndose la aparición de fisuras o grietas.

Tabla 7 Factores que afectan la contracción por secado.

FACTORES QUE AFECTAN CONTRACCIÓN POR SECADO	
FACTORES	CONSIDERACIONES
PROPIEDADES DEL AGREGADO	<i>FISÍCAS</i> -La gradación heterogénea de agregados origina que se incorpore más cantidades de cemento, incrementando la proporción de pasta y por consecuencia la contracción en el concreto.
	<i>MECÁNICAS</i> -A valores superiores de rigidez y módulo de elasticidad disminuye la contracción en el concreto.
CEMENTO	-La utilización de cemento Portland de Tipo II es el más recomendable para controlar la contracción por secado.
RELACIÓN a/c	-A inferiores relaciones de a/c, la contracción por secado es menor.

**Fuente:** Tópicos de Tecnología del Concreto, Enrique Pasquel

### ➤ Contracción por carbonatación

De acuerdo con [20], este fenómeno es generado por la formación de  $\text{CaCO}_3$ , mediante la reacción química de los cristales del hidróxido de calcio en presencia del dióxido de carbono.

Los esfuerzos que genera la contracción por carbonatación se encuentran entre 2 a 20  $kg/cm^2$  y generalmente no es motivo para la manifestación de fisuras en la estructura.

### ➤ Fluencia

La fluencia es la deformación generada por la intensidad de cargas aplicadas sobre la estructura de concreto, relacionado directamente con el tiempo frente a la asignación de carga constante y persistente. [12]

En la siguiente tabla N°8, Enrique Pasquel, evaluó las fisuras ocasionadas bajo una carga constante de 50  $kg/cm^2$  durante el primer y tercer año, verificando que, a mayor tiempo de servicio, la fisuración aumenta considerablemente, sobre todo durante el primer año de servicio.

Tabla 8 evaluación de fisuras bajo la aplicación de cargas.

Curado del concreto (días)	Evaluación de fisuras (mm/m)	
	1 año	3 años
7	0.57	0.60
14	0.31	0.35
28	0.16	0.19

**Tomado de:** Curso Básico de Tecnología del Concreto, Ana Torres.

### Fibras de acero

Según [21], es un material de refuerzo aplanado o sinuoso producido de la trefilación de acero metálico, tienen la forma de hilo con secciones y relación l/d de medidas 0.3 a 0.5 mm de radio, 20 a 100 mm, respectivamente.

A comparación de los diferentes tipos de fibras sintéticas y naturales para el reforzamiento en el concreto, las fibras de acero poseen un módulo de elasticidad superior que permite actuar junto al concreto como una red unificada para aminorar los esfuerzos que se generan en la estructura.

### Clasificación de fibras de acero

En [22] se explica la clasificación de fibras de acero, lo cual considera V tipos de acuerdo con el proceso que son sometidos:

- Tipo 1, las fibras de acero se obtienen mediante el procedimiento de tensarlos en frío.
- Tipo 2, son obtenidas mediante el corte de hojas.
- Tipo 3, consiste en fibras de acero resultantes de la extracción del metal mediante fusión.
- Tipo 4, son fibras de acero sometidas a molinos de corte para la obtención de elementos que requiera el solicitante.
- Tipo 5, se consiguen debido al trefilado del elemento metálico.

Asimismo, se puede clasificar por la forma que poseen:

- Rectilínea
- Sinuosa
- Aberturas en bordes

### **Ventajas del uso de fibras de acero**

- Acrecienta la resistencia a flexión en el concreto con la finalidad de eludir el agrietamiento de la estructura debido a los esfuerzos que contraen su volumen a edades tempranas.
- Intensifica su resistencia ante esfuerzos generados por cortante, evitando el uso de elementos de transferencia de cargas. [23]
- Refuerza la resistencia frente al impacto.
- Asocia los componentes del concreto, haciendo de esta una estructura unificada y cohesiva.

### ***Virutas de acero***

En 2016, Mariño et al [24], los autores argumentaron que las virutas de acero son materiales que surgen de procesamientos mecanizados pertenecientes a grupos industriales de manufactura.

### **Clases de virutas de acero**

Las clases de virutas de acero señaladas por Heinrich Gerling [25] según su material son:

- Virutas arrancadas, son residuos de forma quebradiza provenientes del desprendimiento de elementos frágiles como el bronce.

- Virutas cortadas, son residuos generados de elementos que poseen un buen comportamiento tenaz teniendo en consideración la disminución de velocidades de cortadura a lo cual son sometidos.
- Virutas plásticas, son subproductos de manufactura provenientes de elementos tenaces teniendo en cuenta las altas velocidades de cortadura a lo cual son sometidos.

Asimismo, Gerling [25], considera la clase de virutas según su forma:

- Virutas finas, tienen la forma de hilos.
- Virutas cortas, tienen la forma espiralada.
- Virutas largas, tienen la forma aplanada y sección amplia, fácil de manejar.

## **Pavimento**

Según [26], el pavimento es una estructura constituida por diferentes capas compactadas extendidas de manera horizontal asentándose sobre la parte superior de la subrasante del terreno.

Deberían considerarse los siguientes requisitos para una correcta funcionabilidad de pavimentos:

- ✓ Ante cargas constantes de tránsito debe actuar como una estructura sólida, capaz de resistir los esfuerzos generados sobre sus capas superiores e inferiores.
- ✓ Tolerar los efectos que causen las condiciones climáticas, como los agentes de intemperismo.
- ✓ Tiempos prolongados en cuanto a la durabilidad y serviciabilidad.
- ✓ Interacción segura y eficaz con los vehículos.
- ✓ El diseño, ejecución y mantenimientos deben ser económicos.
- ✓ Óptimas condiciones de drenaje.

## **Clasificación de pavimentos**

- **Asfálticos**

Es un tipo de pavimento que se caracteriza por cubrir su nivel estructural superior de concreto asfáltico o aplicación de métodos a nivel superficial con la utilización de componentes bituminosos, además posee elementos de tipo granular que compone las capas de la parte inferior. [27]

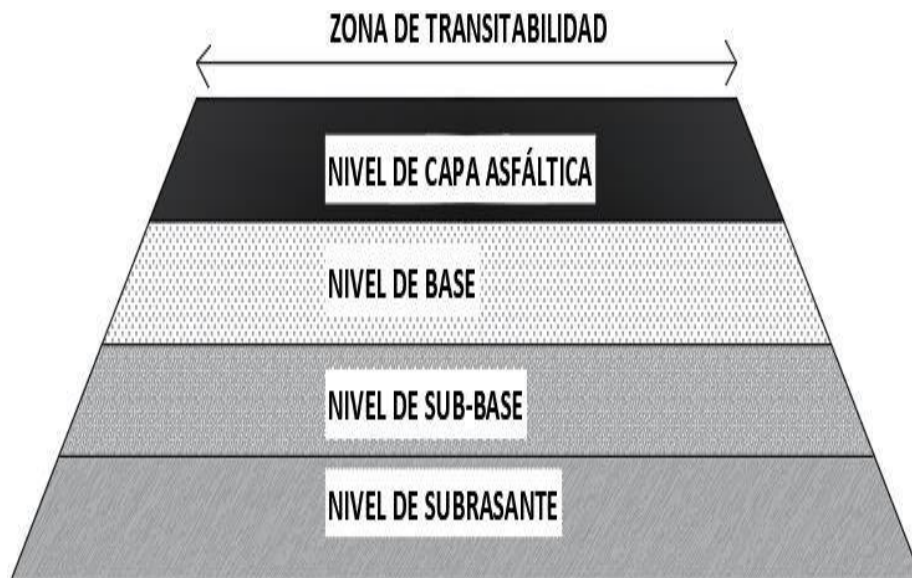


Figura 5 Niveles de capas estructurales de pavimentos asfálticos. Fuente propia.

- **Rígido**

Según [27], es el pavimento que se singulariza por el uso de losa de concreto que encubre la capa superior que la compone por encima de niveles granulares que requiera el diseño.

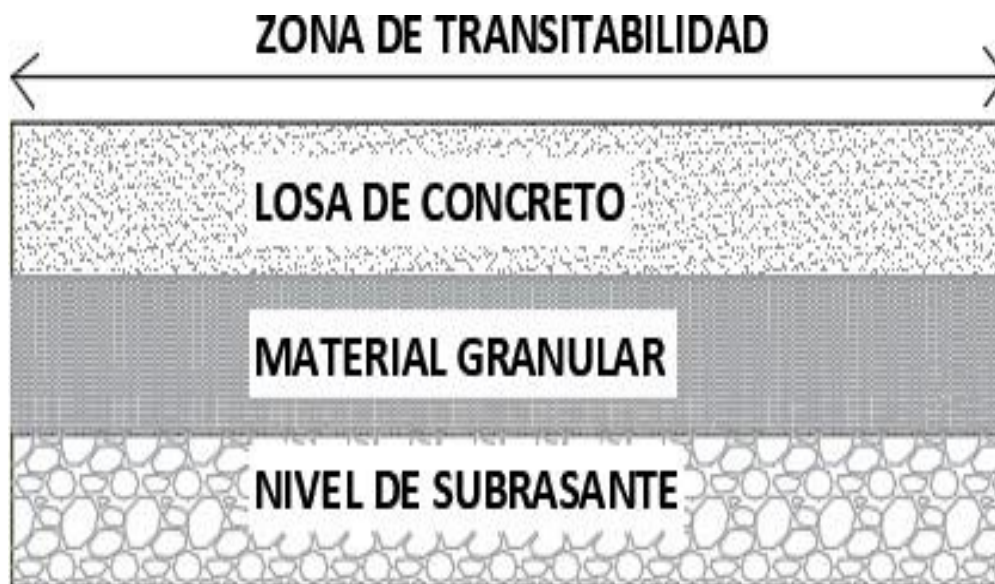
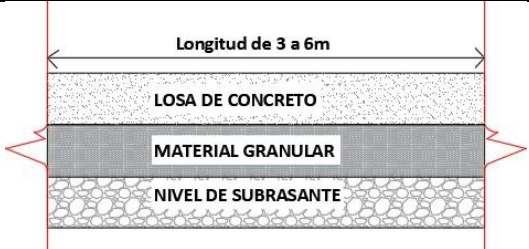


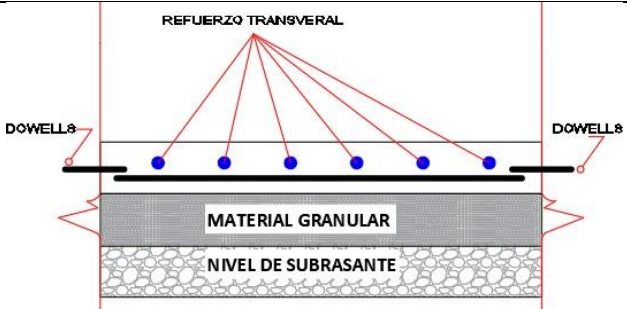


Figura 6 Niveles de capas estructurales de un pavimento de tipo rígido. Fuente propia.

Tabla 9: Clasificación de pavimentos de concreto considerando el tipo de diseño.

TIPO DE DISEÑO	CONSIDERACIONES
 <p>Longitud de 3 a 6m</p> <p>LOSA DE CONCRETO</p> <p>MATERIAL GRANULAR</p> <p>NIVEL DE SUBRASANTE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>No posee ningún tipo de refuerzo.</li> </ul>
 <p>Longitud de 3 a 6m</p> <p>DOWELLS</p> <p>LOSA DE CONCRETO</p> <p>MATERIAL GRANULAR</p> <p>NIVEL DE SUBRASANTE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilización de elementos que permiten la transferencia de cargas, llamado dowells.</li> </ul>
 <p>DOWELLS</p> <p>REFUERZO DE ACERO LONGITUDINAL</p> <p>LOSA DE CONCRETO</p> <p>MATERIAL GRANULAR</p> <p>NIVEL DE SUBRASANTE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Refuerzo de acero longitudinal más la utilización de pasadores.</li> </ul>
 <p>REFUERZO TRANSVERSAL</p> <p>DOWELLS</p> <p>MATERIAL GRANULAR</p> <p>NIVEL DE SUBRASANTE</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Refuerzo de acero en ambos sentidos más la utilización de pasadores.</li> </ul>

## Ensayos de los materiales

**Fuente:** Elaboración propia

### Agregados

#### ➤ Ensayo de análisis de la granulometría

La Norma Técnica Peruana 400.012:2001 considera la aplicación del presente ensayo con la finalidad de evaluar la particularidad física en cuanto a las dimensiones que adquieren los agregados.

Consiste en el paso de las diferentes variaciones de tamaño de los agregados sobre contenedores de forma circular que cuentan con mallas dimensionadas de aberturas superiores a inferiores, llamados tamices.

### **Materiales**

- ✓ Porciones de agregados para el muestreo, de fino 500 gr mínimo y de agregado grueso considerar la tabla 1 de la presente norma.
- ✓ Tamices (11/2", 1, 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°13, N°16, N°50, N°100, N°200).
- ✓ Básculas con aproximación de 0.1 gr y 0.5 gr para agregado fino y grueso, respectivamente.
- ✓ Recipientes para el depósito de los diferentes tamaños de muestras.
- ✓ Cepillo con cerdas metálicas.
- ✓ Fuente metálica.
- ✓ Brocha de nylon 1 1/2"
- ✓ Estufa de 110°C ± 5°C

### **Procedimiento**

- i. En el caso del agregado grueso, se efectuará la selección de la porción de muestreo, lo cual será colocada sobre la fuente metálica para realizar la técnica de cuarteo. Para agregados finos no es necesario.
- ii. Someter la porción de muestreo a condiciones secas.
- iii. Ensamblar los tamices de abertura superior a inferior.
- iv. Situar la porción de muestreo en el tamiz superior y cerrar para agitar manualmente.
- v. Registrar el peso de las proporciones de muestra retenidas en cada tamiz para los cálculos respectivos y el desarrollo de la curva granulométrica.

#### **➤ Contenido de humedad en los agregados**

La NTP 339.185:2002 tiene el motivo de establecer las técnicas y requisitos necesarios para evaluar de manera eficiente el porcentaje de humedad que caracteriza a los agregados. Esto permite tener consideraciones en la etapa de diseño de mezcla hasta la colocación del concreto en obra.

### **Materiales**

- ✓ Porciones de agregados para el muestreo.
- ✓ Básculas que cuenten con sensibilidad al 0.1%
- ✓ Estufa ventilada de 110°C ± 5°C

- ✓ Recipientes para el depósito y colocación de muestras, que no se vea afectado por las altas temperaturas de la estufa.
- ✓ Cucharón metálico.

### **Procedimiento**

- i. Pesaje y registro de la porción de muestreo natural ya sea agregado fino y/o grueso teniendo en cuenta el tamaño máximo nominal para determinar la cantidad necesaria que el ensayo requiera.
- ii. Situar la porción de muestreo en la estufa para la exposición a condiciones secas durante 24h.
- iii. Retirar de la estufa, enfriar para determinar el pesaje y hacer el registro de la porción de muestreo.
- iv. Realizar el cálculo:

$$P (\%) = 100 \left( \frac{W - D}{D} \right)$$

#### **Donde,**

- P: es el contenido de humedad.
- W: es la masa natural de la porción de muestreo [gr]
- D: es la masa de la porción de muestreo seca [gr]

#### **➤ Peso específico y absorción de agregados**

La NTP 400.022:2002 permitirá cuantificar a través de la ejecución del presente ensayo los valores de pesos específicos ya sea en condiciones secas, saturadas o aparentes de porciones de agregados que serán empleados para el diseño de mezcla y producción de concreto.

### **Materiales**

- ✓ 1000 gr de porción de agregado fino.
- ✓ Matraz con capacidad en volumen de  $500\text{cm}^3$ .
- ✓ Molde metálico de tipo cónico y pilón.
- ✓ Básculas con soporte de 1000 gr y que cuenten con sensibilidad al 0.1%.
- ✓ Estufa ventilada de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$
- ✓ Recipientes para el depósito y colocación de muestras, que no se vea afectado por las altas temperaturas de la estufa.
- ✓ Cucharón metálico.

### Preparación de porción de muestreo

- i. Se colocará porciones de agregado fino provenientes de canteras sobre una fuente metálica para realizar la técnica de cuarteo y la selección de 1000gr.
- ii. Realizar el secado de la porción de muestreo mediante la estufa a una T° constante de 110°C.
- iii. Utilizar un contenedor para colocar la muestra en estado saturado durante 24h.
- iv. La porción saturada debe someterse a condiciones secas de manera natural.
- v. Se utilizará cierta parte de la muestra seca anterior para agregar 3 porciones al molde tipo cónico con la finalidad de efectuar 25 golpes sobre cada una de ellas y determinar la existencia de humedad libre.

### Procedimiento

- i. Realizar el pesaje de 500gr de muestra seca sobrante y del matraz.
- ii. Colocar la muestra de agregado y agua hasta el nivel de 400cm<sup>3</sup> en el matraz, pasado los 60 minutos, se procede a verter agua hasta el nivel de 500cm<sup>3</sup>. Realizar el pesaje y dejar en reposo durante 24h.
- iii. Apartar del matraz la cantidad de agua y dejar solamente la proporción de agregado fino para poder pesar y registrar los datos.
- iv. Colocar a la estufa a una T° de 110°C durante 24h.
- v. Determinar mediante el cálculo:

$$P_{em-AF} = \left( \frac{W_o}{V - V_a} \right)$$

**Donde,**

-Pem: contenido específico de masa.

-Wo: Pesaje de la porción de muestreo en condiciones secas.

-V: Pesaje del volumen de frasco.

-Va: Pesaje del agua adicionada al frasco.

$$Absorción_{AG} = \left( \frac{P_{ss} - P}{P} \right) \cdot 100$$

**Donde,**

-P: Pesaje de la porción de muestreo en condiciones secas.

-Pss: Pesaje de muestra que fue saturada al principio y posteriormente secada.

$$Absorción_{AF} = \left( \frac{PM_{ss} - W_o}{W_o} \right) \cdot 100$$

**Donde,**

-PM<sub>ss</sub>: Pesaje de la porción de muestreo seca en estufa.

-W<sub>o</sub>: Pesaje de la porción de muestreo saturada con superficie secada.

➤ **Peso unitario suelto en los agregados**

**Materiales**

- ✓ Proporciones de muestra, de acuerdo con el requerimiento de la NTP 400.017:1999
- ✓ Básculas con aproximación 0.05 kg.
- ✓ Recipientes para el depósito de los diferentes tamaños de muestras.
- ✓ Cepillo con cerdas metálicas.
- ✓ Varilla redonda metálica de aspecto liso y diámetro de 5/8".
- ✓ Brocha de nylon 1 1/2"
- ✓ Moldes cilíndricos.

**Procedimiento**

- i. Se deberá determinar el pesaje y volumen del molde cilíndrico a utilizar.
- ii. Colocar las proporciones de la muestra sobre el molde teniendo en cuenta que la altura de vaciado no sea superior a 2".
- iii. A través de la técnica de enrazar eliminar la muestra sobrante por encima del molde.
- iv. Con la brocha de nylon eliminar la muestra que haya caído alrededor del molde cilíndrico.
- v. Realizar y registrar el pesaje del molde cilíndrico que contiene la muestra.
- vi. Determinar mediante el cálculo:

$$PV_{suelto} = \left( \frac{PM_s}{V_{molde}} \right)$$

**Donde,**

-PM<sub>s</sub>: Pesaje de la porción de muestreo.

-V<sub>molde</sub>: Volumen del molde cilíndrico utilizado.

➤ **Peso unitario compactado de los agregados**

**Materiales**

- ✓ Proporciones de muestra.
- ✓ Cepillo con cerdas metálicas.

- ✓ Varilla redonda metálica de aspecto liso y diámetro de 5/8".
- ✓ Brocha de nylon 1 1/2"
- ✓ Básculas con aproximación 0.05 kg.
- ✓ Recipientes para el depósito de los diferentes tamaños de muestras.
- ✓ Moldes tipo cilíndricos.

### **Procedimiento**

- i. Se deberá determinar el pesaje y volumen del molde cilíndrico vacío a utilizar.
- ii. Se hará la colocación sucesiva de porciones de muestra al 1/3, 2/3 y parte superior del molde ejerciendo 25 golpes con la varilla con la finalidad de compactar.
- iii. Con ayuda de la varilla enrazar de manera horizontal sobre la parte superior del molde cilíndrico.
- iv. Realizar el pesaje del molde con proporciones de muestra compactadas.
- v. Determinar mediante el cálculo:

$$PV_{compactado} = \left( \frac{PMc}{V_{molde}} \right)$$

**Donde,**

-PMc: Pesaje de la porción de muestreo.

-Vmolde: Volumen del molde cilíndrico.

### **Concreto en estado fresco**

#### ➤ **Cono de abrams**

El presente ensayo en estado fresco permite hacer un diagnóstico de la consistencia con la cual son elaborados las mezclas de concreto, justificando el procedimiento y requisitos en la norma ASTM C143/C143M-10.

### **Materiales**

- ✓ Molde cónico de Abrams.
- ✓ Varilla redonda metálica de aspecto liso y diámetro de 5/8".
- ✓ Cucharón metálico.
- ✓ Bandeja de metal.

### **Procedimiento**

- i. Situar el molde cónico sobre un área uniforme horizontal, libre de materias absorbentes.

- ii. Se acomodará sucesivamente porciones de concreto a 1/3, 2/3 y parte superior del molde cónico teniendo la consideración de ejercer 25 golpes con la varilla con la finalidad de compactar y distribuir de manera uniforme la mezcla.
- iii. Realizar el enrasamiento en la parte superior del molde cónico.
- iv. Elevar el molde metálico de manera horizontal.
- v. Colocar la varilla de acero en la parte superior para con ayuda de una wincha, evaluar y registrar la diferencia de alturas entre el cono y la proporción de concreto.

### ➤ **Ensayo de potencial de fisuración**

El ensayo de potencial de fisuración de acuerdo con la ASTM C-1579, permite evaluar la fisuración por contracción plástica durante el concreto en estado plástico hasta la etapa del fraguado final, teniendo en consideración los parámetros de temperatura, humedad relativa y tasa de evaporación. Asimismo, la norma indica que los parámetros son condiciones constantes a lo cual serán expuestos los 2 paneles, una muestra de control y la de concreto reforzado con fibras de acero, lo cual en el caso del presente estudio fueron sustituidos por virutas de acero oxidadas. Por otra parte, el ensayo puede ser rechazado si el ancho de fisura promedio de la muestra es inferior a 0.5 mm.

### **Materiales**

- ✓ Moldes para concreto de forma rectangular de 35cm – 56cm y h=6.5 cm.
- ✓ Sensor de condiciones ambientales.
- ✓ Vibrador de concreto.
- ✓ Recipiente con agua que actúa como panel de monitoreo.
- ✓ Plancha de pulir.
- ✓ Ventilador con velocidad de viento mayor 4.7 m/s.
- ✓ Medidor de fisuras.

### **Procedimiento**

- ✓ Preparar la cámara, ambientarla de acuerdo con los requisitos preestablecidos que especifica la norma.
- ✓ Colocar el recipiente con agua, de tal manera que el volumen de este pueda brindar 0.01 m<sup>2</sup> de agua a la corriente de la ventilación.
- ✓ Ubicar los moldes dentro de la cámara.
- ✓ Determinar el tiempo de fraguado de los especímenes a ensayar.
- ✓ Vaciar concreto a los moldes respectivos: muestra de control y concreto con adición de virutas de acero oxidadas.

- ✓ Encender el ventilador.
- ✓ Registrar el tiempo de inicio de la prueba y cada 30 minutos se utilizará el sensor de condiciones ambientales para tomar los datos de temperatura, humedad relativa y velocidad de flujo.
- ✓ Finalizado el fraguado de las muestras de ensayo, se procede a tomar las lecturas de las condiciones ambientales finales y se coloca láminas de plástico sobre estas.
- ✓ Finalmente, pasado las 24h se tomará la medición y realizará el análisis visual de fisuramiento en las muestras de ensayo.
- ✓ Realizar el cálculo de la reducción de grietas (CRR)

$$C_{RR} = \left( 1 - \frac{A_{grieta\ prom\ en\ concreto\ con\ fibras}}{A_{grieta\ prom\ muestra\ patron}} \right) \times 100$$

### **Concreto en estado endurecido**

#### ➤ **Resistencia a compresión de especímenes cilíndricos**

La normativa técnica peruana 339.034:2015 describe al ensayo como la concentración de cargas de compresión axiales sobre los especímenes cilíndricos luego de ser sometidos a una etapa de curado.

#### **Materiales**

- ✓ Moldes de plástico cilíndricos de medidas 15x30 cm.
- ✓ Varilla redonda metálica de aspecto liso, diámetro de 5/8" y longitud de 24".
- ✓ Cucharón metálico.
- ✓ Bandeja de metal.
- ✓ Equipos de rotura a compresión.

#### **Procedimiento**

- i. Se deberá humedecer el molde plástico cilíndrico.
- ii. Realizar el vaciado y compactado a capas de 1/3, 2/3 y parte superior del molde, ejecutando 25 golpes sobre el interior con la varilla y 10-15 golpes con un mazo de goma en cada proporción colocada.
- iii. Luego de haber fraguado durante 24h, la muestra se retira del molde y se somete a una etapa de curado donde los días estarán definidos de acuerdo con la conveniencia del ejecutor de dicho ensayo.

- iv. Colocar de manera vertical el espécimen y se realizará la aplicación de cargas de compresión axiales a través del equipo mecánico.
- v. Realizar el cálculo e interpretación de resultados para determinar el  $f'c$ .

$$R_{compresión} = \left( \frac{\text{Carga aplicada}}{A_{especimen}} \right)$$

### ➤ Resistencia a tracción indirecta de especímenes cilíndricos

Se justifica en la norma ASTM C496-96 y consiste en la colocación del espécimen horizontalmente para la aplicación esfuerzos tensionales generados debido a las cargas compresivas uniformes lateralmente.

### Materiales

- ✓ Bandeja de metal.
- ✓ Equipos de rotura a compresión.
- ✓ Moldes de plástico cilíndricos de medidas 15x30 cm.
- ✓ Varilla redonda de aspecto liso, diámetro de 5/8" y longitud de 24".
- ✓ Placa.
- ✓ Cucharón metálico.

### Procedimiento

- i. La preparación del espécimen cilíndrico es igual al ensayo de compresión.
- ii. Se sitúa una placa en la parte inferior del espécimen cilíndrico de modo horizontal al plano del equipo de rotura, luego se agrega otra placa sobre la parte superior y se procede a ensayar.
- iii. Determinar la interpretación de resultados y cálculo para la obtención de la tracción indirecta:

$$T_{indirecta} = \left( \frac{2 \cdot P_{máx}}{\pi L_e D_e} \right)$$

### **Donde,**

- $P_{máx}$ : Carga máxima.
- $L_e$ : Longitud de espécimen en forma cilíndrico.
- $D_e$ : Diámetro de espécimen en forma cilíndrico.

### ➤ Resistencia a flexión de especímenes prismáticos

El presente ensayo determina el soporte de esfuerzos a flexo-tracción en especímenes prismáticos de concreto (vigas) que no poseen refuerzos en su interior y, además, posibilita la obtención mediante cálculo del  $M_r$  de acuerdo con la normativa peruana NTP 339 078.

#### Materiales

- ✓ Molde de tipo prismático 15x15x50 cm.
- ✓ Producción de concreto.
- ✓ Equipo de ensayo.
- ✓ Bloques de apoyo.
- ✓ Máquina.

#### Procedimiento

- i. La preparación del espécimen prismático con el diseño de mezcla correspondiente.
- ii. Luego de la etapa de endurecimiento durante 24h, la viga se retira del molde y se coloca a condiciones de curado de acuerdo con la conveniencia del ejecutor de dicho ensayo.
- iii. En el caso de especímenes moldeados, se deberán girar teniendo en cuenta la colocación del moldeado.
- iv. Colocar los dos bloques de apoyo y placa de cargas teniendo en consideración que estarán a 1/3 de la dimensión del espécimen prismático.
- v. Ensayar y verificar la etapa de falla.
- vi. Cálculo para la obtención del módulo de rotura según la evaluación de falla:
  - Caso (a), si la falla del espécimen prismático ocurre en el interior de la longitud de las cargas aplicadas,

$$M_r = \left( \frac{P_{m\acute{a}x}L}{bh^2} \right) \dots \dots \dots (a)$$

**Donde,**

-P<sub>máx</sub>: Carga máxima. (N)

-L: Luz libre entre apoyos del espécimen prismático. (mm)

-b: Ancho del espécimen prismático. (mm)

-h: Altura del espécimen prismático. (mm)

- Caso (b), si la falla del espécimen prismático ocurre al exterior de la longitud de las cargas aplicadas, teniendo en consideración que esta distancia no debe exceder el 5% de la luz libre del espécimen prismático.

$$M_r = \left( \frac{3P_{m\acute{a}x}a}{bh^2} \right) \dots \dots \dots (b)$$

**Donde,**

- P<sub>máx</sub>: Carga máxima. (N)
- L: Luz libre entre apoyos del espécimen prismático. (mm)
- b: Ancho del espécimen prismático. (mm)
- h: Altura del espécimen prismático. (mm)
- a: Distancia en medio de la línea de rotura y el apoyo más próximo. (mm)

➤ **Módulo de elasticidad y relación de Poisson**

El presente ensayo, de acuerdo con la ASTM C-469 consiste en la aplicación de esfuerzos a compresión de 0% al 40% del  $f'c$  sobre la longitud mayor de especímenes cilíndricos, lo cual dará como resultado la determinación del  $E_c$  mediante la relación entre el esfuerzo y la deformación originada sobre el concreto.

**Materiales**

- ✓ Especímenes cilíndricos de 15x30 cm.
- ✓ Equipo de ensayo.
- ✓ Compresómetro – Extensómetro
- ✓ Dial (deformímetro)

**Procedimiento**

- i. La preparación del espécimen cilíndrico con el diseño de mezcla correspondiente.
- ii. Someter al tiempo de curado, ya sea 14 o 28 días, de acuerdo con la etapa de prueba.
- iii. Realizar la medición geométrica de la probeta, en cuanto a su diámetro y altura.
- iv. Ubicar el espécimen en una superficie plana y colocar el compresómetro – extensómetro sobre este.
- v. Colocar sobre la máquina de ensayo y calibrar el dial, de tal forma que este indique el 0.00000 y no haya error de medición.
- vi. La velocidad de la máquina de ensayo debe configurarse de manera que el esfuerzo a compresión se aplique paulatinamente.
- vii. Registrar los datos.
- viii. Realizar el cálculo:

$$E_c = \left( \frac{S_2 - S_1}{\varepsilon_2 - 0.000050} \right)$$

**Donde,**

- $S_2$ = Esfuerzo al 40% de la carga final de ruptura. (MPa)

- $S_1$ = Lectura del esfuerzo generado  $\varepsilon_1$ , de 50 millonésimas. (MPa)

- $\varepsilon_2$ = Deformación unitaria generada por  $S_2$ .

➤ **Ensayo de durabilidad al ataque de sulfatos**

La norma ASTM C157 indica que el objetivo del presente ensayo es determinar la variación de longitud del concreto en estado endurecido expuesto a solución de sulfatos.

**Materiales**

- ✓ Especímenes prismáticos (vigas) 2.5 x 2.5 x 28.5 cm.
- ✓ Equipo de variación de longitud.
- ✓ Solución de sulfatos.
- ✓ Tornillos de acero.
- ✓ Vernier.

**Procedimiento**

- i. Se realizarán las vigas de concreto teniendo en cuenta que los moldes deben tener aberturas para la colocación de los tornillos de acero que servirán para que la muestra se sujete al equipo de ensayo.
- ii. Luego de 24h del vaciado, se tomó las medidas de las vigas (CRD) antes de sumergirlas a la solución de sulfatos.
- iii. Se preparó la solución de sulfatos y se sumergió los especímenes prismáticos en los recipientes respectivos, para lo cual se debe medir y registrar los datos durante 15 semanas.
- iv. Cálculo de variación longitudinal:

$$\Delta L_x = \left( \frac{CRD - CRD_{inicial}}{G} \right) 100$$

**Donde,**

- $\Delta L_x$ = variación longitudinal del espécimen a cualquier edad. (%)

- $CRD$  = variación de la lectura del comparador de la muestra.

- $G$  = longitud de referencia

## Virutas de acero

### ➤ Tratamiento superficial de oxidación de virutas de acero

Las virutas de acero cuando son recolectadas de las empresas manufactureras denotan un aspecto liso, lo cual, en la presente investigación se hará una oxidación de estas a nivel superficial con la finalidad de modificarlas a un aspecto rugoso.

#### Procedimiento

- i. Realizar la recolección de las virutas de acero y hacer una selección de estas, considerando las virutas semi onduladas y alargadas que permita un mejor manejo en cuanto al desembrollo.
- ii. Para la selección, se utilizará el vernier para la medición del espesor de las virutas de acero, considerando  $e > 0.3$  mm.



Figura 7 Caracterización de la forma geométrica de virutas de acero. Fuente propia.

- iii. Se tendrá que desembrollar manualmente las virutas de acero.
- iv. Posteriormente, se tendrá que establecer patrones de medidas con paletas de madera  $L=1''$ ,  $1,5''$  y  $2''$ , con la finalidad de optimizar el corte de virutas de acero para cada una de las longitudes consideradas.
- v. Luego se procederá a realizar el corte de virutas de acero manualmente con ayuda del patrón de medida correspondiente.



Figura 8 Optimización de corte de virutas de acero.



Figura 9 Virutas de acero cortadas.

- vi. Después, cortadas las virutas de acero, estas serán sumergidas en agua potable por un periodo de 3horas, con la finalidad de realizar una oxidación superficial.



Figura 10 Virutas de acero sumergidas en agua durante un periodo de 3h. Fuente propia.

- vii. Se retirarán de los depósitos de agua y se colocarán en un recipiente. Luego, para el proceso de secado se realizará en laboratorio durante 48h, esto permitirá generar que las muestras no se contaminen de partículas finas.



Figura 11 Exposición de virutas de acero a condiciones ambientales. Fuente Propia.

- viii. Finalmente, terminado el proceso de secado, mediante el análisis visual se habrá generado una coloración naranja en las virutas de acero, lo cual indicará un adecuado tratamiento superficial de oxidación.



Figura 12 Comparación de virutas de acero en su estado normal vs superficialmente oxidadas. Fuente Propia.

➤ **Ensayo de aceptación de las virutas de acero oxidadas**

Según el American Society for Testing and Materials en sus especificaciones técnicas ASTM A615- A615M “Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement” (Cap. 12, 12.2, pp. 04), hace referencia a que no se debe depreciar o exigir una limpieza de las barras de refuerzo oxidadas, debido a que los exploración acerca del tema han demostrado que un porcentaje considerado de elementos oxidados puede conceder mejoría en la adherencia a la mezcla de concreto, siempre y cuando que la condición del elemento no haya variado sus dimensiones en más de 94% respecto al peso nominal. [28]

**Procedimiento para hallar el diámetro permisible**

- i. Realizar la selección de 10 muestras de virutas de acero, medir con ayuda de vernier el diámetro que poseen las virutas en su estado normal y registrar.



Figura 13 Medición de diámetro (espesor) de virutas de acero pre-tratamiento de oxidación.

Fuente propia

- ii. Con el diámetro registrado, realizar el cálculo de sección nominal:

$$S_{nominal} (mm^2) = \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4}$$

- iii. Cálculo de la sección permisible:

$$Sección_{permisible} (mm^2) = 0.94 \times S_{nominal}$$

- iv. Cálculo del diámetro permisible:

$$\phi_{permisible} (mm) = \sqrt{\frac{4Sección_{permisible}}{\pi}}$$

- v. Se debe tomar las medidas en laboratorio pre y post tratamiento de las virutas de acero oxidadas. De esta manera, se podrá realizar el cálculo respectivo y se debe cumplir que la aceptación de estas no debe exceder de la sección y diámetro permisible.

## **Materiales y métodos**

### **Tipo, nivel, método y diseño de la investigación**

#### **Tipo de la investigación**

El presente estudio es de tipo experimental por la modificación con fines intencionales a las condiciones físicas de la variable independiente (virutas de acero oxidadas) y evaluar el comportamiento que se genera en la variable dependiente (propiedades mecánicas del concreto). De esta manera, se podrá establecer causa – efecto de las variables a través de ensayos de laboratorio.

#### **Nivel de investigación**

De acuerdo con la variación de longitud y porcentajes de añadidura de las virutas de acero oxidadas a la mezcla del concreto, el alcance será de tipo mixto, ya que el nivel de investigación explicativo permitirá determinar la longitud y porcentaje óptimo para el diseño, a la vez también correlacional puesto que se evaluará la relación de comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto.

#### **Método de investigación**

El estudio comprende la recolección de datos para poder contrastar la hipótesis planteada, como así también la de objetivo específico y objetivos generales, por tanto, el método de la presente investigación se define como un enfoque cuantitativo.

#### **Diseño de investigación**

El diseño de investigación es experimental pues se tendrá que realizar pruebas de laboratorio de manera controladas a las variables independientes y evaluar los efectos generados en la variable dependiente.

#### **Hipótesis**

##### **Formulación de hipótesis**

La incorporación virutas de acero oxidadas generará una mejor adherencia a la mezcla de concreto, logrando obtener un mejor comportamiento en las propiedades mecánicas en comparación al concreto simple aplicado a pavimentos rígidos.

## Operacionalización de variables

### Variable independiente

- Virutas de acero oxidadas.

### Variable dependiente

- Propiedades mecánicas del concreto.

### Variable interviniente

- Agregados: grueso y fino.

Tabla 10: Operacionalización de variables.

TIPO DE VARIABLE	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	UNIDAD
INDEPENDIENTE	VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS	Cantidad de virutas de acero oxidadas	% en peso de fibras de acero oxidadas	Balanza con aproximación de 0.1 gr	gr
		Aceptación de virutas de acero oxidadas	% de oxidación	ASTM 615-615M	mm
DEPENDIENTE	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO	Ensayos de concreto durante el estado fresco	Potencial de fisuración del concreto simple	ASTM C1579-06	%
		Ensayos de concreto durante el estado endurecido	Resistencia a la tracción indirecta	ASTM C-496	Kg/cm <sup>2</sup>
			Resistencia a la compresión	NTP 339.034	Kg/cm <sup>2</sup>
			Resistencia a la flexión	NTP 339.078	Kg/cm <sup>2</sup>
			Ensayo de durabilidad al ataque de sulfatos	ASTM C1012	%
Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson en compresión	ASTM C 649	Mpa			
INTERVINIENTE	AGREGADOS	Propiedades	Análisis granulométrico	NTP 400.012	gr
			Contenido de humedad	NTP 339.185	%
			Peso específico y absorción agregado grueso	NTP 400.021	%
			Peso específico y absorción agregado fino	NTP 400.022	%
			Peso volumétrico de los agregados	NTP 400.017	%

## Diseño de investigación

### Unidad de estudio

La presente investigación considera como unidad de estudio el comportamiento de las propiedades mecánicas del concreto.

### Población y muestra

La población de estudio está conformada por un concreto convencional y concreto con adición de virutas en su estado normal, considerando una resistencia a la compresión de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, de esta manera se podrá analizar el estudio del concreto reforzado con las virutas de acero oxidadas, variando la longitud de estas y el porcentaje de adición respecto al peso del cemento. Asimismo, definida la población, para el desarrollo de los objetivos planteados, se realizarán muestras de estudio, lo cual constará de especímenes cilíndricos de medidas 100 x 200 mm y prismáticos de medidas 150 x 150 x 550 mm. Las virutas de acero fueron recolectadas de la empresa “Sr. De los Milagros” EIRL, ubicado en la calle Tahuantinsuyo No. 1550 del distrito de José Leonardo Ortiz, localizado en la ciudad de Chiclayo, posteriormente fueron tratadas superficialmente con la finalidad de ser oxidadas. Para el desarrollo de la investigación se utilizará un total de 132 especímenes cilíndricos de 10x20, 8 especímenes cilíndricos de 15x30 y 10 especímenes prismáticos de tipo viga. Asimismo, los agregados fueron provenientes de la cantera La Victoria - Pátapo (agregado fino) y Tres Tomas – Ferreñafe (agregado grueso), ubicado en el departamento de Lambayeque.

Figura 14 Total de muestras cilíndricas ensayadas para resistencia a compresión

RESISTENCIA A COMPRESIÓN NTP 339.034																				
CANTIDAD DE PROBETAS CILÍNDRICAS D = 4" H = 8"																				
LONGITUD	MUESTRA PATRÓN		VIRUTAS OXIDADAS 1"						VIRUTAS OXIDADAS 1 1/2"						VIRUTAS OXIDADAS 2"					
	CONCRETO SIMPLE		2%		3%		4%		2%		3%		4%		2%		3%		4%	
PORCENTAJE DE ADICIÓN	-		2%		3%		4%		2%		3%		4%		2%		3%		4%	
DÍAS DE ROTURA DE MUESTRAS	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Nº DE PROBETAS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PARCIAL	6		18						18						18					
<b>TOTAL</b>															<b>60</b>					

Fuente: Elaboración propia

Figura 15 Total de muestras cilíndricas ensayadas para resistencia a tracción indirecta.

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA ASTM C 496																				
CANTIDAD DE PROBETAS CILÍNDRICAS D = 4" H = 8"																				
LONGITUD	MUESTRA PATRÓN		VIRUTAS OXIDADAS 1"						VIRUTAS OXIDADAS 1 1/2"						VIRUTAS OXIDADAS 2"					
	CONCRETO		2%		3%		4%		2%		3%		4%		2%		3%		4%	
PORCENTAJE DE ADICIÓN	-		2%		3%		4%		2%		3%		4%		2%		3%		4%	
DÍAS DE ROTURA DE MUESTRAS	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
Nº DE PROBETAS	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
PARCIAL	6		18						18						18					
<b>PARCIAL</b>	<b>60</b>																			

Fuente: Elaboración propia

Figura 16 Total de muestras prismáticas ensayadas para resistencia a flexión en vigas.

RESISTENCIA A FLEXIÓN NTP 339.078					
CANTIDAD DE PROBETAS PRISMÁTICAS (15x15x55) cm					
LONGITUD	MUESTRA PATRÓN		VIRUTAS OXIDADAS 1"	VIRUTAS OXIDADAS 1 1/2"	VIRUTAS OXIDADAS 2"
	CONCRETO SIN VIRUTAS				
PORCENTAJE DE ADICIÓN	0%		4%	4%	4%
DÍAS DE ROTURA DE MUESTRAS	28		28	28	28
Nº DE PROBETAS	2		2	2	2
PARCIAL	2		2	2	2
<b>PARCIAL</b>	<b>8</b>				

Fuente: Elaboración propia

Figura 17 Total de muestras prismáticas ensayadas para ensayo de durabilidad al ataque de sulfatos.

ENSAYO DE DURABILIDAD ASTM C 1012					
CANTIDAD DE BARRAS DE CONCRETO (2.5x2.5x28.5) cm					
LONGITUD	MUESTRA PATRÓN		VIRUTAS OXIDADAS 1"	VIRUTAS OXIDADAS 1 1/2"	VIRUTAS OXIDADAS 2"
	CONCRETO SIN VIRUTAS				
PORCENTAJE DE ADICIÓN	0%		4%	4%	4%
DÍAS DE ROTURA DE MUESTRAS	28		28	28	28
Nº DE PROBETAS	3		3	3	3
PARCIAL	3		3	3	3
<b>PARCIAL</b>	<b>12</b>				

Fuente: Elaboración propia

Figura 18 Total de muestras cilíndricas ensayadas para ensayo de módulo de elasticidad.

<b>MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RELACIÓN DE POISSON ASTM C 649</b>				
<b>CANTIDAD DE PROBETAS CILÍNDRICAS D = * H = 12*</b>				
<b>LONGITUD</b>	<b>MUESTRA PATRÓN</b>	<b>VIRUTAS OXIDADAS 1"</b>	<b>VIRUTAS OXIDADAS 1 1/2"</b>	<b>VIRUTAS OXIDADAS 2"</b>
	<b>CONCRETO SIMPLE</b>			
<b>PORCENTAJE DE ADICIÓN</b>	0%	4%	4%	4%
<b>DÍAS DE ROTURA DE MUESTRAS</b>	28	28	28	28
<b>N° DE PROBETAS</b>	2	2	2	2
<b>PARCIAL</b>	2	2	2	2
<b>PARCIAL</b>	<b>8</b>			

Fuente: Elaboración propia

### Muestreo

El muestreo de estudio de la investigación es de tipo no probabilística ya que el procedimiento de selección no estará regido a fórmulas de probabilidad, por lo contrario, el investigador determinará sus decisiones de acuerdo con los propósitos que crea conveniente.

### Criterios de Selección

Para la ejecución y logro de la investigación, se plantea los siguientes criterios de determinación y evaluación:

- El tipo de virutas de acero para la recolección, serán de forma alargada y espesor de > 0.3 mm provenientes de talleres de manufactura, con la finalidad de facilitar el control y manejo de estas.
- La aceptación de virutas de acero oxidadas tendrá que ser evaluadas de acuerdo con la norma ASTM 615-615M.
- La selección de agregados se tendrá en cuenta los criterios de gradación de acuerdo con la NTP 400.012 – NTP 400.037, provenientes de la cantera Tres Tomas, Chiclayo.
- El ensayo a compresión y tracción indirecta, el molde es de tipo cilindro con medidas de 10 cm diámetro y 20 cm de altura, tendrá que estar sujeto a la normativa peruana 339.034 ya que establece 3 probetas como mínimo la realización de un promedio confiable.
- Los moldes para especímenes prismáticos para la evaluación a flexión serán de medidas 15x15x55 cm, teniendo en consideración la NTP 339.078.

- En cuanto al desarrollo del ensayo de durabilidad, se llevará a cabo con el porcentaje y longitud optima de resistencia a flexión, para lo cual se utilizó moldes de 5x5x28.5 y tendrán que ser curados durante 7 días según la ASTM C1012.
- Los especímenes preparados y cilíndricos serán sometidos etapas de curado de 7 y 28 días, teniendo en cuenta la normativa peruana 339.033 y 339.183.
- El diseño de mezcla se realiza mediante la normativa ACI 211, considerando el asentamiento de 3"-4".

### Criterios de Aplicación

Teniendo en consideración la aplicación de las virutas de acero oxidadas con uso en pavimentos rígidos, se determina el uso y condiciones ambientales permisibles a las cuales debe estar sometido:

Figura 19 Consideraciones de aplicación para pavimentos rígidos con adición de virutas de acero oxidadas.

CARACTERISTICAS		CONSIDERACIONES
CLASIFICACIÓN FUNCIONAL		Pavimentos urbanos de vías locales
VOLUMEN DEL TRÁNSITO		De acuerdo con el Manual de carreteras: Sección suelos y pavimentos, pág. 231 se considera la aplicación para un tránsito de hasta 5'000,000 EE.
PERIODO DE DISEÑO		30 años
RESISTENCIA A COMPRESIÓN (f'c)		280 kg/cm <sup>2</sup>
RESISTENCIA A FLEXIÓN (Mr)		40 kg/cm <sup>2</sup>
CONDICIONES AMBIENTALES	Temperatura	16°C < T° < 30°C
	Exposición	Exposición de clase normal (se restringe el uso para lugares de condiciones marinas o cercanas a éstas)
	Humedad	Humedad media, zonas con precipitación media anual inferior a 600mm.

**Fuente:** Elaboración propia

### Técnicas e instrumentos de recolección de datos

#### Técnicas

- **Observación**

Para desarrollar este estudio, se adoptó la técnica de la observación dado que se tendrá que realizar la recolección de las fibras de acero de los diferentes talleres de manufactura de la ciudad de Chiclayo con mayor espesor para desembrollar con mayor facilidad. Además, se hará uso de esta técnica en el tratamiento superficial de las fibras debido a que deberán tener una coloración naranja como índice de oxidación.

- **Experimental**

La realización de la investigación se dará debido a la manipulación de las variables de estudio a través de ensayos, de esta manera, se podrá corroborar o rechazar la hipótesis establecida.

- **Interpretación de resultados**

Debe señalarse que los resultados de laboratorio obtenidos de la investigación contribuyen a realizar el análisis correspondiente, teniendo en consideración las normas técnicas peruanas a utilizar en el presente estudio, además de las normas complementarias, tales como la ASTM.

### *Instrumentos de recolección de datos*

- **Fichas de observación**

-Se adjunta fichas en el anexo 18.

- **Material experimental**

-Virutas de acero oxidadas superficialmente y sin oxidar.

- **Fuentes**

-Reglamento Nacional de Edificaciones

-Normativa Técnica Peruana

-American Society for Testing and Materials

-Manual EG.2013 de Carreteras

- **Programas de procesamiento**

-Microsoft Office Word y Excel.

- **Ensayo de materiales**

Figura 20 Ensayos de materiales empleados de la investigación.

AGREGADOS	CONCRETO		VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS
	ESTADO FRESCO	E. ENDURECIDO	
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Granulometría</li> <li>▪ Peso unitario suelto</li> <li>▪ Peso unitario compactado</li> <li>▪ Contenido de humedad</li> <li>▪ Contenido de Absorción</li> <li>▪ Peso específico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Asentamiento.</li> <li>▪ Potencial de fisuración.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Resistencia a flexión</li> <li>▪ Resistencia a compresión</li> <li>▪ Resistencia a tracción indirecta.</li> <li>▪ Durabilidad</li> <li>▪ Módulo de elasticidad estático y relación de Poisson.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tratamiento superficial de oxidación.</li> <li>▪ Aceptación de virutas oxidadas.</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración propia

## Procedimientos

- Se realizó el mapeo de talleres manufactureros de torno en la ciudad de Chiclayo, considerando a la empresa “Sr. De los Milagros” EIRL, ubicado en la calle Tahuantinsuyo No. 1550 del distrito de José Leonardo Ortiz con mayor producción en volumen de virutas de acero.

Figura 21 Ubicación de empresa manufacturera de servicio de torno.



Fuente: Google Maps.

- De esta manera se efectuó la recolección, teniendo en cuenta la caracterización de las virutas de acero generadas en el servicio de torno. Asimismo, el manejo y control de la producción de virutas, se almacenó en cajas para impedir que estas se contaminen con otro tipo de sustancias, que encarezcan su aprovechamiento, tales como aceites de máquinas, líquidos.
- Asimismo, de esta manera se realizó una separación selectiva de acuerdo con el  $> 0.30\text{mm}$  y tipo de viruta, a través de contenedores. El espesor escogido permitirá desembrollar las virutas de acero con mayor facilidad.

Figura 22 Almacenamiento y selección de virutas de acero.



Fuente: Propia

- Teniendo el EPP básico correspondiente, en principal, los guantes de seguridad, se procedió a cortar manualmente las virutas de longitudes 1", 1 ½" y 2" con la finalidad de someterlas al tratamiento superficial de oxidación y finalmente a la mezcla de concreto respecto en 2%, 3% y 4% respecto al peso del cemento.

Figura 23 Virutas de acero de L=1" en su estado normal.



Fuente: Propia

- Por otra parte, se desarrolló los ensayos de laboratorio a la variable interviniente para poder obtener los datos que faciliten el diseño de mezcla (ver tabla 10), teniendo en cuenta la relación a/c y asentamiento considerado, además de los requisitos granulométricos según la NTP 400 012.
- Luego de haber cortado las virutas de acero, se realiza el tratamiento superficial de oxidación de virutas:

-Se propuso una técnica física, que induzca a la oxidación sin alterar las propiedades de la viruta, lo cual consistió sumergir las virutas de acero en agua.

-Se dispuso a las virutas de acero bajo condiciones naturales para el secado en sala de laboratorio por un periodo de 2 días.

Figura 24 Tratamiento de oxidación a nivel superficial de virutas de acero.



Fuente: Propia

- Teniendo en disposición las características granulométricas de los agregados, se procede a esquematizar el diseño de la muestra patrón con un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  mediante la metodología ACI – 211.
- De este modo, se realizó la producción del concreto y etapas de curado. Por consiguiente, se evaluó los ensayos de compresión, tracción indirecta, flexión, módulo de poisson y durabilidad de los especímenes con los diferentes porcentajes de adición y longitudes considerados.
- Mediante el ensayo de resistencia a flexión en los especímenes prismáticos, se tuvo una longitud y porcentaje óptimo de 1” al 4% de virutas de acero oxidadas, lo cual sirvió para la comparación con la muestra patrón de concreto convencional en el desarrollo del ensayo de potencial de fisuración.
- Posteriormente, se realizó el vaciado de concreto en los especímenes correspondientes con añadidura de virutas de acero en su estado normal con la longitud óptima a flexión de 1” al 4% para evaluar sus propiedades mecánicas frente a las virutas de acero oxidadas.
- Luego de la obtención de resultados, se procesa y organiza los diferentes cuadros, gráficos y tablas con la finalidad de establecer comparaciones del concreto convencional respecto a la aportación de las virutas de acero oxidadas en sus propiedades.
- Finalmente, culminado el procesamiento de datos, se realiza el análisis de costo unitario para una producción de 1m<sup>3</sup> de concreto realizado de manera convencional y mediante la añadidura de virutas de acero oxidadas.

## Resultados y Discusión

### Resultados

#### Identificación, clasificación y uniformización de virutas de acero oxidadas

La ciudad de José Leonardo Ortiz es el distrito en donde se encontró mayor escala las empresas manufactureras de servicio de torno a nivel formal como también informal, para lo cual, en el desarrollo de la investigación se contó la empresa formal “Sr. De los Milagros” EIRL y 02 empresas informales, dicha empresa hace empleo de un torno tipo paralelo o también llamado torno de puntos (ver figura 18) y torno de tipo vertical (ver figura 19).

Figura 26 Torno de tipo vertical.



**Fuente:** Propia

Figura 25 Torno de puntos.



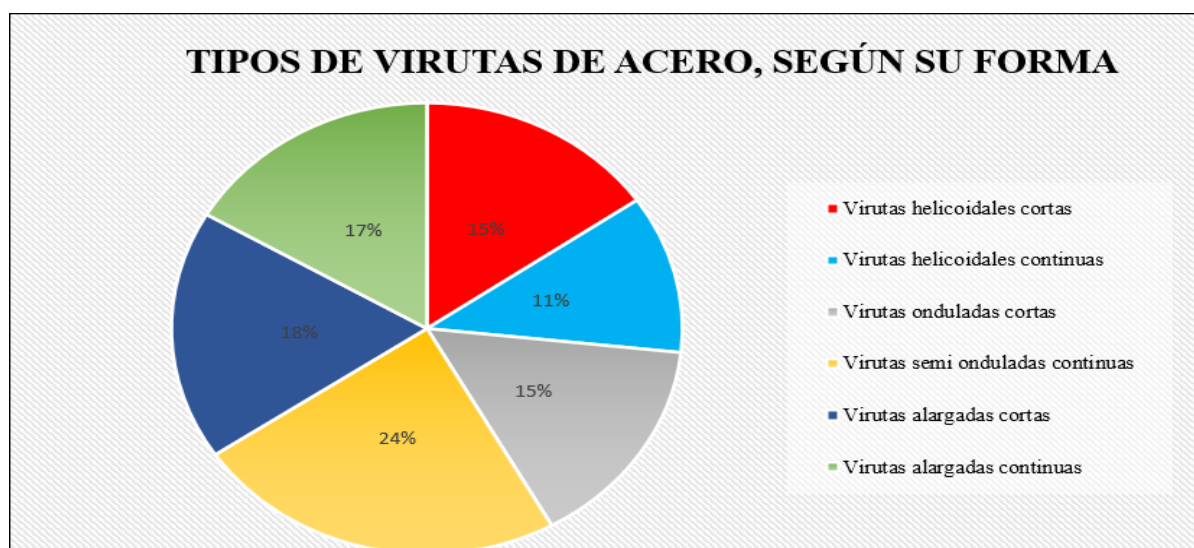
**Fuente:** Propia

Las virutas de acero fueron almacenadas y recolectadas semanalmente, lo cual en la producción por parte de las empresas manufactureras se identificó virutas de acero representativos, que dependía de la velocidad de corte para el desarrollo del trabajo, cuando se aplicaba una velocidad rápida, las virutas tenían forma helicoidales y onduladas, por el contrario, cuando se realizaba el torneado con velocidad lenta, daba como excedentes a virutas alargadas.

**La figura 27**, muestra los 6 tipos de virutas de acero identificadas, para lo cual la producción de las empresas manufactureras oscila de 11 a 15 kg/día donde se identificó una recolección promedio/día de 26% de virutas helicoidales, 15% onduladas, 24% semi onduladas y 39% de alargadas. Asimismo, un rasgo de identificación de espesor menores a 0.1 mm en virutas

helicoidales, mientras tanto, las virutas onduladas 0.1 a 0.3 mm y alargadas de 0.3 mm a 0.45mm.

Figura 27 Identificación y clasificación de virutas de acero.



Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas

Según [7], para poder realizar la aceptación de virutas de acero se determinó el grado de oxidación estas, lo cual fueron obtenidas a través de pesos pre y post-tratamiento. Para lo cual, en el desarrollo del tratamiento, se tomó de cada longitud (al azar) 10 unidades para evaluar su pérdida de peso se registraron antes y después de la inmersión en agua potable.

En las virutas de acero oxidadas de L=1", se obtuvo un grado promedio de oxidación de 1.4% en diámetros que varían de 0.31-0.42 mm. Asimismo, para la evaluación de la aceptación de estas, mediante la norma A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04), se pudo obtener que el tratamiento cumple con los requisitos permisibles de no exceder el 94% del diámetro permisible y la variación de pesos no fue considerable postratamiento.

Tabla 11 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=1".

MUESTRA	Traamiento superficial en agua	Exposicion de secado (días)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidacion	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	Verificación
VAO-01	3h	2	1	0.39	0.17	0.39	0.17	97.06	0.119	0.112	0.378	Cumple
VAO-02	3h	2	1	0.36	0.20	0.36	0.20	97.50	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-03	3h	2	1	0.42	0.18	0.42	0.18	97.22	0.139	0.130	0.407	Cumple
VAO-04	3h	2	1	0.31	0.21	0.31	0.21	100.00	0.075	0.071	0.301	Cumple
VAO-05	3h	2	1	0.35	0.17	0.35	0.17	100.00	0.096	0.090	0.339	Cumple
VAO-06	3h	2	1	0.38	0.19	0.38	0.19	97.37	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-07	3h	2	1	0.33	0.22	0.33	0.22	99.09	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-08	3h	2	1	0.37	0.20	0.37	0.20	98.00	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	1	0.38	0.16	0.38	0.16	100.00	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-10	3h	2	1	0.36	0.21	0.36	0.21	100.00	0.102	0.096	0.349	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

De la misma forma, se puede señalar que el grado promedio de oxidación de las virutas de dimensión lineal de 1.5” fue de 1.3% y se caracterizaron por tener diámetros de 0.30 – 0.37 mm.

Tabla 12 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=1.5”.

MUESTRA	Traamiento superficial en agua	Exposicion de secado (días)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidacion	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	Verificacion
VAO-01	3h	2	1.5	0.30	0.26	0.30	0.255	98.08	0.071	0.066	0.291	Cumple
VAO-02	3h	2	1.5	0.33	0.24	0.33	0.235	97.92	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-03	3h	2	1.5	0.32	0.27	0.32	0.265	98.15	0.080	0.076	0.310	Cumple
VAO-04	3h	2	1.5	0.36	0.25	0.36	0.248	99.20	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-05	3h	2	1.5	0.35	0.24	0.35	0.235	97.92	0.096	0.090	0.339	Cumple
VAO-06	3h	2	1.5	0.33	0.26	0.33	0.260	100.00	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-07	3h	2	1.5	0.34	0.22	0.34	0.215	97.73	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-08	3h	2	1.5	0.37	0.26	0.37	0.260	100.00	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	1.5	0.30	0.21	0.30	0.210	100.00	0.071	0.066	0.291	Cumple
VAO-10	3h	2	1.5	0.33	0.23	0.33	0.225	97.83	0.086	0.080	0.320	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Como resultado para las virutas de longitud 2” se obtuvo un grado promedio de oxidación de 1.5%, con porcentajes superiores al 97%, cumpliendo el ensayo de aceptación.

Tabla 13 Registro de datos de virutas de acero oxidadas L=2”.

MUESTRA	Traamiento superficial en agua	Exposicion de secado (días)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidacion	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	Verificacion
VAO-01	3h	2	2"	0.32	0.310	0.32	0.310	100.00	0.080	0.076	0.310	Cumple
VAO-02	3h	2	2"	0.34	0.340	0.34	0.330	97.06	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-03	3h	2	2"	0.31	0.630	0.31	0.625	99.21	0.075	0.071	0.301	Cumple
VAO-04	3h	2	2"	0.38	0.590	0.38	0.580	98.31	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-05	3h	2	2"	0.33	0.640	0.33	0.625	97.66	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-06	3h	2	2"	0.36	0.350	0.36	0.350	100.00	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-07	3h	2	2"	0.34	0.340	0.34	0.330	97.06	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-08	3h	2	2"	0.37	0.480	0.37	0.470	97.92	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	2"	0.33	0.490	0.33	0.485	98.98	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-10	3h	2	2"	0.33	0.500	0.33	0.495	99.00	0.086	0.080	0.320	Cumple

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29 Registro de peso post-tratamiento.



Fuente: Propia

Figura 28 Proceso de oxidación de virutas de acero.



Fuente: Propia

## Ensayos de los materiales granulométricos

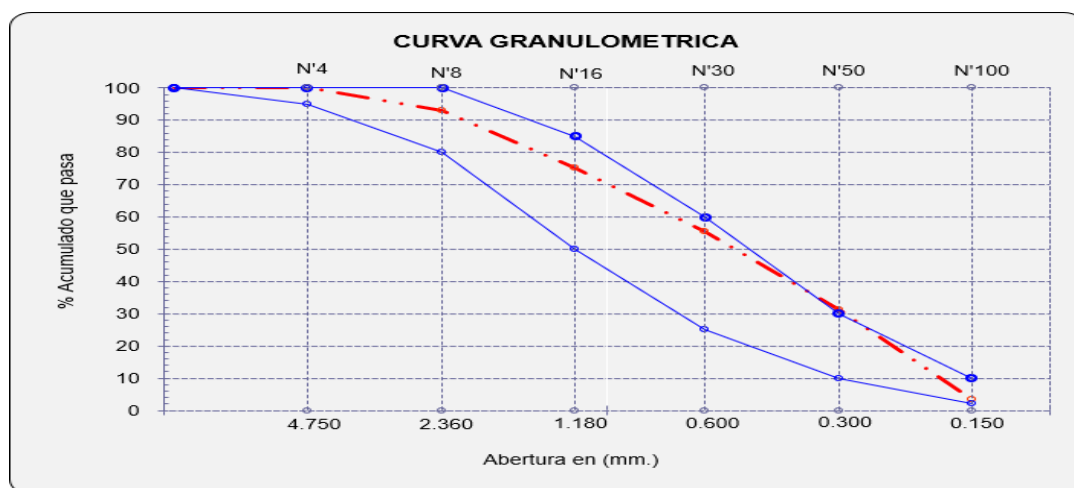
### Granulometría de los agregados

El desarrollo de las propiedades granulométricas de los agregados se llevó a cabo según los requerimientos de la normativa NTP 400.012. Para el agregado fino, se adquirieron de la cantera Pátapo – La Victoria, los resultados alcanzaron las expectativas para la ejecución de la presente investigación. Asimismo, el primer retenido se dio en la malla N°08 y los % acumulados que pasan se encuentran en los rangos establecidos de NTP 400.037 ó ASTM C33, además, para el módulo de fineza se obtuvo 2.415, cumpliendo el parámetro establecido de la norma.

Tabla 14 Granulometría del agregado fino.

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	Especificaciones N.T.P. 400.037	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	0	0.0	0.0	100.0	95	100
N° 08	2.360	35.15	7.0	7.0	93.0	80	100
N° 16	1.180	88.1	17.6	24.7	75.4	50	85
N° 30	0.600	99.95	20.0	44.6	55.4	25	60
N° 50	0.300	119.9	24.0	68.6	31.4	10	30
N° 100	0.150	139.7	27.9	96.6	3.4	2	10
<b>Fondo</b>		17.2	3.4	100.0	0.0	-	-
<b>Módulo de Fineza</b>				<b>2.415</b>	<b>Fuente: Elaboración Propia</b>		
Abertura de malla de referencia				N° 08			

Figura 30 Curva del análisis granulométrico del agregado fino. Fuente propia.



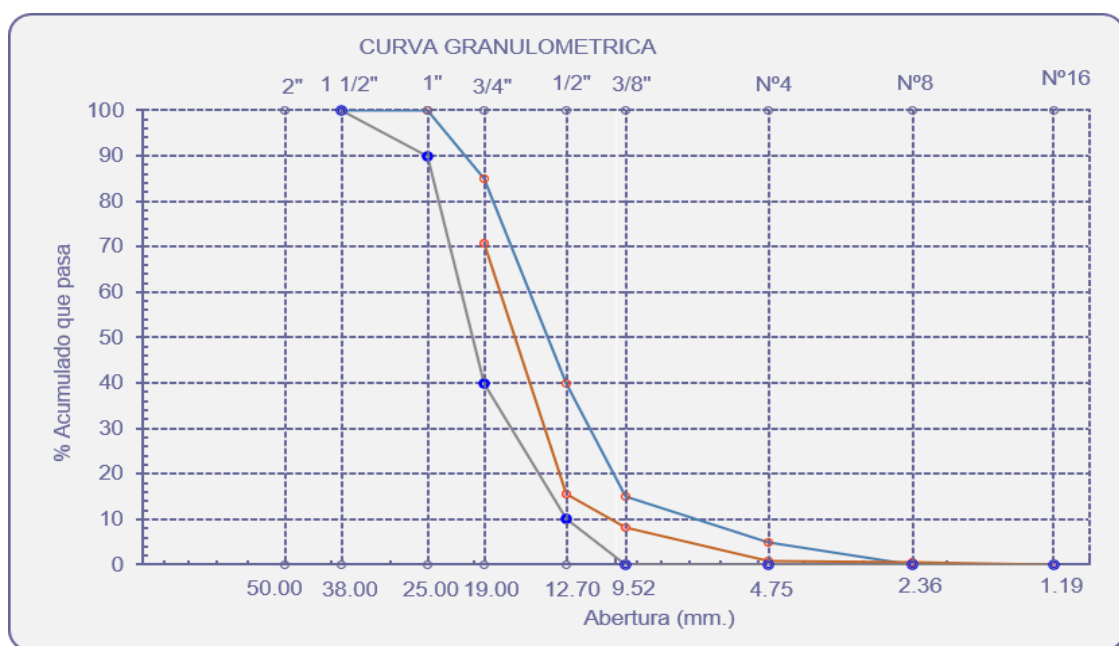
**Fuente: Elaboración Propia**

El agregado grueso se obtuvo de la cantera Tres Tomas – Ferreñafe. En la tabla 15, se observa que el tamaño máximo fue de 1" y un tamaño máximo nominal de 3/4".

Tabla 15 Granulometría del agregado grueso.

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.000	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.000	50.0	0.8	0.8	99.2	90.0	100.0
3/4"	19.000	1780.0	28.5	29.3	70.7	40.0	85.0
1/2"	12.700	3444.0	55.1	84.4	15.6	10.0	40.0
3/8"	9.520	470.0	7.5	91.9	8.1	0.0	15.0
Nº 04	4.750	450.0	7.2	99.1	0.9	0.0	5.0
Nº 08	2.360	20.0	0.3	99.4	0.6	0.0	0.0
Nº 16	1.190	36.0	0.6	100.0	0.0	0.0	0.0
Fondo		0.0	0.0	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	25.00	<b>Fuente:</b> Elaboración Propia		
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			

Figura 31 Curva granulométrica de agregado grueso.



**Fuente:** Elaboración Propia

### Peso específico y grado de absorción de los agregados

#### a) Peso específico y absorción del agregado fino

El peso específico del agregado fino fue de 2534 kg/cm<sup>2</sup> y para el grado de absorción se determinó 0.79%.

Tabla 16 Peso específico y absorción del agregado fino.

<b>Cantera</b> : Pátapo – La Victoria		
<b><u>I.- Datos.</u></b>		
1.- Peso de la muestra Sat Sup Seca	(g)	<b>500.000</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	<b>971.960</b>
3.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	667.700
4.- Peso del Agua	(g)	304.260
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>167.700</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	663.800
7.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>496.100</b>
<b><u>II.- Resultados</u></b>		
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.534</b>
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.79</b>

Fuente: Elaboración Propia

#### b) Peso específico y absorción del agregado grueso

El peso específico del agregado grueso fue de 2536 kg/cm<sup>2</sup> y para el grado de absorción fue de 0.61%.

Tabla 17 Peso específico y absorción del agregado grueso.

<b>Cantera TRES TOMAS</b>		
<b><u>I.- Datos.</u></b>		
1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>4920.0</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>4950.0</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso de la canastilla	(g)	<b>3890.0</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>880.0</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	3010.0
<b><u>II.- Resultados</u></b>		
PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm <sup>3</sup> )	<b>2.536</b>
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.610</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Contenido de humedad de los agregados

Mediante la norma NTP. 339.185 se determinó el contenido de humedad, para lo cual se seleccionó 513.75 gr del volumen de agregado fino, obteniendo el resultado de 2.75%.

Tabla 18 Contenido de humedad del agregado fino.

<b>Cantera : Pátapo - La Victoria</b>		
<b>I.- Datos</b>		
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	513.75
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	500.0
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0
<b>D.- Contenido de humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>2.75</b>
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>2.75</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

La NTP.339.185 considera que para el tamaño máximo nominal de ¾” del agregado grueso se debe disponer de una muestra mínima de 3000 gr. De esta manera, para el desarrollo del presente ensayo se dispuso de 9400 gr de del volumen de agregado grueso y se obtuvo un contenido de humedad de 0.32 %.

Tabla 19 Contenido de humedad del agregado grueso.

<b>Cantera: TRES TOMAS</b>		
<b>I.- Datos</b>		
A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	9400
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	9370.0
C.- Peso de recipiente	(gr.)	86.0
<b>D.- Contenido de humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>0.32</b>
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.32</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

### Peso unitario volumétrico

#### a) Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Para el agregado fino, proveniente de la cantera La Victoria – Pátapo, se determinó que el peso unitario suelto seco del agregado fino es de 1503.53 kg/m<sup>3</sup> y su peso unitario compactado seco es de 1737.4 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 20 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

<b>1.- PESO UNITARIO SUELTO</b>				
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>18556</b>	<b>18557</b>	<b>18560</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		8464	8465	8468
4.- Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1544.5	1544.7	1545.2
<b>6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1504</b>		
<b>2.- PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>19870</b>	<b>19880</b>	<b>19874</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		9778	9788	9782
4.- Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1784.3	1786.1	1785.0
<b>6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1737</b>		

Fuente: Elaboración Propia

**b) Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso**

Para el agregado grueso, proveniente de la cantera Tres Tomas, se obtuvo que el peso unitario suelto seco del agregado grueso es de 1446.20 kg/m<sup>3</sup> y su peso unitario compactado es de 1652.02 kg/m<sup>3</sup>.

Tabla 21 Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

<b>A.- PESO UNITARIO SUELTO</b>				
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>17988</b>	<b>17992</b>	<b>17990</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		7896	7900	7898
4.- Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1450.5	1451.2	1450.8
<b>6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1443.8</b>		
<b>B.- PESO UNITARIO COMPACTADO</b>				
1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>18270</b>	<b>18282</b>	<b>18440</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	9996.0	9996.0	9996.0
3.- Peso del material		9012.00	9032.0	9021
4.- Constante o Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1655.48	1659.15	1657.15
<b>6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1649.26</b>		

Fuente: Elaboración Propia

## Diseño de mezcla

Finalizado los ensayos que proporcionan las características mecánicas de los agregados y aceptación de virutas de acero oxidadas, se procedió a realizar el diseño de mezcla mediante el método ACI 211. De esta manera, para el desarrollo de la muestra patrón del presente estudio, se tomó en cuenta las especificaciones del Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos, lo cual considera para la resistencia de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  se debe tener un  $M_r$  mínimo de  $40 \text{ kg/cm}^2$ . Se determinó el siguiente diseño de mezcla de la muestra patrón:

Tabla 22 Resultado de diseño de mezcla, materiales en  $\text{kg/m}^3$ .

Resultado final de diseño (húmedo)			Resultado de diseño corrección por slump		
<b>Slump requerido</b>	3''- 4''		<b>Slump requerido</b>	3''- 4''	
<b>Slump obtenido</b>	2.5''		<b>Slump obtenido</b>	3.00''	
a) Cemento	449	$\text{Kg/m}^3$	a) Cemento	449	$\text{Kg/m}^3$
b) Agua	251	$\text{Lt/m}^3$	b) Agua	253.500	$\text{Lt/m}^3$
c) Arena	655	$\text{Kg/m}^3$	c) Arena	690	$\text{Kg/m}^3$
d) Grava	1006	$\text{Kg/m}^3$	d) Grava	972	$\text{Kg/m}^3$
e) Aditivo	0.00	$\text{Lt/m}^3$	e) Aditivo	0.00	$\text{Lt/m}^3$
	<b>2362</b>			<b>2362</b>	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23 Resultado de diseño de mezcla, dosificación en peso y volumen.

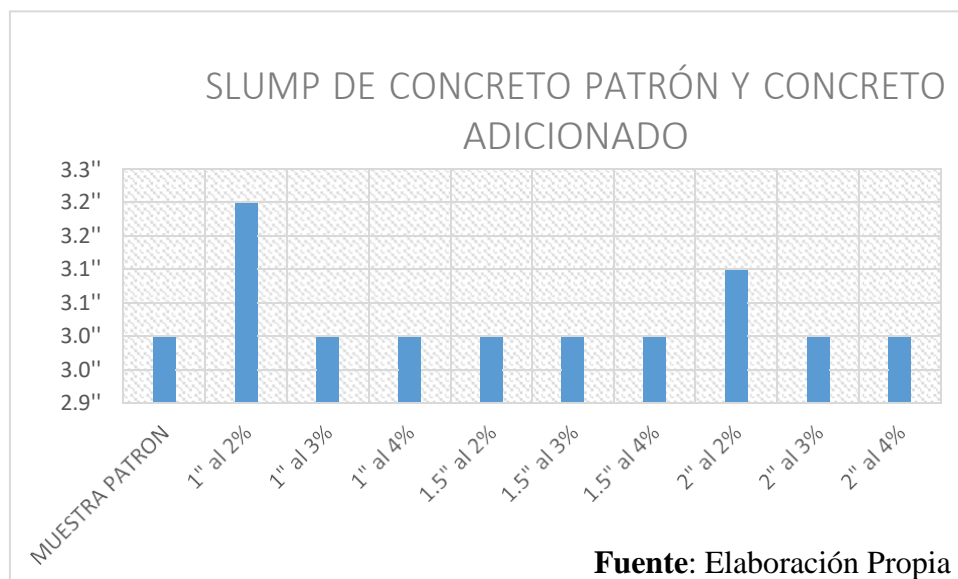
Dosificación en peso			Dosificación en volumen		
<b>Slump requerido</b>	3''- 4''		<b>Slump requerido</b>	3''- 4''	
<b>Slump obtenido</b>	2.5''		<b>Slump obtenido</b>	3.00''	
a) Cemento	1	$\text{Lt/pie}^3$	a) Cemento	1	$\text{Lt/m}^3$
b) Agua	23.8	$\text{Lt/pie}^3$	b) Agua	23.8	$\text{Lt/m}^3$
c) Arena	1.54	$\text{Lt/pie}^3$	c) Arena	1.53	$\text{Lt/m}^3$
d) Grava	2.17	$\text{Lt/pie}^3$	d) Grava	2.25	$\text{Lt/m}^3$
e) Aditivo	0.00	$\text{Lt/pie}^3$	e) Aditivo	0.00	$\text{Lt/m}^3$

## Ensayos del Concreto en Estado Plástico

### Prueba de cono de abrams

En la siguiente figura, se muestra la prueba de slump obtenidos para un  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y las longitudes de virutas con su % respectivo de adición, lo cual, los resultados determinan que el asentamiento se ha mantenido constante.

Figura 32 Prueba de slump.



### Potencial de fisuración

Los resultados muestran que las virutas de acero oxidadas contrarrestan la fisuración por contracción plástica en el concreto. Mediante la norma ASTM C-1579 – 06, se pudo realizar el CRR promedio de losas de concreto adicionadas con la longitud y porcentaje óptimo de la resistencia a flexión L=1" al 4%, lo cual indica que disminuye la fisuración en un 32.83% respecto al concreto de muestra patrón.

Tabla 24 Crr promedio de ensayo potencial de fisuración.

	M01 - Patrón (mm)	M02 - Patrón (mm)	M01 - VAO L=1" al 4% (mm)	M02 - VAO L=1" al 4% (mm)
	0.70	0.40	0.10	0.25
	0.40	0.80	0.30	0.10
	0.60	0.90	0.10	0.20
	0.80	0.50	0.30	0.10
	1.00	0.90	0.25	0.30
	0.80	0.60	0.30	0.25
	0.60	0.40	0.10	0.10
	0.90	0.70	0.25	0.30
	0.80	0.60	0.30	0.25
	0.80	0.90	0.10	0.30
<b>Fisuras promedio (mm)</b>	<b>0.74</b>	<b>0.67</b>	<b>0.21</b>	<b>0.22</b>
	<b>0.71</b>		<b>0.21</b>	
<b>% Reducción de fisuras</b>	<b>71.62</b>		<b>67.91</b>	

**Fuente:** Elaboración propia

## Ensayos del Concreto en Estado Endurecido

### Ensayo de resistencia a compresión

En la siguiente tabla, se muestra los resultados del promedio de 3 especímenes ensayados a los 7 y 28 días con  $f'_{cr} = 290 \text{ kg/cm}^2$ . Se observa una resistencia obtenida en la muestra patrón de  $251.42 \text{ kg/cm}^2$  y  $331.47 \text{ kg/cm}^2$ . Asimismo, se determinó que las virutas de acero oxidadas de 1" al 2% han logrado un mejor comportamiento a compresión, logrando una resistencia de  $307.11 \text{ kg/cm}^2$  y  $338.72 \text{ kg/cm}^2$ , respectivamente.

Tabla 25 Resultados de resistencia a compresión en muestra patrón y virutas de acero oxidadas.

PROBETA	Longitud y porcentaje de adición	f'c promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) - 7 días	f'c promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) - 28 días
MUESTRA PATRON	f'cr 290 kg/cm <sup>2</sup>	251.42	331.47
	Sin oxidar 1" al 2%	240.98	338.34
VIRUTA DE ACERO OXIDADAS	1" al 2%	307.11	388.72
	1" al 3%	269.67	361.60
	1" al 4%	293.40	378.96
	1.5" al 2%	281.09	381.38
	1.5" al 3%	266.70	345.35
	1.5" al 4%	268.27	357.61
	2" al 2%	253.33	353.58
	2" al 3%	274.13	336.31
	2" al 4%	255.37	336.09

Fuente: Elaboración Propia

#### a) Comparación

Determinada la longitud con su porcentaje óptimo de adición correspondiente a 1" al 2%, lo cual, en la siguiente tabla se evidencia el comportamiento durante los 7 y 28 días frente a la muestra patrón sin ninguna adición. Además, se elaboró especímenes con adición de virutas en estado normal.

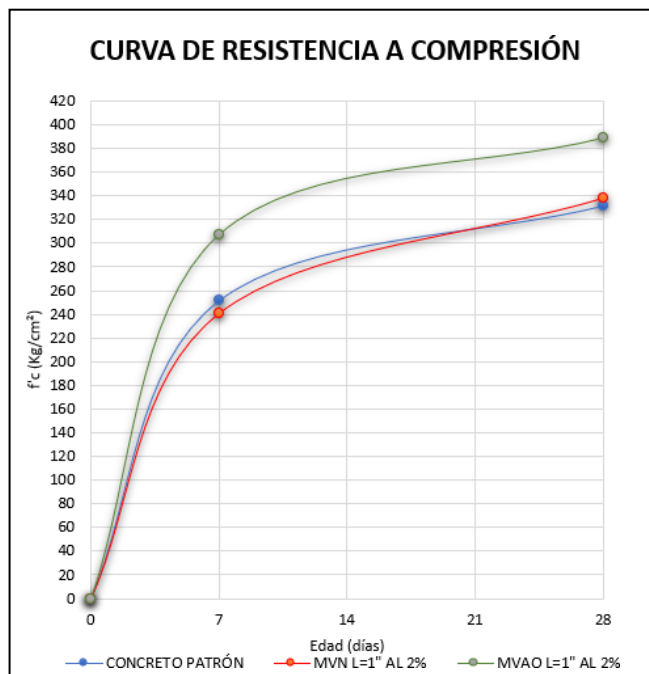
Tabla 26 Cuadro comparativo de resistencia a compresión.

CUADRO COMPARATIVO					
CONCRETO PATRON		MVN L=1" AL 2%		MVAO L=1" AL 2%	
DIAS	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	DIAS	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )	DIAS	RESISTENCIA (kg/cm <sup>2</sup> )
7	251.42	7	240.98	7	307.11
28	331.47	28	338.34	28	388.72

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, en el siguiente grafico se muestra que la adición de virutas de acero oxidadas optimó incrementó en 17.27% frente a la muestra patrón y 14.89% frente al concreto con adición de virutas sin oxidar.

Figura 33 Comparación de resistencias a compresión.



Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo de resistencia a tracción indirecta

Mediante el ensayo de resistencia a tracción indirecta a las edades de 7 y 28 días se alcanzó las resistencias que se muestran en la **tabla 26**.

Tabla 27 Resistencia a tracción indirecta de concreto patrón y con adición de VAO.

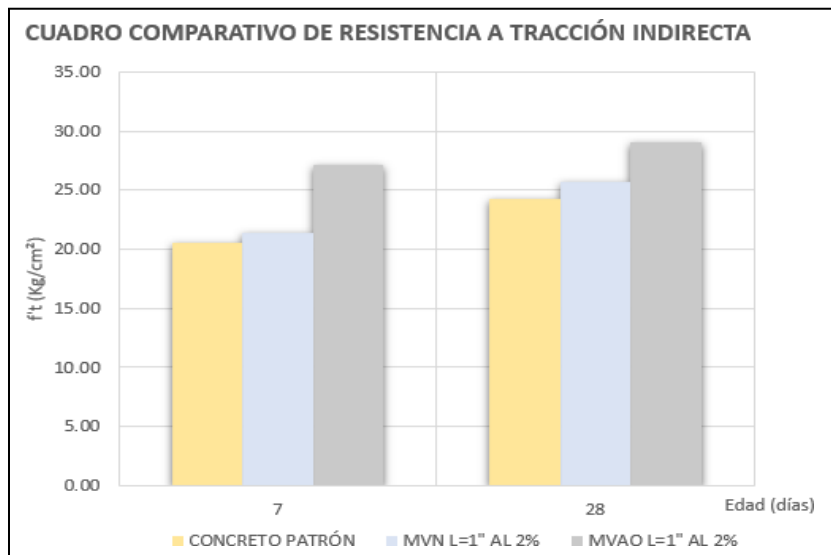
PROBETA	Longitud y porcentaje de adición	f't promedio (Kg/cm²) - 7 días	f't promedio (Kg/cm²) - 28 días
MUESTRA PATRON	MP 280 kg/cm2	<b>20.54</b>	<b>24.31</b>
	Sin oxidar 1" al 2%	<b>21.40</b>	<b>25.71</b>
VIRUTA DE ACERO OXIDADAS	<b>1" al 2%</b>	<b>27.13</b>	<b>29.05</b>
	1" al 3%	23.79	25.91
	1" al 4%	26.19	28.84
	1.5" al 2%	24.79	27.04
	1.5" al 3%	25.54	28.73
	1.5" al 4%	23.40	28.89
	2" al 2%	25.27	28.20
	2" al 3%	23.92	28.94
	2" al 4%	23.40	28.31

Fuente: Elaboración Propia

### a) Comparación

El comportamiento del concreto con adición de 1" al 2% de virutas de acero oxidadas logró una resistencia óptima de 29.05 Kg/cm<sup>2</sup>, mientras que el de virutas en su estado normal 25.71 Kg/cm<sup>2</sup>.

Figura 34 Cuadro comparativo de resistencia a tracción indirecta.



Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo de resistencia a flexión

En la siguiente tabla, se muestra los resultados de vigas ensayadas a los 28 días, lo cual, la resistencia promedio de la muestra patrón fue de 40.77 kg/cm<sup>2</sup>. De igual forma, se determinó que las virutas de acero oxidadas de 1" al 4% incrementaron el comportamiento a flexión, logrando una resistencia de 57.03 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 28 Mr promedio de resistencia a flexión - 28 días.

PROBETA	Longitud y porcentaje de adición	Mr (Kg/cm <sup>2</sup> ) - 28 días	Mr promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) - 28 días
MUESTRA PATRON	M1 f'c 280 kg/cm <sup>2</sup>	40.61	40.765
	M2 f'c 280 kg/cm <sup>3</sup>	40.92	
	M1 Sin oxidar 1" al 4%	47.83	46.461
	M2 Sin oxidar 1" al 4%	45.09	
VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS (VAO)	M1 - 1" al 4%	57.0	57.026
	M2 - 1" al 4%	57.03	
	M1 - 1.5" al 4%	55.75	54.266
	M2 - 1.5" al 4%	52.78	
	M1 - 2" al 4%	56.88	56.053
	M2 - 2" al 4%	55.22	

Fuente: Elaboración Propia

### a) Comparación

La adición de 1" al 4% de virutas de acero oxidadas aumentó su resistencia a flexión en 40.43% y 39.89% frente a la muestra patrón y virutas en su estado normal, respectivamente.

Asimismo, las virutas de acero oxidadas con las adiciones respectivas muestran resultados favorables a flexión.

Tabla 29 Porcentaje de incremento en las adiciones de concreto.

<b>VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS (VAO)</b>	M1 - 1" al 4%	57.0	57.026	<b>40.43%</b>	<b>39.89%</b>
	M2 - 1" al 4%	57.03			
	M1 - 1.5" al 4%	55.75	54.266	33.63%	33.12%
	M2 - 1.5" al 4%	52.78			
	M1 - 2" al 4%	56.88	56.053	38.03%	37.50%
	M2 - 2" al 4%	55.22			

Fuente: Elaboración Propia

Figura 35 Resistencia a flexión - 28 días.



Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo de módulo de elasticidad y poisson

Respecto a los resultados del módulo de elasticidad, para el concreto patrón se obtuvo 233797.98 Kg/cm<sup>2</sup>. Mientras tanto, con la adición de virutas de acero oxidadas de longitud 1", 1.5" y 2" al 4% se obtuvieron respectivamente 299942.68, 255607.70 y 236708.43 Kg/cm<sup>2</sup>.

Figura 36 Módulo de elasticidad y coeficiente de poisson.

MUESTRA 01	IDENTIFICACIÓN	Edad (Días)	$\sigma_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio $E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio $\nu$
01	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 MP	28	325.55	130	233797.98	0.305975717
02	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 MP	28	329.23	132		
03	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1" AL 4%	28	371.11	148	299942.68	0.04395038
04	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1" AL 4%	28	379.03	152		
05	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1.5" AL 4%	28	345.81	138	255607.70	0.10165510
06	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1.5" AL 4%	28	350.45	140		
07	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=2" AL 4%	28	341.40	137	236708.43	0.09116041
08	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=2" AL 4%	28	334.89	134		

Fuente: Elaboración Propia

### Ensayo de durabilidad del concreto

Los resultados para el ensayo de durabilidad del concreto siguiendo los lineamientos respectivos de la ASTM C1012, demuestran que el concreto adicionado con virutas de acero oxidadas generaron un incremento de expansión mayor respecto al concreto patrón, con 0.466% para VAO L=2" al 4% y 0.320% para Concreto patrón f'c= 280 kg/cm<sup>2</sup>. Las lecturas fueron tomadas semanalmente, durante 1,2,3,4, 8, 13 y 15 respectivamente.

Figura 37 Ensayo de durabilidad del concreto para muestra patrón.

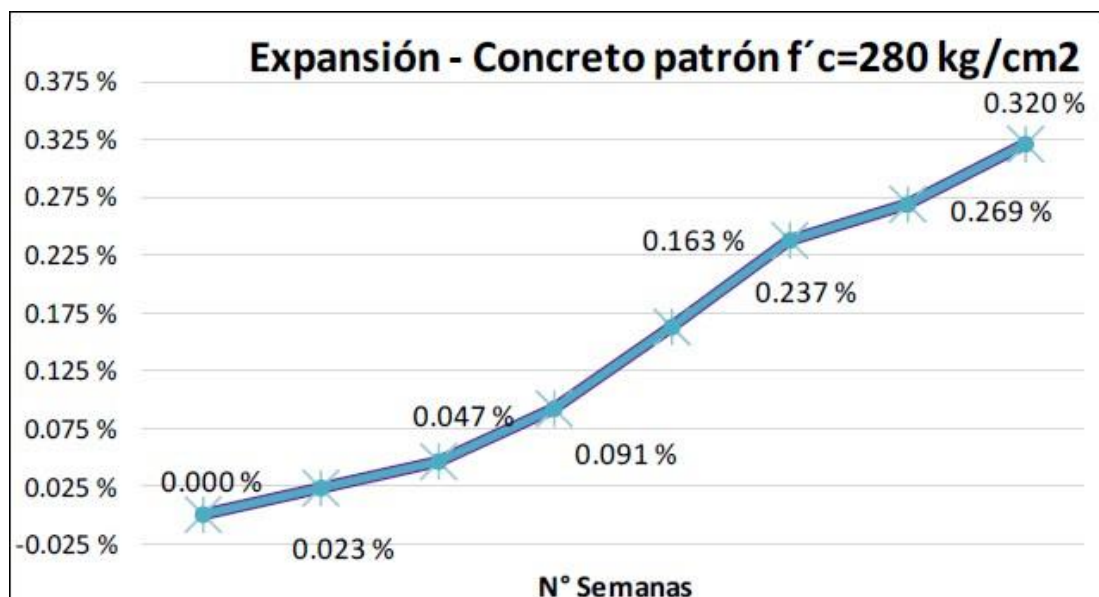


Figura 38 Ensayo de durabilidad del concreto con VA 1" al 4%

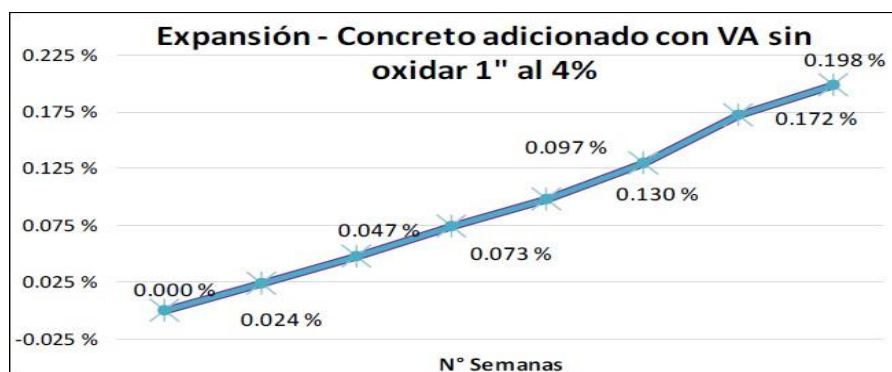


Figura 39 Ensayo de durabilidad para concreto con VAO 1" al 4%.

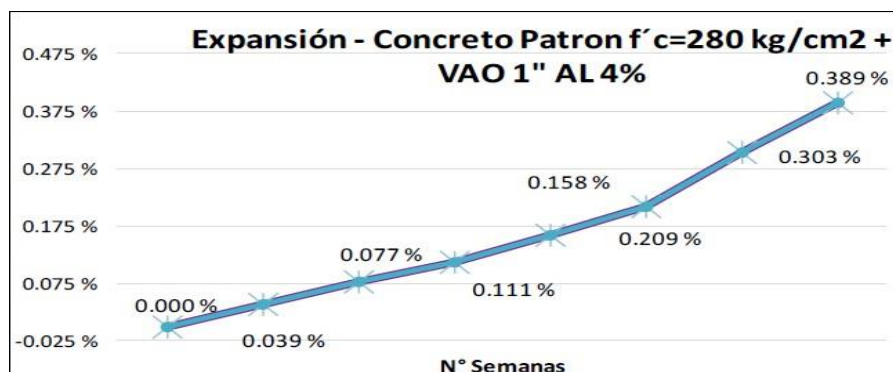


Figura 40 Ensayo de durabilidad para concreto con VA 1 1/2" al 4%.

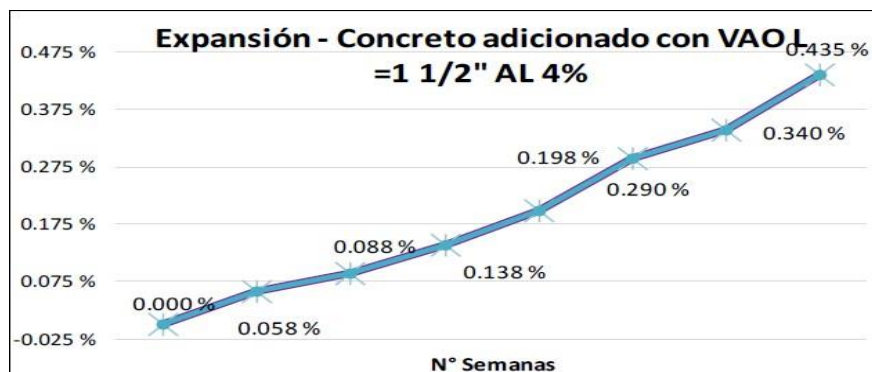
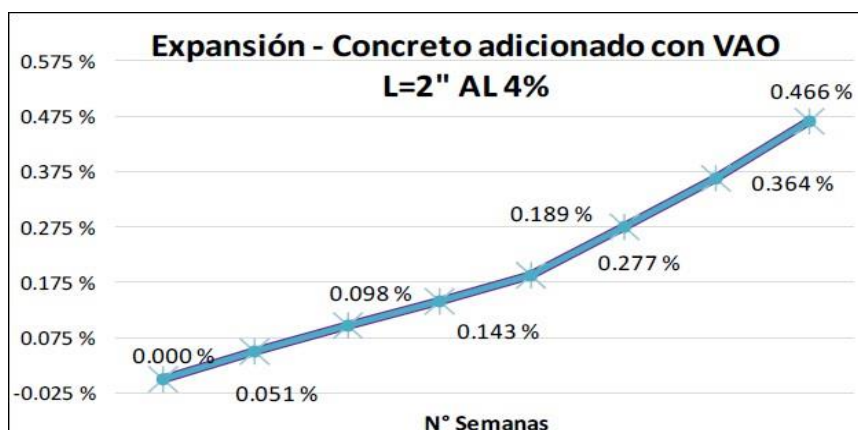


Figura 41 Ensayo de durabilidad de concreto con VAO 2" al 4%



## **Lineamientos de proceso constructivo para pavimento de concreto simple reforzado con virutas de acero oxidadas**

Para la elaboración de mezclas de concreto con añadidura de virutas de acero oxidadas en pavimentos rígidos deberán seguir los siguientes lineamientos con la finalidad de cumplir los requisitos permisibles de resistencia y durabilidad.

### **Verificación de equipos de mezclado, encofrados y equipos de transporte**

#### **a) Verificación de equipos de mezclado**

- Para la fabricación de la mezcla de concreto con añadidura de virutas de acero oxidadas se restringe el mezclado de tipo manual.
- Se debe verificar la operacionalización de la máquina de mezclado (tipo trompo), colocando agua en su interior, de esta manera se podrá corroborar la no existencia de agujeros en la máquina. Además, su superficie interior y las paletas de mezclado debe estar despejado de concreto endurecido.

#### **b) Verificación de encofrados**

- Del material de encofrado, se debe utilizar tableros fenólicos, esto garantiza la superficie lisa que estará en contacto con el concreto, además luego de sus usos continuos, deberá estar exento de imperfecciones.
- Se deberá aplicar desmoldante en la superficie de contacto con el concreto.
- Se debe garantizar la seguridad del encofrado, de tal manera que la fuerza que ejerza el concreto a colocar no desplace este.
- El encofrado por paños no será superior a 9m entre juntas de control.

#### **c) Verificación de equipos de transporte**

- Las condiciones de los equipos de transporte deben ser óptimas, libres de excedentes de concreto endurecido.
- Se debe contar con unidades extras con la finalidad de garantizar el continuo transporte del concreto sin interrupciones.

### **Materiales puestos en mezcladora**

- Lavar superficialmente el interior de la mezcladora.
- El primer componente del concreto que debe ingresar a la mezcladora es el agua, donde se va a colocar el 50% de su volumen total.
- A continuación, se debe incorporar el volumen total del agregado grueso.

- Posteriormente, se deja dar algunas revoluciones hasta que se note la sumersión del agregado grueso en el agua, seguidamente se colocará un 25% más del volumen del agua y se agregará el volumen total del agregado fino.
- Se colocará la cantidad total de cemento y se añade el volumen restante del agua.
- Después que los materiales hayan sido colocados en la mezcladora, se efectuara un tiempo de mezclado no menor de 120 segundos.
- Finalmente, se agregará gradualmente las virutas de acero oxidadas, de tal manera que debemos dejar dar algunas revoluciones luego de añadirlas a la mezcladora de concreto, con la finalidad de que estas puedan esparcirse uniformemente sobre todo el volumen de la mezcla.

### **Descarga de mezcla de concreto**

- El operario encargado de la maquina mezcladora deberá prever que la descarga del concreto sea suavemente.
- Se evitará llenar totalmente los equipos de transporte.

### **Colocación del concreto**

- La subrasante deberá cumplir con los requisitos de compactación de Proctor modificado, aceptando densidades superiores al 95%.
- Se utilizará una regla metálica de 3m. con la finalidad de generar uniformidad sobre los paños de pavimento rígido.

### **Acabado del concreto**

- El tiempo máximo para poder darle el acabado la losa del pavimento no debe ser superior de 1h y 30 minutos.
- Se brindará un acabado uniforme, de tal manera que no presente irregularidades superiores de 3mm.

### **Curado del concreto**

- Se utilizará arrocetas de agua el curado de las losas del concreto.

### Análisis de costo unitario del concreto

En primer lugar, se determinó el precio que incluye la recolección y tratamiento de las virutas de acero oxidadas, utilizando la cantidad de peones y tiempos que implica la producción de estas. Cabe resaltar que la producción de las virutas de acero oxidadas conlleva el desembrollo, cortado, tratamiento superficial de oxidación y embolsado de estas.

Como se puede verificar en la figura siguiente, para todo el proceso descrito anteriormente se obtuvo un rendimiento promedio de 4.5 kg/día con una cuadrilla de un (01) solo peón.

Tabla 30 Análisis de coste para recolección y tratamiento de virutas de acero oxidadas.

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
<b>Partida:</b> Recolección de Virutas de Acero						
<b>Especificaciones:</b> Incluye tratamiento superficial de oxidación						
<b>Rendimiento:</b> 4.75 Kg/día						
Descripción	Unid.	Cuadrilla	Cant.	P. U	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>						0.20
Virutas de Acero	kg	-	1.00	0.20	0.20	
<b>MANO DE OBRA</b>						27.48
Peon	hh	1	1.474	18.65	27.48	
<b>EQUIPO, HERRAMIENTAS</b>						0.82
Desgaste de Herramientas	%mo		0.030	27.48	0.82	
<b>TOTAL</b>						<b>28.51</b>

Como se puede verificar en la Tabla 31 y 32, se llevó a cabo el ACU de las partidas, lo cual el rendimiento, mano de obra y precio de los materiales fueron obtenidos del Suplemento Técnico de la revista Costos 2023.

Tabla 31 Análisis de coste para losa f'c 280 kg/cm<sup>2</sup>.

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
<b>Partida:</b> Concreto simple para losa f'c= 280 Kg/cm <sup>2</sup>						
<b>Especificaciones:</b> No incluye encofrado. Preparado con mezcladora de 9-11 p3 PU. Incluye gasolina y aceite						
<b>Rendimiento:</b> 20 m <sup>3</sup> /día						
Descripción	Unid.	Cuadrilla	Cant.	P. U	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>						381.58
Cemento Portland Tipo I (BLS: 42.5 kg)	Bls	-	10.56	29.50	311.60	
Agua	m <sup>3</sup>	-	0.23	1.20	0.27	
Arena Gruesa	m <sup>3</sup>	-	0.47	50.00	23.50	
Piedra chancada 3/4"	m <sup>3</sup>	-	0.66	70.00	46.20	
Fibras	kg	-	-	-	-	
<b>MANO DE OBRA</b>						71.05
Capataz	hh	0.1	0.040	18.65	0.75	
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49	
Oficial	hh	0.5	0.200	20.60	4.12	
Peon	hh	6	2.400	18.65	44.76	
Operador equipo	hh	1	0.400	27.35	10.94	
<b>EQUIPO, HERRAMIENTAS</b>						17.24
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1	0.400	26.21	10.48	
Vibrador para concreto	hm	1	0.400	8.02	3.21	
Herramientas manuales	%	5%	0.050	71.05	3.55	
<b>TOTAL</b>						<b>469.88</b>

Tabla 32 Análisis de coste para losa f'c 280 kg/cm2 con añadidura de VAO.

<b>ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS</b>						
<b>Partida:</b>	Concreto simple con añadidura de Virutas de Acero Oxidadas para losa f'c=2					
<b>Especificaciones:</b>	No incluye encofrado. Preparado con mezcladora de 9-11 p3 PU. Incluye gasolina y aceite					
<b>Rendimiento:</b>	20 m3/dia					
Descripción	Unid.	Cuadrilla	Cant.	P. U	Parcial	Total
<b>MATERIALES</b>						478.82
Cemento Portland Tipo I (BLS: 42.5 kg)	Bls	-	10.56	26.50	279.92	
Agua	m3	-	0.23	1.20	0.27	
Arena Gruesa	m3	-	0.47	45.00	21.15	
Piedra chancada 3/4"	m3	-	0.66	75.00	49.50	
Fibras	kg	-	4.49	28.51	127.98	
<b>MANO DE OBRA</b>						71.05
Capataz	hh	0.1	0.040	18.65	0.75	
Operario	hh	1	0.400	26.22	10.49	
Oficial	hh	0.5	0.200	20.60	4.12	
Peon	hh	6	2.400	18.65	44.76	
Operador equipo	hh	1	0.400	27.35	10.94	
<b>EQUIPO, HERRAMIENTAS</b>						17.24
Mezcladora de 9-11 p3	hm	1	0.400	26.21	10.48	
Vibrador para concreto	hm	1	0.400	8.02	3.21	
Herramientas manuales	%	5%	0.050	71.05	3.55	
<b>TOTAL</b>						<b>567.12</b>

En el cuadro siguiente se presenta el resumen del análisis de coste unitario para la fabricación de 1m3 de concreto convencional y concreto con añadidura de virutas de acero oxidadas, mostrando el porcentaje de incremento en el caso del mencionado anteriormente.

Tabla 33 Síntesis de ACU para la fabricación de 1m3 de concreto.

<b>RESUMEN</b>		
<b>MUESTRA</b>	<b>COSTO POR m<sup>3</sup></b>	<b>PORCENTAJE</b>
Concreto Patrón	S/ 469.88	100.00 %
Concreto con añadidura de Virutas	S/ 567.12	120.70 %

## **Discusión**

### **Ensayos del Concreto en Estado Plástico**

#### **Prueba de cono de abrams**

El ensayo de la prueba del cono de abrams se llevó a cabo siguiendo los lineamientos de la NTP 339.035, lo cual en los resultados alcanzados se contempla que el porcentaje y longitud de las virutas de acero oxidadas no modificaron el asentamiento.

Comparativamente con las investigaciones de Rafael Saavedra [10] y Fanzo Masias [11] el asentamiento fue afectado, es decir, disminuyó el slump con la añadidura de fibras o virutas al concreto. En este último, esto podría haber suscitado debido a que no hubo un tratamiento de las virutas para ser incorporadas.

#### **Potencial de fisuración**

El presente ensayo, es uno de los aspectos más importantes a estudiar dentro de la investigación, a causa de que la adición de virutas de acero oxidadas llegó a disminuir hasta un 71.62% de fisuras en las muestras de concreto. A diferencia de Fanzo Masias [10], que realizó los estudios a nivel local, estableció la comparación del ensayo potencial de fisuración con la adición de virutas de acero en su estado normal y fibras dramix, prevaleciendo en los resultados las fibras, dado que estas virutas fueron adicionadas sin mejorar el aspecto liso que las caracteriza.

### **Ensayos del Concreto en Estado Endurecido**

Los favorables resultados obtenidos del concreto con añadidura de virutas de acero oxidadas han permitido responder a la hipótesis planteada del estudio, demostrando que el tratamiento superficial de oxidación, que implica la modificación de la superficie de las virutas de aspecto liso a rugoso, generó una mejor adherencia junto a los componentes del concreto.

Estos resultados, son comparables con la investigación de Sink y Yeool Too [7] quienes indujeron las fibras de acero a un tratamiento químico con la finalidad de modificar su aspecto liso y por consecuencia obtuvieron incrementos en la resistencia tracción hasta un 52%.

#### **Ensayo de resistencia a compresión**

Es importante mencionar a Raúl Castañeda [9] debido a que el estudio de la influencia de las fibras de acero en la resistencia a compresión obtuvo un incremento hasta de 8.39% con 40 kg/m<sup>3</sup> de dicha adición. De modo similar, todas las adiciones de virutas de acero oxidadas

desarrollaron un aumento en su resistencia, siendo la más eficiente MVAO L= 1” al 2% con un 17.27% respecto a la muestra patrón. Además, se analizó las virutas de acero en su estado normal, sin ningún tratamiento, para lo cual desarrollo un incremento respecto a la muestra patrón pero que no fue superior a las obtenidos de MVAO.

### **Ensayo de resistencia a flexión**

Las investigaciones de Sink [7], Raúl Castañeda [9] y Fanzo Masias [11] corroboran que uno de los principales aspectos a mejorar en las propiedades del concreto con la adición de fibras o virutas de acero es la resistencia a flexión, para lo cual, la aplicación de estas en pavimentos rígidos aplazaría el tiempo de servicio útil ya que la longitud optima de 1” al 4% logró incrementar hasta un 39% respecto a la muestra patrón.

### **Ensayo de durabilidad del concreto**

Las diferentes investigaciones han dejado en efecto el presente ensayo. Sin embargo, se llevó a cabo el análisis de los resultados obtenidos para poder establecer límites de uso de aplicabilidad de las virutas de acero oxidadas debido a que, en presencia de sulfatos, genera expansión volumétrica mayor a la muestra patrón. Cabe resaltar que, esto pudo ser originado por la acción de las pequeñas cantidades de oxido generado en las virutas.

## Conclusiones

- Se logró determinar que las virutas de acero de talleres de manufactura en la ciudad de Chiclayo presentaron espesores en virutas de tipo onduladas de 0.1-0.3 mm y virutas alargadas de 0.3-0.45 mm, teniendo una producción de hasta 70kg semanales para una sola empresa de torno. De esta manera, para fines investigativos se uniformizó el empleo de virutas semi alargadas y alargadas  $>0.3$  mm.
- Del tratamiento superficial de oxidación se determinó que las virutas de acero oxidadas de 1", 1 ½" y 2" obtuvieron un grado de oxidación de 1.4%, 1.3% y 1.5% respectivamente. Además, de la aceptación de virutas de acero oxidadas, se concluye que el tratamiento fue eficiente dado que la oxidación superficial no excedió del 6% del diámetro permisible.
- Se determinó que la dosificación en peso de materiales para la fabricación de pavimento rígido de concreto convencional con  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> y relación a/c=0.56 será de 1:1.54:2.17 + 23.8 lt/bls.
- Se evaluó el comportamiento a compresión de 331.47 kg/cm<sup>2</sup> como resistencia final a los 28 días para la muestra patrón de concreto simple y el resultado óptimo de concreto adicionado con virutas de acero oxidadas se registró con VAO 1" al 2% con una resistencia final de 388.72 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual generó un incremento de 17.27% más respecto a la muestra patrón. Asimismo, se puede señalar que la adición de VAO 1 ½" al 2% logró una resistencia de 381.38 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. Finalmente, la añadidura de VAO 2" al 2% registró 6.67% de incremento a compresión frente a la muestra patrón.
- Se evaluó el ensayo de tracción indirecta, lo cual se concluye que la resistencia final fue de 24.31 kg/cm<sup>2</sup> para la muestra patrón y con la añadidura de virutas de acero oxidadas se obtuvo un incremento máximo de 19.51% en VAO 1" al 2% y mínimo de 6.59% para VAO 1" al 3% a los 28 días, respecto a la muestra patrón.
- Se concluye para el ensayo de módulo de elasticidad que la adición de VAO de 1" logró un resultado óptimo de 299942.68 kg/cm<sup>2</sup>, en comparación con la muestra patrón con un valor de 233797.98 kg/cm<sup>2</sup>.
- Se concluye que la muestra patrón registró un  $M_r$  de 40.77 kg/cm<sup>2</sup> y la añadidura óptima se logró con la adición de VAO 1" al 4% con una resistencia  $M_r$  de 57.02 kg/cm<sup>2</sup>, incrementando hasta un 39.89% más respecto a la muestra de concreto

simple. Además, se determinó que la adición de virutas en estado norma de 1" al 4% registró un  $M_r$  de 46.46 kg/cm<sup>2</sup>.

- El análisis de costos unitarios para la fabricación de 1m<sup>3</sup> de concreto con  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> adicionado con virutas de acero oxidadas es de S/ 567.12 y para concreto simple de S/ 469.88, lo cual la adición de VAO generó un sobre costo de 20.69%.

## Recomendaciones

- Para el tratamiento superficial de oxidación de las virutas de acero se recomienda utilizar tratamientos químicos que permita optimizar los tiempos de este, además que logre cumplir con los parámetros permisibles establecidos por la norma ASTM 615 – A615M.
- Se recomienda ampliar los conocimientos de la evaluación para el uso de virutas de acero oxidadas adicionadas al concreto simple con la aplicación de otros tipos de ensayos para verificar el porcentaje y dimensión óptima, tal como el ensayo a la abrasión y resistencia al impacto.
- El costo de las virutas de acero oxidadas se elevó por el desembrollo y cortado manual de estas. Sin embargo, a los futuros investigadores se recomienda disminuir este costo, integrando herramientas de corte cuando se lleva a cabo el tornado de elementos en las empresas manufactureras, lo cual además de mejorar el rendimiento del cortado de las virutas de acero oxidadas, cabe la posibilidad de industrializar estos residuos y generar ingresos para dichas empresas.
- Las fibras industriales tienen un aspecto liso y se caracterizan por tener unos ganchos que beneficia la adherencia de este con los componentes del concreto, para lo cual se recomienda realizar un análisis comparativo de estas inducidas a la oxidación superficialmente con las virutas de acero oxidadas.

## Referencias

- [1] C. P. Ng, T. H. Law, F. M. Jakarni, y S. Kulanthayan, «Road infrastructure development and economic growth», *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 512, p. 012045, abr. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/512/1/012045.
- [2] K. Schwab, «The Global Competitiveness Report 2019», p. 666.
- [3] Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú, «PROVÍAS NACIONAL MEMORIA ANUAL», p. 79, 2019.
- [4] «El tiempo en Chiclayo en 2022 (Perú) - Weather Spark».
- [5] I. Hussain, B. Ali, T. Akhtar, M. S. Jameel, y S. S. Raza, «Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene)», *Case Stud. Constr. Mater.*, vol. 13, p. e00429, dic. 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00429.
- [6] J. Arroyo Orozco, F. Cabrera Montes, G. Flor Chávez, C. López Chipre, D. Robalino Cabrera, y A. Yáñez Escobar, «Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de Hormigón de Cemento Portland para losas de Pavimentos Rígidos», presentado en The 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: “Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities”, 2019. doi: 10.18687/LACCEI2019.1.1.363.
- [7] Y. Jang y D -Y. Yoo «Combined chelating and corrosion effects of steel fiber on the interfacial bond and tensile behaviors of ultra-high-performance concrete», *Cement and Concrete Composites*, 2022. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2022.104505.
- [8] M. Centeno y C. Arturo, «Propuesta de concretos reforzados con fibras de acero y cemento puzolánico para la construcción de pavimentos rígidos en la región de Apurímac», p. 171.
- [9] R. Castañeda, «Influencia de la adición de fibra de acero y plastificante en la resistencia a la compresión del concreto convencional, Trujillo 2018», La Libertad: Univ. Priv. Del Norte, 2018.
- [10] B. Rafael, A. Reynal, «Influencia de las fibras de acero reciclado y comercial sobre las propiedades», La Libertad: Univ. Priv. Del Norte, 2020.
- [11] M. Fanzo, «Influencia de las virutas de acero en la fisuración asociada a contracción plástica en pavimentos de concreto simple para un módulo de rotura de 34

- Kg/ cm<sup>2</sup> en la provincia de Chiclayo, Lambayeque 2019», Lambayeque: Univ. Católica Santo Toribio de Mogrovejo, 2021.
- [12] E. Pasquel Carbajal, *Temas De Tecnología Del Concreto En El Perú*, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, Consejo Nacional, 1998.
- [13] J. Niño Hernandez et al., «Tecnología de Concreto: Materiales, Propiedades y Diseño de Mezclas», Colombia: Asociación Colombiana de Productores de Concreto, 2010.
- [14] A. Torres, «CURSO BASICO DE TECNOLOGIA DEL CONCRETO», Lima: Univ. Nacional de Ingeniería, Facultad de ingeniería civil, 2004.
- [15] D. Sánchez, «Tecnología del concreto y del mortero». Colombia: Biblioteca de la Construcción.
- [16] M. Quiroz y L. Salamanca, «Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje en la Asignatura de “Tecnología del Hormigón”», Bolivia: Univ. Mayor de San Simón, 2006.
- [17] American Concrete Institute, Ed., *Report on early-age cracking: causes, measurement, and mitigation*, 1. publ. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2010.
- [18] J. Toirac, «Patología de la construcción, grietas y fisuras en obras de hormigón, origen y prevención». República Dominicana: Ciencia y Sociedad, vol. 29, núm. 1, pp. 72-114, enero- marzo, 2004.
- [19] «Cambios Volumétricos». México: Universidad de Sonora. p 78-110.
- [20] J. A. Rhodes *et al.*, «Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures», p. 47.
- [21] J. Cárdenas «Fibras de acero para reforzar concreto», Colombia.
- [22] ASTM INTERNATIONAL, A820/A820M – 11 «Specification for Steel Fibers for Fiber-Reinforced Concrete», 2011.
- [23] «Fibra de acero para concreto: Guía I PSI Concreto», PSI CONCRETO, 16 de junio de 2020. <https://psiconcreto.com/fibra-de-acero/> (accedido 17 de junio de 2022).
- [24] M. Mariño, Y. Sánchez y E. Granados, «Propuesta para el uso de los desechos sólidos en los talleres de maquinado de la ciudad de Santiago de Cuba», Cuba: Conferencia Científica Internacional. Cienfuegos: Editorial Universo Sur, 2016.
- [25] H. Gerling y H. Gerling, *Alrededor de las máquinas-herramienta: máquinas-herramienta para arranque de viruta y herramientas; medición y calibrado; fabricación*

de piezas torneadas, piezas taladradas, piezas fresadas, piezas acepilladas, piezas mortajadas, piezas brochadas, piezas amoladas, piezas roscadas, ruedas dentadas, 3. ed. Barcelona: Ed. Reverté, S.A, 1997.

[26] A. Montejo Fonseca, Ingeniería de pavimentos para carreteras. Bogota, Colombia: Universidad Católica de Colombia, 2002.

[27] H de Solminihac, T. Echaveguren y A. Chamorro, Gestión de infraestructura vial: Tercera edición. Ediciones UC, 2018.

[28] ASTM International, A0615M-15AE01. «Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement», ASTM International, 2011.

## Anexos

Anexo 1: Empresa de torno “Sr. De los Milagros”

Figura 43 Recolección de virutas de acero.



Figura 42 Visita a empresa de Torno.



**Fuente:** Elaboración Propia

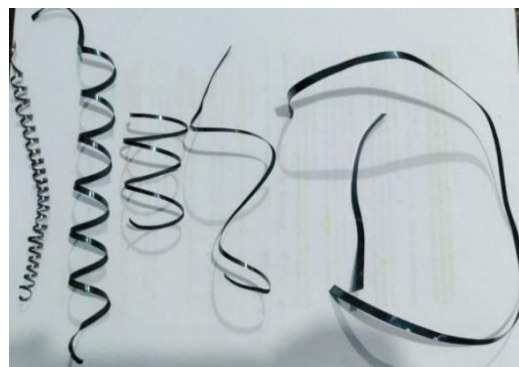
Figura 45 Medición de espesor de virutas de acero.



Figura 46 Aspecto rugoso de viruta de acero oxidada.



Figura 44 Muestreo de virutas de acero.



**Fuente:** Elaboración Propia

Figura 47 Aspecto liso de viruta de acero.







**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas**

**TESISTA:** Chozo Martinez Victor Jesus

**Fecha:** 26/08/2022

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**Cantera** : Patapo - La Victoria

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	513.75
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	500.0
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0
<b>D.- Contenido de humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>2.75</b>
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>2.75</b>

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**Cantera:** TRES TOMAS

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	9400
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	9370.0
C.- Peso de recipiente	(gr.)	86.0
<b>D.- Contenido de humedad</b>	<b>(%)</b>	<b>0.32</b>
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.32</b>





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**

**Facultad de Ingeniería**

**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**

**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas**

**TESISTA:** Chozo Martinez Victor Jesus

**Fecha:** 26/08/2022

Ensayo : Peso unitario del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

**Cantera** : Patapo - La Victoria

**1.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>18556</b>	<b>18557</b>	<b>18560</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		8464	8465	8468
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1544.5	1544.7	1545.2
<b>6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1504</b>		

**2.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>19870</b>	<b>19880</b>	<b>19874</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		9778	9788	9782
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00548	0.00548	0.00548
5.- Peso unitario compactado húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1784.3	1786.1	1785.0
<b>6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)</b>	<b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1737</b>		

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>550.05</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	535.35
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.00
D.- Contenido de humedad	(%)	2.75
<b>E.- Contenido de humedad (promedio)</b>	<b>(%)</b>	<b>2.75</b>





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas**

**TESISTA:** Chozo Martinez Victor Jesus

Fecha: 26/08/2022

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

**Cantera** : Patapo - La Victoria

**I.- Datos.**

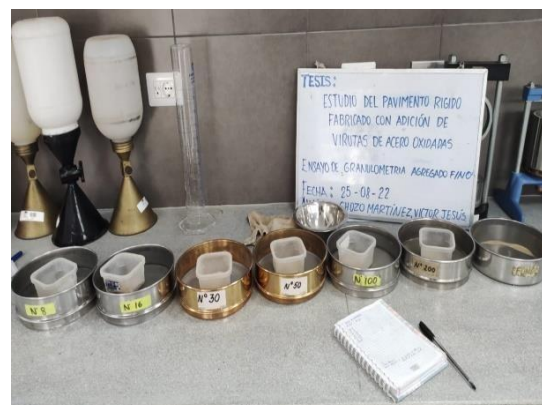
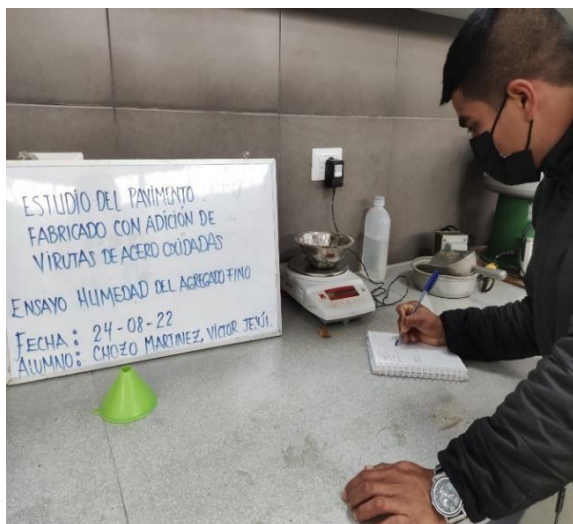
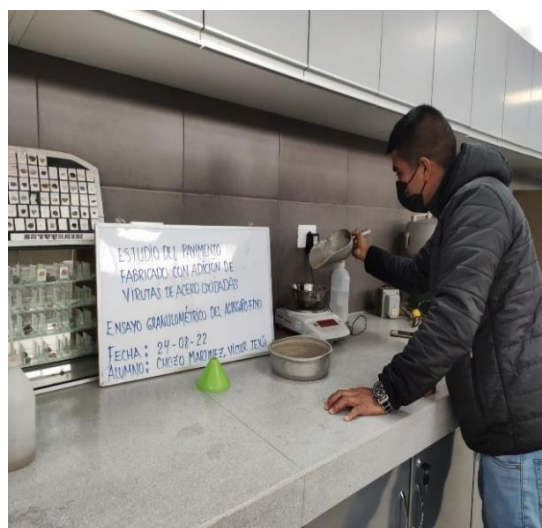
1.- Peso de la muestra Sat Sup Seca	(g)	<b>500.000</b>
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + Peso del Agua	(g)	<b>971.960</b>
3.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	667.700
4.- Peso del Agua	(g)	304.260
5.- Peso del Frasco	(g)	<b>167.700</b>
6.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	663.800
7.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	<b>496.100</b>

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	:m3)	<b>2.534</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	:m3)	2.554
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	:m3)	2.586
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.79</b>



Figura 48 Fotos de ensayo de agregado fino para diseño de mezcla.



Fuente: Elaboración Propia





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

TESISTA: Chozo Martinez Victor Jesus

Fecha: 26/08/2022

Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera TRES TOMAS

**A.- PESO UNITARIO SUELTO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>17988</b>	<b>17992</b>	<b>17990</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	10092.0	10092.0	10092.0
3.- Peso del material		7896	7900	7898
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario suelto húmedo (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	1450.5	1451.2	1450.8
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1443.79</b>		

**B.- PESO UNITARIO COMPACTADO**

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	<b>18270</b>	<b>18282</b>	<b>18440</b>
2.- Peso del recipiente	(gr.)	9996.0	9996.0	9996.0
3.- Peso del material		9012.00	9032.0	9021
4.- Constante ó Volumen	(m <sup>3</sup> )	0.00544	0.00544	0.00544
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m <sup>3</sup> )	1655.48	1659.15	1657.15
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m <sup>3</sup> )	<b>1649.26</b>		

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso

Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

**C.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	<b>6280.5</b>
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	<b>6250.00</b>
C.- Peso de recipiente	(gr.)	86.00
D.- Contenido de humedad	(%)	0.49
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	<b>0.49</b>





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

TESISTA: Chozo Martinez Victor Jesus

Fecha: 26/08/2022

Ensayo : Peso específico y Absorción del agregado grueso

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

**Cantera** TRES TOMAS

**I.- Datos.**

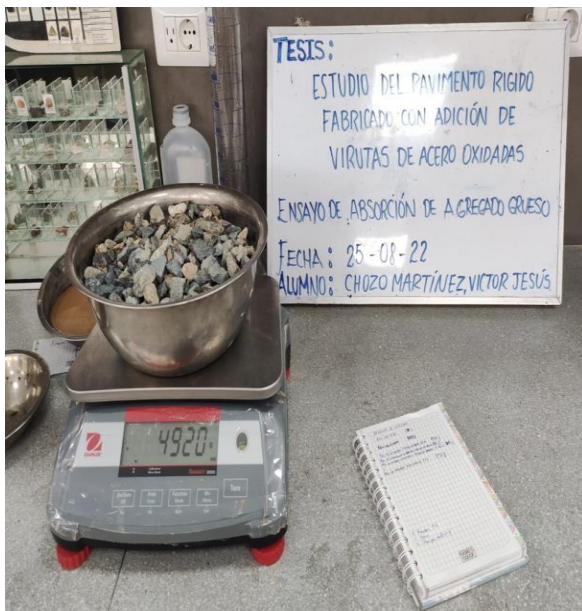
1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	<b>4920.0</b>
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	<b>4950.0</b>
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del canastilla	(g)	<b>3890.0</b>
4.- Peso de la canastilla	(g)	<b>880.0</b>
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	3010.0

**II.- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	:m3)	<b>2.536</b>
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	:m3)	2.552
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	:m3)	2.576
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	<b>0.610</b>




Figura 49 Ensayo de agregado grueso para diseño de mezcla.



Fuente: Elaboración Propia


Anexo 3: Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas L=1", 1 ½" y 2".

 <b>Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</b> <b>Facultad de Ingeniería</b> <b>Escuela de Ingeniería Civil Ambiental</b> <b>LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES</b>												
<b>PROYECTO</b> <span style="float: right;">Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas</span>												
<b>TESISTA</b> <span style="float: right;">Chozo Martinez Victor Jesus</span> <b>Ensayo</b> <span style="float: right;">: Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas</span>												
MUESTRA	Traamiento superficial en agua	Exposicion de secado (dias)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			Verificaci on
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidacion	Sección nominal (mm^2)	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	
VAO-01	3h	2	1	0.39	0.17	0.39	0.17	97.06	0.119	0.112	0.378	Cumple
VAO-02	3h	2	1	0.36	0.20	0.36	0.20	97.50	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-03	3h	2	1	0.42	0.18	0.42	0.18	97.22	0.139	0.130	0.407	Cumple
VAO-04	3h	2	1	0.31	0.21	0.31	0.21	100.00	0.075	0.071	0.301	Cumple
VAO-05	3h	2	1	0.35	0.17	0.35	0.17	100.00	0.096	0.090	0.339	Cumple
VAO-06	3h	2	1	0.38	0.19	0.38	0.19	97.37	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-07	3h	2	1	0.33	0.22	0.33	0.22	99.09	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-08	3h	2	1	0.37	0.20	0.37	0.20	98.00	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	1	0.38	0.16	0.38	0.16	100.00	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-10	3h	2	1	0.36	0.21	0.36	0.21	100.00	0.102	0.096	0.349	Cumple

PROMEDIO DE OXIDACION	98.62 %
OXIDACION AL	1.4 %



USAT  
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES  
TÉCNICO DE LABORATORIO



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
 Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA** Chozo Martínez Víctor Jesús

**Ensayo** : Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas

MUESTRA	Traamiento superficial en agua	Exposición de secado (días)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			Verificación
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidación	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	
VAO-01	3h	2	2"	0.32	0.310	0.32	0.310	100.00	0.080	0.076	0.310	Cumple
VAO-02	3h	2	2"	0.34	0.340	0.34	0.330	97.06	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-03	3h	2	2"	0.31	0.630	0.31	0.625	99.21	0.075	0.071	0.301	Cumple
VAO-04	3h	2	2"	0.38	0.590	0.38	0.580	98.31	0.113	0.107	0.368	Cumple
VAO-05	3h	2	2"	0.33	0.640	0.33	0.625	97.66	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-06	3h	2	2"	0.36	0.350	0.36	0.350	100.00	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-07	3h	2	2"	0.34	0.340	0.34	0.330	97.06	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-08	3h	2	2"	0.37	0.480	0.37	0.470	97.92	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	2"	0.33	0.490	0.33	0.485	98.98	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-10	3h	2	2"	0.33	0.500	0.33	0.495	99.00	0.086	0.080	0.320	Cumple

PROMEDIO DE OXIDACIÓN	98.52 %
OXIDACIÓN AL	1.5 %





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
 Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA** Chozo Martínez Victor Jesus

**Ensayo** : Ensayo de aceptación de virutas de acero oxidadas

MUESTRA	Tratamiento superficial en agua	Exposición de secado (días)	Longitud (pulg)	PRE TRATAMIENTO		POST TRATAMIENTO			A615- A615M (Cap. 12, 12.2, pp. 04)			
				Ø (mm)	Peso (gr)	Ø (mm)	Peso (gr)	% de oxidación	Sección nominal (mm <sup>2</sup> )	Sección permisible (mm)	Ø permisible (mm)	Verificación
VAO-01	3h	2	1.5	0.30	0.26	0.30	0.255	98.08	0.071	0.066	0.291	Cumple
VAO-02	3h	2	1.5	0.33	0.24	0.33	0.235	97.92	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-03	3h	2	1.5	0.32	0.27	0.32	0.265	98.15	0.080	0.076	0.310	Cumple
VAO-04	3h	2	1.5	0.36	0.25	0.36	0.248	99.20	0.102	0.096	0.349	Cumple
VAO-05	3h	2	1.5	0.35	0.24	0.35	0.235	97.92	0.096	0.090	0.339	Cumple
VAO-06	3h	2	1.5	0.33	0.26	0.33	0.260	100.00	0.086	0.080	0.320	Cumple
VAO-07	3h	2	1.5	0.34	0.22	0.34	0.215	97.73	0.091	0.085	0.330	Cumple
VAO-08	3h	2	1.5	0.37	0.26	0.37	0.260	100.00	0.108	0.101	0.359	Cumple
VAO-09	3h	2	1.5	0.30	0.21	0.30	0.210	100.00	0.071	0.066	0.291	Cumple
VAO-10	3h	2	1.5	0.33	0.23	0.33	0.225	97.83	0.086	0.080	0.320	Cumple

PROMEDIO DE OXIDACION	98.68 %
OXIDACION AL	1.3 %





Anexo 5: Ensayos al concreto, Resistencia a compresión.



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

**Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas**

**TESISTA**

**Chozo Martinez Victor Jesus**

**Ensayo**

: ASTM C-39/39M Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
		Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)	
MP-01	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	19550	7	248.92
MP-02	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	19050	7	242.55
MP-03	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	20640	7	262.80
MP-04	12/09/2022	10.16	20.00	-	-	10/10/2022	26390	28	325.51
MP-05	12/09/2022	10.16	20.00	-	-	10/10/2022	27650	28	341.05
MP-06	12/09/2022	10.16	20.00	-	-	10/10/2022	26580	28	327.85
MVN-01	14/10/2022	10.16	20.00	2.00%	1"	21/10/2022	19820	7	244.47
MVN-02	14/10/2022	10.16	20.00	2.00%	1"	21/10/2022	19810	7	244.35
MVN-03	14/10/2022	10.16	20.00	2.00%	1"	21/10/2022	18980	7	234.11
MVN-04	14/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/11/2022	26450	28	336.77
MVN-05	14/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/11/2022	26950	28	343.14
MVN-06	14/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/11/2022	26320	28	335.12





**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA****Chozo Martinez Victor Jesus**Ensayo

: ASTM C-39/39M Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

LONGITUD	PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)		
1"	MVAO-01	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	20/09/2022	23600	7	300.48	307.11
	MVAO-02	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	20/09/2022	24300	7	309.40	
	MVAO-03	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	20/09/2022	24460	7	311.43	
	MVAO-04	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/10/2022	31650	28	402.98	388.72
	MVAO-05	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/10/2022	29360	28	373.82	
	MVAO-06	13/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1"	11/10/2022	30580	28	389.36	
1 1/2"	MVAO-07	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	23/09/2022	22230	7	283.04	281.09
	MVAO-08	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	23/09/2022	21990	7	279.99	
	MVAO-09	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	23/09/2022	22010	7	280.24	
	MVAO-10	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	14/10/2022	30210	28	384.65	381.38
	MVAO-11	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	14/10/2022	29680	28	377.90	
	MVAO-12	16/09/2022	10.00	20.00	2.00%	1 1/2"	14/10/2022	29970	28	381.59	
2"	MVAO-13	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	29/09/2022	20460	7	260.50	253.33
	MVAO-14	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	29/09/2022	19530	7	248.66	
	MVAO-15	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	29/09/2022	19700	7	250.83	
	MVAO-16	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	20/10/2022	26920	28	342.76	353.58
	MVAO-17	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	20/10/2022	28410	28	361.73	
	MVAO-18	22/09/2022	10.00	20.00	2.00%	2"	20/10/2022	27980	28	356.25	



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA**

Chozo Martinez Victor Jesus

**Ensayo**

: ASTM C-39/39M Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

LONGITUD	PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )
			Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)	
1"	MVAO-01	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	20450	7	260.38
	MVAO-02	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	22290	7	283.81
	MVAO-03	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	20800	7	264.83
	MVAO-04	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	28730	28	365.80
	MVAO-05	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	28820	28	366.95
	MVAO-06	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	27650	28	352.05
1 1/2"	MVAO-07	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	21590	7	274.89
	MVAO-08	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	20730	7	263.94
	MVAO-09	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	20520	7	261.27
	MVAO-10	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	26980	28	343.52
	MVAO-11	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	26700	28	339.95
	MVAO-12	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	27690	28	352.56
2"	MVAO-13	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	21550	7	274.38
	MVAO-14	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	22060	7	280.88
	MVAO-15	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	20980	7	267.13
	MVAO-16	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	26320	28	335.12
	MVAO-17	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	26950	28	343.14
	MVAO-18	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	25970	28	330.66



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA**

Chozo Martinez Victor Jesus

**Ensayo**

:ASTM C-39/39M Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto

LONGITUD	PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			f <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)		
1"	MVAO-01	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	21540	7	274.26	293.40
	MVAO-02	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	24170	7	307.74	
	MVAO-03	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	23420	7	298.19	
	MVAO-04	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	28520	28	363.13	378.96
	MVAO-05	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	30910	28	393.56	
	MVAO-06	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	29860	28	380.19	
1 1/2"	MVAO-07	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	21680	7	276.04	268.27
	MVAO-08	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	20370	7	259.36	
	MVAO-09	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	21160	7	269.42	
	MVAO-10	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	27880	28	354.98	357.61
	MVAO-11	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	28730	28	365.80	
	MVAO-12	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	27650	28	352.05	
2"	MVAO-13	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	19820	7	252.36	255.37
	MVAO-14	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	19810	7	252.23	
	MVAO-15	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	20540	7	261.52	
	MVAO-16	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	25920	28	330.02	336.09
	MVAO-17	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	26490	28	337.28	
	MVAO-18	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	26780	28	340.97	

Anexo 6 Ensayos al concreto, Resistencia a tracción indirecta.

PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			f <sub>t</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	
		Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)		
MP-01	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	6570	7	20.91	20.54
MP-02	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	6690	7	21.29	
MP-03	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	19/09/2022	6100	7	19.42	
MP-04	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	10/10/2022	7770	28	24.73	24.31
MP-05	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	10/10/2022	7600	28	24.19	
MP-06	12/09/2022	10.00	20.00	-	-	10/10/2022	7540	28	24.00	
MVN-01	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	13/10/2022	6140	7	19.54	21.40
MVN-02	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	13/10/2022	7060	7	22.47	
MVN-03	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	13/10/2022	6970	7	22.19	
MVN-04	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	3/11/2022	8030	28	25.56	25.71
MVN-05	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	3/11/2022	7890	28	25.11	
MVN-06	6/10/2022	10.00	20.00	2.00%	1	3/11/2022	8310	28	26.45	



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
 Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**



**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA**

Chozo Martinez Victor Jesus

Ensayo

: ASTM C-496 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA**

Chozo Martinez Victor Jesus

**Ensayo**

: ASTM C-496 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto

LONGITUD	PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			Ft (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)		
1"	MVAO-01	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	7220	7	22.98	23.79
	MVAO-02	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	7830	7	24.92	
	MVAO-03	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	21/09/2022	7370	7	23.46	
	MVAO-04	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	8230	28	26.20	25.91
	MVAO-05	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	7700	28	24.51	
	MVAO-06	14/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1"	12/10/2022	8490	28	27.02	
1 1/2"	MVAO-07	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	7910	7	25.18	25.54
	MVAO-08	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	7270	7	23.14	
	MVAO-09	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	23/09/2022	8890	7	28.30	
	MVAO-10	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	9250	28	29.44	28.73
	MVAO-11	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	8860	28	28.20	
	MVAO-12	16/09/2022	10.00	20.00	3.00%	1 1/2"	14/10/2022	8970	28	28.55	
2"	MVAO-13	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	7040	7	22.41	23.92
	MVAO-14	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	7520	7	23.94	
	MVAO-15	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	29/09/2022	7980	7	25.40	
	MVAO-16	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	8960	28	28.52	28.94
	MVAO-17	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	9590	28	30.53	
	MVAO-18	22/09/2022	10.00	20.00	3.00%	2"	20/10/2022	8730	28	27.79	



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA**


Chozo Martinez Victor Jesus

**Ensayo**

: ASTM C-496 Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Tracción Indirecta de Especímenes Cilíndricos de Concreto

LONGITUD	PROBETA	FECHA DE VACEADO	DIMENSIONES		FIBRA		ROTURA			ft (Kg/cm <sup>2</sup> )	
			Diámetro (cm)	Altura (cm)	Porcentaje (%)	Longitud (cm)	Fecha	Carga (Kg)	EDAD (días)		
1"	MVAO-01	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	8390	7	26.71	26.19
	MVAO-02	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	7920	7	25.21	
	MVAO-03	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	21/09/2022	8370	7	26.64	
	MVAO-04	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	9270	28	29.51	28.84
	MVAO-05	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	8630	28	27.47	
	MVAO-06	14/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1"	12/10/2022	9280	28	29.54	
1 1/2"	MVAO-07	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	7920	7	25.21	26.09
	MVAO-08	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	8490	7	27.02	
	MVAO-09	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	27/09/2022	8180	7	26.04	
	MVAO-10	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	8870	28	28.23	28.89
	MVAO-11	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	9040	28	28.78	
	MVAO-12	20/09/2022	10.00	20.00	4.00%	1 1/2"	18/10/2022	9320	28	29.67	
2"	MVAO-13	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	6880	7	21.90	23.40
	MVAO-14	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	7350	7	23.40	
	MVAO-15	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	3/10/2022	7820	7	24.89	
	MVAO-16	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	8620	28	27.44	28.31
	MVAO-17	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	9130	28	29.06	
	MVAO-18	26/09/2022	10.00	20.00	4.00%	2"	24/10/2022	8930	28	28.43	

## Anexo 7 Resistencia a flexión en vigas


**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA:** Chozo Martinez Victor Jesus      Fecha: 22/09/2022  
**Ensayo:** Resistencia de flexión del concreto con carga a los tercios  
**Norma:** NTP-339.078

**RESISTENCIA OBTENIDA A LOS 28 DIAS MUESTRA PATRÓN**


SECCION	VIGA PRISMÁTICA 01		Mr
<i>F total</i>	2870.00 Kgf	28154.700 N	40.61 Kgf/cm <sup>2</sup>
<i>Longitud</i>	50.00 cm	500.000 mm	
<i>b</i>	15.30 cm	153.000 mm	
<i>h</i>	15.20 cm	152.000 mm	


  

SECCION	VIGA PRISMÁTICA 02		Mr
<i>F total</i>	2990.00 Kgf	29331.900 N	40.92 Kgf/cm <sup>2</sup>
<i>Longitud</i>	49.00 cm	490.000 mm	
<i>b</i>	15.30 cm	153.000 mm	
<i>h</i>	15.30 cm	153.000 mm	

<b>RESULTADO PROMEDIO DE AMBAS VIGAS</b>	<b>40.76 Kgf/cm<sup>2</sup></b>
--	---------------------------------




**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Ambiental**  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

**TESISTA:** Chozo Martinez Victor Jesus      Fecha: 22/09/2022  
**Ensayo:** Resistencia de flexión del concreto con carga a los tercios  
**Norma:** NTP-339.078

**RESISTENCIA OBTENIDA A LOS 28 DIAS VAO L=1" AL 4%**

SECCION	VIGA PRISMÁTICA 01		Mr
<i>F total</i>	4030.00 Kgf	39534.300 N	57.02 Kgf/cm <sup>2</sup>
<i>Longitud</i>	50.00 cm	500.000 mm	
<i>b</i>	15.10 cm	151.000 mm	
<i>h</i>	15.30 cm	153.000 mm	


  

SECCION	VIGA PRISMÁTICA 02		Mr
<i>F total</i>	4110.00 Kgf	40319.100 N	57.03 Kgf/cm <sup>2</sup>
<i>Longitud</i>	50.00 cm	500.000 mm	
<i>b</i>	15.20 cm	152.000 mm	
<i>h</i>	15.40 cm	154.000 mm	

<b>RESULTADO PROMEDIO DE AMBAS VIGAS</b>	<b>57.03 Kgf/cm<sup>2</sup></b>
--	---------------------------------

$$Mr = \frac{P \cdot L}{b \cdot h^2}$$





Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil Ambiental

LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

TESISTA: Chozo Martinez Victor Jesus

Fecha: 22/09/2022

Ensayo: Resistencia de flexión del concreto con carga a los tercios

Norma: NTP-339.078

RESISTENCIA OBTENIDA A LOS 28 DIAS VN L=2" AL 4%


SECCION	VIGA PRISMÁTICA 01		Mr
F total	3380.00 Kgf	33157.800 N	47.83 Kgf/cm <sup>2</sup>
Longitud	50.00 cm	500.000 mm	
b	15.10 cm	151.000 mm	
h	15.30 cm	153.000 mm	

SECCION	VIGA PRISMÁTICA 02		Mr
F total	3250.00 Kgf	31882.500 N	45.09 Kgf/cm <sup>2</sup>
Longitud	50.00 cm	500.000 mm	
b	15.20 cm	152.000 mm	
h	15.40 cm	154.000 mm	

RESULTADO PROMEDIO DE AMBAS VIGAS		46.46 Kgf/cm <sup>2</sup>
-----------------------------------	--	---------------------------



Anexo 8 Ensayos al concreto, Módulo de elasticidad y relación de poisson.



**FERMATI** Constructora y Servicios Generales

**LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES**

**Tesista** : Chozo Martinez Victor Jesus  
**Solicitante** : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**Tesis** : Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas  
**Lugar** : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.  
**Fecha de emisión** : Chiclayo, 15/03/2023


**Ensayo** : STANDARD TEST METHOD FOR STATIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S RATIO OF CONCRETE IN COMPRESSION (Método estándar para la determinación del módulo de elasticidad estático y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión).  
**Referencia** : ASTM C-469


MUESTRA	IDENTIFICACIÓN	Fecha de vaciado	Fecha Ensayo	Edad (Días)	$\sigma_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo S2 (40% $\sigma_u$ ) Kg/cm <sup>2</sup>	Esfuerzo S1 (0.000050) Kg/cm <sup>2</sup>	e unitaria Long $\epsilon_L$ (S <sub>2</sub> )	E Unitaria Transv	$E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	$\nu$	Promedio $E_c$ Kg/cm <sup>2</sup>	Promedio $\nu$
01	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 MP	28/09/2022	26/10/2022	28	325.55	130	11.72955	0.000555	0.00009217	234591	0.1660393	233797.98	0.305975717
02	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 MP	28/09/2022	26/10/2022	28	329.23	132	11.65025	0.000565	0.00025203	233005	0.4459121		
03	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	371.11	148	14.75710	0.000503	0.00002562	295142	0.0509411	299942.68	0.04395038
04	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	379.03	152	14.20555	0.000534	0.00001972	284111	0.0369597		
05	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1.5" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	345.81	138	13.30622	0.000520	0.00007884	266124	0.1516714	255607.70	0.10165510
06	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=1.5" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	350.45	140	12.25455	0.000572	0.00002954	245091	0.0516388		
07	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=2" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	341.40	137	10.82726	0.000631	0.00008117	216545	0.1287149	236708.43	0.09116041
08	CONCRETO f'c 280 kg /cm2 + VAO L=2" AL 4%	28/09/2022	26/10/2022	28	334.89	134	12.84358	0.000521	0.00002796	256872	0.0536060		


Observaciones:

- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el solicitante.



German Gastelo Chirinos  
LABORATORISTA-FERMATI S.A.C





Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta  
INGENIERO CIVIL  
Reg. CIP. 123351

## Anexo 9 Ensayo de potencial de fisuración.



**Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo**  
**Facultad de Ingeniería**  
 Escuela de Ingeniería Civil Ambiental  
**LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES**

**PROYECTO**

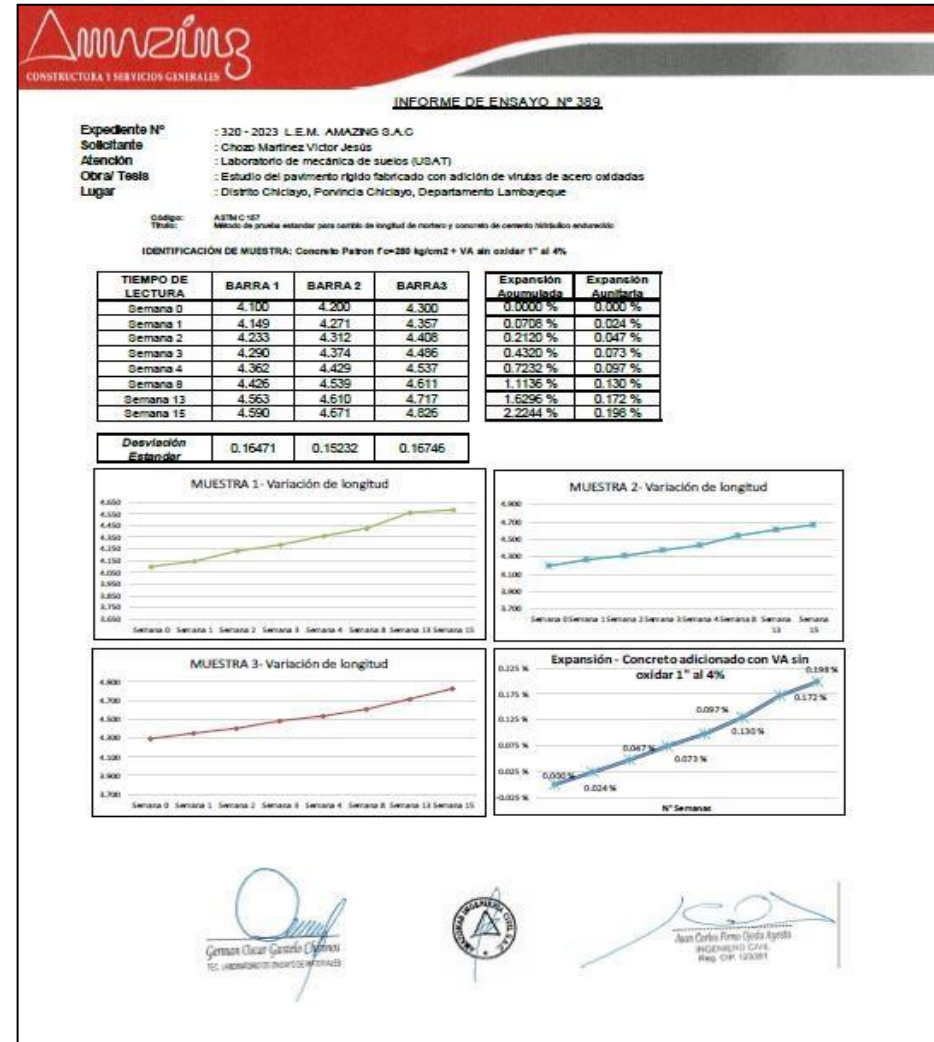
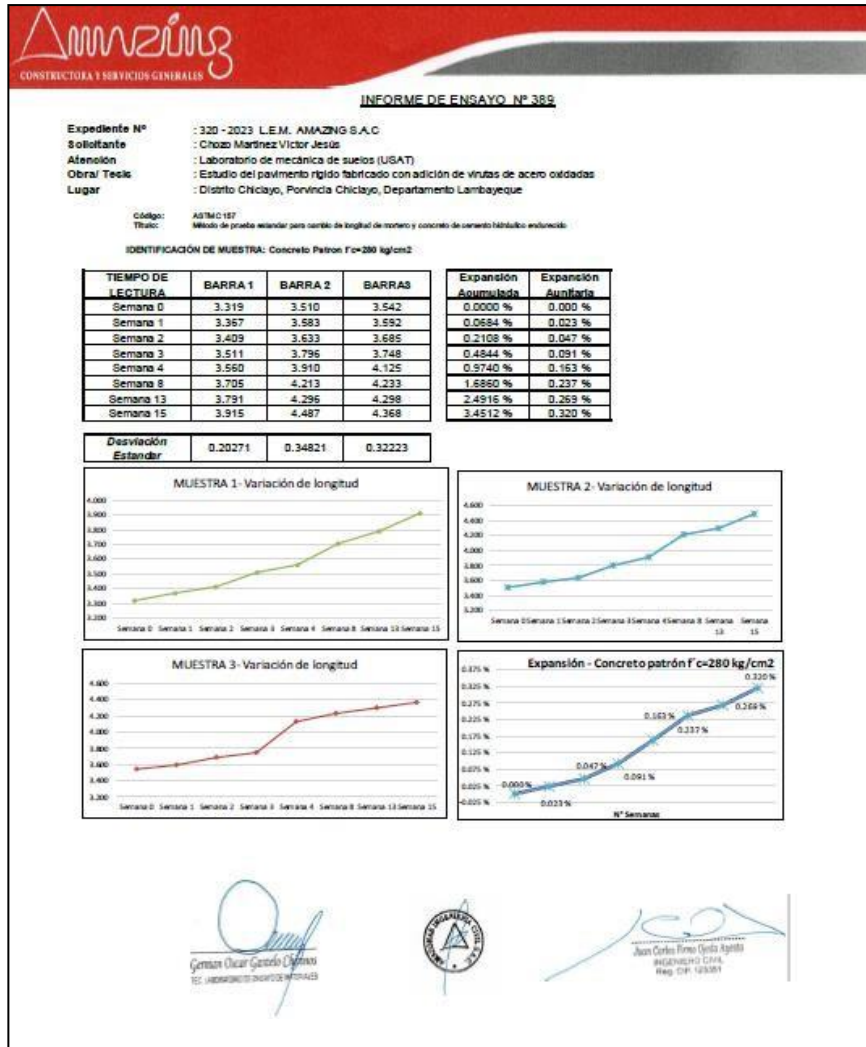
Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas

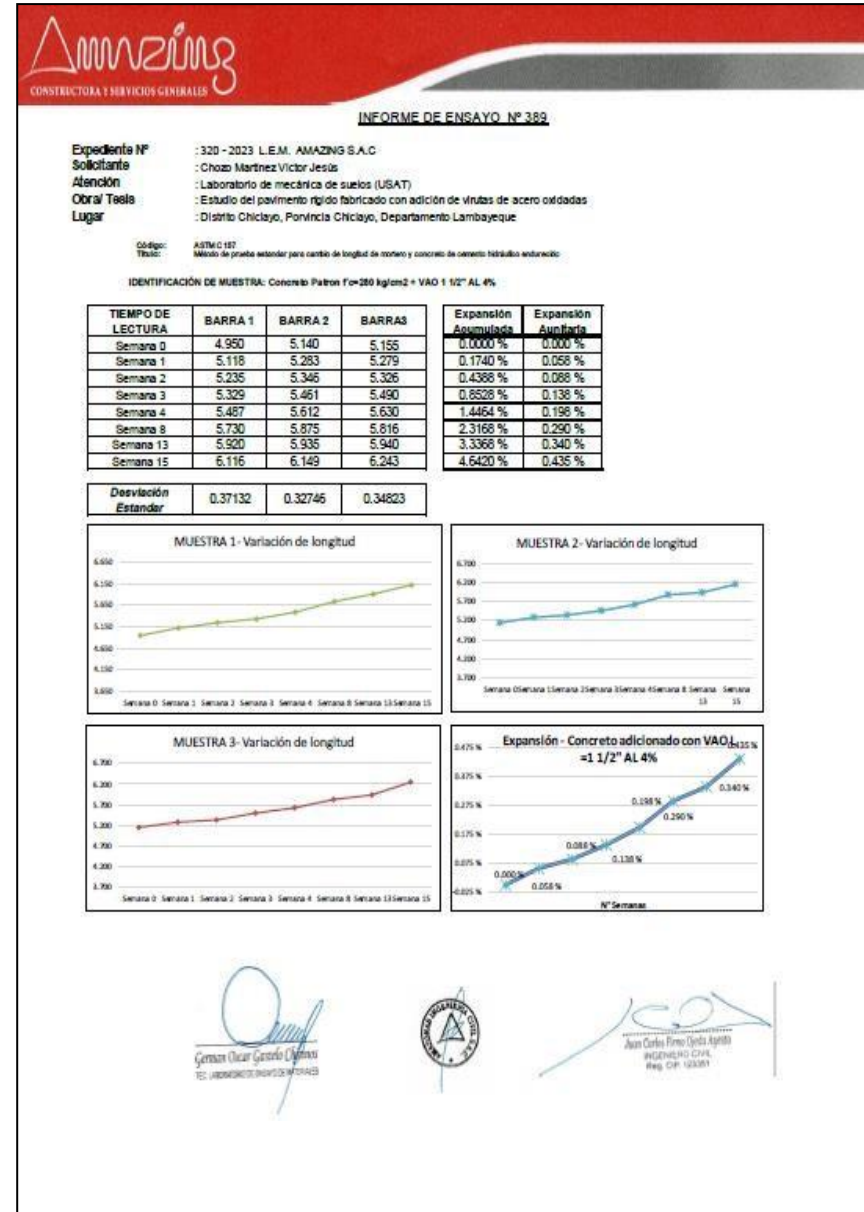
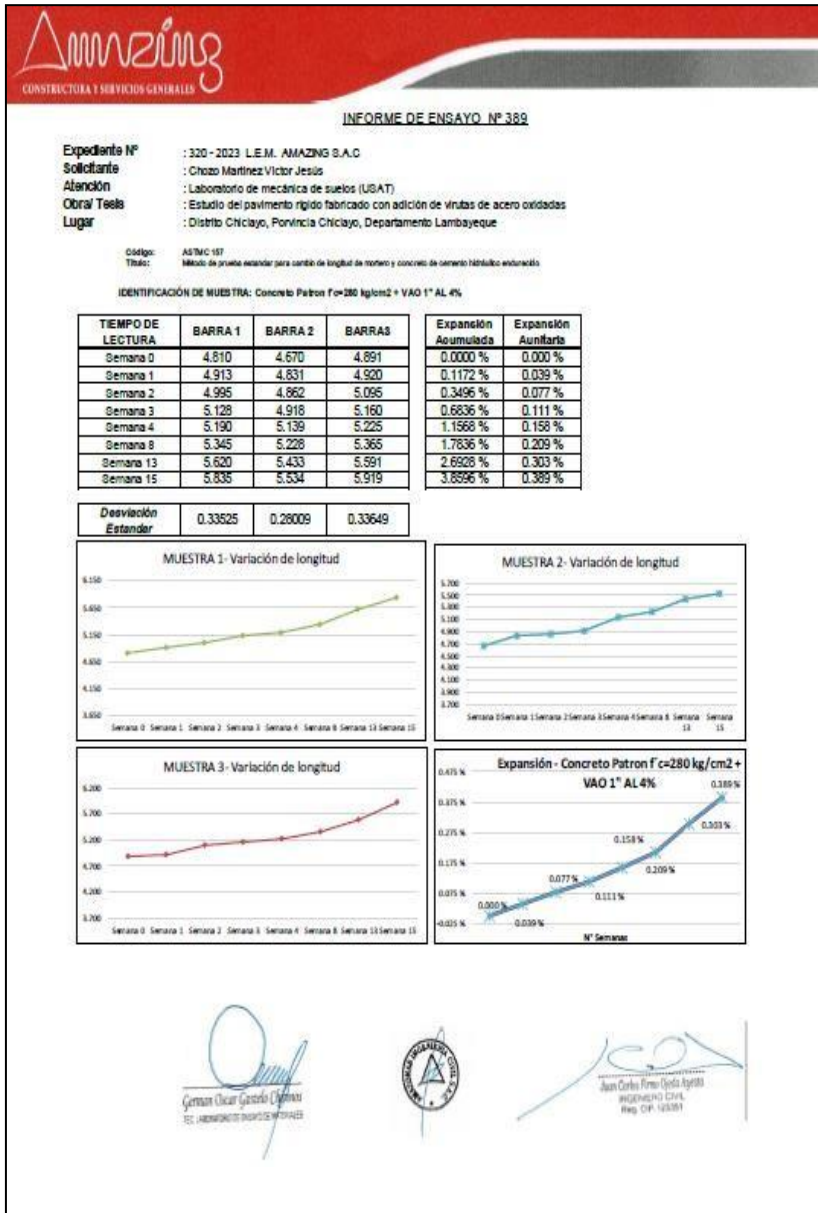
**TESISTA** Chozo Martínez Víctor JesúsEnsayo ASTM C1579-06 Ensayo de potencial de fisuración

	<b>M01 - Patrón (mm)</b>	<b>M02 - Patrón (mm)</b>	<b>M01 - VAO L=1" al 4% (mm)</b>	<b>M02 - VAO L=1" al 4% (mm)</b>
	0.70	0.40	0.10	0.25
	0.40	0.80	0.30	0.10
	0.60	0.90	0.10	0.20
	0.80	0.50	0.30	0.10
	1.00	0.90	0.25	0.30
	0.80	0.60	0.30	0.25
	0.60	0.40	0.10	0.10
	0.90	0.70	0.25	0.30
	0.80	0.60	0.30	0.25
	0.80	0.90	0.10	0.30
<b>Fisuras promedio (mm)</b>	<b>0.74</b>	<b>0.67</b>	<b>0.21</b>	<b>0.22</b>
	<b>0.71</b>		<b>0.21</b>	
<b>% Reducción de fisuras</b>	71.62		67.91	



Anexo 10 Ensayo de durabilidad al ataque de sulfatos del concreto.





*Gerardo Oscar García Chirinos*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 163381




*Alan Carlos Forno Ojeda Aguiló*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 163381

*Gerardo Oscar García Chirinos*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 163381



*Alan Carlos Forno Ojeda Aguiló*  
 INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 163381



**CONSTRUCTORA Y SERVICIOS GENERALES**

**INFORME DE ENSAYO N° 389**

**Expediente N°** : 320 - 2023 L.E.M. AMAZING S.A.C  
**Solicitante** : Chozo Martínez Víctor Jesús  
**Afiliación** : Laboratorio de mecánica de suelos (USAT)  
**Obra/ Tesis** : Estudio del pavimento rígido fabricado con adición de virutas de acero oxidadas  
**Lugar** : Distrito Chiclayo, Provincia Chiclayo, Departamento Lambayeque

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


**IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA:** Concreto Patron f' = 280 kg/cm<sup>2</sup> + VAO 2" AL 4%

TIEMPO DE LECTURA	BARRA 1	BARRA 2	BARRA 3
Semana 0	5.155	5.248	5.190
Semana 1	5.231	5.380	5.361
Semana 2	5.378	5.463	5.486
Semana 3	5.434	5.650	5.580
Semana 4	5.573	5.725	5.711
Semana 8	5.760	5.927	5.983
Semana 13	5.947	6.172	6.203
Semana 15	6.264	6.395	6.430


Expansión Acumulada	Expansión Aparente
0.0000 %	0.000 %
0.1516 %	0.051 %
0.4452 %	0.098 %
0.8736 %	0.143 %
1.4400 %	0.189 %
2.2708 %	0.277 %
3.3624 %	0.364 %
4.7608 %	0.456 %

Desviación Estándar	0.36038	0.37077	0.39519
---------------------	---------	---------	---------


**MUESTRA 1- Variación de longitud**




**MUESTRA 2- Variación de longitud**




**MUESTRA 3- Variación de longitud**





**Expansión - Concreto adicionado con VAO L=2" AL 4%**





German Oscar García Chirinos  
INGENIERO EN MECÁNICA DE MATERIALES





Juan Carlos Rizzo Ojeda Ayala  
INGENIERO CIVIL  
 Reg. CIP. 133301

Anexo 10 Producción del concreto en laboratorio.



Fuente: Propia.

Anexo 11 Prueba de asentamiento para adiciones de concreto.



Fuente: Propia.

Anexo 12 Prueba a flexión en vigas de concreto con adición de virutas de acero oxidadas.



Fuente: Propia.

Anexo 13 Prueba de tracción indirecta.



Fuente: Propia.

## Anexo 14 Prueba de potencial de fisuración.



**Fuente:** Propia.

## Anexo 15 Prueba de módulo de elasticidad y relación de poisson.



**Fuente:** Propia.

Anexo 16 Prueba de resistencia a compresión.



**Fuente:** Propia.

## Anexo 17 Prueba de ensayo de durabilidad del concreto



Lecturas en la máquina medidora de cambios de longitud.



Fuente: Propia.







Fuente: Propia.

## Anexo 18 Fichas de observación de virutas de acero oxidadas y sin oxidar.

<b>FICHAS DE OBSERVACIÓN DE VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS Y SIN OXIDAR</b>	
<b>L=1"</b>	
 <p>Viruta de acero sin oxidar de 1" 06/09/2022 06:52 p. m. GMT-05:00</p>	 <p>Perfil de viruta de acero sin oxidación, L= 1" 03/09/2022 01:14 p. m. GMT-05:00</p>
<p>Se observa las virutas de acero sin oxidar de longitud de 1" manteniendo su aspecto liso y brillante.</p>	<p>Se observa las virutas de acero sin oxidar cortadas de longitud de 1" antes del tratamiento superficial de oxidación.</p>
 <p>T. Superf. de Oxidación a Virutas de Acero L=1" 12/09/2022 04:57 p. m. GMT-05:00</p>	 <p>T. Superf. de Oxidación a Virutas de Acero L=1" 12/09/2022 12:00 p. m. GMT-05:00</p>
<p>Se observa las virutas de acero oxidadas de longitud de 1" luego de sumergir en agua, variando su aspecto liso a una coloración parda.</p>	<p>Se observa las virutas de acero oxidadas de longitud de 1" luego de la exposición de secado natural, con una coloración marrón y aspecto áspero.</p>

## FICHAS DE OBSERVACIÓN DE VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS Y SIN OXIDAR

L=1.5"

	
<p>Se observa las virutas de acero sin oxidar de longitud de 1.5" manteniendo su aspecto liso y brillante.</p>	<p>Se observa las virutas de acero sin oxidar cortadas de longitud de 1.5" luego del tratamiento superficial de oxidación.</p>
	
<p>Se observa las virutas de acero oxidadas de longitud de 1" sumergidas en agua, variando su aspecto liso a una coloración parda.</p>	<p>Se observa las virutas de acero oxidadas de longitud de 1" luego del tratamiento superficial de oxidación con aspecto áspero y color marrón.</p>

## FICHAS DE OBSERVACIÓN DE VIRUTAS DE ACERO OXIDADAS Y SIN OXIDAR

L=2"

	
<p>Se observa las virutas de acero sin oxidar de longitud de 2" manteniendo su aspecto liso y brillante.</p>	<p>Se observa las virutas de acero oxidadas de longitud de 2" luego del tratamiento superficial de oxidación con coloración marrón y aspecto áspero.</p>