



“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”

---

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON  
FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO -  
ANCASH”**

TESISTAS:

- Bach. ESPINOZA MENDOZA HILMAR YAMIL
- Bach. ESPINOZA MENDOZA OLMER CARLITOS

ASESOR:

- Ms. Ing. VILLAVICENCIO GONZÁLEZ FELIPE

Nuevo Chimbote – Perú

2021



“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”

---

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON  
FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO -  
ANCASH”**

REVISADO Y APROBADO POR EL ASESOR:

---

Ms. Ing. VILLAVICENCIO GONZÁLEZ FELIPE

ASESOR



“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
CIVIL

“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON  
FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO -  
ANCASH”

REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR:

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Presidente

  
Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado  
Secretario

  
Ms. Janet Saavedra Vera  
Integrante



**"PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLO - ANCASH"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil  
**- EPIC -**

"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 19 días del mes de marzo del año dos mil veintiuno, siendo las cinco de la tarde, cumpliendo el con la Resolución Nº 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución Nº 284-2020-UNS-CFI, integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario) y la Ms. Janet Saavedra Vera (Integrante) y en base a la Resolución Decanal Nº 136-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLOANCASH" presentado por los Bachilleres ESPINOZA MENDOZA HILMAR YAMIL y ESPINOZA MENDOZA OLMER CARLITOS, quienes fueron asesorados por el Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González, según lo establece la T. Resolución Decanal Nº 457-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| BACHILLER                       | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|---------------------------------|--------------------|-------------|
| ESPINOZA MENDOZA OLMER CARLITOS | 16                 | BUENO       |

Siendo las seis de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 19 de marzo de 2021.

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Presidente

  
Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado  
Secretario

  
Ms. Janet Saavedra Vera  
Integrante

**Bach. Espinoza Mendoza Hilmar**

**Bach. Espinoza Mendoza Olmer**



**"PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH"**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Civil**  
**- EPIC -**

"Año del bicentenario del Perú: 200 años de independencia"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN INFORME FINAL DE TESIS**

A los 19 días del mes de marzo del año dos mil veintiuno, siendo las cinco de la tarde, cumpliendo el con la Resolución N° 306-2020-CU-R-UNS (12.06.120) y la Directiva 003-2020-UNSVRAC, sobre la "ADECUACIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE OBTENCIÓN DE GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES DE PREGRADO DE LA UNS, SE REALICE EN FORMA VIRTUAL; través del aplicativo virtual Zoom, se instaló el Jurado Evaluador designado mediante Resolución N° 284-2020-UNS-CF, integrado por los docentes Ms. Julio César Rivasplata Díaz (Presidente), Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado (Secretario) y la Ms. Janet Saavedra Vera (Integrante) y en base a la Resolución Decanal N° 136-2021-UNS-FI, se da inicio a la sustentación de la Tesis titulada: "PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLOANCASH" presentado por los Bachilleres ESPINOZA MENDOZA HILMAR YAMIL y ESPINOZA MENDOZA OLMER CARLITOS, quienes fueron asesorados por el Ms. Felipe Eleuterio Villavicencio González, según lo establece la T. Resolución Decanal N° 457-2018-UNS-FI.

El Jurado Evaluador, después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo, y con las sugerencias pertinentes en concordancia con el Reglamento General para Obtener el Grado Académico de Bachiller y el Título Profesional en la Universidad Nacional del Santa, declaran:

| BACHILLER                     | PROMEDIO VIGESIMAL | PONDERACIÓN |
|-------------------------------|--------------------|-------------|
| ESPINOZA MENDOZA HILMAR YAMIL | 16                 | BUENO       |

Siendo las seis de la tarde del mismo día, se dio por terminado el acto de sustentación, firmando la presente acta en señal de conformidad.

Nuevo Chimbote, 19 de marzo de 2021.

  
Ms. Julio César Rivasplata Díaz  
Presidente

  
Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado  
Secretario

  
Ms. Janet Saavedra Vera  
Integrante

**Bach. Espinoza Mendoza Hilmar**

**Bach. Espinoza Mendoza Olmer**



## DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada con todo el amor y cariño a:

Nuestros padres Máximo y Yolanda por mostrarnos el camino y brindarnos las herramientas necesarias para lograr la superación personal y profesional alcanzada.

A nuestros hermanos Deyvis, Lizbeth y Juan por brindarnos su tiempo y su apoyo constante en cada situación que se ha presentado en la vida.

Mi familia y amigos en general por darnos su apoyo y permitir disfrutar su compañía y calidez.

Hilmar y Olmer



## AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer a nuestros padres, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a alcanzar nuestras metas.

Este proceso sencillo no ha sido pero gracias a sus enseñanzas y las ganas de transmitirnos sus conocimientos hemos logrado importantes objetivos como la culminación de nuestra tesis con éxito.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA por darnos la oportunidad de pertenecer a esta excelente casa de estudios.

A los docentes de la EAP de Ingeniería Civil por sus enseñanzas, a su vez agradecer a nuestros amigos y compañeros por el apoyo incondicional durante toda nuestra vida universitaria.

Hilmar y Olmer.



## RESUMEN

La presente investigación consiste en realizar una propuesta de pavimento rígido ultra delgado adicionando fibras metálicas y de polipropileno en Quillo- Ancash. Para realizar esta propuesta, se hizo la visita a campo para obtener muestras necesarias para aplicar el método AASHTO 93 y encontrar un espesor. Asimismo, mediante ensayos en el laboratorio de concreto, se obtuvo una un adecuado % de fibras y resistencia óptima. Con esta resistencia se vuelve a aplicar el método AASHTO 93 usando los datos anteriores logrando reducir el espesor inicial. Con los resultados obtenidos, se aplicó el método de losas cortas realizando el modelado con un software CSibridge, obteniendo un espesor óptimo para el pavimento. Con esta propuesta se busca generar una alternativa competitiva que a su vez mantenga los estándares de calidad requeridos en un proyecto.





## **ABSTRACT**

The present research consists of making a proposal for an ultra-thin rigid pavement with the addition of metallic and polypropylene fibers in Quillo- Ancash. To carry out this proposal, a field visit was made to obtain the necessary samples to apply the AASHTO 93 method and find a thickness. Likewise, by means of tests in the concrete laboratory, an adequate % of fibers and optimum resistance was obtained. With this resistance, the AASHTO 93 method was applied again using the previous data, reducing the initial thickness. With the results obtained, the short slabs method was applied by modeling with CSibridge software, obtaining an optimum thickness for the pavement. This proposal seeks to generate a competitive alternative that at the same time maintains the quality standards required in a project.



## INTRODUCCIÓN

En nuestro país es ampliamente difundido el uso del pavimento flexible en los diferentes proyectos viales que conectan a la población. No obstante, también existen otras alternativas menos conocidas, como el pavimento rígido. O más aun, el empleo de fibras para mejorar la calidad de este último. Las propiedades de estos pavimentos, suelen ser recomendadas para zonas de tránsito medio o alto, así como su bajo costo de mantenimiento, hace que sea una alternativa óptima y que se debe promover su aplicación.

La presente investigación, se enfoca en dar a conocer una alternativa de pavimento rígido aplicando tecnología de losas cortas y con adición de fibras. Por ello, el proyecto se ha desarrollado a lo largo de 7 capítulos. Donde se ha recolectado información necesaria para obtener los parámetros de diseño con los datos de la población escogida a estudiar. Posteriormente, con el método de diseño de pavimentos Rígidos, AASHTO 93, en los capítulos 3 y 4 se ha realizado el diseño y análisis del pavimento con ayuda del software CSiBRIDGE. Finalmente en el capítulo 5 se presenta los resultados, y recomendaciones para la presente investigación.



## INDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| <b>1. CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES</b> .....             | 21 |
| <b>1.1. ASPECTOS INFOMATIVOS</b> .....                      | 21 |
| 1.1.1. TÍTULO .....   | 21 |
| 1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....                          | 21 |
| 1.1.3. UBICACIÓN .....                                      | 21 |
| <b>1.2. PLAN DE INVESTIGACION</b> .....                     | 21 |
| 1.2.1. ANTECEDENTES .....                                   | 21 |
| 1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....                     | 24 |
| 1.2.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA .....                     | 26 |
| 1.2.4. IMPORTANCIA.....                                     | 27 |
| <b>1.3. OBJETIVOS</b> .....                                 | 28 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....                               | 28 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                          | 28 |
| <b>1.4. HIPOTESIS</b> .....                                 | 29 |
| <b>1.5. VARIABLES</b> .....                                 | 29 |
| 1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE .....                           | 29 |
| 1.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE .....                         | 29 |
| <b>1.6. TIPO DE DISEÑO</b> .....                            | 29 |
| <b>1.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO</b> .....                     | 30 |
| 1.7.1. MÉTODO DE ESTUDIO .....                              | 30 |
| 1.7.2. POBLACIÓN MUESTRAL.....                              | 30 |
| 1.7.3. UNIDAD DE ANÁLISIS .....                             | 30 |
| 1.7.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 30 |
| 1.7.5. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO DE DATOS .....              | 31 |
| <b>2. CAPITULO II : MARCO TEÓRICO</b> .....                 | 32 |
| <b>2.1. PAVIMENTOS</b> .....                                | 32 |
| 2.1.1. DEFINICION.....                                      | 32 |
| 2.1.2. TIPOS DE PAVIMENTOS .....                            | 33 |
| 2.1.3. METODO AASHTO 93.....                                | 38 |
| 2.1.3.1. DEFINICIÓN.....                                    | 38 |



---

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| 2.1.3.2. | FACTORES DE DISEÑO .....                               | 38  |
| 2.2.     | FIBRAS .....   | 45  |
| 2.2.1.   | FIBRAS DE POLIPROPILENO .....                          | 48  |
| 2.3.     | CONCRETO Y SUS COMPONENTES .....                       | 55  |
| 2.3.1.   | DEFINICION .....                                       | 55  |
| 2.3.2.   | TIPOS DE CONCRETO .....                                | 55  |
| 2.3.3.   | CEMENTO .....  | 56  |
| 2.3.4.   | AGREGADOS .....  | 59  |
| 2.3.5.   | AGUA .....   | 65  |
| 2.3.6.   | ADITIVOS .....   | 66  |
| 2.3.7.   | CONTROL DE CALIDAD (AGREGADO Y CEMENTO) .....          | 67  |
| 2.4.     | PARA EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS .....            | 70  |
| 2.4.1.   | CONTENIDO DE HUMEDAD .....                             | 70  |
| 2.4.2.   | ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO .....             | 71  |
| 2.4.3.   | LÍMITES DE ATTERBERG .....                             | 72  |
| 2.4.4.   | ENSAYOS PARA DETERMINAR COMPORTAMIENTO DE SUELOS<br>75 |     |
| 2.5.     | PARA EL AGREGADO Y EL CONCRETO .....                   | 79  |
| 2.5.1.   | FUENTE DE ABASTECIMIENTO .....                         | 79  |
| 2.5.2.   | CUARTEO DE MATERIALES – MUESTRAS .....                 | 79  |
| 2.5.3.   | PESO ESPECÍFICO DE AGREGADOS .....                     | 80  |
| 2.5.4.   | GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS .....                       | 83  |
| 2.5.5.   | ABRASIÓN LOS ÁNGELES .....                             | 88  |
| 2.5.6.   | DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD .....            | 90  |
| 2.5.7.   | DISEÑO DE MEZCLA .....                                 | 91  |
| 2.5.8.   | PROCEDIMIENTO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRA .....   | 106 |
| 2.5.9.   | ESPECÍMENES DE CONCRETO .....                          | 106 |
| 2.5.10.  | ASENTAMIENTO .....                                     | 108 |
| 2.5.11.  | RESISTENCIA DE TESTIGOS DE CONCRETO – PROBETAS .....   | 111 |
| 2.5.12.  | RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE CONCRETO EN VIGAS .....    | 113 |
| 2.6.     | PAVIMENTOS DE LOSAS CORTAS TCP .....                   | 114 |
| 2.6.1.   | LOSAS CORTAS ESTUDIOS .....                            | 2   |
| 2.6.2.   | FUNDAMENTO TEÓRICO DE PAVIMENTO TCP .....              | 116 |

---



---

|          |   |     |
|----------|---|-----|
| 2.6.3.   | DEFINICIÓN DE DISEÑO DE LOSAS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA<br>TCP                                     | 117 |
| 2.6.4.   | FUNCIONAMIENTO DE LAS LOSAS CORTAS  | 119 |
| 2.6.5.   | FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS<br>PAVIMENTOS DEL CONCRETO                      | 120 |
| 2.6.5.1. | EFFECTO DE LA RIGIDEZ DE LA SUB BASE EN EL LARGO DEL<br>VOLADIZO TENSIONES A TRACCIÓN             | 120 |
| 2.6.5.2. | EFFECTO DEL LARGO DE LA LOSA  | 121 |
| 2.6.5.3. | EFFECTO DEL ALABEO EN LAS LOSAS DE CONCRETO   | 121 |
| 2.6.5.4. | EFFECTO DE LAS BARRAS DE AMARRE (DOWELS) ENTRE PISTAS<br>EN EL AGRIETAMIENTO                      | 124 |
| 2.6.5.5. | TENSIONES EN LOSAS CORTAS   | 124 |
| 2.6.6.   | METODOLOGÍA DE DISEÑO TCP   | 125 |
| 2.6.6.1. | MODELACIÓN DE SUELO   | 126 |
| 2.6.7.   | FACTORES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE TCP   | 127 |
| 2.6.7.1. | LARGO DE LOSA   | 127 |
| 2.6.7.2. | TENSIONES DE CONCRETO   | 128 |
| 2.6.7.3. | DAÑO DE FATIGA EN UN PUNTO DETERMINADO  | 129 |
| 2.6.8.   | MÉTODO TCP PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO  | 131 |
| 2.7.     | DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS EN LAS LOSAS DE CONCRETO Y<br>TRADICIONALES A TRAVES DEL PROGRAMA  | 141 |
| 2.7.1.   | GENERALES   | 141 |
| 2.7.2.   | PROCESO DE OBTENCIÓN DE TENSIONES EN PAVIMENTOS<br>RÍGIDOS DE LOSAS CORTAS (TCP) Y CONVENCIONALES | 142 |
| 2.7.2.1. | SELECCIÓN Y RECOPIACIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A<br>NIVEL DE SUB RASANTE                       | 142 |
| 2.7.2.2. | SELECCIÓN Y RECOPIACIÓN DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A<br>NIVEL DE SUB BASE                          | 143 |
| 2.7.3.   | SELECCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA  | 144 |
| 2.7.4.   | DETERMINACIÓN DE CARGA POR TRÁFICO  | 144 |
| 2.7.5.   | PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL CONCRETO  | 144 |
| 3.       | CAPITULO IV : MATERIALES Y METODOS  | 146 |
| 3.1.     | MÉTODO DE INVESTIGACIÓN   | 146 |
| 3.2.     | POBLACIÓN MUESTRAL  | 146 |
| 3.3.     | ALCANCE   | 146 |
| 3.4.     | DISEÑO METODO ASHTO 93  | 147 |

---



---

|        |  |     |
|--------|--|-----|
| 3.4.1. | VOLUMEN DEL TRÁFICO VEHICULAR.....   | 147 |
| 3.4.2. | TRANSITO MEDIO DIARIO SEMANAL (TMDS).....  | 148 |
| 3.4.3. | TRANSITO MEDIO DIARIO ANUAL.....   | 148 |
| 3.4.4. | TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR.....   | 150 |
| 3.4.5. | FACTOR CARRIL (FC).....  | 151 |
| 3.4.6. | FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA.....   | 151 |
| 3.5.   | EMPLEO DE CSIBRIDGE 22 PARA DETERMINAR COMPORTAMIENTO DE LOSAS CORTAS Y TRADICIONALES..... | 158 |
| 3.5.1. | ENSAYOS DE SUB RASANTE.....  | 158 |
| 3.5.2. | ENSAYOS DE SUB BASE.....   | 159 |
| 3.5.3. | SELECCIÓN DE DISEÑO DE MEZCLA.....   | 159 |
| 3.5.4. | DETERMINACIÓN DE CARGA POR TRÁFICO.....  | 160 |
| 3.5.5. | DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....                                    | 161 |
| 3.5.6. | APLICACIÓN DEL PROGRAMA CSI BRIDGE.....  | 162 |
| 4.     | : RESULTADOS Y DISCUSIONES.....  | 172 |
| 4.1.   | ENSAYOS DE COMPRESIÓN.....   | 172 |
| 4.1.1. | MUESTRA PATRÓN.....  | 172 |
| 4.1.2. | RELACIÓN DE ADICIÓN DE FIBRAS 10 – 90 / POLIPROPILENO – METÁLICAS.....                     | 173 |
| 4.1.3. | RELACIÓN DE ADICIÓN DE FIBRAS 20 – 80 / POLIPROPILENO – METÁLICAS.....                     | 174 |
| 4.1.4. | RELACIÓN DE ADICIÓN DE FIBRAS 35-65 / POLIPROPILENO - METÁLICAS.....                       | 176 |
| 4.2.   | RESULTADOS DE CORRIDA EN CSI BRIDGE.....   | 179 |
| 5.     | CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 188 |
| 6.     | CAPITULO VII : BIBLIOGRAFIA.....   | 192 |
| 7.     | CAPITULO VII : ANEXOS.....   | 194 |



## INDICE DE ILUSTRACIONES

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 1.-</b> Tipos de Pavimentos. Fuente: Elaboración Propia .....   | 33  |
| <b>Ilustración 2.</b> Juntas en pavimentos de Concreto Simple. Fuente: Tópicos de Pavimentos de concreto .....   | 35  |
| <b>Ilustración 3.</b> Pavimentos con refuerzo continuo. Fuente: Tópicos de Pavimento de Concreto .....   | 36  |
| <b>Ilustración 4.</b> Macro Fibras. Fuente: Manual Zika – Concreto Reforzado con fibras .....  | 47  |
| <b>Ilustración 5.-</b> Imagen de Fibra de acero. ....  | 52  |
| <b>Ilustración 6.</b> Variante de firmas según perfil.....   | 52  |
| <b>Ilustración 7.-</b> Variación de presentación de fibras metálicas.....  | 53  |
| <b>Ilustración 8.-</b> Cuarteo de agregado Grueso. Fuente: Elaboración propia.....   | 80  |
| <b>Ilustración 9.-</b> Cuarteo de agregado Grueso. Fuente: Elaboración Propia. ....  | 80  |
| <b>Ilustración 10.-</b> Cono de Abrahms para determinar el asentamiento del concreto.....  | 108 |
| <b>Ilustración 11.-</b> Varilla compactadora .....   | 109 |
| <b>Ilustración 12.-</b> Procedimiento para el asentamiento del concreto. ....  | 110 |
| <b>Ilustración 13.-</b> Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz. Fuente: ASTM C 78..... | 113 |
| <b>Ilustración 14.-</b> En la imagen se describe el diseño que plantea TCP, el cual busca que cada set de ruedas afecte a cada paño una a la vez. Fuente: Tc Pavements. .... | 117 |
| <b>Ilustración 15.-</b> En la imagen se describe el diseño que plantea TCP, losas de 1.80m x1.80 . Fuente: Tc Pavements.....   | 118 |
| <b>Ilustración 16.-</b> Debido a las cargas que se generan en la losa hace que la losa tenga que alabearse y levantarse en los bordes. Fuente: Tesis Burboa. Pag . 16.....   | 120 |



---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Ilustración 17.-</b> comportamiento de un paño en frente al paso de un vehículo,<br>Fuente: Pavimentos de hormigón - comportamiento y diseño Juan Pablo<br>Covarrubias. ....  | 121 |
| <b>Ilustración 18.-</b> Comportamiento de una losa causado por un diferencial<br>térmico, Fuente: Pavimentos de hormigón - comportamiento y diseño Juan<br>Pablo Covarrubias. ....   | 122 |
| <b>Ilustración 19.-</b> Factores que afectan el comportamiento en las losas de un<br>pavimento Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos). ....  | 122 |
| <b>Ilustración 20.-</b> Comportamiento de una losa frente a un esfuerzo Fuente:<br>Elaboración propia. ....  | 123 |
| <b>Ilustración 21.-</b> En la figura se puede apreciar que las barras de amarre<br>colocadas entre las pistas en la junta longitudinal.....  | 124 |
| <b>Ilustración 22.-</b> Se muestra los diferentes tamaños de losas optimizadas según<br>la carga de los camiones y un espesor requerido en cada situación para<br>obtener una vida útil. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)..... | 126 |
| <b>Ilustración 23.-</b> Se muestra un cuadro comparativo entre las tensiones<br>generadas por el paso de los vehículos vs la dimensión de una losa. Fuente:<br>TCPavements (innovación en pavimentos).....                                   | 127 |
| <b>Ilustración 24.-</b> Se muestra un cuadro comparativo entre el factor de<br>calibración por el uso de fibras vs el espesor de diseño. Fuente: TCPavements<br>(innovación en pavimentos).....  | 129 |
| <b>Ilustración 25.-</b> Distribución de llantas en paños de losas. Fuente:<br>TCPavements.....   | 131 |
| <b>Ilustración 26.-</b> Distribución de pesos en eje de llantas en paños de losas.<br>Fuente: TCPavements .....  | 131 |
| <b>Ilustración 27.-</b> % de pasadas sobre losas. ....   | 135 |
| <b>Ilustración 28.-</b> Distrito de Quillo, Yungay - Ancash. Fuente : Google Earth<br>Pro.....   | 147 |
| <b>Ilustración 29.-</b> Peso de vehiculo de diseño C3. Fuente: Asociación de<br>representantes Automotrices del Perú. ....   | 160 |
| <b>Ilustración 30.-</b> Pesos y medidas permitidas. ....   | 161 |
| <b>Ilustración 31.-</b> Losa Patrón 4.5m x 3.6m .....  | 163 |

---





---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ilustración 32.-</b> Losa de 2.25m x 1.80m.....  | 163 |
| <b>Ilustración 33.-</b> Losa de 1.8m x 1.8m.....  | 164 |
| <b>Ilustración 34.-</b> Losa de 1.8m x 1.4m.....  | 164 |
| <b>Ilustración 35.-</b> Resultados de ensayos de diseño patrón. Fuente: Elaboración propia. ....  | 172 |
| <b>Ilustración 36.-</b> Se muestra los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas patrón. ....   | 172 |
| <b>Ilustración 37.-</b> Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 10% Polipropileno- 90% Metálicas. Resultados en Adición 3%, 6% y 10% respectivamente. ....  | 174 |
| <b>Ilustración 38.-</b> Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 20% Polipropileno- 80% Metálicas. Resultados en Adición 3%,6%y 10% respectivamente. ....    | 175 |
| <b>Ilustración 39.-</b> Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 35% Polipropileno – 65% Metálicas. Resultados en adición 3%, 6% y 10% respectivamente. .... | 177 |
| <b>Ilustración 40.-</b> Resultados de resistencia obtenida en los ensayos de compresión, con las distintas dosificaciones, evaluados a los 28 días. ....                                    | 178 |



## INDICE DE TABLAS

**Cuadro 1.-Periodos** de Diseño Según tipo de Carretera. Fuente: Guide for design of Pavement Structures 1993, AASHTO.

**Cuadro 2.Valores**  $Z_r$  en función a la confiabilidad. Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement Structures.

**Cuadro 3.Niveles** de Confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures.**Cuadro 4.** Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures.

**Cuadro 5.Niveles** de confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures.**Cuadro 5.Niveles** de confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for design of Pavement Structures.

**Cuadro 6.** Valores de coeficientes de drenaje. Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement Structures 1993.

**Cuadro 7.** Valores de coeficientes de transmisión de cargas. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.

**Cuadro 8.-Propiedades** de las fibras. Fuente: Revista Ingeniería de Construcción Vol. 20 N°01 (P.160) Ruiz A, Lopez J y Martinez J. 2005

**Cuadro 9.-Propiedades** de fibras Sintéticas. Fuente: ACI 544.1R-96

**Cuadro 10.** Tipos de concreto según su uso. Fuente: MTC E704.

**Cuadro 11.-Características** de los agregados. Fuente: AASHTO TP 57

**Cuadro 12.-Valores** de ensayo de Granulometría. Fuente: ASTM C33

**Cuadro 13.-Ensayos** para los agregados gruesos. Fuente: ASTM D-5821

**Cuadro 14.-Límites** permisibles de agua. Fuente: NTP 339.088

**Cuadro 15.-Porcentajes** de material que pasa por los tamices normalizados. Fuente: NTP 400.037

**Cuadro 16.-Porcentaje** que pasa por los tamices normalizados agregado grueso.

**Cuadro 17.-** Porcentaje que pasa por los tamices normalizados agregado grueso.



---

**Cuadro 18.-Cantidad** de muestra que pasa por las mallas. Fuente ASTM C131

**Cuadro 19.-Masa** de carga abrasiva según el tamaño de la esfera. Fuente: ASTM C131

**Cuadro 20.-Factor** de modificación para desviación estándar de la muestra. Fuente: E 060

**Cuadro 21.-Resistencia** promedio requerida a la compresión. Fuente: E060, Pg.41.

**Cuadro 22.-Resistencia** promedio requerida a la compresión. Fuente: E060.

**Cuadro 23.-Slump** según tipo de construcción. Fuente: ACI211

|                      Cuadro 24.-Cantidad de agua x m<sup>3</sup> de acuerdo al tamaño máximo nominal. Fuente: Comité ACI 211.

**Cuadro 25.-Requerimientos** aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados. Fuente: ACI 211.

**Cuadro 26.Contenido** de agua en mezcla. Fuente: ACI 211.

**Cuadro 27.-Relación** de agua cemento de acuerdo a la resistencia a la compresión. Fuente: ACI 211.

**Cuadro 28.-Máxima** relación agua/cemento permisible para concreto sometido a condiciones especiales a exposición. Fuente: ACI 211

**Cuadro 29.-Volumen** de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

**Cuadro 30.-Tolerancia** permisible de acuerdo a la edad de ensayos. Fuente: NTP 339.034 Pg. 11

**Cuadro 31.-** Según la geometría de las losas el estudio demuestra la reducción de los espesores de acuerdo al cambio de geometría. Fuente: Illinois Center Transportation. Performance of concrete Pavements With Optimized Slab Geometry, Agosto 2009.

**Cuadro 32.-** Tensiones por peso propio para losas de diferentes geometrías. Fuente: elaboración propia.

**Cuadro 33.-** Porcentaje de pasadas

**Cuadro 34.-** Distribución de Ejes

**Cuadro 35.-** Daño Admitido

**Cuadro 36.-** Resistencia al flexo tracción característica (80%)



**Cuadro 37.-** Parámetro de diseño.

**Cuadro 38.-** Factores de ajuste por tipo de borde

**Cuadro 39.-** Transferencia de Carga

**Cuadro 40.-** Índice de Rugosidad Internacional

**Cuadro 41.-** Caracterización de mezcla de concreto

**Cuadro 42.-** Conteo vehicular Quillo.

**Cuadro 43.-** Transito medio diario Semanal Quillo.

**Cuadro 44.-** Tasa de crecimiento vehicular Quillo

**Cuadro 45.-** Relación Carriles/%ESAL

**Cuadro 46.-** Factor de equivalencia de carga Quillo

**Cuadro 48.-** Dosificación para concreto a usar en el Pavimento. Aplicación de Fórmula de diseño por el método AASHTO 93

**Cuadro 48.-** Dosificación para concreto a usar en el Pavimento.

**Cuadro 49.-** Dimensiones y espesores de losas a trabajar.

**Cuadro 50.-** Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra. Fuente: Elaboración propia

**Cuadro 51.-** Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 52.-** Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 53.-** Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 54.-** Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 55.-** Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 56.-** Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 57.-** Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

**Cuadro 58.-** Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra. Fuente: Elaboración propia.



---

## 1. CAPITULO I : ASPECTOS GENERALES

### 1.1. ASPECTOS INFOMATIVOS

#### 1.1.1. TÍTULO

“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLO - ANCASH”

#### 1.1.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según su naturaleza : Experimental  
Según su propósito : Aplicativa  
Según su duración : Sincrónica  
Según su nivel : Descriptiva

#### 1.1.3. UBICACIÓN

Localidad : Quillo  
Distrito : Quillo  
Provincia : Yungay  
Departamento : Ancash

### 1.2. PLAN DE INVESTIGACION

#### 1.2.1. ANTECEDENTES

##### 1.2.1.1. A NIVEL INTERNACIONAL

- Sanz & Zamuy (2017) en su investigación denominada “Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras de acero sometido a impacto experimentó en probetas prismáticas sin entallar, dos dosificaciones volumétricas (0,5 y 1%), y una serie complementaria de probetas de hormigón convencional como referencia. En base a los resultados obtenidos concluye que tanto la resistencia a flexo tracción como la energía de fracturación han mostrado un aumento muy significativo con la adición de fibras.



- Muñoz F. (2010) en su investigación “Comportamiento Mecánico del hormigón reforzado con fibra de polipropileno multifilamento”. Concluyo que el hormigón en estado fresco presenta una dificultad en la trabajabilidad y en el hormigón endurecido la compresión aumenta en proporción al porcentaje de fibras, pero presenta una caída de resistencia cuando sobre pasa el límite de trabajabilidad

#### 1.2.1.2. A NIVEL NACIONAL

- Según Hamilton Mendoza García (2015) Realizo una Tesis de investigación sobre “Evaluación de losas cortas TCP en pavimentos según tensiones” publicada por la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga concluyo que mediante la utilización del método TCP se obtiene la reducción del espesor de la losa en comparación con una losa tradicional. Lo cual se logró en base a la reducción de las dimensiones de las losas. Permitiendo así que un set de ruedas actúen de manera independiente en cada losa. Lo cual no ocurre en el diseño AASHTO. Asimismo, hace referencia que al emplear este tipo de losas, se requiere que la sub base sea más rígida para que pueda colaborar con las cargas bajo las ruedas.
- Araujo Novoa, Arnaldo Josué (2018) en su investigación titulada “Fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto, Trujillo -2018. evaluaron la influencia de las fibras de acero y polipropileno en la resistencia a la compresión del concreto. Para ello, se determinó mediante cuatro grupos que comprende 48 especímenes distribuidos en cada grupo control y experimental de acuerdo a los días de curado. Para cada grupo experimental se realizaron 6 ensayos, los cuales resultaron del promedio de 2



especímenes. El ensayo de resistencia a la compresión se determinó por cuatro grupos con seis especímenes para obtener 3 resultados, la cual fue dosificada para una resistencia promedio a la compresión  $f'_{cr}$  de 294 kg/cm<sup>2</sup> (28.8 MPa) de la norma de concreto armado E 060, el grupo G1 presentó una dosificación de fibras de acero y polipropileno del 10% por 25 kg/m<sup>3</sup> y 600 gr/m<sup>3</sup>, el grupo G2 presentó una dosificación de fibra de acero y polipropileno de 15% por 25 kg/m<sup>3</sup> y 600 gr/m<sup>3</sup>, el G3 tuvo el mayor porcentaje de fibras de acero y polipropileno, adicionando el 20% por 25kg/m<sup>3</sup> y 600 gr/m<sup>3</sup>. Dichos especímenes fueron sometidos a prueba de compresión a la edad de 14 y 28 días, finalmente se concluyó como resultado que el grupo de mayor resistencia a la compresión es el G3 con una resistencia de 322.98 kg/m<sup>2</sup> (31.67 MPa), superando al grupo control en 8.10%.



## 1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde las épocas de principios de sedentarismo del hombre, este ha optado por hacerse de un lugar al cual recurrir posteriormente luego de realizadas sus actividades. Este espacio, que inicialmente solo tenía fines de protección y descanso, con el paso del tiempo fue obteniendo mejoras y nuevos planteamientos ya que no solo se enfocaba en lugares aislados, sino que buscaban vías para mantener la comunicación entre la comunidad. De este modo, los materiales que se empleaban para la construcción, con la variación del tiempo y lugar en que se encontraban fueron diversificándose. En consecuencia, la construcción marco un hito importante con el descubrimiento del concreto, pues este hasta la actualidad ha pasado a ser el material casi universal para todo tipo de construcciones. Desde edificaciones, obras hidráulicas, y vías de comunicación, etc., en su proceso constructivo se emplea el concreto. No obstante, en busca de mejorar sus propiedades se viene buscando emplear nuevos materiales para aumentar y/o mejorar la calidad del concreto. Esta tendencia está muy arraigada últimamente y mucho más con el pensamiento de cultura de prevención y cuidado ecológico del medio ambiente.

Si bien es cierto, no se desprende totalmente de los materiales tradicionales como lo son (El cemento, arena, piedra, y demás agregados), se opta por reemplazar estos en un cierto porcentaje. De este modo, el resultado final adoptará un comportamiento con propiedades físico-mecánicas distintas al tradicional. Este tipo de investigaciones son bastante recurrentes en estos días. No obstante, realizando un enfoque en las mejoras de las propiedades que trae consigo el uso de este tipo de polímeros en la construcción, es que es importante ahondar en la búsqueda de alternativas de construcción para mejorar de una manera adecuada las deficiencias de los procesos tradicionales.





En base a esto se viene observando que la localidad de Quillo es una localidad con una población de escasos recursos, es más, se encuentra entre los distritos de mayor pobreza en el Perú. Y se encuentra con la necesidad de ejecución proyectos viales para unir a las comunidades emergentes. Para lo cual es necesario el planteamiento de proyectos cuya durabilidad y propuesta técnica sean adecuadas con el crecimiento de las comunidades. Asimismo, se puede observar que en los proyectos de pavimento tradicional flexible en nuestra comunidad resultan tener una muy corta duración y que obligan a dar un mantenimiento, en el corto y mediano plazo y así a tener que repetir sistemáticamente estas operaciones; la mayoría de estos proyectos presentan deficiencias que pueden ser por fisuras, deformaciones, pérdida en las capas de la estructura, daños superficiales los cuales se dan a notar con el transcurso del tiempo y generando un mantenimiento constante de las vías; Provocando a su vez malestar en la población debido a que las distintas deficiencias que tiene la vía generen accidentes de tránsito, desgaste y constante mantenimiento en los vehículos motorizado; Al final termina por encarecer debido al constante mantenimiento del proyecto generando así un costo mayor al inicial.

Es por ello que se busca plantear esta opción para la comunidad Quillo, teniendo en cuenta que su situación económica y la necesidad de comunicación vial es muy similar a muchas comunidades de la región. Con lo cual se asentaría los principios para el desarrollo de proyectos viales más optimizados.

¿En qué medida es más viable plantear una propuesta de un pavimento rígido ultra delgado adicionando fibras de Polipropileno y Fibras metálicas en la comunidad de Quillo – Ancash?



### 1.2.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA

El desarrollo de una comunidad se basa en la unidad de sus miembros. Debido a que la accesibilidad a los recursos, servicios y otros medios genera el comercio y por ende el crecimiento en la economía y tecnología. En ese sentido las vías de comunicación juegan un papel muy importante.

No obstante, en muchas comunidades si bien cuentan con estas vías construidas; estas no se encuentran en estado óptimo de operación. Ya que el mantenimiento de las mismas escapa del presupuesto destinado para la comunidad a través de los planes del estado.

En nuestra región el 90% de las vías realizadas se han construido en base a la realización tradicional de uso de pavimento flexible. Esto debido a su “bajo costo” respecto al pavimento rígido. No obstante, no se tiene en cuenta el costo de mantenimiento que se debería considerar al momento de hacer la comparación costo-beneficio de ambos tipos de pavimentos.

Pese a que ya se ha implementado el uso de las fibras en algunos sectores de la construcción. Su uso es algo poco empleado en nuestro medio. No obstante, mediante la presente investigación tratamos de mostrar una alternativa para su empleo y favorecimiento de la población.

De ese modo, mediante la presente investigación se justifica que la mejora en las propiedades y características de las vías y su tecnología de fabricación deben estar a la par del desarrollo actual. Donde la comunidad del Distrito de Quillo, no está exento.

El distrito de Quillo, cuya ubicación geográfica se encuentra en la cordillera negra y es parte de los 8 distritos que conforman la provincia de Yungay, en el departamento de Ancash.

Se escogió este distrito debido a que reúne características tipo de los distritos de nuestra región. Así como, conexión con otros distritos y comunidades de la zona, mediante vías en su mayoría mediante



pavimentos flexibles. No obstante, en su recorrido, se puede observar el desgaste y las fallas que se presentan debido a su diseño de trabajo a mediano plazo (20 años aprox.).

Por lo tanto mediante el uso de las fibras se busca encontrar una alternativa de pavimento rígido más delgado que cumpla con las características necesarias para resistir los esfuerzos que la vía requiera y que a su vez el costo de fabricación de esta sea menor al del tradicional. Considerando que el costo de mantenimiento del pavimento tradicional ya no será un factor que afecte a la propuesta de pavimento rígido con uso de las fibras respectivas.

#### **1.2.4. IMPORTANCIA**

Este proyecto está enfocado en demostrar, a través de una propuesta aplicada en una comunidad del país, que el diseño y aplicación de pavimentos usando los polímeros de construcción como son las Fibra de Polipropileno y Fibras metálicas hace que el uso de pavimentos rígidos sea una propuesta mucho más factible. Debido a que estos pavimentos rígidos tienen un elevado costo inicial de puesta en marcha en comparación con los pavimentos tradicionales flexibles, con esta optimización se busca que esta alternativa sea más accesible, a tal punto de equilibrarse, e incluso ser mejor propuesta económicamente.

Además, como se conoce actualmente, la mayor parte de los proyectos viales son en base a pavimentos flexibles. No obstante, es de conocimiento mínimo por parte de la población que las actividades de mantenimiento del tipo de obras de pavimento tradicional tienen un costo de 50% mayor de mantenimiento en comparación con el pavimento rígido. Asimismo, las propiedades del pavimento rígido son más beneficiosas que el pavimento tradicional.

Pensando en la situación se propone el uso de pavimentos ultra delgado de hormigón con fibras de polipropileno y metálicas



aplicando el sistema de losas cortas o losas optimizadas; el cual ofrece una solución más duradera lo cual contribuye a una mayor optimización de los recursos destinados al mantenimiento de las vías, a su vez se cuenta con una opción que le permita mantener los estándares de calidad y seguridad de las vías por más tiempo, a un costo directo inicial razonable y, como valor agregado, contar como los beneficios en términos de durabilidad que provee el hecho de que la capa de rodado sea de hormigón, reduciendo en gran cantidad las deficiencias que tiene los pavimentos flexibles. De este modo se un piloto en la comunidad de Quillo, y se pueda emplear en las comunidades adyacentes.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

- Plantear una propuesta técnica de un pavimento rígido ultra delgado con adición de fibras de polipropileno y fibras metálicas en Quillo–Ancash.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar un diseño de Pavimento rígido que alcance una resistencia de 280 kg/cm<sup>2</sup> con una mezcla patrón y una mezcla con adición parcial (%) de las fibras de polipropileno y fibras metálicas para el pavimento.
- Realizar ensayos de laboratorio acordes a la exigencia de la Normatividad Peruana, según el Manual de Ensayo de materiales, la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y el Manual de Carreteras (Suelos, Geología y Pavimentos). con el fin de determinar la cantidad de material adicionado (Fibras).



- Realizar una Comparación técnica entre una muestra de concreto patrón y un concreto en donde se adicione las fibras de polipropileno y las fibras metálicas para determinar los % correspondientes para el Diseño del Pavimento proyecto.
- Diseñar un pavimento ultra delgado usando los resultados obtenidos de los ensayos (% de Fibras óptimo para el diseño) realizados durante el proceso de investigación. De esta manera obtener el espesor idóneo para la propuesta.

#### **1.4. HIPOTESIS**

*Si se obtiene un diseño de pavimento rígido ultra delgado adicionando Fibras de polipropileno y fibras metálicas, que cumpla con la normativa peruana vigente para el caso, entonces se propondrá como una alternativa de pavimento ultra delgado a usar en el Distrito de Quillo – Ancash.*

#### **1.5. VARIABLES**

##### **1.5.1. VARIABLE DEPENDIENTE**

- Dimensiones de la losa

##### **1.5.2. VARIABLE INDEPENDIENTE**

- Relación de fibras de polipropileno y fibras metálicas
- % de fibras en el concreto
- Tipo de terreno

#### **1.6. TIPO DE DISEÑO**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo y corresponde a un diseño cuasi experimental debido a que en el estudio se manipulan intencionalmente la variable independiente (fibras de polipropileno y fibras



metálicas), para analizar las consecuencias sobre la variable dependiente (espesor pavimento rígido).

Los grupos de control están conformados por aquellas muestras a las cuales no se les agrega fibra alguna. Mientras que los grupos experimentales serán aquellas muestras mezcladas con fibra de acuerdo a las dosificaciones establecidas.

## **1.7. ESTRATEGIA DE TRABAJO**

### **1.7.1. Método de estudio**

- Se recopilará información sobre antecedentes y tesis anterior con temas relacionados a las variables en investigación
- Se procederá a obtener muestras para la realización de los ensayos requeridos para el diseño del pavimento.
- Se realizará los ensayos requeridos para determinar el espesor adecuado para el pavimento rígido adecuado
- Se modelará empleando el software CSiBRIDGE, para comprobar que cumpla los requerimientos correspondientes.
- Se dará a conocer los resultados y conclusiones de la investigación a través del informe final

### **1.7.2. Población Muestral**

Distrito de Quillo – Yungay - Ancash

### **1.7.3. Unidad de Análisis**

Probetas de Concreto  
Ensayos a especímenes  
Modelos en CSiBRIDGE

### **1.7.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

Búsqueda de información de investigaciones pasadas empleando las fibras empleadas.



Monogramas y tablas de valores

#### **1.7.5. Técnica de procesamiento de datos**

Trabajos en gabinete (Procesamiento de datos y modelamiento)

Las tablas obtenidas de los datos obtenidos en laboratorio

Para el diseño se empleó la normatividad vigente E-60, CE.010.

Diseño de pavimento y corrida en CSIBRIDGE



## 2. CAPITULO II : MARCO TEÓRICO

### 2.1. PAVIMENTOS

#### 2.1.1. DEFINICION

La estructura del pavimento es un sistema compuesto por capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas de tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento el cual deberá funcionar eficientemente; las condiciones para su adecuado funcionamiento deberá de contar con un ancho, trazo vertical y horizontal, resistencia adecuada a las cargas para evitar fallas y agrietamiento en su estructura, contara con una superficie rugosa que facilite el adecuado contacto entre el vehículo y la superficie de pavimento a cualquier condición climática; tendrá que cumplir con la resistencia adecuada a la intemperie, a los esfuerzos destructivos causados por paso constante de los vehículos y al agua, contara con una adecuada visibilidad y contar con un vista agradable para evitar cansancio por parte del conductor.

Las cargas que soporta un pavimento se reducen con la profundidad, por lo tanto, se debe de colocar lo materiales en un orden; Los de mayor capacidad de carga en la parte superior y las de menor carga en la parte inferior, dichos materiales se encuentran en la naturaleza ayudando a reducir el costo en la estructura del pavimento.

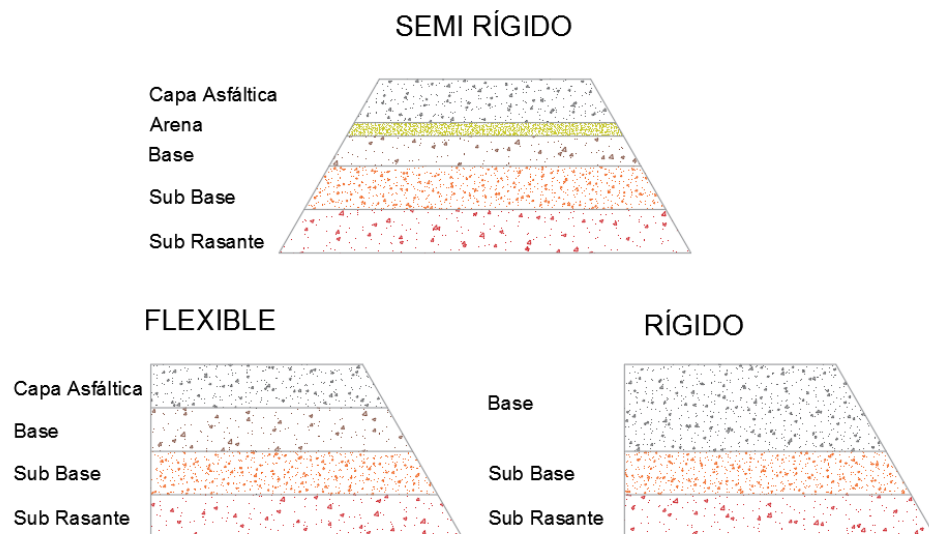
El espesor de las capas del pavimento se debe a un factor económico debido a que al realizar el cálculo de dicho espesor el objetivo es que el pavimento trabaje con el grosor mínimo que reduzca las cargas sobre la capa inmediata inferior; la resistencia de la carpeta de pavimento no solo depende de las cargas que



soporte cada capa de sino también del correcto proceso constructivo teniendo en cuenta que la compactación y la humedad sean los adecuados ya que si el material no está correctamente compactado y no tiene su óptimo contenido de humedad este se consolida por efecto de las cargas de tránsito se producen deformaciones en su estructura.

### 2.1.2. TIPOS DE PAVIMENTOS

Los pavimentos se dividen por su estructura y por el tipo de capa de rodamiento, por su estructura se pueden clasificar en pavimentos flexibles y rígidos los cuales se diferencian por la manera como transmiten las cargas hacia la sub-rasante; por el tipo de capa de rodamiento se clasifican en pavimentos flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos semi-rígidos



*Ilustración 1.-Tipos de Pavimentos. Fuente: Elaboración Propia*

### PAVIMENTO FLEXIBLE

En este tipo de pavimentos se distribuye las cargas en áreas pequeñas debido a que su rigidez es menor ya que suele deformarse al aplicar una carga y luego recuperar su forma una vez que la carga se ha retirado; este modelo de pavimento tiene en su



estructura una capa de rodamiento de material bituminoso, apoyada casi siempre sobre dos capas no rígidas que son la base y sub-base estos materiales generalmente son de un material que abunda en la naturaleza ya que puede ser de afirmado y/o terreno natural.

La capa de rodamiento bituminosa está compuesta por asfalto y según el proceso constructivo de la capa de rodamiento podemos destacar los principales tipos de capa de rodamiento.

- Mezcla asfáltica en frío.
- Mezcla asfáltica en caliente.
- Tratamientos asfálticos superficiales.

## PAVIMENTO RÍGIDO

Son aquellos pavimentos que tienen por característica principal que su capa de rodadura es de concreto hidráulico el cual está apoyada en la base o sub base según indique los estudios de suelos respectivos.

**Según el Manual de Carreteras (2014)** afirma que “los pavimentos de concreto reciben el apelativo de **rígidos** debido a la naturaleza de la losa que lo constituye” (p.225).

Puesto que su naturaleza rígida los pavimentos poseen un alto módulo de elasticidad lo que permite que casi toda la totalidad de los esfuerzos transmitido por las constantes repeticiones de cargas se reduzcan y se distribuyan en toda el área del pavimento generando así deflexiones mínimas y llegando así a la base o subbase esfuerzos mínimos.



Según el Manual de Carreteras (2014) clasifica en tres tipos de pavimentos rígidos (p.225).

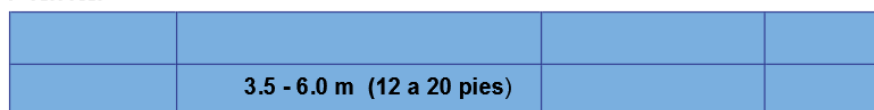
- Pavimentos de concreto simple con juntas.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas.
- Pavimentos de concreto continuamente reforzados.

### PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE CON JUNTAS

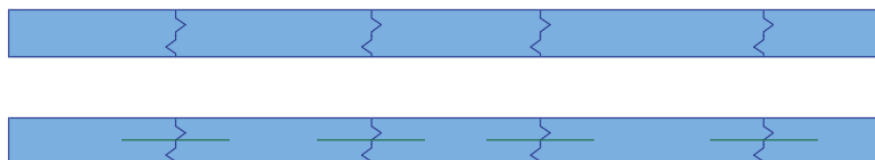
Conocido por las siglas JPCP (Jointed Plain Concrete Pavement) constituido principalmente por losas de 3.5 y 6.0 m las cuales transmiten las cargas de tráfico de paño a paño a través de pasadores conocidos como dowels además se colocan juntas que facilitan el mejor comportamiento del pavimento; ya que a través de ellas se origina el agrietamiento propio del comportamiento del concreto debido a los constantes cambios de temperatura que este experimenta durante su periodo de vida.

Según el libro Tópicos de Pavimentos de Concreto (2012) recomienda “no superar los 4.5 m de espaciamiento entre paños” (p.35)

#### Planta



#### Perfil

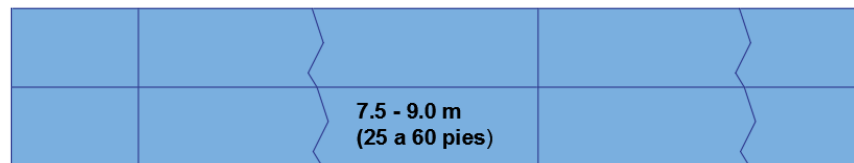


*Ilustración 2. Juntas en pavimentos de Concreto Simple. Fuente: Tópicos de Pavimentos de concreto*

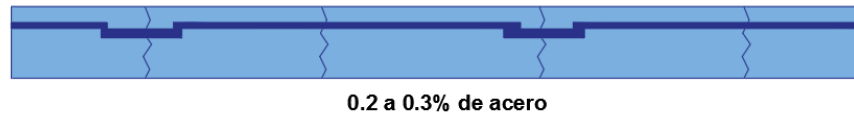
## PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO CON JUNTAS

Conocido por las siglas JRCP (Jointed Reinforced Concrete Pavement) estos pavimentos se caracterizan por llevar en su estructura específicamente en la carpeta un refuerzo de malla de acero lo que origina que la distancia entre juntas de contracción de 7.5 a 9.0 m debido a que el acero de refuerzo ayuda a un mejor comportamiento del concreto este tipo de refuerzo se emplea para lograr tener fisuras controlada dentro de cada paño de pavimento e igual que los pavimentos de concreto simples estos transmiten la carga mediante dowels entre paño y paño.

Planta



Perfil



*Ilustración 3. Pavimentos con refuerzo continuo. Fuente: Tópicos de Pavimento de Concreto*

## PAVIMENTOS DE CONCRETO CONTINUAMENTE REFORZADO

Conocido por las siglas CRCP (Continuously Reinforced Concrete Pavement) tiene como característica principal el alto contenido de cuantía en su acero de refuerzo lo cual origina un muy buen control y manejo de fisuras este tipo de pavimento es usado mayormente en lugares donde este a altas cargas repetidas de tráfico.



## PAVIMENTO SEMI - RÍGIDO

Este tipo de pavimentos tienen por característica principal es que posee una superficie de rodamiento compuesta por adoquines los cuales se caracterizan por poseer una alta resistencia y una mejor distribución de cargas gracias al trabazón entre bloques. El **Manual de Carreteras (2014)** recomienda “utilizar en los tramos donde la carretera atraviese centros poblados y para tráficos menores o iguales a 15'000,000 de EE) (p.184)

**Según el Manual de Carreteras (2014)** afirma. “Comprende los pavimentos cuya estructura está compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, con cemento y con cal, esta solución se recomienda aplicar sobre sub rasante de categoría buena o con  $CBR \geq 20\%$  y para tráficos mayores a 1'000,000 de EE” (p.184)

Este tipo de pavimentos tienen por característica principal es que posee una superficie de rodamiento compuesta por adoquines los cuales se caracterizan por poseer una alta resistencia y una mejor distribución de cargas gracias al trabazón entre bloques. El **Manual de Carreteras (2014)** recomienda “utilizar en los tramos donde la carretera atraviese centros poblados y para tráficos menores o iguales a 15'000,000 de EE) (p.184)

**Según el Manual de Carreteras (2014)** afirma. “Comprende los pavimentos cuya estructura está compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, con cemento y con cal, esta solución se recomienda aplicar sobre sub rasante de categoría buena o con  $CBR \geq 20\%$  y para tráficos mayores a 1'000,000 de EE” (p.184)



### **2.1.3. METODO AASHTO 93**

El método que considerará en el diseño del pavimento rígido en la presente investigación será el Método AASHTO 93 para el diseño de pavimentos rígidos.

#### **2.1.3.1. Definición**

Inicialmente se conoció como el método AASHO, y que tuvo sus inicios en Norteamérica en los años 60 aplicándose en un ensayo a escala real durante un periodo de 2 años en el estado de Illinois. A partir de las cuales se obtuvieron gráficos, cuadros y formulas representativas respecto a las relaciones de deterioro y sollicitación de los tramos ensayados

Luego con el pasar de los años, desde la versión inicial de 1986, se mejoró y adicionó algunos puntos importantes, dando como resultado mejorado a la versión de 1993.

#### **2.1.3.2. Factores de Diseño**

Para el diseño de un pavimento rígido, este contiene en el estudio, diversos factores, entre ellos, el tráfico, clima, características de los suelos, nivel de serviciabilidad de diseño, grado de confiabilidad de diseño, etc.

Dichos factores se involucran y ayudan a determinar el patrón de comportamiento del pavimento y prevén que no afecte la vida de servicio del pavimento en cuestión.

A continuación se muestra la ecuación fundamental según AASHTO, para el diseño de pavimentos Rígidos:



$$\log W_{18}$$

$$= Z_R S_O$$

$$+ 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{\frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32P_t) \log \left[ \frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63J \left[ D^{0.75} - \frac{18.42}{\left[\frac{E_c}{k}\right]^{0.25}} \right]} \right]$$

Donde:

- $W_{18}$ = Número de Cargas de 18 kips (80 kN)
- $Z_R$ =El valor Z de acuerdo a la curva estandarizada para una confiabilidad R
- $S_O$ =Desvió estándar de todas las variables
- $D$ =Espesor de la losa del pavimento en pulg.
- $\Delta PSI$ =Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño
- $P_t$ =Serviciabilidad Final
- $S_c$ =Módulo de rotura del concreto en PSI
- $J$ =Coeficiente de transferencia de carga
- $C_d$ =Coeficiente de drenaje
- $E_c$ =Módulo de elasticidad del concreto, en PSI
- $k$ =Módulo de reacción de sub rasante (Coef. Balasto)

### a) Determinación de ESAL

El tránsito obtenido mediante el conteo de vehículos se divide para el carril de diseño. El volumen de tránsito del carril de diseño se transforma en un número ESAL, cuyo significado en el inglés es Equivalent single axle load, que no es más que un parámetro que se emplea en el diseño de una estructura de pavimento. El ESAL es un eje estándar compuesto por un eje sencillo con dos ruedas en los extremos.



El ESAL pesa 18 000 lb o 8.2 Tn o 80 kN, y se considera que ejerce un efecto dañino sobre el pavimento como 1.

### **b) Periodo de Diseño**

El término periodo de diseño se considera algunas veces como sinónimo del término periodo de análisis de tráfico. Debido a que el tráfico no puede ser predicho de manera precisa en un largo periodo, usualmente se trabaja con un periodo de diseño de 20 años en pavimentos. No obstante, este puede variar a periodos más cortos o más largos que pueden ser económicamente justificados, por ejemplo una carretera temporalmente y que sea usada por pocos años, o en caso contrario una vía cuya construcción requiera de un alto nivel de servicio por un periodo largo.

El periodo de diseño está conectado directamente con el espesor de diseño, pues determina por el tiempo y la cantidad de camiones a lo que debe servir el pavimento. Dicha selección de este periodo se basa en criterios de ingeniería y análisis de costos y de los servicios obtenidos en un periodo.

Para la elección de un periodo de diseño en función del tipo de carretera, se tiene en cuenta el siguiente cuadro:

| TIPO DE CARRETERA                                | PERIODO DE DISEÑO |
|--|-------------------|
| <b>Urbana de alto volumen de tráfico</b>         | 30-50 años        |
| <b>Rural de alto volumen de tráfico</b>          | 20-50 años        |
| <b>Pavimentada de bajo volumen de tráfico</b>    | 15-25 años        |
| <b>No pavimentada de bajo volumen de tráfico</b> | 10-20 años        |

*Cuadro 1.-Periodos de Diseño Según tipo de Carretera. Fuente: Guide for design of Pavement Structures 1993, AASHTO.*





### c) Desviación normal Estándar $Z_r$

Se define como el tránsito que puede soportar un pavimento en un periodo de diseño teniendo en consideración distintas variables (Condiciones y características de materiales y drenaje de diseño)

| CONFIABILIDAD<br>R% | Desviación<br>normal<br>estándar |
|---------------------|----------------------------------|
| 50                  | 0                                |
| 60                  | -0.253                           |
| 70                  | -0.254                           |
| 75                  | -0.764                           |
| 80                  | -0.841                           |
| 85                  | -1.037                           |
| 90                  | -1.282                           |
| 92                  | -1.405                           |
| 94                  | -1.555                           |
| 95                  | -1.645                           |
| 96                  | -1.751                           |
| 97                  | -1.881                           |
| 98                  | -2.054                           |
| 99                  | -2.327                           |
| 99.9                | -3.09                            |
| 99.99               | -3.75                            |

**Cuadro 2.** Valores  $Z_r$  en función a la confiabilidad. Fuente: AASHTO, Guide for design of pavement Structures.

Asimismo, de acuerdo al tipo de pavimento con el que se vaya a trabajar se tiene en cuenta el siguiente cuadro de valores:



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| TIPO DE PAVIMENTO          | CONFIABILIDAD |
|----------------------------|---------------|
| <b>Autopistas</b>          | 90%           |
| <b>Carreteras</b>          | 75%           |
| <b>Carreteras Rurales</b>  | 65%           |
| <b>Zonas Industriales</b>  | 60%           |
| <b>Urbanas Principales</b> | 55%           |
| <b>Urbanas Secundarias</b> | 50%           |

**Cuadro 3.** Niveles de Confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures.

**d) Error estándar combinado So:**

Los siguientes valores se encuentran considerados según AASHTO:

| CONDICIÓN DE DISEÑO  | DESVIACIÓN ESTANDAR |               |
|--|---------------------|---------------|
|  | Pav. Rígido         | Pav. Flexible |
| <b>Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores en el tránsito.</b> | 0.34                | 0.44          |
| <b>Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores en el tránsito.</b> | 0.39                | 0.49          |

**Cuadro 4.** Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures.

**e) Variación PSI, En índice de servicio:**

Este parámetro se encuentra en función de la serviciabilidad final e inicial.

Para el valor de serviciabilidad final se tiene que tener en consideración el valor más bajo que puede tolerar el pavimento antes de su reconstrucción o rehabilitación.

De ese modo se tienen los valores del siguiente cuadro:



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| PAVIMENTO RÍGIDO                        | INDICE DE SERVICIO |       |
|---|--------------------|-------|
|   | Inicial            | Final |
| Autopistas                              |                    |       |
| Colectores                              |                    |       |
| Calles comerciales e industriales       |                    |       |
| Calles residenciales y estacionamientos |                    |       |

**Cuadro 5.** Niveles de confiabilidad en función del tipo de carretera. Fuente: AASHTO, *Guide for design of Pavement Structures*.

**f) Coeficiente de drenaje**

De acuerdo a la incidencia de las precipitaciones y la calidad de drenaje del pavimento se escoge el valor de este parámetro. El cual puedo adoptar alguno de los siguientes valores mostrados en el cuadro:

| Calidad de drenaje | Tiempo de evacuación de agua | % de tiempo de exposición a la humedad cercano a la saturación |           |           |      |
|--------------------|------------------------------|--|-----------|-----------|------|
|                    |                              | <1%  | 1-5%      | 5-25%     | >25% |
| <b>Excelente</b>   | 2 Horas                      | 1.25-1.20  | 1.20-1.15 | 1.15-1.10 | 1.10 |
| <b>Bueno</b>       | 1 día                        | 1.20-1.15  | 1.15-1.10 | 1.10-1.00 | 1.00 |
| <b>Mediano</b>     | 1 Semana                     | 1.15-1.10  | 1.10-1.00 | 1.00-0.90 | 0.90 |
| <b>Malo</b>        | 1 Mes                        | 1.10-1.00  | 1.00-0.90 | 0.90-0.80 | 0.80 |
| <b>Muy malo</b>    | No drena                     | 1.00-0.90  | 0.90-0.80 | 0.80-0.70 | 0.70 |

**Cuadro 6.** Valores de coeficientes de drenaje. Fuente: AASHTO, *Guide for design of pavement Structures 1993*.



### g) Coeficiente de transferencia de cargas J:

Este parámetro hace referencia a la capacidad de transmisión de cargas a través de discontinuidades en pavimento. Este a su vez se ve afectada por diversos factores, los cuales se tiene en consideración en el siguiente cuadro:

| Berma<br>Tipo de transmisión<br>de cargas | De asfalto |         | De concreto |         |
|---|------------|---------|-------------|---------|
|   | SI         | NO      | SI          | NO      |
| <b>Pav. C/S Juntas<br/>Reforzadas</b>     | 3.2        | 3.8-4.4 | 2.5-3.1     | 3.6-4.2 |
| <b>Pav. Reforzado<br/>Continuo</b>        | 2.9-3.2    | -       | 2.3-2.9     | -       |

*Cuadro 7. Valores de coeficientes de transmisión de cargas. Fuente: AASHTO, Guide for Design of Pavement Structures 1993.*

### h) Modulo de elasticidad del concreto

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad para distribuir las cargas aplicadas en una losa de pavimento. Este es concebido por la relación entre tensión y deformación. Para su determinación se puede seguir el procedimiento establecido en la norma ASTM C469. Asimismo, en el RNE, se describe mediante la siguiente expresión:

$$E = 15000 * \sqrt{f'c}$$

### i) Módulo de reacción K de la superficie en que se apoya el pavimento:

En base a los valores del CBR obtenido para sub rasante y sub base, de ser el caso, es posible determinar el valor del parámetro K (Mpa/m), de acuerdo a las siguientes expresiones dadas:

- Para CBR < 10%  $K=2.55+52.5*\log\text{CBR}$
- Para CBR ≥ 10%  $K=46+9.08*(\log\text{CBR})^{4.34}$



De darse la situación de que la sub rasante no presente la capacidad de soporte adecuada es recomendable el uso de una capa sub base, que trae consigo el incremento del valor K. En la siguiente expresión se tiene en consideración dicho incremento.

$$k_c = k * \left[ \sqrt{1 + \left(\frac{h_b}{38}\right)^2 * \left(\frac{k_b}{k}\right)^{2/3}} \right]$$

Donde:

Kc: Módulo de reacción combinado

Hb: Espesor de capa sub base

Kb: Módulo de reacción de sub base

K: Módulo de reacción de sub rasante

#### **j) Resistencia del concreto a flexión**

Este parámetro es considerado en el diseño y es expresado mediante el módulo de rotura S'c.

De acuerdo al ACI, los valores de este parámetro se encuentran a través de la siguiente expresión.

$$f_r = S'_c = 2\sqrt{f'_c}$$

## **2.2. FIBRAS**

Se definen como fibras a los diferentes tipos de filamentos, ya sea de origen natural, artificial o sintético que son empleados en las diferentes industrias. En la industria de la construcción estas fibras son pequeñas piezas de materiales de refuerzo que tiene ciertas características y propiedades particulares que mejoran las propiedades del concreto.

El uso de estas fibras, mejora considerablemente la resistencia a la flexión y tracción del concreto. Así también, mejoraran la integridad estructural del producto terminado. Debido a que usualmente en el proceso de



fraguado se presenta fisuración y agrietamiento, en consecuencia de la contracción plástica y por secado el uso de las fibras ayuda a controlar este tipo de fisuración.

Concreto Reforzado con Fibras (FRC) es la denominación que obtiene el concreto cuya composición comprende fibras distribuidas en su estructura. Esto adicionalmente a su composición tradicional de cemento, agregados (Finos y Gruesos) y fibras.

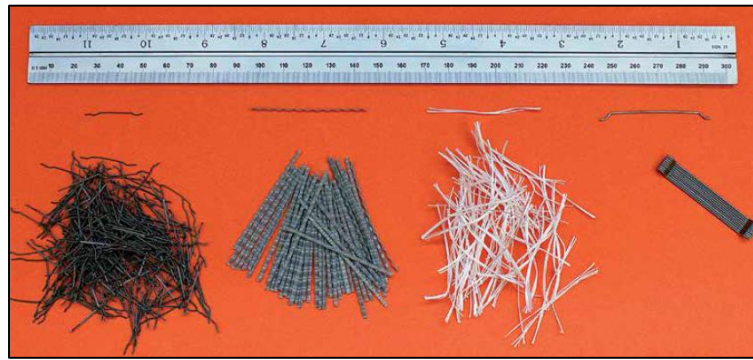
El empleo de estas fibras busca mejorar las propiedades del producto terminado del concreto. Dándole un valor agregado a este. En algunos casos, dependiendo del tipo de fibras y sus propiedades, el concreto obtenido adopta características peculiares. Por ejemplo algunas fibras pueden incrementar la resistencia al fuego, abrasión, control de fisuras, y otras propiedades no estructurales. En otros casos, las fibras pueden reducir los costos de reforzamiento de elementos, debido a que el tipo de fibra brinda propiedades estructurales al concreto como son las fibras de acero.

Las fibras pueden tener diferentes tipos de clasificación. Esta puede variar por la función que van a realizar o por el material del que se encuentran fabricados.

De ese modo tenemos lo siguiente:

**Por función:**

**-Fibras Estructurales** – Macro fibras.-Estas actúan previniendo la fisuración en estado endurecido y de ser el caso reducir el ancho de la fisura de presentarse. Permiten el funcionamiento de la estructura fisurada. Usualmente tienen un porcentaje de participación en volumen de concreto 0.2% a 0.8%. El tipo de macro fibras más empleadas son las metálicas y sintéticas de diámetros 0.05mm a 2.00 mm.



*Ilustración 4. Macro Fibras. Fuente: Manual Zika – Concreto Reforzado con fibras*

**-Fibras no estructurales – Microfibras.-** Este tipo de fibras básicamente se emplean o son aplicadas en el concreto fresco con fines de mitigar la fisuración del concreto. Su porcentaje de participación respecto un volumen determinado oscila entre 0.03% a 0.15% de este. Se puede decir que esta dosificación si bien es cierto es baja, no obstante es muy eficiente para aminorar los efectos de la fisuración por retracción plástica. Usualmente el diámetro de este tipo de fibra varía entre 0.023 mm a 0.050mm los cuales pueden ser monofilamentos o fibriladas.

#### **Por material de origen:**

**-Fibras Metálicas.-**Entre ellas comprenden fibras de aluminio, ligados, acero de carbono, etc.

**-Fibras Naturales.-**Entre estas tenemos el asbesto, celulosa, carbón, algodón, lana, lino, yute, seda, ramina.

**-Fibras sintéticas.-**Entre ellas tenemos Nylon, polipropileno, poliacríto nitrilo, polivinil alcohol, fibra de polímero, poliéster, acrílico, fibras de caucho.

De la Cruz W, Quispe W, (2014) en su trabajo de investigación de tesis “Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para los pavimentos en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga - Ayacucho”, nos muestra la siguiente clasificación de las características de las fibras empleadas en mortero y concretos. En donde se aprecia las



diversas propiedades de cada fibra especialmente la resistencia a la tracción y módulo de elasticidad.

| Tipo de Fibra               | Densidad Relativa | Díametro (Micrones) | Longitud (mm) | Módulo de elasticidad(GPa) | Resistencia la tracción (MPa) | Deformación a la rotura (%) | Compatibilidad con pasta de cemento |
|-----------------------------|-------------------|---------------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Acero                       | 7.86              | 100-600             | 10-60         | 200                        | 700-2000                      | 3-5                         | Buena                               |
| Amianto                     | 2.55              | 0.02-30             | 5-40          | 164                        | 200-1800                      | 2-3                         | Satisfactoria                       |
| Vidrio                      | 2.7               | 12.5                | 10-50         | 70                         | 600-2500                      | 3.6                         | Pobre                               |
| Poliéster                   | 1.34-1.39         | 20-25               | 20-30         | <17                        | 800-1300                      | 8-15                        | Variable                            |
| Polipropileno (Fibrilada)   | 0.91              | 500-400             | 20-75         | <8                         | 400                           | 8                           | Buena                               |
| Polipropileno (Micro-Fibra) | 0.91              | 18-32               | 6-24          | 4                          | 450                           | 80                          | Buena                               |
| Nylon                       | 1.15              | 21                  | 10-20         | 8                          | 800                           | 25                          | Buena                               |
| Celulosa                    | 1.50              | 20-120              | 0.5-5         | 10-50                      | 300-1000                      | 20                          | Satisfactoria                       |

*Cuadro 8.-Propiedades de las fibras. Fuente: Revista Ingeniería de Construcción Vol. 20 N°01 (P.160) Ruiz A, Lopez J y Martinez J. 2005*

### 2.2.1. FIBRAS DE POLIPROPILENO

El polipropileno (PP) es un material polímero termoplástico. Denominado así, debido a su facilidad para moldeado mediante calefacción. De características similares al polietileno (PE), el polipropileno tiene un punto de ablandamiento mucho más alto.

Actualmente, este polímero tiene gran aplicación en diversas industrias. Desde su uso en la industria textil, plástica, embalaje, papelería entre otros. Actualmente, existen algunos precedentes e interés en la incorporación de este material en la industria de la construcción. No obstante la investigación y aplicación de proyectos que involucren a este polímero son mínimos.

La fibra de polipropileno está hecha en base a la extrusión por medio de estiramiento en caliente del material a través de un troquel.

Las fibras de polipropileno forman parte de las fibras sintéticas para refuerzo del concreto y se identifican con SNFRC (Synthetic Fiber reinforced concrete). SNFRC utiliza fibras obtenidas de polímeros orgánicos que están disponibles en una variedad de formulaciones. Los tipos de fibras que se han probado en matrices de concreto de cemento





**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

portland son: acrílico, aramida, carbono, nylon, poliéster, polietileno y polipropileno. (Valero, J. 2015. Pag.58)

El Reporte sobre Fibras de Concreto Reforzado - ACI 544.1R-96, nos da un cuadro de datos respecto a análisis de las propiedades de algunos tipos de fibras sintéticas.

| Fiber Type      | Equivalent Diameter in x 10 <sup>-3</sup> | Specific Gravity | Tensile Strength Ksi | Elastic Modulus Ksi | Ultimate Elongation percent | Ignition temperature degrees F | Melt, Oxidation or decomposition temperature, degrees F | Water Absorption per ASTM D570, percent by weight |
|-----------------|---|------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|---|
| Acrylic         | 0.5-4.1                                   | 1.16-1.18        | 39-145               | 2000-2800           | 7.5-50.0                    | ---                            | 430-455   | 1.0-2.5   |
| Aramid I        | 0.47                                      | 1.44             | 425                  | 9000                | 4.4                         | High                           | 900   | 4.3   |
| Aramid II       | 0.40                                      | 1.44             | 340                  | 17000               | 2.5                         | High                           | 900   | 1.2   |
| Carbon, PAN HM  | 0.30                                      | 1.6-1.7          | 360-440              | 55100               | 0.5-0.7                     | High                           | 752   | nil   |
| Carbon PAN HT   | 0.35                                      | 1.6-1.7          | 500-580              | 33400               | 1.0-1.5                     | High                           | 752   | nil   |
| Carbon Pitch GP | 0.39-0.51                                 | 1.6-1.7          | 70-115               | 4000-5000           | 2.0-2.4                     | High                           | 752   | 3.7   |
| Carbon Pitch HP | 0.35-0.70                                 | 1.8-2.15         | 220-450              | 2200-70000          | 0.5-1.1                     | High                           | 932   | nil   |
| Nylon           | 0.90                                      | 1.14             | 140                  | 750                 | 20                          | ---                            | 392-430   | 2.8-5.0   |
| Polyester       | 0.78                                      | 1.34-1.39        | 33-160               | 2500                | 12-150                      | 1100                           | 495   | 0.4   |
| Polyethylene    | 1.0-40.0                                  | 0.92-0.96        | 11-85                | 725                 | 380                         | ---                            | 273   | nil   |
| Polypropylene   | ---                                       | 0.90-0.91        | 20-100               | 500-700             | 15                          | 1100                           | 330   | nil   |

**Cuadro 9.-Propiedades de fibras Sintéticas. Fuente: ACI 544.1R-96**

De acuerdo a este grafico mostrado nos demuestra que el Polipropileno es un material hidrofóbico debido a baja absorción de agua. Si bien las fibras de polipropileno no se esperaban que se unieran químicamente en



la matriz de concreto, esta unión se ha mostrado ocurrir por medio de interacción mecánica.

Las fibras de Polipropileno pueden ser tanto micro sintéticas como macro sintéticas.

Las fibras micro sintéticas son definidas como las fibras cuyos diámetros o diámetros equivalentes son menores que 0.012 pulgadas (0.3 mm), mientras que las fibras macro sintéticas tienen diámetros o diámetros equivalentes mayores. Tienen una gravedad específica de 0.91, más liviana que el Nylon, cuya gravedad específica es de 1.14.

Las fibras micro sintéticas son típicamente usadas en el rango de 0.05 al 0.2% por volumen, mientras que las fibras de acero y las fibras macro sintéticas son usadas en el rango del 0.2 al 1.0% por volumen, y en algunos casos para ciertas aplicaciones con valores más altos. (Comité ACI 544.1R-96, 2002).

Por otra parte, se puede clasificar en fibras en formas de monofilamentos y fibriladas.

- a) Fibriladas.- Se denominan así a las fibras en forma de monofilamentos que se producen a través de un proceso de extrusión, donde el material es encaminado en calor por un disco de sección circular, dando a lugar a un número de filamentos continuos.
- b) Monofilamentos.- Estas fibras son producto de un proceso similar al de las fibriladas, no obstante, el disco por donde pasa el material tiene forma rectangular. De este modo el resultado es unas hojas de película de polipropileno que se tejen longitudinalmente dentro de las cintas de igual ancho.

Al igual que otros productos, el uso de este tipo de fibras tiene en su haber un conglomerado de ventajas y desventajas que proporcionan. Entre ellas se tiene:

Ventajas:



- Costo: Económicamente este tipo de fibra es de las más cómodas.
- Estética: Debido a que la densidad de este material es baja, durante el proceso de vibrado del concreto queda embebida en el concreto y por lo tanto deja una mejor perspectiva del elemento fundido.
- Químicamente no afectan a los demás compuestos del concreto. Químicamente Inerte.
- Incremento de resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- Mantiene un Slump trabajable a diferencia de otras fibras que reducen la fluidez.
- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz de concreto
- Minimiza la tendencia al agrietamiento del concreto

Desventajas:

- No puede usarse como sustituto al refuerzo principal
- Módulo de elasticidad bajo.
- Reduce la consistencia del concreto.
- Supone un costo adicional al concreto tradicional.

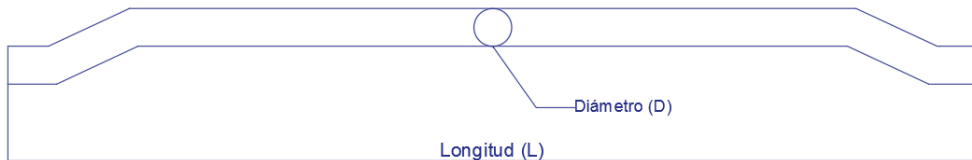
### 2.2.2. FIBRAS METÁLICAS

La aplicación de las fibras metálicas en la industria de la construcción da como resultado a un nuevo tipo de concreto denominado Concreto Reforzado con Fibras de acero (SFRC). El cual, básicamente consiste en el diseño tradicional del concreto adicionando las fibras de acero discontinuo para mejorar ciertas características del concreto a obtener.

Básicamente las fibras metálicas –acero son productos empleados como refuerzo en el concreto. Debido a su facilidad para ser moldeada y

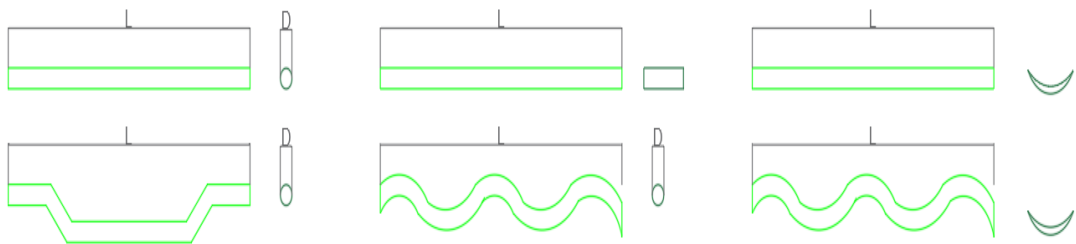
trabajada es empleada en los trabajos sin alterar las características geométricas del elemento en cuestión.

Usualmente, este tipo de fibra se caracteriza geométricamente por una Longitud  $L$ , su forma y por su diámetro equivalente  $D_e$ . De esta relación entre ambos parámetros se tiene la relación de aspecto  $\lambda=L/D_e$ .

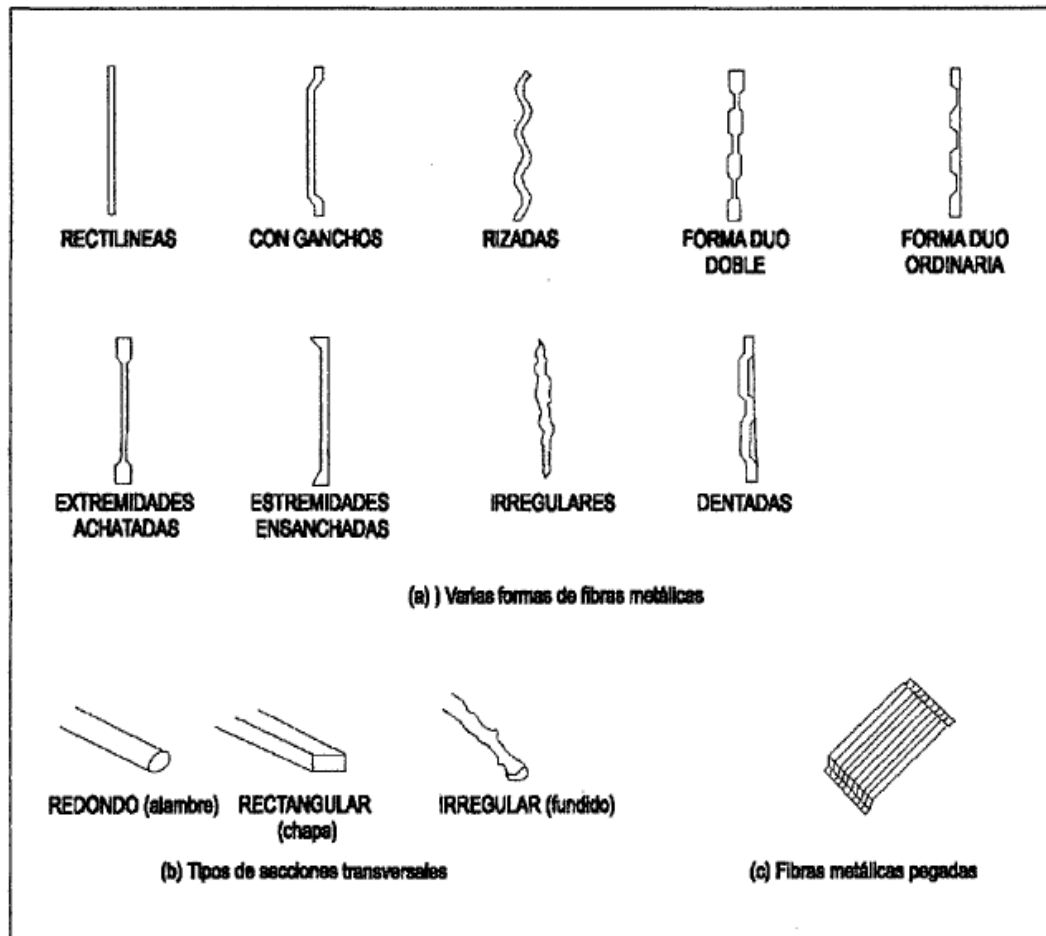


**Ilustración 5.**-Imagen de Fibra de acero.

La geometría en este tipo de fibras puede ser variante. Desde rectilínea axialmente, perfilada transversalmente y con sección circular, rectangular o variada.



**Ilustración 6.** Variante de firmas según perfil



*Ilustración 7.-Variación de presentación de fibras metálicas.*

Como se conoce las fibras de acero tienen una adherencia muy efectiva a la mezcla de concreto. Debido a las propiedades de este en cuanto a alto alargamiento de rotura, módulo de elasticidad superior y facilidad para realizarse en el mezclado.

Asimismo, el uso de estas fibras brinda mayor resistencia a la compresión, flexión, mayor tenacidad. Asimismo, de acuerdo a su dosificación y en algunos casos podría suplir el uso de la malla tradicional. De este modo generando menores costos de mano de obra, materiales y tiempo.

De igual manera que las fibras de polipropileno este tipo de fibras presenta un gran número de ventajas y desventajas, entre ellas tenemos:

Ventajas:



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

---

- Puede reemplazar las mallas tradicionales en la construcción de losas y diferentes tipos de pavimentos.
- Se puede lograr una reducción en el espesor de las losas a trabajar
- Las cantidades de juntas a emplear serían menores.
- Su aplicación es muy sencilla, de manera que no es necesario mano de obra especializada.
- Mayor tiempo de servicio y menor costo de instalación.
- Reducción de micro fisuras
- Mayor resistencia a flexión en pavimentos.

**Desventajas:**

- La trabajabilidad del concreto es mucho menor.
- El uso como fibras no es muy aplicado en el sector de la construcción en nuestro entorno.
- El mercado de fibras es escaso.



## **2.3. CONCRETO Y SUS COMPONENTES**

### **2.3.1. DEFINICION**

El concreto básicamente, es un elemento que se puede definir como “Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos. (RNE, E-060 P.26)

Las cantidades de los agregados pueden variar de acuerdo al diseño del concreto a obtenerse. Sin embargo, de manera estándar los materiales a emplearse oscilan entre:

- Cemento 7-15%
- Agua 15-22%
- Aire 1-3%
- Agregados (Arena-Piedra 60-75%)

Adicionalmente se puede agregar aditivos, adiciones minerales o fibras, a manera de mejorar las propiedades del concreto. De acuerdo al tipo de propiedad que se requiera.

### **2.3.2. TIPOS DE CONCRETO**

De acuerdo a su empleo en distintos tipos de proyectos y según su resistencia mínima a los esfuerzos de compresión, según la norma MTC E 704 se clasifican de la siguiente manera:



| Clase                              | Resistencia mínima a la compresión a 28 días  |
|------------------------------------|---|
| <b>Concreto pre y post Tensado</b> |   |
| <b>A</b>                           | 35 MPa (350 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>B</b>                           | 32 MPa (320 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>Concreto Reforzado</b>          |   |
| <b>C</b>                           | 28 MPa (280 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>D</b>                           | 21 MPa (210 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>E</b>                           | 17.5 MPa (175 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>Concreto simple</b>             |   |
| <b>F</b>                           | 14 MPa (140 kg/cm <sup>3</sup> )  |
| <b>Concreto ciclópeo</b>           |   |
| <b>G</b>                           | Se compone de concreto simple clase F y agregado ciclópeo, en proporción de 30% de Vol. Total como máximo<br>14 MPa (140 kg/cm <sup>3</sup> ) |

*Cuadro 10. Tipos de concreto según su uso. Fuente: MTC E704.*

### 2.3.3. CEMENTO

El cemento se define como “Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos” (RNE, E-060 P.26).

Se ha de considerar que el cemento debe cumplir la siguiente normatividad:

a) Los cementos Portland normal tipo I, II y V respectivamente con las normas ITINTEC 334.038, ó 334.040; o con las normas ASTM C150.

b) Los cementos Portland puzolánicos Tipo 1P y 1PM deberán cumplir con los requisitos de la norma ITINTEC 334.044, o con la norma ASTM C595.





El cemento portland pasa por un proceso físico y químico para su obtención en la presentación tal como se conoce.

Para iniciar, la materia prima (Materiales Arcillosos, Materiales Calcáreos, Calizos, y otros asociados con sílice, óxido de hierro, alúmina) se muele hasta obtener un producto en polvo fino.

Este polvo pasa a ser calentado a través de un horno rotatorio. Esto se calienta hasta llegar al punto de la Clinckerización (Formación de Mezcla mineralógica alcanzada a temperaturas de 1350-1450 °C). En donde ya se ha expulsado el agua y el anhídrido de carbono debido a la elevación de temperatura. Asimismo con la temperatura empiezan a producirse reacciones químicas y se forman nuevos compuestos que alcanzan su punto de fusión.

Posteriormente el Clinker es depositado en algún recipiente o zona de enfriamiento. Finalmente se adiciona un porcentaje de Yeso, para finalmente ser molido en conjunto hasta convertirlo en el polvo muy fino que actualmente se conoce en sus presentaciones como cemento portland.

Cabe mencionar que los componentes principales del cemento portland son:

|                               |                        |      |
|-------------------------------|------------------------|------|
| -Silicato Tricalcico          | $3CaO.SiO_2$           | C3s  |
| -Silicato Dicalcico           | $2CaO.SiO_2$           | C2S  |
| -Aluminato Tricalcico         | $3CaO.Al_2O_3$         | C3A  |
| -Alumino Ferrito tetracálcico | $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ | C4AF |

El cemento se clasifica en diversos tipos de acuerdo a sus propiedades y usos para los concretos requeridos en los proyectos, de ese modo se tiene la siguiente clasificación:

Tipo I.-Este tipo de cemento es usado en obras donde no se solicite ni requiere algún tipo de protección especial, o no este expuesto a algún tipo de sulfato perjudicial. Es el cemento más común. Tiene un calor de hidratación elevado debido al silicato Tricálcico (C3S) y el



silicato di cálcico (C2S) es el encargado de la resistencia a edades tardías.

Tipo II.-Este cemento es empleado en obras donde la presencia de sulfatos sea moderada, y usualmente en grandes vaciados como muros de contención, grandes columnas entre otras estructuras. Este cemento tiene un calor de hidratación mas moderado, debido a la menor participación de Silicato Tricalcico (C3S) y aluminato Tricalcico (C3A). Se recomienda emplearse en grandes vaciado de concreto debido a que en comparación al Tipo I, el calor de hidratación es mas bajo en consecuencia esta menos propenso a presentar fisuración y agrietamiento.

Tipo III.-Este tipo de cemento se emplea cuando se requiere acelerar los trabajos de entrega de los elementos a fundir. Este contiene un elevado porcentaje de Silicato Tricalcico (C3S) por lo tanto tiene un alto calor de hidratación. Así como un mínimo contenido en Silicato Dicalcico (C2S). Normalmente se emplea en climas fríos.

Tipo IV.-Este tipo de cemento tiene bajo calor de hidratación debido a la baja presencia de Silicato Tricalcico (C3S). Normalmente se usa en proyectos de vaciado masivo como represas para mitigar la presencia de fisuración.

Tipo V.-Este cemento tiene gran resistencia los sulfatos y es ideal para uso en ambientes industriales agresivos. Estas propiedades se obtienen gracias al bajo contenido en Aluminato tricalcico (C3A). Suelen ganar buena resistencia a edades tempranas pero también desarrolla buena resistencia a edades tardías por acción de altos contenidos en Silicato Dicálcico.

En Perú solo se fabrican cemento de tipo I,II y V.7

CEMENTO TIPO MS.- Este tipo de cemento se utiliza en estructuras cuyas concentraciones en sulfatos sean mayor a lo normal pero no lleguen a ser ambientes de exposición severa. De manera similar al cemento de tipo II, se prepara con baja relación agua-materiales cementantes de esta manera se garantiza la resistencia a los



sulfatos. Este tipo de cemento se encuentra normado por la ASTM C1157 y en Perú por la NTP 334.082.

#### **2.3.4. AGREGADOS**

Como se conoce el concreto está compuesto entre un 65 a 70% de agregados. Los cuales aportan propiedades específicas de acuerdo a la cantidad empleada.

##### **a. Agregados Finos**

Se considera como agregados finos a la fracción que logra pasar la malla N°04 (4.75mm). Conformados en su mayoría de arenas naturales o a consecuencia de la trituración de rocas o gravas. Dicho porcentaje de arena de trituración no puede ser más del 30% del total del agregado fino. Asimismo el agregado fino debe cumplir los requisitos especificados según AASHTO TP-57.



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| Ensayo  |                                      | Norma MTC | Norma NTP                  | Requisito              |
|---|--------------------------------------|-----------|----------------------------|------------------------|
| Durabilidad   |                                      |           |                            |                        |
| <b>Pérdidas en ensayo de solidez de sulfatos, % max≥3000 msnm</b> | Sulfato de sodio                     | MTC E 207 | NTP 400.016                | 10                     |
|   | Sulfato de magnesio                  | MTC E 209 | NTP 400.016                | 15                     |
| Limpieza  |                                      |           |                            |                        |
| <b>Índice de plasticidad, % Máximo</b>                            |                                      | MTC E111  | NTP 339.129                | No plástico            |
| <b>Equivalente de área, % mínimo</b>                              | f'c≤21 MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> ) | MTC E114  | NTP 339.146                | 65                     |
|   | f'c>21 MPa (210 kg/cm <sup>2</sup> ) | MTC E114  | NTP 339.146                | 75                     |
| <b>Valor de azul de metileno, máximo</b>                          |                                      |           | TP-57                      | 5                      |
| <b>Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo</b>      |                                      | MTC E212  | NTP 400.015                | 3                      |
| <b>Carbón y lignito, % máximo</b>                                 |                                      | MTC E211  | NTP 400.023                | 0.5                    |
| <b>Material que pasa el tamiz de 75 um (N°200),% máximo</b>       |                                      | MTC E202  | NTP 400.018                | 3                      |
| Contenido de materia orgánica                                     |                                      |           |                            |                        |
| <b>Color más oscuro permisible</b>                                |                                      | MTC E213  | NTP 400.024<br>NTP 400.013 | Igual a muestra patron |
| Características químicas  |                                      |           |                            |                        |
| <b>Contenidos de sulfatos, expresado como SO, %máximo.</b>        |                                      | .-.       | NTP 400.042                | 1.2                    |
| <b>Contenidos de sulfatos, expresado como Cl, %máximo.</b>        |                                      | .-.       | NTP 400.042                | 0.1                    |
| Absorción   |                                      |           |                            |                        |
| <b>Absorción de agua, %Máximo</b>                                 |                                      | MTC E 205 | NTP 400.022                | 4                      |

*Cuadro 11.-Características de los agregados. Fuente: AASHTO TP 57*



Asimismo, el agregado fino tiene que cumplir las siguientes características:

1. Granulometría. - La curva granulométrica obtenida del agregado fino debe encontrarse dentro de los límites que se señalan a continuación:

| Tamiz (mm)             | Porcentaje que pasa |
|------------------------|---------------------|
| <b>9.5 mm (3/8”)</b>   | 100                 |
| <b>4.75 mm (N°4)</b>   | 95-100              |
| <b>2.36 mm (N°8)</b>   | 80-100              |
| <b>1.18 mm (N°16)</b>  | 50-85               |
| <b>0.60 mm (N°30)</b>  | 25-60               |
| <b>0.30 mm (N°50)</b>  | 5-30                |
| <b>0.15 mm (N°100)</b> | 0-10                |

**Cuadro 12.-**Valores de ensayo de Granulometría. Fuente: ASTM C33

Además, se debe tener en cuenta que, en ningún caso, el agregado fino puede tener más de 45% de material retenido entre 2 tamices consecutivos. El módulo de fineza debe estar entre 2.3 y 3.1.

En fase de construcción no se estará permitido algún tipo de variación mayor a 0.2 en el Módulo de Finura, respecto a los valores de la curva adoptada para la forma de trabajo.

## 2.-Reactividad

Los agregados finos no presentan reactividad potencial con los álcalis de cemento. Se considera que el agregado es potencialmente reactivo, si se determina que la concentración de  $SiO_2$  y la reducción de alcalinidad R, mediante la norma ASTM C289, se obtienen los resultados:

$SiO_2 > R$ , Cuando  $R \geq 70$

$SiO_3 > 35 + 0.5R$ , Cuando  $R < 70$



**b. Agregados Gruesos**

El agregado grueso puede consistir de grava natural o triturada. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular o semi-angular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa; deberá estar libre de partículas escamosas, materia orgánica u otras sustancias dañinas. (3.3.7 E-060, Pag.30).

Se considerará a todo el material que quede retenido en el tamiz N°04 (4.75 mm). Debe cumplir los siguientes requisitos:



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| Ensayo   |                      | Norma MTC | Norma NTP                  | Requisito |
|--|----------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| <b>Dureza</b>  |                      |           |                            |           |
| <b>Desgaste en la máquina de los ángeles. % máximo</b>                     |                      | MTC E207  | NPT 400.019<br>NPT 400.020 | 40        |
| <b>Durabilidad</b>   |                      |           |                            |           |
| <b>Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximos &gt; 3000 msnm</b> | -Sulfato de sodio    | MTC E209  | NPT 400.016                | 12        |
|  | -Sulfato de magnesio | MTC E209  | NPT 400.016                | 18        |
| <b>Limpieza</b>  |                      |           |                            |           |
| <b>Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo</b>               |                      | MTC E211  | NPT 400.015                | 3         |
| <b>Carbón y lignito, % máximo</b>  |                      | MTC E212  | NPT 400.023                | 0.5       |
| <b>Geometría de las partículas</b>   |                      |           |                            |           |
| <b>Partículas fracturadas mecánicamente (Una cara), % mínimo</b>           |                      | MTC E210  | D-5821                     | 60        |
| <b>Partículas chatas y alargadas (Relación 5:1), % máximo</b>              |                      | .-        | NPT 400.040                | 10        |
| <b>Características Químicas</b>  |                      |           |                            |           |
| <b>Contenido de sulfatos, expresado como Ion SO<sub>4</sub>, % Máximo</b>  |                      | .-        | NPT 400.042                | 1.0       |
| <b>Contenido de cloruros, expresado como Ion Cl<sub>2</sub>, % Máximo</b>  |                      | .-        | NPT 400.042                | 0.1       |

*Cuadro 13.-Ensayos para los agregados gruesos. Fuente: ASTM D-5821*



De manera similar al agregado fino, el grueso debe cumplir con los siguientes requisitos:

#### 1.-Granulometría

La gradación de este tipo de agregado debe satisfacer una de las curvas de acuerdo a como se especifique en el proyecto y el supervisor apruebe, de acuerdo al tamaño máximo del agregado a usar, la estructura de que se trabaje, la separación del acero de refuerzo, y la clase de concreto especificado para ser usado.

La curva granulométrica obtenida al mezclar los agregados grueso y fino en el diseño y fabricación del concreto, ha de ser continua y lo más cercano a la teoría.

#### 2.-Reactividad

El agregado grueso no puede presentar reactividad potencial con los álcalis de cemento, lo cual comprobará por similar comportamiento y criterio similar al fino.

#### 3.-Forma

Para concretos de  $F'c > 21$  MPa (210 Kg/cm<sup>2</sup>), los agregados deben ser 100% triturados.

Los agregados fino y grueso deberán ser manejados como materiales independientes. Cada uno de ellos deberá ser procesado, transportado, manipulado, almacenado y pesado de manera tal que la pérdida de finos sea mínima, que mantengan su uniformidad, que no se produzca contaminación por sustancias extrañas y que no se presente rotura o segregación importante en ellos. (3.3.4 E-060, Pag. 30).





### 2.3.5. AGUA

El agua es un elemento elemental en la construcción. Su participación en la elaboración de la mezcla entre los agregados y el cemento hace posible la formación de lo que conocemos como concreto. Asimismo, una vez ya fraguado el concreto, también es importante su uso para el proceso de curado.

La calidad del agua empleada afecta directamente a las propiedades del concreto fabricar. De ese modo lo más adecuado es emplear agua potable, de no ser posible su uso también se puede contar con agua de otro tipo de fuentes como ríos, afluentes naturales, ríos u otros que no contengan porcentajes elevados de sales.

Básicamente, el agua debe estar limpia y libre de elementos perjudiciales como aceites, ácidos álcalis, materia orgánica y sales, que afecten las propiedades del concreto en cuestión.

La norma Técnica peruana nos brinda un margen de permisibilidad de elementos en el agua de construcción:

| Descripción                            | Límite permisible  |
|--|--------------------|
| <b>Sólidos en suspensión</b>           | 5000 p.p.m. máximo |
| <b>Materia orgánica</b>                | 3 p.p.m. máximo    |
| <b>Alcalinidad (NaHCO<sub>3</sub>)</b> | 1000 p.p.m. máximo |
| <b>Sulfato (Ion SO<sub>4</sub>)</b>    | 600 p.p.m. máximo  |
| <b>Cloruros (Ion Cl)</b>               | 1000 p.p.m. máximo |
| <b>pH</b>                              | 5 a 8              |

*Cuadro 14.-Límites permisibles de agua. Fuente: NTP 339.088*



### 2.3.6. ADITIVOS

El uso de aditivos debe ser considerado bajo el cumplimiento de la normatividad vigente ASTM C494, NTP 334-087, NTP 334.088 y NTP 334.089. El uso de estos, es básicamente con el fin de modificar las propiedades del concreto con el fin de que sea favorable a las condiciones del tipo de estructura que se va a construir. El uso de estos aditivos debe preverse con antelación y definir la cantidad a emplear de acuerdo a la propiedad adicional que al concreto se requiera.

Existe una gran amalgama de productos que brindan propiedades adicionales al concreto. Entre ellas tenemos:

#### 1.- Acelerantes

Este aditivo es muy empleado debido a sus propiedades de aumentar significativamente las resistencias iniciales del concreto. Lo cual a su vez reduce el tiempo de fraguado. No obstante si bien se obtiene resistencias iniciales altas, en comparación a las resistencias obtenidas a los 28 días, los concretos sometidos a este aditivo suelen obtener menores resistencias. Su uso se debe principalmente al gran ahorro que significa respecto a los encofrados y tiempos de espera.

#### 2.- Aditivos Impermeabilizantes

Este tipo de aditivos son empleados con el fin de disminuir la relación agua-cemento y por reducir la permeabilidad y los vacíos capilares. Mayormente su empleo se da en obras hidráulicas y proyectos donde se está expuestos al contacto con agua.

#### 3.- Aditivos incorporadores de aire

Este tipo de aditivos son empleados en climas fríos donde al descender la temperatura genera vacíos por el congelamiento del



agua en los poros capilares y, por lo tanto, debilita al concreto. Este aditivo introduce una estructura adicional de vacíos interconectados que hace que los desplazamientos producidos por congelamiento y deshielo no generen tensiones.

#### 4.- Aditivos Plastificantes

Estos aditivos son compuestos de tipo orgánico e inorgánico que brindan al concreto la capacidad de ser elaborado con menos cantidad de agua de mezclado tradicional respecto a condiciones normales. Tiene entre sus principales características una mayor trabajabilidad sin modificar su relación de agua cemento.

#### 5.- Aditivos Retardantes

Este tipo de aditivos permite alargar el tiempo de demora en el fraguado de concreto, esto con el objetivo de tener un periodo mayor de plasticidad y de este modo permitir realizar los trabajos sin inconveniente alguno. Su aplicación se da mayormente en climas cálidos, vaciados a grandes volúmenes, por distancia y traslado de concreto premezclado o por interrupciones significativas.

#### 6.- Aditivos Súper Plastificantes

Estos son los mismos reductores de agua-plastificantes pero con el efecto mucho más amplificado. Tiene una baja relación de agua-cemento normalmente entre 0.25 a 0.30, por lo que en su mayoría son concretos de alta resistencia.

### **2.3.7. CONTROL DE CALIDAD (AGREGADO Y CEMENTO)**

Para garantizar que el concreto a obtenerse sea de buena calidad, adicionalmente a tener buenos materiales de agregados, es necesario realizar considerar la dosificación de cantidades correctas, la manera de mezclado, el traslado, las condiciones



climáticas a la que se encuentra expuesta, el vaciado, el curado y detalles que influyen en los resultados del concreto a obtener.

Por consiguiente para la preparación de concreto se debe tener en consideración las normativas y puntos considerados en el la norma E060 de Concreto Armado.

Entre ellas se considera:

- Preparación del equipo y del lugar de elaboración de concreto
  - ✓ Se debe prepara el lugar donde se preparará el concreto.
  - ✓ El equipo que se usara para la preparación y traslado debe encontrarse limpio
  - ✓ Los elementos o estructuras que se vaciarán deben estar previamente liberados, en caso sean armaduras se encuentren limpias y acorde con las especificaciones, en caso del encofrado debe estar con el material desmoldante requerido para facilitar los posteriores trabajos de desencofrado
  - ✓ Se debe tener preparado el abastecimiento de agua.
- Mezcla de concreto
  - ✓ En base a la dosificación del diseño de mezcla se procede a realizar la medida de la cantidad de material que garantice la obtención de cantidad de concreto requerido.
  - ✓ El concreto deberá ser mezclado en una mezcladora capaz de lograr una combinación de todos los materiales, formando una masa uniforme dentro del



tiempo especificado y descargando el concreto sin segregación.

- ✓ El mezclado debe realizarse en una mezcladora aprobada
- ✓ Se debe respetar la velocidad de giro recomendada por el fabricante.
- ✓ Según ASTM C94M, el mezclado debe efectuarse por lo menos durante 90 segundos después de que todos los materiales estén dentro del tambor a menos que se demuestre que el empleo de un tiempo menor sea aceptable y de satisfactorio mediante los ensayos de uniformidad de mezclado
- Transporte de Concreto
  - ✓ El concreto debe ser transportado de la mezcladora al lugar final de vaciado, empleando métodos que disminuyan la pérdida de material.
  - ✓ El equipo que se empleará para el transporte debe proporcionar el abastecimiento de concreto al lugar de colocación evitando interrupciones o inconvenientes que afecten los tiempos y fraguado del concreto
- Colocación del Concreto
  - ✓ El concreto debe ser preparado en un punto cercano al lugar de vaciado debido a que de este modo se garantiza la disminución de pérdida por segregación debido a su manipulación o desplazamiento.
  - ✓ La colocación del concreto debe realizarse con una velocidad en la cual conserve su estado plástico y que fluya con facilidad entre los espacios de la armadura de refuerzo. Este proceso debe realizarse de manera continua para evitar que se formen capas y debido al fraguado se formen juntas frías.



- ✓ Si el concreto fresco preparado se contamina con algún otro agente externo o se haya endurecido parcialmente, no debe utilizarse.

- **Protección y Curado**

- ✓ A menos que se empleen otro tipo de métodos de protección, el concreto no deberá ser vaciado durante lluvias, nevadas o granizadas. El agua de lluvia no debe incrementar el agua de mezclado o dañe el acabado superficial.
- ✓ La temperatura interna del concreto no debe ser tan alta como para evitar dificultades como pérdidas de asentamiento, fragua instantánea y juntas frías. La temperatura no debe ser mayor a 32°C.
- ✓ El curado por vía húmeda podrá ser sustituido por cualquier otro medio de curado, siempre que se demuestre que la resistencia a la compresión del concreto

## 2.4. PARA EL ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

### 2.4.1. CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad del suelo se denomina a la relación entre el peso del agua en una muestra o masa de suelo, respecto a las partículas sólidas.

Para realizar este ensayo se requiere básicamente los siguientes materiales:

- Balanza
- Horno Eléctrico



- Taras Metálicas
- Cuchara o recipiente de medida
- Guantes

#### Procedimiento

- Pesar cada una de las taras metálicas que se emplearán en el ensayo
- Una vez obtenido el peso de la tara, procedemos a pesar la muestra colocada en la tara.
- Se anota los pesos de cada una de las muestras y se procede a colocar dentro del horno a una temperatura entre  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  por un periodo de 24 horas aproximadamente. Después de este lapso se retira del horno y se deja enfriar a temperatura del ambiente.
- Posterior a ello, se procede a pesar nuevamente las muestras secas en el recipiente.
- Finalmente con los datos obtenidos se procede a realizar los cálculos y aplicando las fórmulas requeridas determinar el contenido de humedad promedio respecto al número de muestras recopiladas en campo.

#### 2.4.2. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

El análisis granulométrico por tamizado se realiza con la finalidad de determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

Para realizar este ensayo se es necesario contar con los siguientes materiales:



- Juego de tamices
- Balanza
- Horno Eléctrico de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Cepillo de alambre Fino
- Martillo de Goma
- Bandejas y recipientes

#### Procedimiento

- Se elige la muestra seca a trabajar, la cual pasa a ser cuarteada y pesada registrando su valor.
- En un recipiente mezclar la muestra con agua y proceder a verte mediante el uso del tamiz N°200 a manera de disolver la arcilla contenida. Este proceso se repetirá las veces que sea necesario hasta obtener el agua clara.
- Posteriormente secar la muestra obtenida en el horno a temperatura de  $105^{\circ}\text{C}$ .
- Luego de retirar la muestra del horno, se procede a realizar el tamizado empleando el juego de tamices completos y ordenados de forma decreciente. Realizando el proceso de agitación mediante un movimiento rotatorio horizontal y vertical.
- Finalmente proceder a pesar cada una de las cantidades retenidas en cada tamiz y anotarlas.

#### 2.4.3. LÍMITES DE ATTERBERG

También denominados límites de plasticidad o límites de consistencia, se emplean para determinar el comportamiento de los suelos finos.

Estos límites básicamente basan su concepto de que en un suelo fino de acuerdo a su humedad puede tener cuatro estados de consistencia. De ese modo, se tiene el suelo en estado sólido cuanto se encuentra seco. No obstante, cuando se agrega agua poco a poco





va cambiando a un estado semi sólido y finalmente con mayor cantidad de agua a un estado Líquido. Los contenidos de humedad en estos puntos de transición de estados son los denominados límites de atterberg.

- Límite líquido.-Se denomina así cuando el suelo pasa del estado plástico al estado líquido. Se emplea la copa Casagrande para la obtención de este.

#### Equipo

- ✓ Balanza
- ✓ Pocillos de porcelana
- ✓ Copa Casagrande y acanalador
- ✓ Tamiz N°40
- ✓ Pipeta

#### Procedimiento

- ✓ Se procede a realizar el tamizado de la muestra seca a través de la malla N°40 hasta obtener la cantidad requerida para el ensayo.
- ✓ Con lo obtenido mezclar en el pocillo de porcelana con agua hasta lograr una pasta de consistencia suave. Cubrirla y dejarla reposar por un tiempo.
- ✓ Posterior a ello colocar la mezcla a la copa Casagrande de manera que se llene 1/3 de esta, aproximadamente.
- ✓ Empleando la espátula se extiende el material formando una película circular cuyo máximo espesor se encuentre en el punto de mayor profundidad
- ✓ Con el instrumento acanalador se realiza un espaciado a través de la línea central de la mezcla. Se realiza con cuidado y las veces que sea necesaria de manera que se evite el desgarramiento de la muestra



- ✓ Realizar el giro de la manivela a razón de 2 vueltas/Segundo e ir anotando el número de golpes necesario para que las paredes de la ranura formada se unan en el fondo de la misma  $\frac{1}{2}$ ".
- Límite Plástico.-Cuando el suelo pasa de un estado semi sólido a un estado plástico.

#### Equipo

- ✓ Balanza
- ✓ Horno
- ✓ Placa de vidrio esmerilado
- ✓ Cápsulas metálicas

#### Procedimiento

- ✓ Una vez finalizado el ensayo de límite líquido, procedemos a emplear dicha muestra, verificando que tenga una consistencia adecuada y pueda ser rolando entre los dedos y el vidrio esmerilado.
- ✓ Se toma una pequeña cantidad de la muestra, entre 2 a 3 gr de material y manualmente se forman bastones cilíndricos y se le quita la humedad rolando en la placa de vidrio esmerilado.
- ✓ Se procede a realizar el rolando a razón de 80 -90 veces por minuto. Este movimiento será hacia delante y hacia tras.
- ✓ El límite plástico se determina al formar bastones de 3.2mm de diámetro en el instante en que se forman resquebrajaduras superficiales.
- Límite de retracción o contracción.-Se denomina así cuando el suelo pasa de un estado semi sólido a un estado sólido y se termina contrayendo al perder humedad.



---

#### 2.4.4. ENSAYOS PARA DETERMINAR COMPORTAMIENTO DE SUELOS

##### ◆ Proctor Modificado

Se denomina compactación del suelo al incremento de la densidad del material. Con lo que trae consigo la reducción de la compresibilidad, mayor resistencia al corte, y disminución de la permeabilidad.

El ensayo de Proctor Modificado es similar al estándar no obstante modificando la capacidad del molde y por ende su energía de compactación. En este ensayo se emplea un molde cilíndrico de 2.32 cm<sup>3</sup> de capacidad y una masa de 4.535 kg que se deja caer desde una altura de 457 mm.

A diferencia del estándar se compactan 5 capas en vez de 3, empleando 25 golpes en cada una.

Se realizan varias medidas de humedad y densidad del interior del molde con distintos grados de humedad para trazar la curva Proctor y de este modo dar concluido el ensayo.

##### EQUIPO

- ◆ Juego de Tamices
- ◆ Martillo de Goma
- ◆ Brocha y badilejo
- ◆ Molde cilíndrico de proctor estándar o modificado
- ◆ Pistón de 10 lb de peso
- ◆ Horno
- ◆ Balanza
- ◆ Probeta

##### Procedimiento



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

---

- ◆ Con una muestra significativa de material, aprox 40 a 50 Kg, previamente debe ser secado al aire libre y luego eliminar los terrones existentes con el martillo de goma, de modo que no se alteren sus propiedades mecánicas.
- ◆ Procedemos a realizar el tamizado descartando lo retenido en la malla de 2”.
- ◆ Con los datos del ensayo de granulometría previamente realizado seleccionamos el método de ensayo a realizar. Se preparará 4 muestras. Si es el método A o B se tomará 2.5 kg, y si es el método C será 6 kg.
- ◆ Colocar el material en un punto de la bandeja e ir adicionando 2%, 4% de agua de acuerdo se estime a manera de lograr una mezcla homogénea y uniforme
- ◆ Proceder a dividir la muestra en 5 partes lo mas equitativamente posible y colocar con la cuchara una de las muestras en el molde de ensayo y proceder a compactar con ayuda del pistón en caída libre y con el número de golpes estipulado en el ensayo y así sucesivamente con las muestras restantes.
- ◆ Luego de tener compactadas las 5 capas, una por cada muestra dividida, se retira la extensión desmontable y se procede a enrasar con una regla metálica a nivel del borde.
- ◆ Finalmente se procede a pesar la muestra húmeda en el molde sin extensión e ir registrando el peso. Posteriormente desechar el material para su limpieza. Con la muestra restante se puede aprovechar para determinar el contenido de humedad.



◆ **Valor Relativo de Soporte (CBR)**

El también denominado CBR por sus siglas en inglés de “California Bearing Ratio”, es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo en base a su resistencia. La cual se va a medir usando un ensayo de placa a escala.

Acorde a lo especificado en la norma ASTM D 1883-07, el CBR, es un ensayo de carga usando un pistón metálico cuya área de contacto es de 0.5 pulgadas cuadradas, para penetrar desde la superficie de un suelo compactado en un molde metálico a velocidad constante. Finalmente, se puede definir al CBR, como el parámetro que mide la relación entre la carga unitaria en el pistón que es requerida para penetrar 1” y 2” en la muestra ensayada, y la carga unitaria requerida para lograr penetrar la misma cantidad en una piedra picada bien graduada estándar; cuyo valor se expresa en porcentaje %.

**EQUIPO**

- ◆ Juego de Tamices
- ◆ Molde Cilíndrico de CBR
- ◆ Disco espaciador
- ◆ Pistón de 10lb de peso
- ◆ Horno
- ◆ Balanza
- ◆ Probeta
- ◆ Bandejas y taras
- ◆ Máquina de prueba
- ◆ Vástago ajustable y juego de placas
- ◆ Trípode y micrómetro para medir la expansión del suelo.



## Procedimiento

- ◆ Una vez finalizado el ensayo del proctor, se procede a separar muestras para trabajar
- ◆ Preparamos en una probeta con una cantidad de agua similar en porcentaje al contenido óptimo de humedad para la máxima densidad seca en el ensayo de proctor.
- ◆ Realizamos la mezcla de la muestra con agua, para posteriormente dividirla en 5 proporciones
- ◆ Colamos en el molde el disco espaciador y papel filtro encima, para adicionar la muestra y aplicamos la compactación de 56 golpes en el pistón.
- ◆ Posterior a ello, se invierte el molde, teniendo la consideración de colocar papel filtro, y quitar el disco espaciador y se procede a realizar el pasado de la muestra húmeda.
- ◆ Este proceso se repite, solo variando el número de golpes. En el siguiente de 25 golpes. Y Finalizando con 12 golpes en la última muestra.
- ◆ Posterior a ello, verificar el extensómetro cada 24 horas de cada molde sumergido e ir anotando. A las 96 horas hacer la lectura final y calculamos la expansión del material.
- ◆ Luego a los 4 días extraer los moldes y drenar el agua por unos 15 minutos
- ◆ Ir colocando los especímenes en la prensa con su sobrecarga correspondiente. Ir asentando el pistón en la muestra revisando que el cero el extensómetro que mide la penetración para la aplicación de la carga y el extensómetro que va en el anillo para medir la carga.
- ◆ Finalmente se procede a hincar el pistón a una velocidad constante de penetración de 0.05” por minuto y se procede a ir registrando las lecturas del dial de carga para una



penetración de 0.25,0.05,0.075, 0.1, 0.15,0.2,0.3,0.4,y 0.5  
pulg.

## **2.5. PARA EL AGREGADO Y EL CONCRETO**

### **2.5.1. FUENTE DE ABASTECIMIENTO**

Se consideró a trabajar el agregado fino de la Cantera “La Cumbre”, debido a los buenos antecedentes con investigaciones y tesis trabajadas en la universidad. Asimismo, para el agregado grueso se trabajó con la cantera “Medina”, cuyas características son las más adecuadas para el estudio a realizar. Ambas canteras son parte de las principales abastecedoras de la zona. Por lo que se espera su buena representatividad.

Ambas canteras se encuentra Ubicadas en la ruta de la panamericana Norte, aproximadamente en el Km 407 + 500 y 410 + 540.

### **2.5.2. CUARTEO DE MATERIALES – MUESTRAS**

Para obtener la muestra de trabajo representativa se debe seguir la secuencia de muestreo establecida. Donde, en una superficie libre se apila el material en forma de cono, mezclándola. Proceso que debe ser repetido entre 3 a 4 veces.

Se debe tener especial cuidado en desperdiciar material al momento de realizar este procedimiento. Una vez concluido, se procede a aplanar el material, de manera que se logre formar una superficie cuyo espesor sea uniforme. A esta nueva superficie se divide en cuatro partes, en lo posible guardando simetría.



*Ilustración 8.-Cuarteo de agregado Grueso. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 9.- Cuarteo de agregado Grueso. Fuente: Elaboración Propia.*

### 2.5.3. PESO ESPECÍFICO DE AGREGADOS

Se denomina peso específico al factor obtenido entre la división del peso de los agregados entre el volumen de los mismos, omitiendo la existencia de vacíos.





Este factor es importante en el diseño de mezcla debido a que con este dato se puede determinar la cantidad de agregado requerido para un volumen utilitario de concreto.

Por otra parte este factor es indicador de calidad. Su valor elevado se encuentra en materiales cuyo comportamiento es bueno, al contrario en valor bajo los agregados son débiles.

### **2.5.3.1. Agregado Fino**

Se procedió a obtener la muestra a trabajar mediante el cuarteo correspondiente. De este modo se obtuvo 1Kg de agregado para la muestra.

Se colocó la muestra en un recipiente y se cubrió con agua por un tiempo de 24 horas. Posteriormente del decantado, se procedió con el secado de la muestra de tal modo que no se pierdan los finos y las partículas del material no se peguen y adhieran entre sí.

Posterior a que la muestra se encuentre seca, se procede a colocar en el recipiente cónico y se fue compactando en capas de 25 golpes. Para verificar que el material se encuentre seco se retira el molde y si el agregado fino mantiene su forma se debe continuar secando. Si al contrario sucede que no se mantiene, la muestra esta apta.

En un frasco se coloca material en este caso 500gr y se complementó el llenado con agua a una temperatura promedio de 23 °C. Se ha de verificar que no debe quedar burbujas de aire. Para ello se ha de agitar de manera constante unos 5 a 10 minutos aproximadamente. Posterior a ello, se llenó el frasco y se determinó el peso del frasco, la muestra y el agua.

Después de ello se retiró la muestra del frasco y se procedió a secarla en el horno a una temperatura aprox. de 110 °C por un tiempo de una hora.



Los resultados en la presente investigación del peso específico del agregado Fino obtenido en este ensayo fue 1464.65 Kg/m<sup>3</sup>.

### **2.5.3.2. Agregado Grueso**

En primer lugar realizamos el cuarte correspondiente del agregado para obtener la muestra a ensayar.

Seguidamente realizamos el zarandeo respectivo del material seleccionado empleando el tamiz N°4. Lo que se obtenga de este retenido pasa a ser la muestra que se trabajará.

Se realizó el pesaje de los recipientes empleados. Y Posteriormente pesamos la muestra.

Seguidamente se lava el agregado de manera que se garantice la eliminación de polvo y otras sustancias que se encuentren junto a la muestra.

Se lleva al horno a una temperatura entre 100° y 110 °C. Dejando que repose por 24 horas. Luego se retira del horno dejando reposar entre 1 a 3 horas, para seguidamente dejar reposar sumergida en agua por un lapso de 24 horas.

Terminado el periodo de inmersión de la muestra se procede a secar la muestra con una tela absorbente o papel de manera que se elimine el agua y humedad superficial. Para ello se seca individualmente los fragmentos grandes.

Una vez secada la muestra se procede a obtener el peso superficialmente seco.

Seguido a ello, se procede verificar la balanza y la canastilla metálica y a una temperatura entre 21° y 25°C se procede a pesar la muestra y de ese modo determinar su peso sumergido en agua.

Posteriormente se retira y se introduce en el horno a una temperatura entre 100° a 110°C por un periodo de 24 horas.



Finalmente se retira del horno y se deja que enfríe para luego proceder a pesarlo y de ese modo obtener el peso de la muestra seca.

Los resultados de este ensayo en la presente investigación del peso específico del agregado Grueso fue de 1423.12 kg/m<sup>3</sup>

## **2.5.4. GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS**

### **2.5.4.1. Agregado Grueso**

Se puede definir a la granulometría al proceso de distribución del volumen de agregado de acuerdo al número de mallas cuyas aberturas tienen unas medidas estándar, desde la más grande (2”) a la más fina (#16).

Es importante realizar este ensayo debido a que la granulometría y el tamaño de los agregados para el diseño de mezcla. Pues como es sabido, los agregados tienen trascendencia en la trabajabilidad, porosidad, contracción del concreto. Los resultados de estos ensayos se suelen mostrar a través de gráficos denominados curvas granulométricas que dan una percepción de la distribución del tamaño de los agregados de una masa estudiada.

#### **Tamaño máximo y Tamaño máximo nominal**

De acuerdo a la normativa NTP. 400.037 se define como tamaño Máximo (TM) el número de tamiz con menor abertura por el cual pasa el 100% del agregado en estudio.

En la presente investigación el tamaño máximo es de ¾”.

De acuerdo a la normativa vigente se debe tener en consideración los siguientes puntos respecto a la losa:

- El TM no debe pasar 1/5 de la dimensión más pequeña de concreto.



**"PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH"**

---

- El TM no debe sobrepasar  $\frac{1}{3}$  del peralte de la losa
- El TM no debe pasar del espaciamiento libre entre el refuerzo de varillas de acero.

Por otra parte definimos al tamaño Máximo Nominal del agregado al tamiz en donde se genera el primer retenido de material. El tamaño Máximo Nominal en la investigación es de  $\frac{1}{2}$ ".



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| H<br>U<br>S<br>O | TMN                | % QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS (ASTM C33, NTP 400,037) |                        |                 |                        |                 |                               |                  |                    |                      |                     |                     |                     |                      |  |
|------------------|--------------------|---|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|-------------------------------|------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--|
|                  |                    | 100<br>mm<br>(4")   | 90<br>m<br>(3<br>1/2") | 75<br>m<br>(3") | 63<br>m<br>(2<br>1/2") | 50<br>m<br>(2") | 37.<br>5<br>mm<br>(1<br>1/2") | 25<br>mm<br>(1") | 19<br>mm<br>(3/4") | 12.5<br>mm<br>(1/2") | 9.5<br>mm<br>(3/8") | 4.75<br>mm<br>(N°4) | 2.36<br>mm<br>(N°8) | 1.18<br>mm<br>(N°16) |  |
| 1                | 3 1/2" –<br>1 1/2" | 100   | 90-<br>10<br>0         |                 | 25-<br>60              |                 | 0-<br>15                      |                  | 0-5                |                      |                     |                     |                     |                      |  |
| 2                | 2 1/2" –<br>1 1/2" |   |                        | 10<br>0         | 90-<br>10<br>0         | 35-<br>75       | 0-<br>15                      |                  | 0-5                |                      |                     |                     |                     |                      |  |
| 3                | 2" – 1"            |   |                        |                 | 10<br>0                | 90-<br>10<br>0  | 35-<br>75                     | 0-<br>15         |                    | 0-5                  |                     |                     |                     |                      |  |
| 35<br>7          | 2" –<br>N°4        |   |                        |                 | 10<br>0                | 94-<br>10<br>0  | 35-<br>75                     |                  |                    | 10-<br>30            |                     | 0-5                 |                     |                      |  |
| 4                | 1 1/2" –<br>3/4"   |   |                        |                 |                        | 10<br>0         | 90-<br>100                    | 20-<br>55        | 0-15               |                      | 0-5                 |                     |                     |                      |  |
| 46<br>7          | 1 1/2" –<br>N°4    |   |                        |                 |                        | 10<br>0         | 95-<br>100                    |                  | 35-<br>70          |                      | 10-<br>30           | 0-5                 |                     |                      |  |
| 5                | 1 – 1/2"           |   |                        |                 |                        |                 | 100                           | 90-<br>100       | 20-<br>55          | 0-10                 | 0-5                 |                     |                     |                      |  |
| 56               | 1" –<br>3/8"       |   |                        |                 |                        |                 | 100                           | 90-<br>100       | 40-<br>85          | 10-<br>40            | 0-15                | 0-5                 |                     |                      |  |
| 57               | 1"-<br>N°4         |   |                        |                 |                        |                 | 100                           | 95-<br>100       |                    | 25-<br>60            |                     | 0-10                | 0-5                 |                      |  |
| 6                | 3/4" –<br>3/8"     |   |                        |                 |                        |                 |                               | 100              | 90-<br>100         | 20-<br>55            | 0-15                | 0-5                 |                     |                      |  |
| 67               | 3/4"-<br>N°4       |   |                        |                 |                        |                 |                               | 100              | 90-<br>100         |                      | 20-<br>55           | 0-10                | 0-5                 |                      |  |
| 7                | 1/2"-<br>N°4       |   |                        |                 |                        |                 |                               |                  | 100                | 90-<br>100           | 40-<br>70           | 0-15                | 0-5                 |                      |  |
| 8                | 3/8" –<br>N°8      |   |                        |                 |                        |                 |                               |                  |                    | 100                  | 85-<br>100          | 10-<br>30           | 0-10                | 0-5                  |  |

**Cuadro 15.-**Porcentajes de material que pasa por los tamices normalizados. Fuente: NTP 400.037



| TAMAÑO DE TAMIZ | PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS |
|-----------------|--|
| 1 ½" ( 37.5 mm) | ---  |
| 1" (25 mm)      | 100  |
| ¾" (19 mm)      | 90 a 100   |
| ½" (12.5 mm)    | ---  |
| 3/8" (9.5 mm)   | 20 a 55  |
| #4 (4.75 mm)    | 0 a 10   |
| #8 (2.36 mm)    | 0 a 5  |
| #16 (1.18 mm)   | ---  |

**Cuadro 16.-**Porcentaje que pasa por los tamices normalizados agregado grueso.

Fuente: NPT 400.037.

#### 2.5.4.2. Agregado Fino

Para poder referenciarlos respecto a la granulometría de agregados finos existe una amplia gama de especificaciones. En muchos casos, de acuerdo al tipo de fines con los que se van a trabajar se trabajan distintos tipos de restricciones.

De acuerdo a la normatividad NTP 400.037, la granulometría de agregado fino es compatible con los diferentes tipos de concreto. Adicionalmente existen algunos puntos que especifica la norma ASTM:

- El retenido entre dos mallas no debe exceder el 45%
- El módulo de fineza debe encontrarse entre los rangos de 2,3 y 3,1 y este no debe variar en más de 0,2 respecto al de la fuente.



- Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (N°50) y de 0.15 mm (N°100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30 mm (N°50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concretos acabados a mano donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30 mm (N°50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15 mm (N°100). **(Molina, C; Sencara, J. 2018, Evaluación de la Resistencia a la compresión y flexión de un concreto de alta resistencia, reutilizado en la etapa de fraguado, P.75)**

| TAMAÑO DE TAMIZ        | PORCENTAJE QUE PASA (en peso) |               |
|------------------------|-------------------------------|---------------|
|                        | LÍMITES TOTALES               | GRADACIÓN “C” |
| <b>3/8” (9.5 mm)</b>   | 100                           | 100           |
| <b>N°4 (4.75 mm)</b>   | 89 a 100                      | 95 a 100      |
| <b>N°8 (2.36 mm)</b>   | 65 a 100                      | 80 a 100      |
| <b>N°16 (1.18 mm)</b>  | 45 a 100                      | 50 a 85       |
| <b>N°30 (0.60 mm)</b>  | 25 a 100                      | 25 a 60       |
| <b>N°50 (0.30 mm)</b>  | 5 a 70                        | 10 a 30       |
| <b>N°100 (0.15 mm)</b> | 0 a 12                        | 2 a 10        |

**Cuadro 17.-** Porcentaje que pasa por los tamices normalizados agregado grueso.

Fuente: NPT 400.037.

## Procedimiento



Previamente se seleccionó los tamices a emplear en el ensayo. Ordenándolos de mayor a menor. Se debe encajar todos secuencialmente para iniciar.

Acto seguido se coloca la muestra por la parte superior, y mediante un proceso manual de tamizado, durante un periodo determinado se realiza el tamizado.

Posteriormente se verifica que no pase más del 15% de la cantidad en peso retenido en cada tamiz durante un minuto.

Luego se procede a pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz, empleando la balanza.

El peso obtenido debe ser comparado con el peso total de la muestra ensayada. Si dicha cantidad varía más de 0.3% del peso seco original de la muestra no se ha de aceptar el resultado.

#### **2.5.5. ABRASIÓN LOS ÁNGELES**

Este ensayo se realiza con el fin de determinar el porcentaje de desgaste de los agregados cuyo tamaño es menor a  $1\frac{1}{2}$ " (3.75 mm) y agregados cuyo tamaño es mayor a  $\frac{3}{4}$ " empleando la máquina de los Ángeles.

**Este proceso básicamente se encuentra conformado por:**

➤ **Máquina de los ángeles**

Esta máquina consta de un tambor cilíndrico hueco de acero de dimensiones de Longitud = 500mm y diámetro = 700 mm, cuenta con un eje horizontal fijado a un dispositivo externo que realiza la transmisión de la rotación alrededor del eje. La máquina tiene una abertura en el tambor que permite el ingreso de la muestra a ensayar y para la colocación de la carga abrasiva.





Se emplea para determinar los límites de abrasión de los materiales, en este caso de la piedra chancada. Para ello debe rotar con revoluciones entre 30 y 33 por minuto.

➤ **Esferas**

Se le denomina cargas abrasivas al juego de esferas de acero cuyo diámetro varía entre 46.38 a 47.63 mm de diámetro. Con una masa aprox de 390 a 445 gr cada una de ellas. La cantidad de estas dependerá de la granulometría del ensayo a realizarse : A,B,C o D.

**Procedimiento:**

La muestra a realizar será de la piedra de 3/4” que se esta empleando en el diseño de mezcla. Para lo cual se emplearán los siguientes equipos: Maquina de los Ángeles, Balanza, Tamices, Muestra, esferas, recipientes.

Se muestra a continuación los parámetros que debe cumplir el espécimen de ensayo:

| Tamaño de Mallas |         | Masa por tamaño indicado gr. |         |         |         |
|------------------|---------|------------------------------|---------|---------|---------|
| Pasa             | Retiene | Gradación                    |         |         |         |
|                  |         | A                            | B       | C       | D       |
| 1 1/2”           | 1”      | 1250±25                      |         |         |         |
| 1”               | 3/4”    | 1250±25                      |         |         |         |
| 3/4”             | 1/2”    | 1250±10                      | 2500±10 |         |         |
| 1/2”             | 3/8”    | 1250±10                      | 2500±10 |         |         |
| 3/8”             | 1/4”    |                              |         | 2500±10 |         |
| 1/4”             | N°4     |                              |         | 2500±10 |         |
| N°4              | N°8     |                              |         |         | 5000±10 |
| <b>TOTAL</b>     |         | 5000±10                      | 5000±10 | 5000±10 | 5000±10 |

*Cuadro 18.-Cantidad de muestra que pasa por las mallas. Fuente ASTM C131*

Asimismo para determinar el tipo de carga abrasiva, esta se encontrará supeditada a la graduación de la muestra.



| Gradación | # Esfera | Masa de carga<br>Abrasiva |
|-----------|----------|---------------------------|
| A         | 12       | 5000                      |
| B         | 11       | 4584                      |
| C         | 8        | 3330                      |
| D         | 6        | 2500                      |

**Cuadro 19.**-Masa de carga abrasiva según el tamaño de la esfera. Fuente: ASTM C131

Este ensayo mide la degradación de un agregado mineral de graduación estándar en este caso será la piedra chancada. Esta medida es el resultado de una serie de acciones que incluye la abrasión o desgaste, impacto y trituración en el tambor rotatorio de acero con la carga abrasiva, teniendo en cuenta el número de granulometría de la muestra.

Al momento de operar el tambor la muestra se lanza de extremo a extremo creando un efecto de impacto que va desgastando la muestra. Este proceso es repetitivo hasta cumplir el número de revoluciones prescrito. Posteriormente se retira el contenido y se tamiza para medir la degradación como porcentaje de pérdida.

#### 2.5.6. DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Se denomina contenido de humedad a la cantidad total de agua que se encuentra contenida en la mezcla del agregado al momento de determinar la masa de la muestra. La cual estará conformada por agua superficial y agua absorbida.

Las muestras a estudiar deben ser significativas y muestreados de acuerdo a la normatividad vigente véase ASTM D175 y ASTM C702.

Materiales y Equipos

- Recipientes para obtener peso y llevar al horno



- Cucharón
- Balanza
- Horno

#### Procedimiento

- Mediante el procedimiento del cuarteo, seleccionar la muestra a trabajar.
- Determinar la masa de la muestra
- En los recipientes colocar una muestra, codificar y determinar su peso.
- Pesar la muestra húmeda + Tara o recipiente
- Colocar los recipientes o taras en el horno a una temperatura aproximada de 110°C, durante un periodo de 24 horas.
- Posteriormente, retirar y dejar enfriar. Finalmente pesar la muestra.

#### 2.5.7. DISEÑO DE MEZCLA

El diseño de mezcla según el ACI es el más común y se basa en algunas tablas elaboradas mediante ensayos a agregados que permiten obtener valores de los diversos agregados que integran el m<sup>3</sup> de concreto.

Existe una secuencia de diseño en la cual se basa este método.

- Selección de la resistencia promedio a partir de una resistencia en compresión especificada y la desviación estándar.
- Selección de tamaño máximo de agregado
- Selección de Slump o Asentamiento
- Selección de cantidad de agua de diseño



- Selección de contenido de aire
- Selección de relación agua-cemento
- Determinación del factor cemento
- Determinación del contenido de agregado grueso
- Determinación de Vol. Absolutos de cemento, agua, aire y agregado grueso y fino
- Determinación de peso seco de A. Fino
- Corrección de valores de diseño por contenidos de humedad del agregado
- Determinación de proporción en peso, diseño y de obra
- Determinación de pesos por tanda de saco.

#### 2.5.7.1. Selección de Resistencia Promedio

##### **Cálculo de Desviación Estandar**

Caso N°01.- En este caso ya se cuenta previamente con ciertos registros de ensayos, por lo que debe establecerse la desviación estándar de la muestra Ss. Los registros de ensayos a partir de donde se calculará la Ss, deben cumplir con lo siguiente:

- ◆ Representar a materiales, procedimientos de control de calidad, condiciones similares a la tendencia de los anteriores. Las diferencias respecto a la muestra deben ser menos restrictivas.
- ◆ Estos deben ser representativos de las resistencias especificadas, dentro del rango de  $\pm 7$  MPa de f'c.
- ◆ El número de estos debe ser de al menos 30 ensayos consecutivos, o en 2 grupos de ensayos realizados consecutivamente con una totalidad de por lo menos 30 ensayos.

Caso N°02.- Cuando no se cuenta con registro de ensayos como en el caso N°01, no obstante si se cuenta con un registro de



ensayos consecutivos entre 15 a 29; se procede a establecer la desviación estándar de la muestra,  $S_s$ , al producto de la Desviación estándar calculada por el factor de modificación de la siguiente tabla. Para que estos sean resultados aprobatorios deben cumplir lo especificado en los puntos del caso N°01 y a la vez, deben representar un único registro de ensayos consecutivos abarcando un periodo no menor de 45 días calendaros seguidos.

**FACTOR DE MODIFICACIÓN PARA LA DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA MUESTRA  
CUANDO SE DISPONE DE MENOS DE 30 ENSAYOS**

| <b>Número de ensayos (*)</b> | <b>Factor de modificación para desviación estándar de la muestra (+)</b> |
|------------------------------|--|
| <b>Menos de 15</b>           | Ver tabla 5.3  |
| <b>15</b>                    | 1.16   |
| <b>20</b>                    | 1.08   |
| <b>25</b>                    | 1.03   |
| <b>30 o más</b>              | 1.00   |

*Cuadro 20.-Factor de modificación para desviación estándar de la muestra. Fuente: E 060*

(\*) Se permite interpolar un número de ensayos intermedios

(+)Desviación estándar de la muestra modificada,  $S_s$ , para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida,  $f'_{cr}$ .

### **Resistencia de promedio requerida**

El concreto a realizar debe diseñarse para una resistencia promedio con el valor mucho mayor al de resistencia de diseño estándar especificada por el proyectista encargado.

- ♦ La resistencia promedio a la compresión requerida  $f'_{cr}$ , usada como base para la dosificación del concreto se



determinará en base al siguiente cuadro, empleando la desviación estándar  $S_s$ .

**RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO  
HAY DATOS DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN  
ESTANDAR DE LA MUESTRA**

| <b>Resistencia especificada a la compresión, MPa</b> | <b>Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa</b>  |
|--|---|
| <b><math>f'c \leq 35</math></b>                      | Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-2):<br>$f'cr = f'c + 1.34 S_s$ (5-1)<br>$f'cr = f'c + 2.33 S_s - 3.5$ (5-2) |
| <b><math>f'c &gt; 35</math></b>                      | Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (5-1) y (5-3):<br>$f'cr = f'c + 1.34 S_s$ (5-1)<br>$f'cr = 0.90 f'c + 2.33 S_s$ (5-3)  |

*Cuadro 21.- Resistencia promedio requerida a la compresión. Fuente: E060, Pg.41.*

- ◆ Cuando una instalación productora de concreto no tiene antecedentes de registro de ensayos de resistencia en obra para poder calcular el  $S_s$ , de tal modo que se ajusten a los puntos mínimos requeridos el  $f'cr$  debe determinarse de acuerdo a la siguiente tabla.

**RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA CUANDO NO HAY DATOS  
DISPONIBLES PARA ESTABLECER UNA DESVIACIÓN ESTANDAR DE LA MUESTRA**

| <b>Resistencia especificada a la compresión, MPa</b> | <b>Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa</b> |
|--|--|
|--|--|



|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| $f'c < 21$            | $f'cr = f'c + 7.0$    |
| $21 \leq f'c \leq 35$ | $f'cr = f'c + 8.5$    |
| $f'c > 35$            | $f'cr = 1.1f'c + 5.0$ |

Cuadro 22.-Resistencia promedio requerida a la compresión. Fuente: E060.

### Elección de Asentamiento (Slump)

El grado de humedad de la mezcla preparada del concreto se mide a través del parámetro del Slump o asentamiento. Y a su vez estas se clasifican en:

- 1) Mezclas Secas.-Asentamiento entre 0 y 2”
- 2) Mezclas plásticas.-Asentamiento entre 3” a 4”
- 3) Mezclas Fluidas.-Asentamiento mayor a 5”

Si dentro de las especificaciones del proyecto no se indica la consistencia del concreto a emplear con ayuda de la siguiente tabla, van a seleccionarse el asentamiento requerido.

Asentamientos recomendados según el ACI, para los diversos tipos de construcción:

| Tipo de Construcción                               | Revenimiento (cm) |        |
|--|-------------------|--------|
|  | Máximo            | Mínimo |
| Zapatas y muros de cimentación reforzados          | 8                 | 2      |
| Zapatas simples, cajones y muros de sub estructura | 8                 | 2      |
| Vigas y muros reforzados                           | 10                | 2      |
| Columnas   | 10                | 2      |
| Pavimentos y losas                                 | 8                 | 2      |



|                                   |   |   |
|-----------------------------------|---|---|
| <b>Concreto ciclópeo y masivo</b> | 5 | 2 |
|-----------------------------------|---|---|

*Cuadro 23.-Slump según tipo de construcción. Fuente: ACI211*

### **Selección de tamaño máximo Nominal**

De acuerdo al concepto que maneja la Norma INTINTEC 400.037 define como que el Tamaño Máximo Nominal es el que corresponde al menor tamiz de la serie utilizada en la serie que produce el primer retenido.

De acuerdo a lo estipulado en el Reglamento Nacional de edificaciones (RNE) E.60 se indican

- 1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrado
- 1/3 de peralte de la losa
- $\frac{3}{4}$  de espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo, paquetes de barras o ductos de pre esfuerzo.

En elementos cuyo espacio es reducido o ante la presencia de gran cantidad de armadura de acero se ha de reducir el tamaño del agregado grueso teniendo en cuenta que se mantenga una buena trabajabilidad y que se mantenga el asentamiento requerido y la resistencia especificada. (R. Lopez, 2000, p.183)

### **Estimación del agua de Mezclado y contenido de aire**

De acuerdo a lo especificado según el comité ACI 211, se nos muestra unos valores en cuadro del agua de mezclado de acuerdo a los tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.





La selección de volumen unitario de agua se basa en la determinación de la cantidad de agua que se ha de incorporar por unidad cúbica de concreto a modo de obtener una consistencia cuando el agregado se encuentra en estado seco.

Teniendo como factores la consistencia que se desea alcanzar para la mezcla y el tamaño máximo nominal del agregado grueso seleccionado se puede seleccionar el volumen unitario del agua apoyándonos de la tabla del comité 211 del ACI.

| Asentamiento                         | Agua en 1/m <sup>3</sup> , para los tamaños máx. Nominales de agregado grueso y consistencia indicados |      |      |     |        |     |     |     |
|--------------------------------------|--|------|------|-----|--------|-----|-----|-----|
|                                      | 3/8"   | 1/2" | 3/4" | 1"  | 1 1/2" | 2"  | 3"  | 6"  |
| <b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b> |  |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                              | 207  | 199  | 190  | 179 | 166    | 154 | 130 | 113 |
| 3" a 4"                              | 228  | 216  | 205  | 193 | 181    | 169 | 145 | 124 |
| 6" a 7"                              | 243  | 228  | 216  | 202 | 190    | 178 | 160 | --- |
| <b>CONCRETO CON AIRE INCORPORADO</b> |  |      |      |     |        |     |     |     |
| 1" a 2"                              | 181  | 175  | 168  | 160 | 150    | 142 | 122 | 107 |
| 3" a 4"                              | 202  | 193  | 184  | 175 | 165    | 157 | 133 | 119 |
| 6" a 7"                              | 216  | 205  | 197  | 184 | 174    | 166 | 154 | --- |

*Cuadro 24.-Cantidad de agua x m<sup>3</sup> de acuerdo al tamaño máximo nominal.  
Fuente: Comité ACI 211.*

Asimismo, para calcular la cantidad de agua de mezcla considerando adicionalmente la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo, se tiene la siguiente tabla.



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| Asentamiento o Slump (mm)  |                     | Agua en lt/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregado grueso y consistencia indicados |     |     |     |     |     |     |     |
|--|---------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADOS</b>                                     |                     |  |     |     |     |     |     |     |     |
| 30 a 50 (1" a 2")  |                     | 205  | 200 | 185 | 180 | 160 | 155 | 145 | 125 |
| 80 a 100 (3" a 4")   |                     | 225  | 215 | 200 | 195 | 175 | 170 | 160 | 140 |
| 150 a 180 (6" a 7")  |                     | 240  | 230 | 210 | 205 | 185 | 180 | 170 | --- |
| Cantidad aprox. de aire atrapado (%)                                       |                     | 3.0  | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| <b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>                                      |                     |  |     |     |     |     |     |     |     |
| 30 a 50 (1" a 2")  |                     | 180  | 175 | 165 | 160 | 145 | 140 | 135 | 120 |
| 80 a 100 (3" a 4")   |                     | 200  | 190 | 180 | 175 | 160 | 155 | 150 | 135 |
| 150 a 180 (6" a 7")  |                     | 215  | 205 | 190 | 185 | 170 | 165 | 160 | --- |
| Contenido total de aire incorporado (%) en función del grado de exposición | Exposición Suave    | 4.5  | 4.0 | 3.5 | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.5 | 1.0 |
|  | Exposición Moderada | 6.0  | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 3.5 | 3.0 |
|  | Exposición Severa   | 7.5  | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |
|  | Exposición Severa   | 7.5  | 7.0 | 6.0 | 6.0 | 5.5 | 5.0 | 4.5 | 4.0 |

*Cuadro 25.-Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados. Fuente: ACI 211.*

Los valores de dichas tablas se pueden emplear en la estimación preliminar de las proporciones de la mezcla. En aquellos en el que el agregado posee características que obligan a un aumento en el volumen de agua, deberá aumentarse de igual manera el contenido de cemento a fin de mantener invariable la relación agua-cemento, excepto si los resultados de los ensayos de resistencia realizados



con mezclas de prueba preparadas en el laboratorio indican que tal incremento no es necesario.

De manera similar a la tabla anterior, para poder determinar la cantidad de agua de mezcla se emplea la siguiente tabla, en la cual se tiene en consideración la consistencia, el tamaño máximo nominal y perfil de este. Considerando a mezclas sin aire se tiene:

### CONTENIDO DE AGUA DE MEZCLA

| Tamaño máximo nominal del agregado Grueso |        | Contenido de agua en el concreto, expresado en lt/m <sup>3</sup> , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados |                   |                         |                   |                          |                   |
|---|--------|---|-------------------|-------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|   |        | 25 mm a 50 mm (1" – 2")   |                   | 75 mm a 100 mm(3" – 4") |                   | 150 mm a 175 mm (6"– 7") |                   |
| mm  | Pulg   | Agregado Redondeado   | Agregado Anguloso | Agregado Redondeado     | Agregado Anguloso | Agregado Redondeado      | Agregado Anguloso |
| 9.5                                       | 3/8"   | 185   | 212               | 201                     | 227               | 230                      | 250               |
| 12.7                                      | 1/2"   | 182   | 201               | 197                     | 216               | 219                      | 238               |
| 19.1                                      | 3/4"   | 170   | 189               | 185                     | 204               | 208                      | 227               |
| 25.4                                      | 1"     | 163   | 182               | 178                     | 197               | 197                      | 216               |
| 38.1                                      | 1 1/2" | 155   | 170               | 170                     | 185               | 185                      | 204               |
| 50.8                                      | 2"     | 148   | 163               | 163                     | 178               | 178                      | 197               |
| 76.2                                      | 3"     | 136   | 151               | 151                     | 167               | 163                      | 182               |

**Cuadro 26.** Contenido de agua en mezcla. Fuente: ACI 211.

Fuente ACI 211

Con el primer cuadro obtenemos el volumen del aire atrapado en % esperado para un concreto sin aire incorporado y los promedios de contenido de aire de acuerdo al grado de exposición para concreto con aire incorporado intencionalmente por motivos de ciclos de congelamiento , sulfatos, durabilidad, etc.

De este modo se procede a calcular el volumen de agua mediante la siguiente expresión:



$$\text{Vol. Agua (m}^3\text{)} = \frac{\text{Cont. Agua de Mezcla}}{\text{Peso Específico Agua}}$$

### Relación de agua-Cemento (a/c)

Se denomina la relación de agua-cemento a la cantidad de agua que se tiene en la mezcla cuando se tiene en cuenta la condición real de humedad del agregado.

Para la elección de este factor se tiene en cuenta dos criterios, de los cuales se procede a elegir el menor valor. Lo que garantiza el cumplimiento de los requisitos mínimos. Los criterios son:

- Por Resistencia

Esta propiedad es la más medible, por lo que está regulado por la relación de cantidad de agua a cantidad de agua cemento en la unidad cúbica de mezcla.

Asimismo, usualmente son para cementos comunes y la relación de a-c se pueden considerar en base a la siguiente tabla:

### Relación Agua/cemento y resistencia a la compresión

| Resistencia a la compresión a los 28 días a $f'c$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | Relación Agua/Cemento de diseño en peso | Concreto sin aire incorporado | Concreto con aire incorporado |
|---|---|-------------------------------|-------------------------------|
| 450   | 0.38                                    | ---                           | ---                           |
| 400   | 0.43                                    | ---                           | ---                           |
| 350   | 0.48                                    | ---                           | 0.40                          |
| 300   | 0.55                                    | ---                           | 0.46                          |
| 250   | 0.62                                    | ---                           | 0.53                          |
| 200   | 0.70                                    | ---                           | 0.61                          |



**"PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH"**

---

---

|            |      |      |
|------------|------|------|
| <b>150</b> | 0.80 | 0.71 |
|------------|------|------|

**Cuadro 27.**-Relación de agua cemento de acuerdo a la resistencia a la compresión.  
Fuente: ACI 211.

- Por Durabilidad

De acuerdo a lo especificado en el RNE (E060), para lograr una baja permeabilidad, el concreto debe estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas. Asimismo se debe cumplir con el siguiente cuadro.



| Condiciones de exposición   | Relación<br>agua/cemento<br>máximo |
|---|------------------------------------|
| <b>Concreto de baja permeabilidad:</b>  |                                    |
| a.-Expuesto a agua dulce  | 0.50                               |
| b.-Expuesto a agua de mar o salubres  | 0.45                               |
| c.-Expuesto a aguas cloacales.(*)   | 0.45                               |
| <b>Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda</b>   |                                    |
| a.-Sardineles, cunetas, secciones delgadas  | 0.45                               |
| b.-Otros elementos  | 0.50                               |
| <b>Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua del mar, aguas salobres, neblino o rocío de esta agua.</b> | 0.40                               |
| <b>Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm</b>  | 0.45                               |

*Cuadro 28.-Máxima relación agua/cemento permisible para concreto sometido a condiciones especiales a exposición. Fuente: ACI 211*

### **Cálculo de contenido de Cemento**

Ya conocida la relación agua cemento (a/c) se procede a determinar la cantidad de cemento por unidad de volumen al dividir la cantidad la cantidad de agua entre la relación a/c. No obstante, se debe tener en consideración las especificaciones



del proyecto a las cantidades mínimas que se consideren. Dichas especificaciones tienen como objetivo asegurar un acabado satisfactorio y dar una calidad a la superficie de los elementos.

$$C. \text{Cemento} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{C. \text{Agua Mezc.}}{\text{Relación a/c}}$$

$$\text{Vol. Cemento (m}^3\text{)} = \frac{C. \text{Cemento}}{\text{Peso esp. Cemento}}$$

### Selección de contenido de agregado grueso y fino

De acuerdo a lo planteado por el comité ACI 211, de acuerdo al tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino, con ayuda de la siguiente tabla permite determinar un coeficiente  $b/b_o$ , que resulta de la división del peso seco del agregado grueso entre el peso unitario seco y compactado del agregado grueso expresado en Kg/m<sup>3</sup>.

| Tamaño máximo del agregado grueso |        | Volumen de agregado grueso, seco y compactado (*) por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino |      |      |      |
|-----------------------------------|--------|--|------|------|------|
|                                   |        | MÓDULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO   |      |      |      |
| mm                                | pulg   | 2.40   | 2.60 | 2.80 | 3.00 |
| 10                                | 3/8"   | 0.50   | 0.48 | 0.46 | 0.44 |
| 12.5                              | 1/2"   | 0.59   | 0.57 | 0.55 | 0.53 |
| 20                                | 3/4"   | 0.66   | 0.64 | 0.62 | 0.60 |
| 25                                | 1"     | 0.71   | 0.69 | 0.67 | 0.65 |
| 40                                | 1 1/2" | 0.76   | 0.74 | 0.72 | 0.70 |
| 50                                | 2"     | 0.78   | 0.76 | 0.74 | 0.72 |
| 70                                | 3"     | 0.81   | 0.79 | 0.77 | 0.75 |
| 150                               | 6"     | 0.87   | 0.85 | 0.83 | 0.81 |

Cuadro 29.-Volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.



Fuente: ACI 211

Posteriormente de obtener el factor  $b/b_0$  procedemos a calcular la cantidad de agregado grueso requerido para metro cúbico de concreto:

$$\text{Peso Seco A. G.} = \frac{b}{b_0} * (\text{P. U. C. del A. G.})$$

\*A.G: Agregado Grueso

\*P.U.C.: Peso Unitario Compactado

Los volúmenes de agregados finos y gruesos serán:

$$\text{Vol. A. G} = \frac{\text{Peso Seco A. G.}}{\text{Peso Esp. A. G.}}$$

$$\text{Vol. A. F} = 1 - (\text{Vol. agua} + \text{Vol. aire} + \text{Vol. Cem} + \text{Vol. A. G.})$$

El peso seco del agregado fino será:

$$\text{Peso A. F.} = (\text{Vol. A. F})(\text{Peso Especifico A. F.})$$

### **Ajustes por humedad y absorción**

La cantidad de agua añadida a la mezcla se va a ver afectada por contenido de humedad de los agregados. Si estos se encuentran al aire libre, absorben humedad y aumentan su relación a/c, así como su trabajabilidad se ve afectada. De suceder lo contrario y tienen humedad libre en su superficie, la relación a/c aumentará, así como la trabajabilidad, no obstante disminuyendo la resistencia a la compresión. Estos valores serán ajustados, teniendo en cuenta los efectos:

Considerando:

- **Agregado Fino**

$$\%W_f = \text{Humedad}$$

$$\%Abs. F = \% \text{ Absorción}$$

- **Agregado Grueso**

$$\%W_g = \text{Humedad}$$

$$\%Abs. G = \% \text{ Absorción}$$





### Peso de agregados húmedos

$$\text{Peso A.G. Húmedo} = \text{Peso A.G. Seco} * \left(1 + \frac{\%Wg}{100}\right)$$

$$\text{Peso A.F. Húmedo} = \text{Peso A.F. Seco} * \left(1 + \frac{\%Wf}{100}\right)$$

### Agua

$$\text{Agua en A.G.} = \text{Peso A.G. Seco} * \left(1 + \frac{\%Wg - \%Ag}{100}\right)$$

$$\text{Agua en A.F.} = \text{Peso A.F. Seco} * \left(1 + \frac{\%Wf - \%Af}{100}\right)$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua diseño} - (\text{Agua en A.G.} + \text{Agua en A.f})$$

### Cálculo de Proporciones en peso

Para realizar el cálculo de las proporciones se debe considerar el siguiente esquema:

Cemento: Agregado Fino: Agregado Grueso / Agua

$$\frac{\text{Cemento}}{\text{Peso Cemento}} : \frac{\text{Agregado Fino}}{\text{Peso Cemento}} : \frac{\text{Agregado Grueso}}{\text{Peso Cemento}} : \frac{\text{Agua}}{\text{Peso Cemento}}$$

### Cálculo de Proporciones en Volumen

Para realizar el cálculo en volumen es necesario tener los siguientes datos:

- Peso Unitario Suelto del Cemento
- Peso Unitario Suelto de los agregados (Fino y grueso)

$$\text{Cemento: Vol(m3)} = \frac{\text{Peso Cemento}}{\text{P.U. Cemento}}$$

$$\text{Agregado Fino: Vol(m3)} = \frac{\text{Peso A. Fino Húmedo}}{\text{Peso Unitario A. Fino Húmedo}}$$



$$\text{Agregado Grueso: Vol}(m^3) = \frac{\text{Peso A. Grueso Húmedo}}{\text{Peso Unitario A. Grueso Húmedo}}$$

$$\text{Agua: Vol}\left(\frac{\text{lbs}}{\text{bls}}\right) = \frac{\text{Cantidad de agua por } m^3 \text{ de concreto}}{\frac{\text{Peso Cemento por } m^3 \text{ de concreto}}{\text{Peso Cemento por bolsa}}}$$

### Proporciones en volumen

$$\frac{\text{Vol Cemento}}{\text{Vol Cemento}} : \frac{\text{Vol A. Fino}}{\text{Vol Cemento}} : \frac{\text{Vol A. Grueso}}{\text{Vol Cemento}} / \text{Agua}$$

$$C : F : G / A$$

### 2.5.8. PROCEDIMIENTO DE CONCRETO CON ADICIÓN DE FIBRA

Las fibras se añadieron directamente a la mezcla del concreto.

De acuerdo a los antecedentes, de tesis realizadas, en base a la aplicación de estas fibras en concreto. Cuyos resultados apuntaron a la aplicación de una proporción cuyo % óptimo se alcanzó en base a resultados obtenidos en el laboratorio.

De ese modo, se adicionó, un porcentaje de 3%, 6% y 10 % respecto al volumen de material a emplear.

### 2.5.9. ESPECÍMENES DE CONCRETO

Para el control de control de concreto se elaborará especímenes cilíndricos de medidas  $h=30\text{cm}$ ,  $D=15\text{cm}$ , en base al concreto realizado en obra.

Se debe tener en consideración los siguientes puntos:

- Moldes.- Los moldes a emplear deben ser de un material no absorbente y de una resistencia adecuada para trabajar con el concreto. Las dimensiones de las probetas cilíndricas no



deben diferir del diámetro de otra probeta en más de 2%. En la elaboración de los ensayos en la presente investigación se trabajó con probetas de 15 x 30 cm de acero.

- Se debe preparar los moldes previos a su uso. Se debe tener limpio el interior de las probetas, así como considerar el uso de desmoldante, o de ser el caso el empleo de petróleo para cumplir dicha función. Por otra parte, considerar la colocación de los especímenes en un punto cercano a la elaboración de concreto para su llenado y posterior dejado en fragua siguiente a las 24 horas. Asimismo, evaluar la calidad de la superficie en la que se encuentra trabajando.
- Varilla Compactadora.- Esta varilla ha de ser de acero, cilíndrica de dimensiones entre 12” a 50”. Esta puede ser de diámetro de 5/8.
- Martillo de Goma.-Este martillo de caucho cuyo peso puede variar entre 0.6 ±0.23kg se emplea para garantizar la eliminación de los vacíos creados al momento del vaciado.
- Vibradores

Estos equipos varían de acuerdo a su capacidad, por lo que se tienen vibradores Internos y Externos. El vibrador interno tiene una capacidad de 7000 rpm abierta a mayor. Mientras que un vibrador interno la vibración producida oscila entre 3600.

En el proyecto se empleó un vibrador externo del laboratorio de la universidad Nacional del Santa

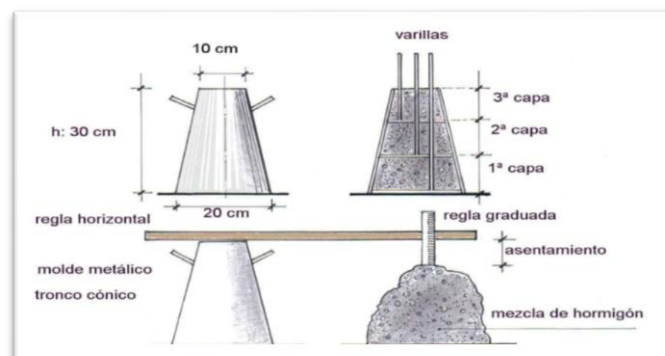
- Mezcladora de Concreto

La herramienta de la Mezcladora puede ser manual o automática. Para concretos de baja asentamiento se recomienda emplear un recipiente mezclador de manera que tenga una preparación manual. La misma que debe considerar el ratio de rotación, ángulo de inclinación del tambor, y trabajar a una capacidad inferior de trabajabilidad a lo que se encuentra especificada.

### 2.5.10. ASENTAMIENTO

Para determinar el asentamiento de la mezcla de concreto a emplear se emplea los siguientes instrumentos:

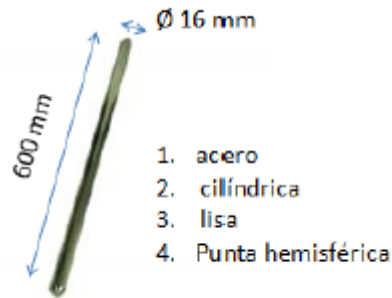
- Molde.-El molde debe ser metálico y con la superficie que garantice una adherencia nula del concreto respecto a esta. El espesor mínimo de las paredes del molde debe ser de 0.045”. El molde cónico debe tener como medida de la base mayor  $4" \pm 1/8"$  y en la base menor  $12" \pm 1/8"$ . Ambas bases deben estar abiertas. Se debe garantizar que el interior del molde se encuentre libre de abolladuras o algún tipo de protuberancia que afecte la correcta ejecución de los ensayos. Asimismo, el molde debe contar con un tipo de agarraderas que permita la sujeción del molde tanto en la parte superior como en la parte baja del cono. Tal como se muestra a continuación en la figura.



*Ilustración 10.-Cono de Abrahms para determinar el asentamiento del concreto.*



- Varilla.- Se especifica una varilla lisa de acero de diámetro 5/8” y de longitud entre 50 a 60cm y con extremo compactador hemisférico de radio 5/16”.



*Ilustración 11.-Varilla compactadora*

- Procedimiento:
  - En primer lugar se han de ha de humedecer el molde y colocarlo en una superficie lisa, y trabajable.
  - Posteriormente apoyándose en puntos de sujeción se va llenando el molde de concreto por capas. En tres capas a 1/3” por cada una.
  - Cada capa se ira llenando y luego compactando con el uso de la varilla compactadora. La cual debe aplicarse usando 25 golpes. Para la primera capa como recomendación se debe inclinar la varilla y dar la mitad de los golpes en el área cerca al perímetro, y los restantes en forma circular hasta llegar al centro. Las siguientes capas deben ir compactándose de manera que penetren de manera ligera en la capa inferior.
  - Se debe completar el molde con concreto y alisar a ras del molde, de la base superior del cono.

- Una vez limpia la zona de la parte baja de la superficie lisa del cono, el molde es retirado cuidadosamente en dirección vertical. El tiempo de remoción del molde debe darse entre un lapso de  $5 \pm 2$  seg. Cuidando en aplicar algún tipo de movimiento lateral o de torsión.
- Todo el proceso no debe durar más de 2 minutos y medio.
- Por tema de fraguado, se debe realizar el ensayo a más tardar 5 minutos después de haberse tomado la muestra.
- Al retirarse el molde se coloca a un costado de la muestra y se mide el asentamiento. Lo cual no es más que la diferencia de altura del molde y la altura medida sobre el centro original de la base superior del espécimen.



**Ilustración 12.**-Procedimiento para el asentamiento del concreto.

*Fuente: José Álvarez Canguala*

- Si al momento de realizar el ensayo la muestra se desprende de manera muy pronunciada se debe repetir el ensayo. De repetirse el resultado, el concreto carece de plasticidad y cohesión para que el ensayo de asentamiento pueda ser aplicable.



### 2.5.11. RESISTENCIA DE TESTIGOS DE CONCRETO – PROBETAS

El ensayo consiste en aplicar una carga axial de compresión a cilindros moldeados o a núcleos, a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla. La resistencia a la compresión del espécimen se determina dividiendo la carga aplicada durante el ensayo por la sección transversal de este. (Chapoñan, J, Quispe C. (2017).

El número de cilindros individuales medidos para la determinación del diámetro promedio será de uno por diez probetas o tres probetas por día, el que sea mayor. Si todos los cilindros son hechos de un lote de moldes re-usables o de uso simple, que consistentemente producen cilindros con diámetros promedio dentro del rango de 0.5 mm. Cuando el diámetro promedio no está en el rango anteriormente descrito o cuando los cilindros no son hechos de un simple lote de moldes, cada cilindro de ensayo deberá ser medido y el valor usado en calcular la unidad de resistencia a la compresión de cada probeta. Cuando los diámetros son medidos a frecuencias reducidas, las áreas de la sección recta de todos los cilindros ensayados en el mismo día serán computados del promedio de los diámetros de tres o más cilindros representativos del grupo ensayados ese día. (NTP 339.034, Pag. 10).

#### **Procedimiento:**

- Los ensayos se han de realizar luego de ser retirados de la zona de curado húmedo



- Los cilindros deberán ser protegidos de pérdida de humedad por cualquier método durante el periodo de curado.
- Los cilindros para ensayo deberán cumplir una determinada edad de ensayo de acuerdo a los siguientes:

| Edad de Ensayo | Tolerancia Permisible |
|----------------|-----------------------|
| <b>24 h</b>    | ±0.5 h ó 2.1%         |
| <b>3 d</b>     | ±2 h ó 2.8%           |
| <b>7 d</b>     | ±6 h ó 3.6%           |
| <b>28 d</b>    | ±20 h ó 3.0%          |
| <b>90 d</b>    | ±48 h ó 2.2%          |

*Cuadro 30.-Tolerancia permisible de acuerdo a la edad de ensayos. Fuente: NTP 339.034 Pg. 11*

- Se coloca el bloque de rotura sobre el cabezal de la máquina de ensayo, y el superior bajo la rótula del cabezal. Se debe tener en cuenta que los ejes se mantengan en el centro de empuje de la rótula del bloque que asienta.
- Verificación de que las cargas en la maquina sean cero antes de iniciar el proceso.
- La carga a aplicarse para el ensayo será con una velocidad de movimiento de acuerdo a una velocidad de esfuerzo sobre la probeta de  $0.25 \pm \text{Mpa}$
- Se irá incrementando la velocidad de carga hasta llegar a producir la ruptura. No se debe realizar cambios de velocidad de movimiento cuando se encuentre aplicando la carga y la velocidad de esfuerzo disminuya debido a la fractura del espécimen.
- Se ira llevando un registro de estos valores obtenidos, para luego proceder a realizar el registro y obtención de





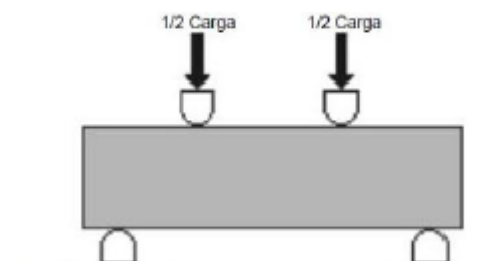
resultados, de acuerdo a las edades de ruptura, y tipo de espécimen.

### 2.5.12. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DE CONCRETO EN VIGAS

Se denomina resistencia a la flexión de concreto en vigas a la medida de resistencia a la falla por momento de una viga de concreto no reforzado. Dichas vigas serán de dimensiones de 15 cm x 15 cm de sección y con una luz 3 veces el espesor de esta, las cuales pasarán a soportar cargas.

Se debe considerar una tolerancia en la distancia libre entre apoyos de al menos 2%.

Las superficies en contacto con los puntos de aplicación de carga y soporte deben estar libre de algún tipo de grietas, agujeros, etc.



*Ilustración 13.-Esquema de un equipo adecuado para el ensayo de flexión del concreto usando una viga simple cargada en los tercios de la luz. Fuente: ASTM C 78*

#### Procedimiento:

- Una vez extraído los especímenes del área de curado, se procede a llevar a realizar el ensayo respectivo.



- Los bloques se colocaron en contacto con la superficie de la viga en los puntos tercios entre los soportes y se aplica una carga entre el 3% y el 6% de carga última estimada. Para ello, se emplearán calibreadores normalizados entre 0.1 y 0.38 mm y se determina si en una longitud de 25 mm o más larga se presenta un vacío entre la muestra y la superficie del bloque mayor o menor que el espesor de los calibreadores.
- Para eliminar cualquier tipo de vacío o grieta que el espécimen pueda presentar se emplean láminas de cuero cuyo espesor debe ser 6.4mm y ancho entre 25 a 50 mm.
- Se recomienda minimizar el pulimento de superficies laterales para evitar la variación considerable en las características y por ende de los resultados del ensayo.

## **2.6. PAVIMENTOS DE LOSAS CORTAS TCP**

### **2.6.1. LOSAS CORTAS ESTUDIOS.**

El pavimento de losas cortas se originó en Chile en el 2005, un grupo de especialistas realizó una investigación para lo cual apareció la losa corta o de geometría optimizada lo que originó diferentes tipos de investigación con el objetivo de mejorar el uso de esta nueva tecnología, señala J. Covarrubias Gerente General de **TCPavements (TCP)**.

Las losas optimizadas es una invención chilena que se logró validar en todo el mercado de América Latina y a su vez viene siendo



integrado a las técnicas aprobadas por los Estados Unidos. Este tipo de losas favorecen la reducción de los espesores hasta de un 30% en relación con los pavimentos convencionales y por consecuencia esto genera una reducción de sus costos.

Para las losas cortas Según M. Becerra (2012, p.225 – 226) (1) el análisis se debe realizar mediante la estimación de los esfuerzos y deformaciones máximas admisibles para una estructura de pavimento de concreto, de esta manera el análisis se limita a modelar, dentro de algún programa de elementos finitos aplicado para los pavimentos. Los esfuerzos y deformaciones que el diseñador aceptara después del peso de las cargas de tránsito, pudiendo considerar la acción del clima la temperatura y la humedad del terreno en donde se realizara el proyecto.

En la actualidad se vienen creando software dentro del marco de los elementos finito capaces de modelar pavimentos convencionales y también aquellos en las cuales se usará losas optimizadas tales como el EverFe publicado por Transportation Research Board (TRB), El ISLAB 2000 el cual fue empleado en el MEPDG 2008.

El Instituto Chileno del Cemento y Hormigón (ICH) y el Dr Juan Pablo Covarrubias vienen realizando investigaciones independientes en la universidad de Illinois con el cual han logrado justificar el empirismo con el que trabajaron inicialmente en el tema de losas optimizadas en algunos países del centro de América y así fortaleciendo este tipo de investigaciones innovadoras en el campo de los pavimentos.

En el año 2013 la empresa de inversionistas Chilenos conocida como TCpvement lanza esta tecnología a través de su software Optipave (que incluye corridas del ISLAB 2000) con la finalidad de obtener la reducciones de espesores de losas a las cuales se consideran como



losas optimizadas por su dimensiones con respecto a los pavimentos convencionales.

### 2.6.2. FUNDAMENTO TEÓRICO DE PAVIMENTO TCP

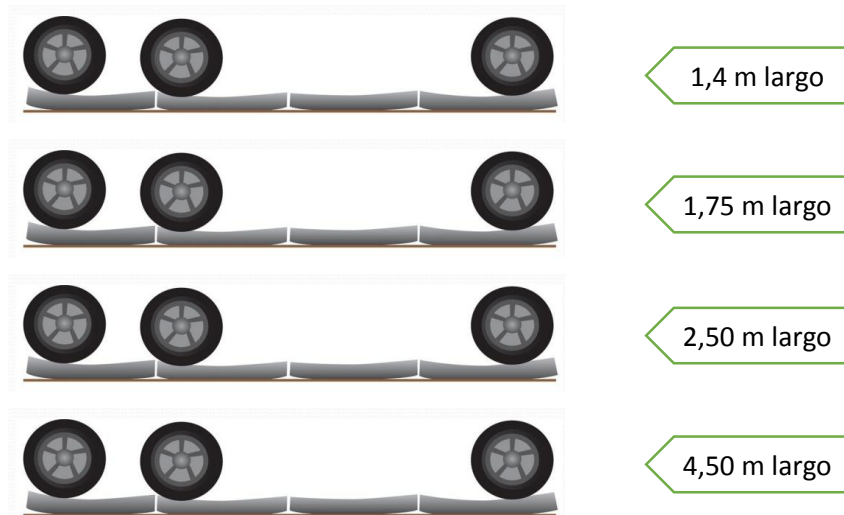
El diseño de los pavimentos tcp se originó en Chile por el Ing. Juan Pablo Covarrubias como una propuesta de solución ante los diversos problemas que sufren los pavimentos tradicionales a lo largo de su vida útil el cual trae como consecuencia mayores gastos en su reparación a su vez ocasiona congestión vehicular.

El diseño del tcp comienza con el dimensionamiento de las losas de tal forma que cada losa cargue solo una rueda para que estas no sean sobrecargadas, a raíz de este concepto se llegó a demostrar mediante el AASHTO Road Test El cual fue realizado por la Universidad de ILINOIS (EE.UU) donde se realizó un modelo a escala real de una vía con este pavimento para ver el comportamiento real ante el tráfico.

El cual verifico que la teoría esta en lo correcto se hizo uso de programas de computo como el ISLAB2000 y el EverFE, mediante ellos se logra hallar las deformaciones y los esfuerzos aplicados en las diferentes capas de la estructura de pavimento; las dimensiones de este tipo de losas tienen un importante efecto de tensiones en el concreto cuyas tensiones son generadas por el factor de cargas de los camiones los cuales producen un agrietamiento producido por fatiga y a su vez causa un efecto de posición de ruedas sobre la losa de pavimento. La principal característica de estos pavimentos es que unen la geometría de las losas y la posición de las ruedas.

Para realizar el obtener un pavimento TCP se tiene que dimensionar la losa de pavimento de tal manera que cada set de ruedas pise una losa a la vez. Dado que en una vía pasan diferentes vehículos se

escoge el vehículo más dañino, salvo que se conozca el tráfico y se diseñe con el tipo de vehículos que pasa mayor cantidad de veces por la vía el cual se considera como un vehículo patrón.



*Ilustración 14.- En la imagen se describe el diseño que plantea TCP, el cual busca que cada set de ruedas afecte a cada paño una a la vez. Fuente: Tc Pavements.*

Al reducir las tensiones en la parte superior de la losa incrementa la vida útil del pavimento y visto de otro punto de vista, permite reducir el espesor de este para lograr las mismas tensiones y vida útil obtenidas del diseño del pavimento tradicional.

En conclusión, cuando las tensiones generadas por las cargas son menores entonces se puede usar menor espesor en el pavimento de concreto.

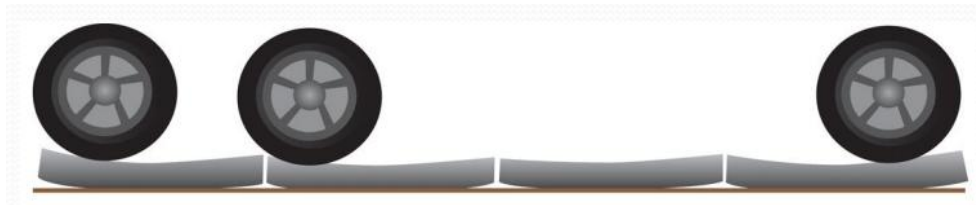
### 2.6.3. DEFINICIÓN DE DISEÑO DE LOSAS CON GEOMETRÍA OPTIMIZADA TCP





- Las dimensiones de las losas el largo de la losa es parte del diseño del espesor (1,3 a 2.5 m de largo)
- Dimensión de losas optimizadas por posición de las cargas del camión de diseño.

La capa delgada en el concreto produce una reducción de los esfuerzos a tracción en el pavimento el cual trae como consecuencia la reducción del espesor de las losas. Los esfuerzos de tracción en una losa son una función de las condiciones de cargas y las condiciones climáticas en donde se encuentra el pavimento; Estos esfuerzos se reducen a través del cambio de dimensiones de la losa de pavimento la cual comúnmente tiene medidas de 4.50 m por 3.60 aprox. A dimensiones de 1.80 m x1.80 m. propuesto por el diseño TCP de tal forma que cada paño reciba la carga de una rueda en todo momento.



**Ilustración 15.-** En la imagen se describe el diseño que plantea TCP, losas de 1.80m x1.80 . Fuente: Tc Pavements.

Según la geometría de las losas (tamaño y espesor) cuando las dimensiones se reducen los esfuerzos a su vez se van reduciendo.



| ESFUERZO<br>MAX.<br>(KG/CM <sup>2</sup> ) | DIMENSIONES DE LOSA |              |                |
|---|---------------------|--------------|----------------|
|   | LONGITUD<br>(m)     | ANCHO<br>(m) | ESPESOR<br>(m) |
| 25,035                                    | 4,50                | 3,60         | 0,2            |
| 24,613                                    | 2,50                | 1,80         | 0,14           |
| 25,105                                    | 1,80                | 1,80         | 0,16           |
| 24,824                                    | 1,40                | 1,80         | 0,13           |

**Cuadro 31.-** Según la geometría de las losas el estudio demuestra la reducción de los espesores de acuerdo al cambio de geometría. Fuente: Illinois Center Transportation. Performance of concrete Pavements With Optimized Slab Geometry, Agosto 2009.

Al reducir las dimensiones y a su vez el espesor de la losa, las deflexiones aumentan significativamente lo cual la deformación permanente la erosión y el potencial de bombeo viene a ser fundamental pero a su vez son factores de control.

#### 2.6.4. FUNCIONAMIENTO DE LAS LOSAS CORTAS

Los pavimentos ultra delgado de hormigón está compuesto por losas de menores dimensiones que las tradicionales con el objetivo que disminuir las tensiones ejercidas en cada paño y a su vez disminuir el espeso lo cual conlleva a reducir el costo por ejecución de este tipo de proyectos.

Este tipo de pavimentos hace que cada paño de TCP reciba la carga de solo una llanta del vehículo de diseños lo cual hace que las tensiones se distribuya en solo el paño, este paño está compuesto por concreto hidráulico con la adición de fibras de polipropileno y metálicas para incrementar su resistencia y a su vez incrementar el tiempo de vida del pavimento ganando así una mayor resistencia, calidad de servicio, vida útil del pavimento y mejorando su costo con relación a los pavimentos rígidos convencionales y a su vez ser una alternativa competitiva a los pavimentos flexibles por su bajo costo y mayores ventajas.

## 2.6.5. FACTORES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS DEL CONCRETO

### 2.6.5.1. EFECTO DE LA RIGIDEZ DE LA SUB BASE EN EL LARGO DEL VOLADIZO TENSIONES A TRACCIÓN

Para el diseño de pavimentos convencionales por el método AASHTO, se tiene en consideración las dimensiones óptimas de 4.5 m de largo con un ancho igual a el ancho de la vía. Estas dimensiones se diseñan en un sentido que en los dos ejes del vehículo de diseño estén en el mismo paño es decir los ejes delantero y trasero queden en los bordes del mismo paño, generando así grietas longitudinales y transversales en la losa.

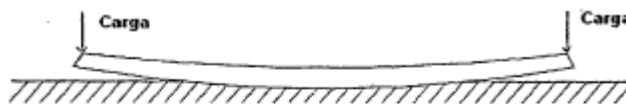


Figura 3.7: Tesis S. BURBOA (P.16)

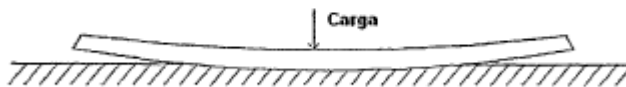


Figura 3.8: Tesis S. BURBOA (P.16)

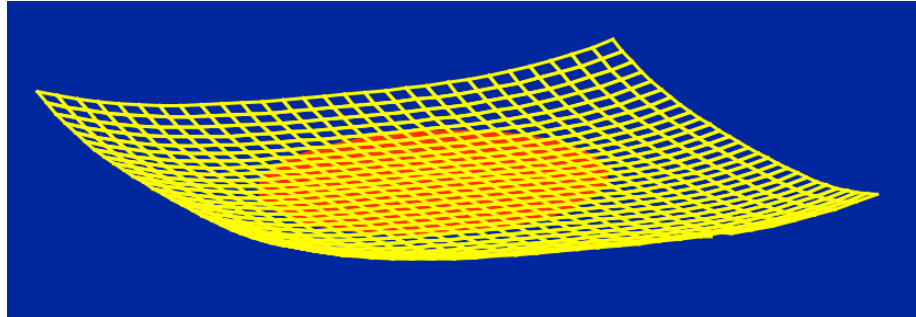
**Ilustración 16.-** Debido a las cargas que se generan en la losa hace que la losa tenga que alabearse y levantarse en los bordes. Fuente: Tesis Burboa. Pag . 16

Generándose así una especie de círculo cuya dimensión dependerá de la rigidez que se presente en la base, si esta base tiende a ser muy rígida entonces el círculo será pequeño y los voladizos largos; cuando la losa es pisada por un camión las tracciones en la losa vienen a ser altas en la cara superior; caso contrario cuando la base es poco rígida el círculo viene a ser mayor y en consecuencia los voladizos son menores pero aumentarían las tensiones de tracción en la cara inferior cuando el camión pisa en el centro de la losa es por eso el soporte de





la losa debe trabajar con valores aproximados a 30 y 50% para encontrar un rigidez correcta.



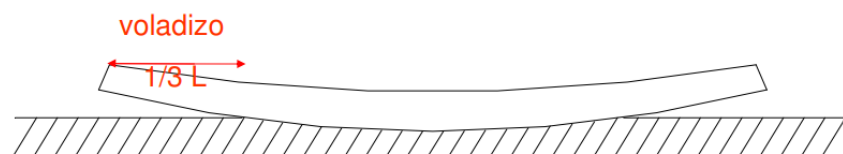
*Ilustración 17.- comportamiento de un paño en frente al paso de un vehículo, Fuente: Pavimentos de hormigón - comportamiento y diseño Juan Pablo Covarrubias.*

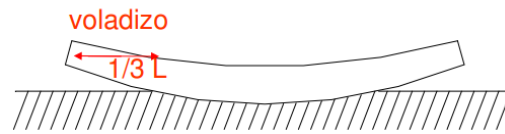
### 2.6.5.2. EFECTO DEL LARGO DE LA LOSA

Cuando el vehículo de diseño pasa por la losa esta se alabea y deja un voladizo que por lo general viene a ser la tercera parte de su longitud. Por lo tanto, se llega a la conclusión de que cuanto más grande se a las dimensiones de la losa, mayor voladizo generara. Es por esto que se recomienda reducir las dimensiones de la losa.

### 2.6.5.3. EFECTO DEL ALABEO EN LAS LOSAS DE CONCRETO

El efecto del alabeo se produce por una fuerza ubicada en la superficie de la losa el cual es ocasionado por el secado y retracción causada por un diferencial térmico en la misma superficie de concreto.



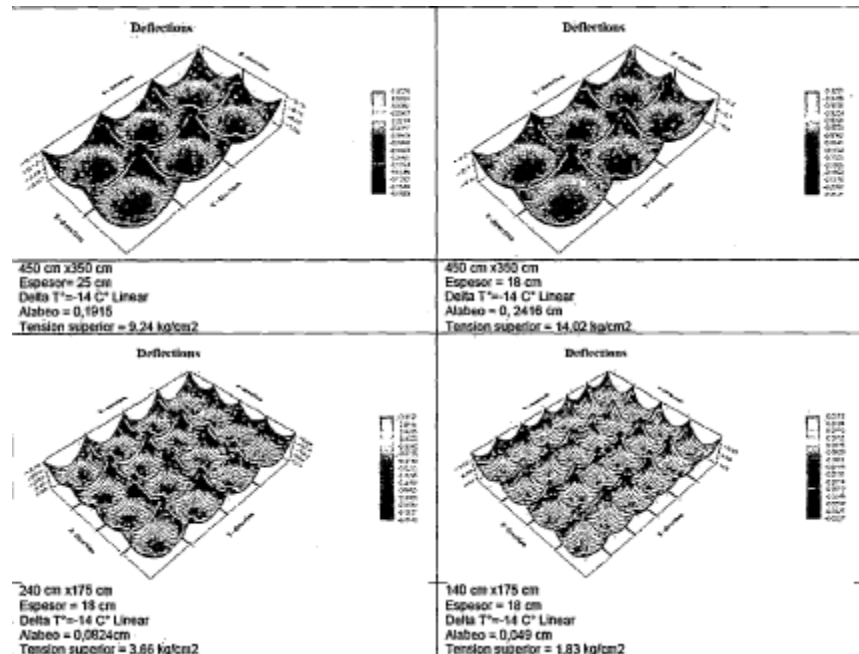


**Ilustración 18.-** Comportamiento de una losa causado por un diferencial térmico, Fuente: Pavimentos de hormigón - comportamiento y diseño Juan Pablo Covarrubias.

Este alabeo es causado por el secado, el cual se debe a la diferencia de humedad entre la parte superior e inferior de la losa en el cual vemos que la parte superior va permanecer siempre seca y lo cual no sucede con la parte inferior que va a estar constantemente húmeda por lo que se genera un alabeo hacia arriba.

El alabeo se mide cuando el gradiente térmico es cero.

En las losas convencionales siempre va a estar con las puntas hacia arriba y esta va a depender del largo de las losas por lo que las losas optimizadas permiten reducir las medidas de las losas lo cual genera menor brazo de palanca y a su vez disminuirían las tenciones en la parte superior.



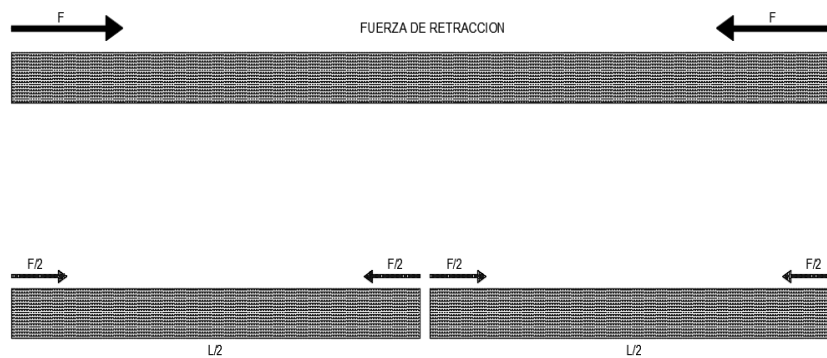
**Ilustración 19.-** Factores que afectan el comportamiento en las losas de un pavimento Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos).



En la imagen se puede apreciar una comparación de deformaciones (alabeo) entre dos losas de dimensiones distintas en las cuales se calcularon las tensiones por peso propio se puede apreciar que en las losas de 3.00 m se obtiene un alabeo considerablemente menor por lo cual se genera tensiones menores.

El alabeo se reducirá considerablemente al tener un correcto cuidado del proceso constructivo teniendo en cuenta factores como la humedad superficial con un curado constante antes que se produzca la rigidez del elemento, tener cuidados en la base que el cbr sea la adecuada temperatura y algunos factores que ayudaran a reducir el alabeo.

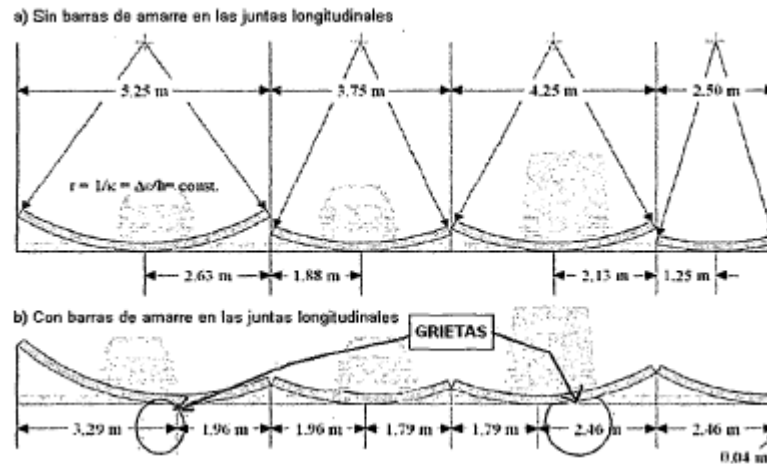
La temperatura juega un papel importante en el proceso constructivo debido a que el vaciado del concreto en horas d en la tarde reduce el alabeo por retracción térmica caso contrario si se realiza el vaciado en horas de la mañana la parte superior de la carpeta se secura y se endurecerá con mayor velocidad.



**Ilustración 20.-** Comportamiento de una losa frente a un esfuerzo Fuente: Elaboración propia.

Las juntas juegan un papel importante ya que es necesario aserrar las juntas lo más antes posible antes que se genere una fuerza de retracción y así evitar el alabeo a cuanto más grande es la dimensión de la losa mayor fuerzas de alabeo se producirán.

#### 2.6.5.4. EFECTO DE LAS BARRAS DE AMARRE (DOWELS) ENTRE PISTAS EN EL AGRIETAMIENTO



*Ilustración 21.- En la figura se puede apreciar que las barras de amarre colocadas entre las pistas en la junta longitudinal, aumentan el agrietamiento esto se produce porque se permite a la losa balancearse se reduce el largo del voladizo disminuyendo las tensiones, la losa funciona como una balanza haciendo que ajuste a los largos de voladizo en torno a la posición de las cargas y al punto de apoyo. Fuente: tesis Burboa pág. 121.*

En este sistema de diseño de pavimentos ultra delgado no llevan refuerzo en las juntas (dowels) para dejarlas balancearse y además se colocan barras en las esquinas de las losas para evitar un desplazamiento y así evitar la separación de la pista.

#### 2.6.5.5. TENSIONES EN LOSAS CORTAS

En el diseño de losas tradicionales ambos ejes de un vehículo de diseño debido a que las dimensiones de la losa están hechas para que ambos sets de ejes tanto delantero y trasero se posen en una sola ; generando así que losa borde que se generan por el alabeo se nivelen pero a su vez origina tensiones de tracción en la cara superior de las losas las cuales inician de arriba hacia abajo.

Caso contrario sucede en los pavimentos ultra delgados que al reducir los tamaños de las losas hace que cada set de ruedas



este cargada por losa lo cual disminuye el consumo de fatiga por pasada y mejorando el comportamiento.

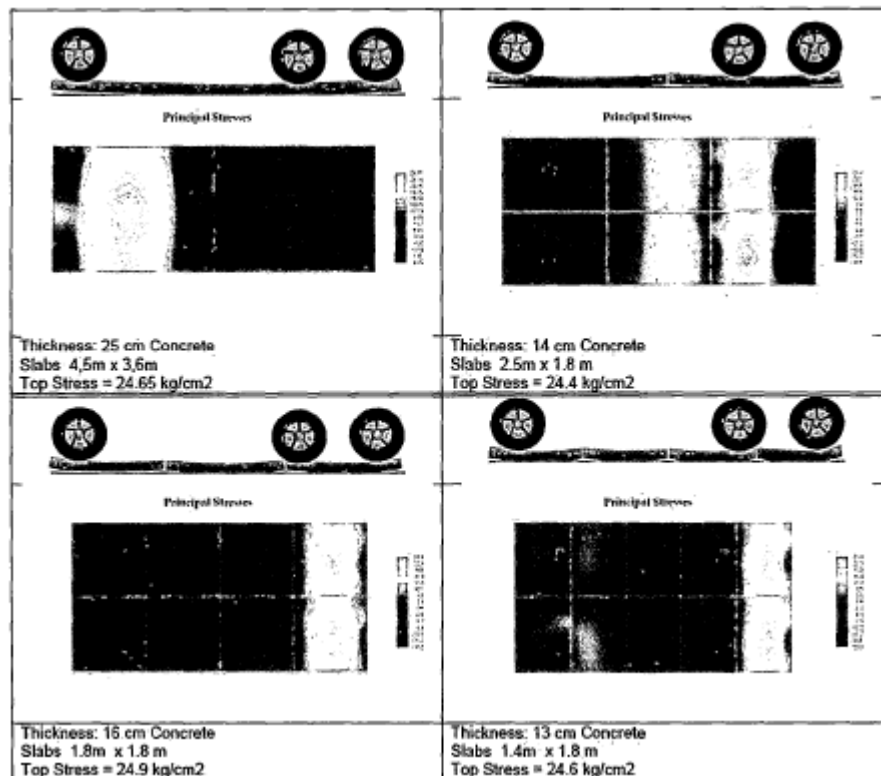
### 2.6.6. METODOLOGÍA DE DISEÑO TCP

Esta nueva tecnología “TCP” tiene como base a que con el paso del vehículo cada losa del pavimento sea pisada por un set de ruedas a la vez lo cual origina que las tensiones disminuyan en la parte superior de la losa y a su vez no se produzca el efecto de pandeo de la losa cuando se encuentra apoyada en el suelo

| Largo (m) | Espesor (cm) | $\sigma_c$ (Mpa) |
|-----------|--------------|------------------|
| 4,5       | 15           | 4,0              |
| 4,5       | 12           | 5,0              |
| 4,5       | 10           | 6,0              |
| 4,5       | 8            | 7,5              |
| 1,75      | 15           | 0,6              |
| 1,75      | 12           | 0,8              |
| 1,75      | 10           | 0,9              |
| 1,75      | 8            | 1,1              |

**Cuadro 32.-** Tensiones por peso propio para losas de diferentes geometrías.  
Fuente: elaboración propia.

En este esquema se puede apreciar las tensiones en la parte superior de las losas, para diferentes configuraciones geométricas de cargas con respecto a sus dimensiones, el programa que se usó para determinar estos resultados se usó el programa ISLAB2000.



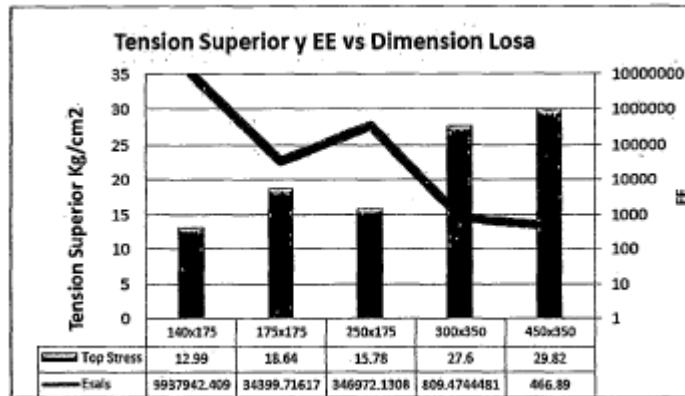
**Ilustración 22.-** Se muestra los diferentes tamaños de losas optimizadas según la carga de los camiones y un espesor requerido en cada situación para obtener una vida útil. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

### 2.6.6.1. MODELACIÓN DE SUELO

En el diseño de pavimentos TCP la modelación del suelo es un aspecto muy importante, ya que debido a la estructura del concreto en un pavimento convencional siempre se ha tenido en cuenta que la losa de concreto es suficiente para soportar la carga de los vehículos y no soportar tensiones por punzonamiento, tal es el caso para losas gruesas es preferible usar sub bases blandas con CBR entre 20% y 50% para mejorar el apoyo de este en el suelo.

Al aplicar este concepto en las losas pequeñas el efecto es menos relevante ya que el voladizo es menor, en casos que se tenga espesores menores a 12 cm se requiere que la base sea más rígida y así pueda trabajar menor con el paso de las cargas que producen tensiones de punzonamiento es por eso que la

sub base debe tener una rigidez suficiente para tomar cargas con CBR >80%.(Covarrubias ,2008)



**Ilustración 23.**- Se muestra un cuadro comparativo entre las tensiones generadas por el paso de los vehículos vs la dimensión de una losa. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

## 2.6.7. FACTORES Y PARÁMETROS PARA EL DISEÑO DE TCP

### 2.6.7.1. LARGO DE LOSA

Para realizar el pre dimensionamiento se realiza para que las losas puedan contener un set de ruedas con el objetivo que el concreto trabaje a compresión mas no a flexion.

Para definir las dimensiones de la losa se tiene que calcular el espesor con el que se trabajara el pavimento teniendo en cuenta los siguientes criterios.

- 140 cm : caso donde el eje tándem queda en losas distintas.
- 180 cm : caso donde el eje tándem quede en la misma losa.
- 220 cm : caso en donde el eje tándem quede en el centro de la losa y en el borde de la otra.



Para pavimentos de tránsito medio y clima normal se recomienda losas de 220 cm de largo. Para clima extremos (gradientes térmicos altos) o tránsito en una dirección se recomienda losas de 180 cm de largo. El ancho de las losas deberá ser media pista (175 cm) se tiene que tener en cuenta las condiciones de borde con la cual se haga el diseño.

### 2.6.7.2. TENSIONES DE CONCRETO

Para calcular las tensiones generadas en los lugares críticos de una losa se tiene que tener en cuenta lo siguientes factores (carga de tráfico, espesor, alabeo, tipo de eje etc.)

#### Tensiones de pasada admisibles

Para calcular el número máximo de pasadas dadas de las tensiones ,máximas generadas se tiene que aplicar los modelos de verificación de fatiga del PCA84

$$\log(N_{ijkl}) = 2 * \left( \frac{C_3 * \sigma_{ijkl}}{MOR * C_1 * C_2} \right)^{-i.22}$$

Donde

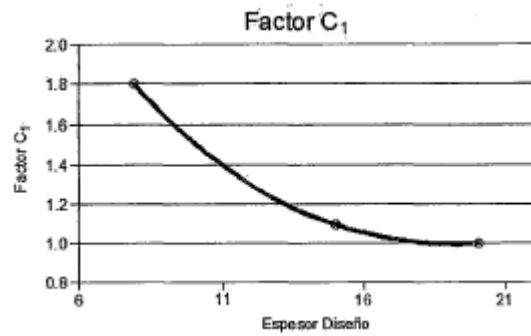
$N_{ijkl}$  : Número de pasadas admisibles para posición del eje k, condición de alabeo i y condición de carga j, superior o inferior (l)

$\sigma_{ijkl}$  : Tensión principal máxima calculada para la posición del eje k, condición de alabeo i, condición de carga j, superior e inferior (l)

MOR : Resistencia a la flexotracción media a 90 días

$C_1$  : Factor de calibración por geometría y espesor de losa, determinado según la imagen.





**Ilustración 24.-** Se muestra un cuadro comparativo entre el factor de calibración por el uso de fibras vs el espesor de diseño. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

$C_2$  : Factor de calibracion por uso de fibras estructurales en concreto si no se usan fibras su valor sera 1 en caso contrario sera determinado por la siguiente formula

$$C_2 = (1 + \frac{R_{ac}}{100})$$

$C_3$  : Factor por tipo de borde(se utiliza en posiciones de borde

### 2.6.7.3. DAÑO DE FATIGA EN UN PUNTO DETERMINADO

El daño por fatiga se determina por la siguiente fórmula:

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}}$$

Donde

$FD_k$  : Daño por fatiga para una posicion determinada el eje  $k$

$n_{ijk}$  : Numero de pasadas para la tension local 1 para condicion  $i, j, k$

$N_{ijk}$  : Numero de pasadas permitidas para la tension local 1 para condicion  $i, j, k$

$i$  : Condición de alabeo

$j$  : Condicion de Carga

$k$  : Posicion del eje

### Porcentajes de losas agrietadas para un 50% de confiabilidad

Se determina por la siguiente formula:



$$\%Cracks_{ki} = \frac{1}{1 + FD_{ki}^{-1,98}}$$

Donde

$\%Cracks_{ki}$  : Porcentaje de losas agrietadas en posición del eje  $k$

$FD_{ki}$  : Daño por fatiga con el eje en la posición  $k$  y ubicación de esfuerzo 1

**Cálculo del porcentaje de losas agrietadas totales, fibra superior e inferior**

$$Tcracks_i = MAX(\%Cracks_{ki})$$

**Cálculo del porcentaje de losas agrietadas final 50% de confiabilidad**

$$TTcracks_{50} = Tcrackss + Tcracksi - Tcracksi * Tcrackss$$

Donde

$TTcracks_{50}$  : % total de losas agrietadas, 50% confiabilidad

$Tcracksi$  : % losas fisuradas desde la parte inferior

$Tcrackss$  : % losas fisuradas desde la superficie

**Cálculo confiabilidad porcentajes de losas agrietadas**

$$TTcracks_m = TTcracks_{50} * Z_r * S_e$$

$$S_e = (5,3116 * TTcracks_{50}^{0,3903}) + 2,99$$

Donde

$TTcracks_m$  : % losas agrietadas,  $m\%$  confiabilidad

$TTcracks_{50}$  : % total de losas agrietadas, 50% confiabilidad

$Z_r$  : Coeficiente estadístico, asociado a nivel de confianza  $(1 - R)$  en una curva de distribución normal

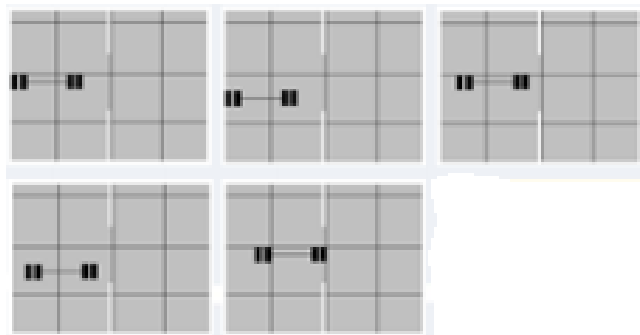
$S_e$  : Desviación normal del error combinado

## 2.6.8. MÉTODO TCP PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTO

Para el desarrollo del método TCP para pavimentos ultra delgados es necesario conocer los siguientes parámetros.

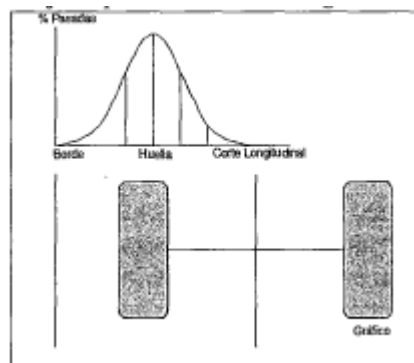
### Posición de daño crítico

Ante las constantes cargas cíclicas y repetitivas que en el pavimento se evalúa y se estudia como la posición del eje tandem genera un mayor daño por fatiga



**Ilustración 25.-** Distribución de llantas en paños de losas. Fuente: TCPavements

### Porcentajes de pasadas sobre cada lugar en las losas



**Ilustración 26.-** Distribución de pesos en eje de llantas en paños de losas. Fuente: TCPavements



Según AASHTO Road test se realizaron ensayos a gran escala determinando que las zonas que se describen en la imagen sufren la máxima fatiga es por eso que se debe realizar el análisis de acuerdo a las posiciones de carga y el modelo que presente un resultado mayor se usa para el diseño.

este tipo de análisis se realiza solo para la fibra superior y en las esquinas y la huella en el corte transversal.

La cantidad de ejes tándem y tridem se determina aplicando la siguiente ecuación

$$N^{\circ} \text{ de ciclos de carga} = F_u * EE$$

$$N^{\circ} \text{ de ciclos de carga tándem} = EE * F_u * (\% \text{Ejes Tandem} + 2 * \text{Ejes tridem})$$

El siguiente cuadro indica las pasadas recomendadas por posición el cual será la cantidad de pasadas solicitadas (EE de diseño) para encontrar la cantidad de pasadas reales en cada punto.

La siguiente tabla sacada del programa Optipave, ayuda.

| Posición                         | Pasadas (Fu%) |
|----------------------------------|---------------|
| <b>Borde</b>                     | 8%            |
| <b>Huella (40 cm. Del borde)</b> | 30%           |
| <b>Corte longitudinal</b>        | 8%            |

**Cuadro 33.-** Porcentaje de pasadas

Fuente: elaboración propia

### Tránsito

Para método TCP se tiene que conocer los siguientes parámetros

- **Ejes equivalentes solicitantes (EE)**



Los ejes equivalentes se expresan como ejes acumulados durante el periodo de vida de diseño, los pavimentos ultra delgados con losas optimizadas deberán diseñarse en una sola etapa.

▪ **Distribución de Eje**

este valor se expresa en porcentajes de ejes equivalentes generados por cada eje de acuerdo al siguiente cuadro. La siguiente tabla sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)

| Tipo de eje                         | Distribución de ejes (%) |
|-------------------------------------|--------------------------|
| <b>Eje simple rueda simple ESRS</b> | 20%                      |
| <b>Eje simple rueda doble ESRD</b>  | 40%                      |
| <b>Eje doble rueda doble EDRD</b>   | 30%                      |
| <b>Eje triple rueda doble ETRD</b>  | 10%                      |

**Cuadro 34.- Distribución de Ejes**

*Fuente: Elaboración propia*

▪ **Sobrecarga**

La sobrecarga es un parámetro que se incluye como un factor de seguridad se evalúa un ESRD con un 20% de sobrecarga tomado en cuenta las posibles iteraciones que pueda existir por este efecto.

Se recomienda considerar un 10% de sobrecarga para un diseño seguro en el caso de existir sobrepeso mayor a lo señalado en párrafo anterior.

**Porcentaje de Losas Agrietadas (TT craks)**

Este parámetro se determina a partir del daño en un tiempo determinado y no necesariamente la vida útil del pavimento.

La siguiente tabla sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)



| Clasificación del Camino      | Losas Agrietadas (%) |
|-------------------------------|----------------------|
| Vías principales y autopistas | 10-20                |
| Vías Colectoras               | 10-30                |
| Caminos Secundarios           | 30-50                |

**Cuadro 35.- Daño Admitido**

*Fuente: Elaboración propia*

### **Confiabilidad**

Este valor está asociado a nivel de confianza ( $Z_r$ ) y también a la desviación normal del error combinado ( $S_c$ ) estos parámetros son los que principalmente influye en el comportamiento del pavimento.

### **Módulo de reacción de la Subrasante $k$ (Mpa/m)**

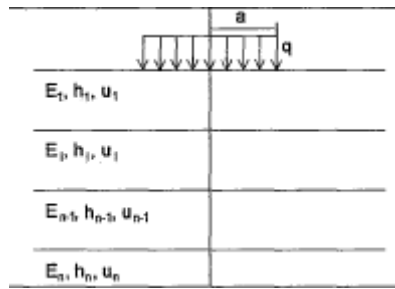
Es el parámetro que se usa para caracterizar la capacidad portante del suelo.

- **Método de cálculo del valor  $k$  para un sistema multicapas**

El diseño se realiza considerando un sistema multicapas para encontrar el factor  $k$  (módulo de reacción de la subrasante) se aplica el ensayo de placa de carga.

El siguiente imagen fue sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)

Determina el porcentaje de pasadas sobre cada lugar de losas



**Ilustración 27.-** % de pasadas sobre losas.

Fuente: Dirección de vialidad.

$$k = \frac{0,0167087 * E_n}{(1 - u^2) \left( \frac{1 - \frac{E_n}{S}}{\left[ 1 + \left( \frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}}{38,1} \right)^2 * \left( \frac{S}{E_n} \right)^{\frac{2}{5}} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{E_n}{S}} \right)}$$

donde

$$S = E_1 \left[ \frac{h_1 + h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + h_3 \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + \dots + h_{n-1} \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right]^3$$

$S$  : Módulo equivalente ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$E_1$  : Módulo de elasticidad de la capa 1 ( $\frac{kg}{cm^2}$ )

$h_1$  : Espesor de la Capa 1 ( cm)

$u$  : Relación de poisson de la capa  $n$

### Propiedades del concreto

Como propiedades del concreto podemos definir lo siguiente

- **Resistencia al concreto**

Se usara la resistencia media a la flexo tracción de un 20% de fracción defectuosa, con este valor se diseñara el pavimento.



En el siguiente cuadro se brinda valores para el flexo tracción característica (80%)

La siguiente tabla sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)

| Tipo de Vía                   | Resistencia a la flexo tracción características a 90 días (Mpa) |             |
|-------------------------------|---|-------------|
|                               | Rango   | Recomendado |
| Vías principales y autopistas | 5,0-5,5   | 5,3         |
| Vías colectoras               | 4,6-5,5   | 5,3         |
| Caminos secundarios           | 4,6-5,3   | 5,0         |

**Cuadro 36.- Resistencia al flexo tracción característica (80%)**

Fuente: elaboración propia

▪ **Módulo de elasticidad del concreto**

Se recomienda utilizar el valor de 2900 Mpa si no se tiene los valores obtenidos por la resistencia del concreto a los 90 días.

▪ **Módulo de Poisson, coeficiente de dilatación térmica y retracción a los 365 días**

Cuando no se tenga la información disponible se recomienda usar para los diseños los siguientes valores.

La siguiente tabla sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)





| Parámetros                                      | Valor   |
|---|---------|
| <b>Módulo de Poisson</b>                        | 0.15    |
| <b>Coefficiente de dilatación térmica(1/°C)</b> | 0.00001 |
| <b>Retracción a 365 (m/m)</b>                   | 0.001   |

*Cuadro 37.- Parámetro de diseño.*

*Fuente: Elaboración propia.*

### **Factores de borde tipo de ajuste**

Es el borde, es el adyacente por el exterior a una pista de 3.5 m de ancho. los tipos de borde aplicables a esta tecnología se puede apreciar en el siguiente cuadro en donde se indican los factores a considerar.

| Tipo de borde            | Factor de ajuste ( $C_3$ ) |
|--------------------------|----------------------------|
| <b>Libre</b>             | 1.00                       |
| <b>Berma Granular</b>    | 0.95                       |
| <b>Berma asfáltica</b>   | 0.90                       |
| <b>Berma de concreto</b> | 0.85                       |
| <b>Sobre ancho</b>       | 0.80                       |
| <b>Vereda</b>            | 0.80                       |

*Cuadro 38.- Factores de ajuste por tipo de borde*

*Fuente: Elaboración propia*

### **Alabeo**

Con el transcurrir del tiempo los pavimentos sufren distintos cambios de alabeo continuamente este método considera el cambio como porcentaje del tiempo en el año con condiciones de alabeo cada 5 °C; y el valor que se tomara se le conoce como gradiente térmico y este es igual a la suma de lo todos



los alabeos generados en una losa de pavimento (térmicos, hidráulicos, y de construcción)

Para calcular este tipo de alabeos se utiliza la siguiente fórmula

$$\Delta T^{\circ} = \Delta T_c^{\circ} + \Delta T_d^{\circ}$$

$\Delta T^{\circ}$  : Gradiente térmico equivalente ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T_c^{\circ}$  : Gradiente térmico de construcción ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T_d^{\circ}$  : Gradiente térmico por variación de temperatura ( $^{\circ}C$ )

### Esfuerzos de alabeo

El requisito a lo que están sometidos las losas es el alabeo ya que este tiene una componente debido al gradiente térmico, otra de humedad y la de construcción; para determinar si el diferencial de temperatura es negativo o positivo se usó la siguiente sección.

$$\Delta T(+)=12,33-\frac{2385,715}{D}+0,707 * WIND+0,596 * TEMP-5924 * 10^{-4} * PRECIP$$

$$\Delta T(-)=-28,62+\frac{2377,897}{D}+0,817 * WIND+0,227 * TEMP+0,0002884 * PRECIP$$

Donde

$\Delta T(+)$  : Diferencial de temperatura positivo asociado al alabeo convexo ( $^{\circ}C$ )

$\Delta T(-)$  : Diferencial de temperatura negativa asociado al alabeo cóncavo ( $^{\circ}C$ )

$D$  : Espesor de la losa (mm)

$WIND$  : Velocidad media anual del viento (nudos)

$TEMP$  : Temperatura media anual del ambiente ( $^{\circ}C$ )

$PRECIP$  : Precipitación media anual (mm)

La gradiente se obtiene con la ecuación dada, pero puede no ser totalmente representativa, ya que esta relación empleada se originó en Estados Unidos y de allí solo se ha cambiado las unidades de medida y su campo de aplicación, ese es el método AASHTO 1998; Para el alabeo debido a la humedad y



construcción se emplea lo recomendado por el ashto 1998, tomando el promedio de los valores recomendados es decir es de 0.033 °c/mm) este valor solo se empleara en el caso que la gradiente sea negativa ya que esto lo dispone la guía ashto 1998.

### Transferencia de Carga

La transferencia de carga depende de la capacidad de colaboración estructural de las losas colindantes; en los pavimentos simples se da por la trabazón mecánica de los áridos, estos valores se indican en la siguiente tabla sacada de la dirección de vialidad 2012 (13)

| Condición  | Transferencia de Carga (%) |
|--|----------------------------|
| Transferencia de Carga baja<br>(Árido de mala calidad)                 | 30                         |
| Transferencia de carga normal<br>(valor recomendado para el<br>diseño) | 50                         |
| Transferencia de carga alta<br>(con barras de traspaso de carga)       | 70                         |

**Cuadro 39.-** Transferencia de Carga

Fuente: Elaboración propia

### Índice de rugosidad internacional (IRI)

Este método utiliza los estados de serviciabilidad inicial que está dado por el IRI al momento de la puesta de servicio del pavimento el cual depende de la calidad de materiales que se use y su correcto proceso constructivo, y el estado de serviciabilidad final que está dado por el IRI al final de la vida del diseño; estos valores están dados en la siguiente tabla.



El siguiente cuadro de rugosidad fue sacado de la dirección de vialidad 2012 (13)

|             |     |
|-------------|-----|
| IRI inicial | 2.0 |
| IRI final   | 3.5 |

**Cuadro 40.- Índice de Rugosidad Internacional**

*Fuente: Elaboración Propia*

### **Características de la sub base**

Este tipo de pavimentos ultra delgados considera mayores exigencias en la sub base granular ya que esta será la que actúa directamente bajo este pavimento.

Esta capa de sub base granular tiene que cumplir lo siguiente:

- El pavimento tiene que incrementar su capacidad estructural del sistema debido a que el espesor del pavimento es menor.
- Brindar una capa sin erosiones bajo la junta del pavimento.

El material que se usará dependerá del tránsito, espesor del pavimento y precipitaciones existentes en el lugar del proyecto.

Se usará sub base granular con  $CBR \geq 80\%$  en cualquiera de las siguientes condiciones:

- Pavimentos de espesores menores a 12 cm en cualesquiera condiciones climáticas
- Espesor mayor o igual a 12 cm y precipitaciones mayores a 800 mm al año.
- Tránsito mayor a 25 000 000 EE.



En el resto de casos incluidos todos los pavimentos con fibra se tienen que diseñar con una sub base granular mínima de 120 mm de espesor compactado con un CBR mayor o igual a 50%.

La cantidad de fino bajo la malla #200 no deberá ser mayor al 8%.

### **Geotextil**

Se usará esta tecnología bajo la sub base granular para evitar contaminación, se colocará esta capa siempre que se cumpla por lo menos dos de los casos siguientes:

- Sub rasante con CBR  $\leq$  20%.
- Tránsito mayor a 1 000 000 EE.
- Precipitaciones mayores a 800 mm al año.

## **2.7. DETERMINACIÓN DE LOS ESFUERZOS EN LAS LOSAS DE CONCRETO Y TRADICIONALES A TRAVÉS DEL PROGRAMA**

### **2.7.1. Generales**

Para una estructura de pavimento de concreto el análisis se debe realizar mediante la estimación de esfuerzos y deformaciones máximas admisibles, para realizar este tipo de análisis se limita a modelar con programas de uso de elementos finitos aplicados en pavimentos, para este tipo de análisis el diseñador evaluará y aceptará los resultados (esfuerzos y deformaciones) que se generan después del paso de las cargas de tránsito.

Para el desarrollo de la presente tesis se usará el programa CSiBRIDGE mediante el cual se determinará las tensiones y el espesor de la losa de concreto simple, usando variables de entrada usadas por los métodos mecanicistas en el diseño de pavimento rígidos, este programa usa un modelo matemático basado en



elementos finitos. Estos esfuerzos considerados por westergaard, según Y.Huan (11)

### **2.7.2. Proceso de obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales**

La metodología para la obtención de los esfuerzos en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales es el siguiente:

- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de sub rasante.
- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de sub base.
- Selección de diseño de mezcla
- Determinación de las propiedades de los materiales del concreto.
- Aplicación del programa CSIBRIDGE en el diseño de pavimentos rígidos.

#### **2.7.2.1. Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de sub rasante**

##### **Módulo de Reacción de la subrasante (K)**

Sirve para conocer la presión que se necesita ejercer sobre el suelo para que presente una deformación dada se le conoce también como ensayo de placa este está normado bajo aashto T-222 este valor esta utilizado directamente en las metodologías de diseño PCA 84 Y AASHTO 93, ya que hacer ensayos de placa de carga conlleva a un elevado costo y a su vez es lento se ha desarrollado correlaciones entre CBR y el modulo K como simplificación en la subrasante de un terreno de fundación.

Se debe de tener en consideración que los suelos con  $CBR \geq 6\%$  se considerara aptos en el caso que sea menor se optara por una estabilización de suelos.



### **2.7.2.2. Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de sub base**

Los materiales para la sub base tiene que estar constituidos por tres tipos de tamaños y materiales: grava que le brindara mayor resistencia, arena que será la que llena los vacíos dejados por la grava y finos que mejora la estabilidad.

#### **Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107**

Este tipo de ensayos nos permitirá conocer las propiedades y clasificación del material de préstamo (sub base).

#### **Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D-4318, MTC E 111-2013) y limite liquido de los suelos (ASTM D-4318, MTC E 111-2013)**

Este tipo de ensayos nos permitirá conocer las propiedades y clasificación del material de préstamo (sub base).

#### **Gradación de los materiales**

Encontrar depósitos de materiales con la gradación adecuada es muy difícil es por eso que en su gran mayoría es necesario zarandear el material para obtener la granulometría adecuada.

#### **Ensayo de Abrasión los Ángeles ASTM C-131, MTC – E207**

Se utiliza para medir la degradación de del agregado pétreo de las clasificaciones estándar resultante de una combinación de acciones que incluyen abrasión o desgaste, impacto y molienda en un molino giratorio que contiene un numero específico de esferas de acero.

#### **Proctor modificado ASTM D-1557, MTC –E115**



Este ensayo es necesario para ver que el material de sub base este compactada correctamente y así poder reducir los vacíos en su estructura para que pueda aumentar los puntos de contacto entre partículas, esta capa debe ser compactada por lo menos al 100% de la densidad máxima determinada según el método AASHTO T180.

Para realizar este ensayo es necesario que se incorpore agua el cual se le conoce como óptimo contenido de humedad.

### **2.7.3. Selección del diseño de mezcla**

Para realizar un correcto diseño de mezcla se tiene que tener una calidad  $d$  y características físicas de los materiales obtenidas por diversos ensayos los cuales reúnen los requerimientos de calidad según la norma ASTM C 33, para poder elegir una cantera adecuada donde tenga los materiales adecuados.

### **2.7.4. Determinación de carga por tráfico**

Para hacer un correcto análisis de tráfico se tiene que contar con los siguientes datos:

- Control de peso y medidas vehiculares
- Tolerancia del pesaje dinámico
- Medidas vehiculares
- Distribución de cargas

### **2.7.5. Propiedades de los materiales del concreto**

#### **Resistencia a flexocontracción del concreto (MR)**

La resistencia a la compresión ( $f'c$ ) que viene a ser la resistencia a los 28 días; la resistencia a flexión o también conocido como módulo de ruptura (Mr) es uno de los principales parámetros para el diseño de pavimentos donde los valores de “a” se encuentran entre 1.99 y 3.18 de acuerdo al MTC 2013 P269.16.

El módulo de ruptura se correlaciona con la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) en la siguiente fórmula





$$Mr = a\sqrt{f'c}$$

Donde Mr presenta valores en kg/cm<sup>2</sup> según ACI 363

La siguiente tabla nos da a conocer la resistencia del concreto de acuerdo a la relación agua cemento (M. Becerra 2012 pág. 91) (1)

|      | $f'c$<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | Mr<br>(kg/cm <sup>2</sup> ) | contenido de<br>cemento<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|------|--------------------------------|-----------------------------|---|
| 0.70 | 210                            | 35                          | 280 kg.   |
| 0.50 | 280                            | 40                          | 350 kg.   |
| 0.45 | 320                            | 45                          | 380 kg.   |
| 0.40 | 420                            | 50                          | 415 kg.   |

**Cuadro 41.-** Caracterización de mezcla de concreto

*Fuente: Elaboración propia*

Para el diseño de pavimentos de losas cortas (TCP) se recomienda que el contenido de cemento sea mínimo de 300 kg/m<sup>3</sup>, pero se acepta valores menores para vías de bajo volumen de tránsito.

### **Modulo elástico del concreto**

Se puede calcular a partir de la resistencia de compresión o flexo tracción a través de correlaciones establecidas AASHTO 93 estipula que el modulo elástico se puede calcular de con siguiente formula

$$E = 57,000(f'c)^{0.5}$$

El ensayo AASTM c-469 calcula el módulo de elasticidad del concreto donde  $f'c$  se encuentra en PSI



### **3. CAPITULO IV : MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación que se está considerando en la presente investigación es de tipo experimental. Esto debido a que el proyecto se enfoca en encontrar en base a ensayos la proporción adecuada de fibras, y su porcentaje de adición óptimo para trabajar el pavimento rígido. Asimismo, con ayuda del software y los datos obtenidos poder modelar y aplicando la tecnología de losas cortas, reducir el espesor de la losa final. En consecuencia disminuir costos de producción, haciendo del pavimento rígido ultra delgado con adición de fibras polipropileno-metálicas una opción mucho más viable.

#### **3.2. POBLACIÓN MUESTRAL**

La población que se tomó como muestra es el Distrito de Quillo – Yungay. Este tipo de población es típica de la región por lo que es una importante muestra representativa.

#### **3.3. ALCANCE**

La investigación tiene como finalidad dar como alternativa de pavimento rígido mucho más delgado. Lo cual, se obtendrá en base de la adición de fibras de polipropileno y fibras metálicas. Se obtendrá el porcentaje óptimo de adición, así como el espesor más adecuado para su procesamiento en el software CSiBRIGDE. De ese modo obtener el diseño adecuado para la población muestral.

La población se encuentra localizada en la cordillera Negra, perteneciente a la región de Ancash. Es uno de los 8 distritos de la provincia de Yungay.

Ubicamos la población muestral trabajada:



*Ilustración 28.- Distrito de Quillo, Yungay - Ancash. Fuente : Google Earth Pro.*

### **3.4. DISEÑO METODO ASHTO 93**

#### **3.4.1. VOLUMEN DEL TRÁFICO VEHICULAR**

Para la recolección de datos y determinar el volumen de tráfico vehicular se realizó el conteo en campo. Por ello, se realizó el conteo en campo durante los siete días de lunes a sábado, encontrando la cantidad de vehículos que transitaron la vía en dirección a Quillo.

Se consideró como punto de estación el inicio del tramo de Buenavista a Quillo.

La fecha de aplicación de la recopilación de datos fue del lunes 18/11/19 al Domingo 24/11/19.

Los datos recopilados de cada día se encuentran dentro de los anexos de la presente investigación.



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| Medio de Transporte             | LUNES         | MARTES        | MIERCOLES     | JUEVES        | VIERNES       | SABADO        | DOMINGO       | Total           | %           |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|
| <b>Vehículos Ligeros (V.L.)</b> |               |               |               |               |               |               |               |                 |             |
| Mototaxi                        | 81.00         | 70.00         | 115.00        | 84.00         | 117.00        | 123.00        | 82.00         | 672.00          | 38%         |
| Automóviles                     | 37.00         | 39.00         | 24.00         | 41.00         | 65.00         | 61.00         | 63.00         | 330.00          | 19%         |
| Camionetas                      | 40.00         | 33.00         | 21.00         | 54.00         | 58.00         | 69.00         | 59.00         | 334.00          | 19%         |
| Camionetas rural                | 33.00         | 17.00         | 14.00         | 45.00         | 45.00         | 48.00         | 42.00         | 244.00          | 14%         |
| Micros / Combis                 | 2.00          | 3.00          | 3.00          | 3.00          | 3.00          | 4.00          | 4.00          | 22.00           | 1%          |
| <b>Total de V.L.</b>            | <b>193.00</b> | <b>162.00</b> | <b>177.00</b> | <b>227.00</b> | <b>288.00</b> | <b>305.00</b> | <b>250.00</b> | <b>1,602.00</b> | <b>0.91</b> |
| <b>Vehículos Pesados (V.P.)</b> |               |               |               |               |               |               |               |                 |             |
| Omnibus 2 Ejes                  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Omnibus 3 Ejes                  | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Camión 2 Ejes                   | 14.00         | 11.00         | 10.00         | 21.00         | 11.00         | 20.00         | 20.00         | 107.00          | 6%          |
| Camión 3 Ejes                   | 5.00          | 6.00          | 5.00          | 11.00         | 9.00          | 6.00          | 13.00         | 55.00           | 3%          |
| Camión 4 Ejes                   | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Semitrayler 2s3                 | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Semitrayler 3s2                 | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Semitrayler >=3s3               | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Trayler 2T2                     | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Trayler 2T3                     | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Trayler 3T2                     | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| Trayler >=3T3                   | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -               | 0%          |
| <b>Total de V.P.</b>            | <b>19.00</b>  | <b>17.00</b>  | <b>15.00</b>  | <b>32.00</b>  | <b>20.00</b>  | <b>26.00</b>  | <b>33.00</b>  | <b>162.00</b>   | <b>0.09</b> |
| <b>Total de Vehículos</b>       | <b>212.00</b> | <b>179.00</b> | <b>192.00</b> | <b>259.00</b> | <b>308.00</b> | <b>331.00</b> | <b>283.00</b> | <b>1,764.00</b> | <b>100%</b> |

**Cuadro 42.-** Conteo vehicular Quillo.

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.2. TRANSITO MEDIO DIARIO SEMANAL (TMDS)

El cálculo de transito medio diario semanal se obtiene al dividir el tránsito durante una semana entre 7. Esto mediante la siguiente expresión:

$$TMDS = \frac{TS}{7}$$

Durante la semana de recolección de datos se obtuvo la siguiente información:

| Tránsito Diario (TD i) |        |           |        |         |        |         |          | TMDS          |
|------------------------|--------|-----------|--------|---------|--------|---------|----------|---------------|
| LUNES                  | MARTES | MIERCOLES | JUEVES | VIERNES | SABADO | DOMINGO | Total    |               |
| 236.00                 | 218.00 | 257.00    | 285.00 | 330.00  | 320.00 | 268.00  | 1,877.00 | <b>268.00</b> |

**Cuadro 43.-** Transito medio diario Semanal Quillo.

*Fuente: Elaboración propia*

### 3.4.3. TRANSITO MEDIO DIARIO ANUAL

En base al tránsito medio diario semanal se estima el transito medio diario anual. Mediante el uso de la siguiente expresión.



$$TMDA = TMDS \pm K * \sigma$$

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{n}} \left[ \sqrt{\frac{(N-n)}{(N-1)}} \right]$$
$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (TDi - TPDS)^2}{n-1}}$$

Donde:

TPDS: Transito promedio diario semanal

TDi: Volumen Transito día

N: Tamaño de población en número de días del año

n: Tamaño de muestra en número de días de aforo

S: Desviación estándar Muestral

$\sigma$ =s: Desviación estándar de distribución de volúmenes o desviación estándar poblacional.

K: Numero de desviaciones estándar correspondiente al nivel de confiabilidad deseado.

K=1.64, confiabilidad 90%

K=1.96, confiabilidad 95%

Tenemos:

N= 365

n=7

S=40.8

$\sigma$ =15.29

K=1.96

$$TMDA = 298.00 \frac{\text{vehiculos}}{\text{día}}$$



### 3.4.4. TASA DE CRECIMIENTO VEHICULAR

Se planteará las relaciones entre las tasas de crecimiento anual del tráfico y las tasas de crecimiento de las variables explicativas de población y PBI.

|             |  |
|-------------|--|
| $r_{VP} =$  | Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos de Pasajeros                |
| $r_{VC} =$  | Tasa de Crecimiento Anual de Vehículos de Carga                    |
| $r_{pob} =$ | Tasa de Crecimiento Anual de la Población en el Área de Influencia |
| $r_{PBI} =$ | Tasa de Crecimiento Anual del PBI de la Región                     |

**Cuadro 44.-** Tasa de crecimiento vehicular Quillo

Fuente: Elaboración propia

Según los cuadros del INEI, El resultado de los censos nacionales de la población “X”, “V” de vivienda del departamento de Ancash, arroja una tasa de crecimiento proyectado para el año 2015-2020.

$$r_{vp} = r_{pob} = 0.9 \%$$

Según el INEI – Dirección de cuentas nacionales se obtuvo un PBI, referencial de 3.7%q que representa el crecimiento de vehículos pesados.

$$r_{vc} = r_{PBI} = 3.7 \%$$

En un periodo de diseño de 20 años, tenemos la tasa de crecimiento para vehículos ligeros y pesados en base a la siguiente formula:

$$k_r = \frac{(1 + r)^n - 1}{r}$$



- Periodo de diseño : 20 años
- Tasa de crecimiento de vehículos Livianos : 21.81
- Tasa de crecimiento de vehículos Pesados : 28.86

### 3.4.5. FACTOR CARRIL (FC)

Los factores equivalentes de carga se obtienen de los valores publicados en Reglamento Nacional de Vehículos. Donde se expresan para el peso máximo por eje o conjunto de ejes.

Estos se pueden aplicar a un solo tipo o a un grupo de diferentes tipos.

| N° de Carriles en una Sola Dirección | % de ESAL en el Carril de Diseño |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| 1                                    | 100                              |
| 2                                    | 80 A 100                         |
| 3                                    | 60 A 80                          |
| 4                                    | 50 A 75                          |

**Cuadro 45.-** Relación Carriles/%ESAL

*Fuente: Elaboración propia*

Se trabajará con un factor carril 0.80.

### 3.4.6. FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA

Para determinar cuan dañino es pasar de las diferentes cargas en el pavimento, se consideran factores de equivalencia de carga. Estos se determinaron a partir de valores obtenidos de resultados experimentales de la AASHTO Road Test. Los resultados obtenidos lograron obtener la siguiente ecuación para determinar la equivalencia entre diferentes cargas transmitidas al pavimento:

$$FEC = \left(\frac{p1}{p0}\right)^4$$

- Para eje Simple (2 neumáticos)



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

$$FEC = \left(\frac{p1}{6.6}\right)^4$$

- Para eje Simple (4 neumáticos)

$$FEC = \left(\frac{p1}{8.2}\right)^4$$

- Para eje Tandem (Doble)

$$FEC = \left(\frac{p1}{15}\right)^4$$

- Para eje Tridem (Triple)

$$FEC = \left(\frac{p1}{23}\right)^4$$

| Medio de Transporte             | Long. Máx.<br>(m) | E. S.                          | Eje Simple Posterior |                                |          | Eje Tandem                      |          | Eje Tridem                      |
|---------------------------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------------|----------|---------------------------------|----------|---------------------------------|
|                                 |                   | Delantero                      | 1er Eje              | 2do Eje                        | 3er Eje  | 1er Eje                         | 2do Eje  |                                 |
|                                 |                   | Peso Max                       | Peso Max             | Peso Max                       | Peso Max | Peso Max                        | Peso Max | Peso Max                        |
| <b>Vehículos Ligeros (V.L.)</b> |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          |                                 |
| Mototaxi                        |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          | -                               |
| Automóviles                     |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          | -                               |
| Camionetas                      |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          | -                               |
| Micros / Combis                 |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          | -                               |
| <b>Vehículos Pesados (V.P.)</b> |                   |                                |                      |                                |          |                                 |          |                                 |
| Omnibus 2 Ejes                  | 13.20             | 7.00                           | 11.00                | -                              | -        | -                               | -        | -                               |
| Omnibus 3 Ejes                  | 14.00             | 7.00                           | -                    | -                              | -        | 16.00                           | -        | -                               |
| Camión 2 Ejes                   | 12.30             | 7.00                           | 11.00                | -                              | -        | -                               | -        | -                               |
| Camión 3 Ejes                   | 13.20             | 7.00                           | -                    | -                              | -        | 18.00                           | -        | -                               |
| Camión 4 Ejes                   | 13.20             | 7.00                           | -                    | -                              | -        | -                               | -        | 23.00                           |
| Semitrayer 2s3                  | 20.50             | 7.00                           | 11.00                | -                              | -        | -                               | -        | 25.00                           |
| Semitrayer 3s2                  | 20.50             | 7.00                           | 11.00                | -                              | -        | -                               | -        | 25.00                           |
| Semitrayer >=3s3                | 20.50             | 7.00                           | 11.00                | -                              | -        | -                               | -        | 25.00                           |
| Trayer 2T2                      | 23.00             | 7.00                           | 11.00                | 11.00                          | 11.00    | -                               | -        | -                               |
| Trayer 2T3                      | 23.00             | 7.00                           | 11.00                | 11.00                          | 11.00    | -                               | -        | -                               |
| Trayer 3T2                      | 23.00             | 7.00                           | 11.00                | 11.00                          | 11.00    | -                               | -        | -                               |
| Trayer >=3T3                    | 23.00             | 7.00                           | 11.00                | 11.00                          | 11.00    | -                               | -        | -                               |
|                                 |                   | $\left(\frac{P}{6.6}\right)^4$ |                      | $\left(\frac{P}{8.2}\right)^4$ |          | $\left(\frac{P}{15.1}\right)^4$ |          | $\left(\frac{P}{22.9}\right)^4$ |

**Cuadro 46.- Factor de equivalencia de carga Quillo**  
Fuente: Elaboración propia

En base al conteo de vehículos realizado y la conversión de estos datos a ejes equivalentes, se ve afectado el ESAL, en ambas





direcciones por factores de carril y direccionales de acuerdo a la ecuación que se presenta a continuación:

$$W18 = ESAL \times FC \times FD$$

Tenemos:

|      |   |            |
|------|---|------------|
| Esal | : | 446,737.98 |
| FC   | : | 0.80       |
| FD   | : | 2          |

$$W18 = 714,781.00$$



**DETERMINACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO POR LA FORMULA AASHTO CON F'C=280 kg/cm2**

**PROYECTO: PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLO - ANCASH**

Para el método de diseño AASHTO la formula de diseño es:

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) * \log_{10} \left( \frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{\left( \frac{E_c}{k} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

- Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a
- W18 = lo largo del periodo de diseño
- ZR = Desviación estandar Normal
- So = Error estandar combinado en la predicción del transito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
- D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros
- ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- Pt = Índice de serviciabilidad o servicio final
- S'c = Mr = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz)
- Cd = Coeficiente de drenaje
- J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas
- Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
- K = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de Concreto



“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”

DATOS:

|            |        |       |        |                        |      |            |
|------------|--------|-------|--------|------------------------|------|------------|
| K =        | 107.82 | Mpa/m | So =   | 0.35                   |      |            |
| Ec =       | 24820  | Mpa   | R =    | 95 % =>                | ZR = | -1.645     |
| S'c = Mr = | 4.35   | Mpa   | Pt =   | 2                      |      |            |
| J =        | 4.00   |       | ΔPSI = | 2.5                    |      |            |
| Cd =       | 1.10   |       | W80 =  | 0.71 x 10 <sup>6</sup> |      |            |
|            |        |       | D =    | 16.6                   | mm   | por tanteo |
|            |        |       | D =    | <b>166.25</b>          | mm   |            |

RESOLVIENDO:

$$\begin{array}{rclclclclcl} \text{1er miembro} & = & \text{Segundo miembro} & & & & & & \\ 5.85 & = & -0.57575 & + & 6.386439853 & + & -0.049114128 & + & 0.089406306 \\ \mathbf{5.851} & = & \mathbf{5.851} & & & & & & \end{array}$$

OK



**DETERMINACION DEL ESPESOR DE PAVIMENTO POR LA FORMULA AASHTO CON CONCRETO CON ADICION DE FIBRAS**  
**F'C=340.60 kg/cm<sup>2</sup>**

**PROYECTO: PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS EN QUILLO - ANCASH**

Para el método de diseño AASHTO la formula de diseño es:

$$\log_{10} W_{82} = Z_r S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left( \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 * 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) * \log_{10} \left( \frac{M_r C_{dx} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 * J \left( 0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{\left( \frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right)} \right)$$

- W18 = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 toneladas métricas a lo largo del periodo de diseño  
Zr = Desviación estandar Normal  
So = Error estandar combinado en la predicción del transito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento  
D = Espesor de pavimento de concreto, en milímetros  
ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final  
Pt = Índice de serviciabilidad o servicio final  
S'c = Mr = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz)  
Cd = Coeficiente de drenaje  
J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas  
Ec = Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa  
K = Módulo de reacción, dado en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de Concreto



“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”

DATOS:

|            |        |       |        |                        |             |
|------------|--------|-------|--------|------------------------|-------------|
| K =        | 107.82 | Mpa/m | So =   | 0.35                   |             |
| Ec =       | 27374  | Mpa   | R =    | 95 % =>                | ZR = -1.645 |
| S'c = Mr = | 4.80   | Mpa   | Pt =   | 2                      |             |
| J =        | 4.00   |       | ΔPSI = | 2.5                    |             |
| Cd =       | 1.10   |       | W80 =  | 0.71 x 10 <sup>6</sup> |             |
|            |        |       | D =    | ??? mm                 | por tanteo  |
|            |        |       | D =    | 156.90 mm              |             |

RESOLVIENDO:

$$\begin{aligned} \text{1er miembro} &= \text{Segundo miembro} \\ 5.85 &= -0.57575 + 6.226782015 + -0.04092768 + 0.24073096 \\ \mathbf{5.851} &= \mathbf{5.851} \end{aligned}$$

OK

*Cuadro 47.- Aplicación de Fórmula de diseño por el método AASHTO 93- Quillo.*

*Fuente: Elaboración propia*



---

### 3.5. EMPLEO DE CSIBRIDGE 22 PARA DETERMINAR COMPORTAMIENTO DE LOSAS CORTAS Y TRADICIONALES

Para la obtención de los resultados del comportamiento de los pavimentos rígidos de losas cortas en el programa CSIBRIDGE v22, se tendrán en base los siguientes:

- Se tomarán en cuenta los resultados de los ensayos de la sub rasante
- Se tomarán en cuenta los resultados de los ensayos de la sub base
- El diseño de mezcla del concreto a emplearse
- Las propiedades de los materiales para el concreto
- Determinación del carril, carga de diseño y coeficientes que participan en el modelado de las losas en el programa.
- Aplicación del CSIBRIDGE

#### 3.5.1. Ensayos de sub Rasante

- **Módulo de reacción de Sub Rasante (K)**

Este ensayo también es conocido como ensayo de placa, nos ayuda a conocer la presión requerida sobre el suelo para presentar una deformación. Este valor es usado en la metodología del diseño AASHTO 93.

Generalmente este ensayo es de implementación lenta y por lo tanto muy costosa se han encontrado correlaciones entre el CBR y el módulo K para poder determinarlo.



En el caso del presente proyecto se calculó el Módulo de Reacción de Sub Rasante  $K = 107.82 \text{ Mpa/m}$ . Transformando se procede a trabajar con  $10.99 \text{ kg/cm}^3$

### 3.5.2. Ensayos de sub base

Para emplear el material de préstamo para la sub base se utilizó la cantera San Pedrito. El material garantiza la composición de grava, arena y finos necesaria para ser empleada. Para ello se realizaron los siguientes ensayos:

- Análisis Granulométrico por Tamizado
- Determinación de límite plástico e índice de plasticidad y límite líquido.
- Ensayo de abrasión de los angeles
- CBR

Los resultados se encuentran en los anexos de la investigación

### 3.5.3. Selección de diseño de Mezcla

El diseño de mezcla realizado para la presente investigación se realizó apoyándose en la calidad de los materiales para el concreto, procedentes de la cantera Roca Fuerte.

Para el pavimento rígido se empleara un concreto de  $340.60 \text{ kg/cm}^2$ . Para ello se realizaron los ensayos correspondientes para determinar su calidad y poder obtener el diseño de mezcla adecuado.

Logrando determinar su dosificación por volumen tal como se muestra a continuación.



|   |        |       |              |                        |  |
|---|--------|-------|--------------|------------------------|--|
| <b>Cemento</b>  | 10.26  | 10.26 | <b>1.00</b>  | <b>pie<sup>3</sup></b> |  |
| <b>Agregado Fino Húmedo</b>                                 | 19.22  | 10.26 | <b>1.87</b>  | <b>pie<sup>3</sup></b> |  |
| <b>Agregado Grueso Húmedo</b>                               | 24.47  | 10.26 | <b>2.38</b>  | <b>pie<sup>3</sup></b> |  |
| <b>Agua de Mezcla</b>                                       | 206.38 | 10.26 | <b>20.11</b> | <b>Lt/bolsa</b>        |  |
| <b>SE RECOMIENDA USAR: 1.00 : 1.87 : 2.38 : 20.11 lt/bl</b> |        |       |              |                        |  |

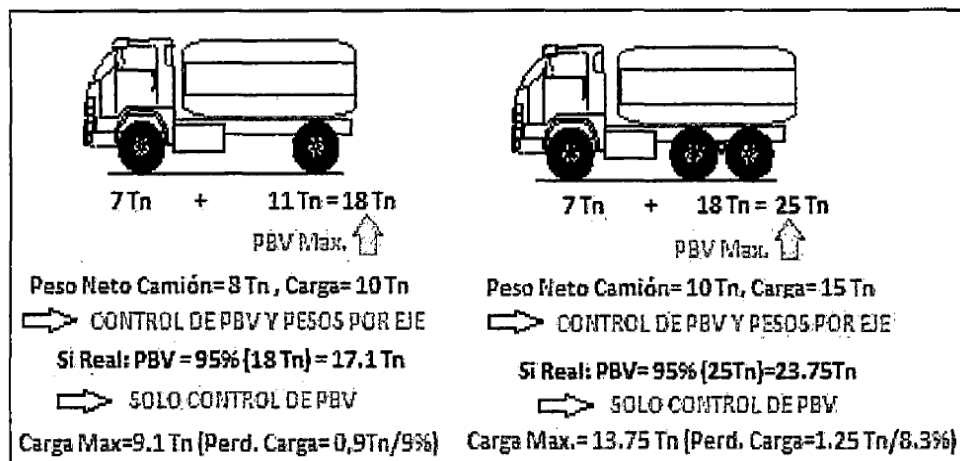
**Cuadro 48.-** Dosificación para concreto a usar en el Pavimento.

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.4. Determinación de carga por tráfico

Durante el estudio de tráfico realizado, se logró identificar que el vehículo más grande que transita en la vía Quillo, es el camión 3 ejes. Por lo tanto, la carga de este vehículo será considerada para el análisis. Carga de camión (tándem) C3.

La distribución de cargas tanto del eje simple y del eje tándem de acuerdo a A. Hospitaler nos expresa la acción de la distribución de cargas en función a ejes y ruedas.



**Ilustración 29.-** Peso de vehículo de diseño C3. Fuente: Asociación de representantes Automotrices del Perú.



Por lo tanto, acorde a lo establecido, el eje tándem cada una de las 2 ruedas simples o conjunto de gemelas va a transmitir  $P=D/4$ , conociéndose que D es la carga por eje.



Para el eje simple la carga  $P1=C/2$ , donde C es la carga por eje.

De acuerdo a los valores brindados por la asociación de representantes automotrices del Perú, tenemos las cargas de los ejes en toneladas.

**Pesos y medidas máximas permitidas**

| Configuración vehicular | Descripción gráfica de los vehículos  | Long. Máx. (m) | Peso máximo (t) |                              |    |    | Peso bruto máx. (t) |    |
|-------------------------|---|----------------|-----------------|------------------------------|----|----|---------------------|----|
|                         |   |                | Eje Delant      | Conjunto de ejes posteriores |    |    |                     |    |
|                         |   |                |                 | 1º                           | 2º | 3º |                     | 4º |
| C2                      |  | 12,30          | 7               | 11                           | —  | —  | —                   | 18 |
| C3                      |  | 13,20          | 7               | 18                           | —  | —  | —                   | 25 |

*Ilustración 30.- Pesos y medidas permitidas.*

A partir de esto, podemos determinar:

Para eje simple:  $P=C/2$  :  $P=7/2$  :  $P=3.5$  tn

Para eje Doble:  $P=D/4$  :  $P=18/4$  :  $P=4.5$  tn

Estas cargas van a ser empleadas para ser corridas en el programa CSiBRIDGE y obtener los resultados correspondientes.

### 3.5.5. Determinación de las propiedades de los materiales

#### Resistencia a flexo tracción del concreto (MR)

Este parámetro es uno de los valores más importantes para el diseño de pavimentos. Este tiene en cuenta el módulo de compresión ( $f'c$ ), el cual correlaciona con el módulo de rotura mediante la siguiente ecuación:



$$M_r = a\sqrt{f'_c}$$

De acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio se trabajara con el módulo de compresión de 340.60 kg/cm<sup>2</sup>.

### **Módulo elástico del Concreto**

De manera similar al parámetro de resistencia a flexo tracción, este se relaciona con la resistencia a la compresión a través de diferentes correlaciones. Según AASHTO 93 se relacionan mediante la siguiente expresión:

$$E = 57000(f'_c)^{0.5}$$

### **Coefficiente de Balasto**

También conocido como el módulo de reacción del suelo. Este coeficiente K expresa la relación entre las presiones y asentamientos para cada tipo de terreno. En el caso de la presente investigación se trabajara con el coeficiente calculado para el desarrollo del método de AASHTO 93.

Por lo tanto se trabajará con el K=10.99 kg/cm<sup>3</sup>

### **Módulo de Poisson**

Debido a la falta de información para la obtención de este parámetro se considera el siguiente para el diseño

Módulo de Poisson = 0.15

### **3.5.6. Aplicación del programa CSi BRIDGE**

En primer lugar, debemos tener definidas las dimensiones de las losas a trabajar.

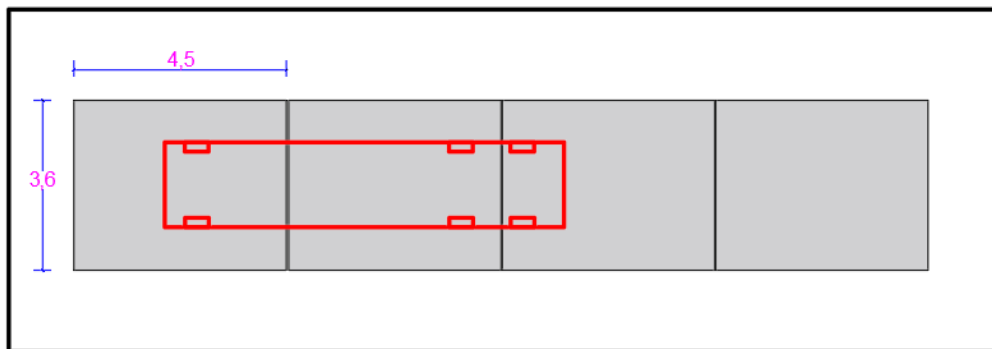


| DIMENSIONES DE LOSA |            |              |
|---------------------|------------|--------------|
| LONGITUD (cm)       | ANCHO (cm) | ESPESOR (cm) |
| 450                 | 360        | 15.69        |
| 225                 | 180        | 12,10,8      |
| 180                 | 180        | 12,10,8      |
| 180                 | 140        | 12,10,8      |

*Cuadro 49.-Dimensiones y espesores de losas a trabajar.*

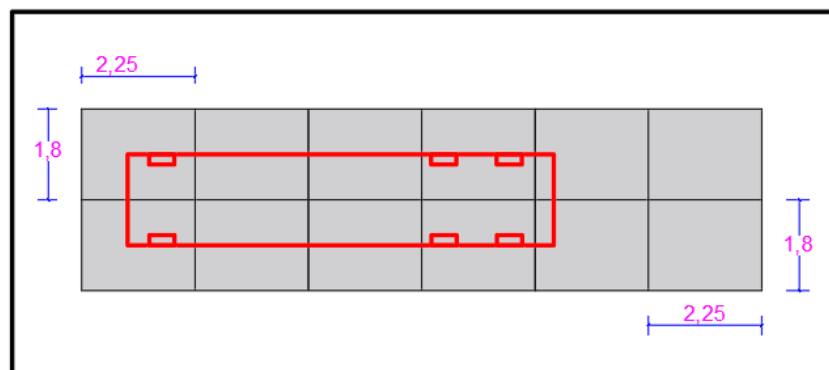
Se elaboró un gráfico de las dimensiones del pavimento a trabajar. Asimismo, el cuadro previo muestra las dimensiones con las cuales se trabajará en el software. No obstante, se iterará hasta encontrar los espesores mas adecuados.

- **Losa 450 x 360 (pavimento convencional)**



*Ilustración 31.- Losa Patrón 4.5m x 3.6m*

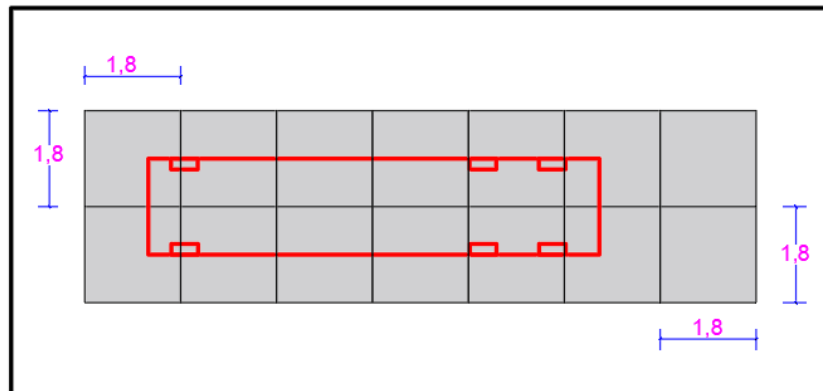
- **Losa 2.25m x 1.80m losa optimizada**



*Ilustración 32.- Losa de 2.25m x 1.80m*

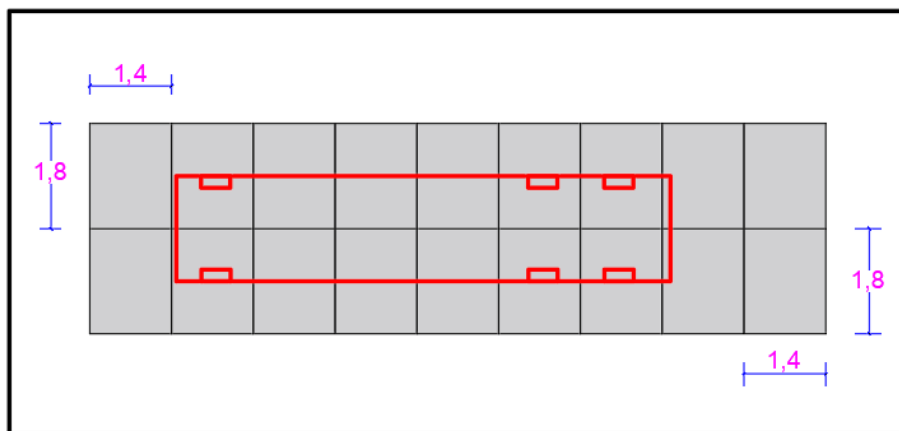


- Losa 1.80 m x 1.80m losa optimizada



*Ilustración 33.-Losa de 1.8m x 1.8m*

- Losa 1.80 m x 1.40 m losa optimizada

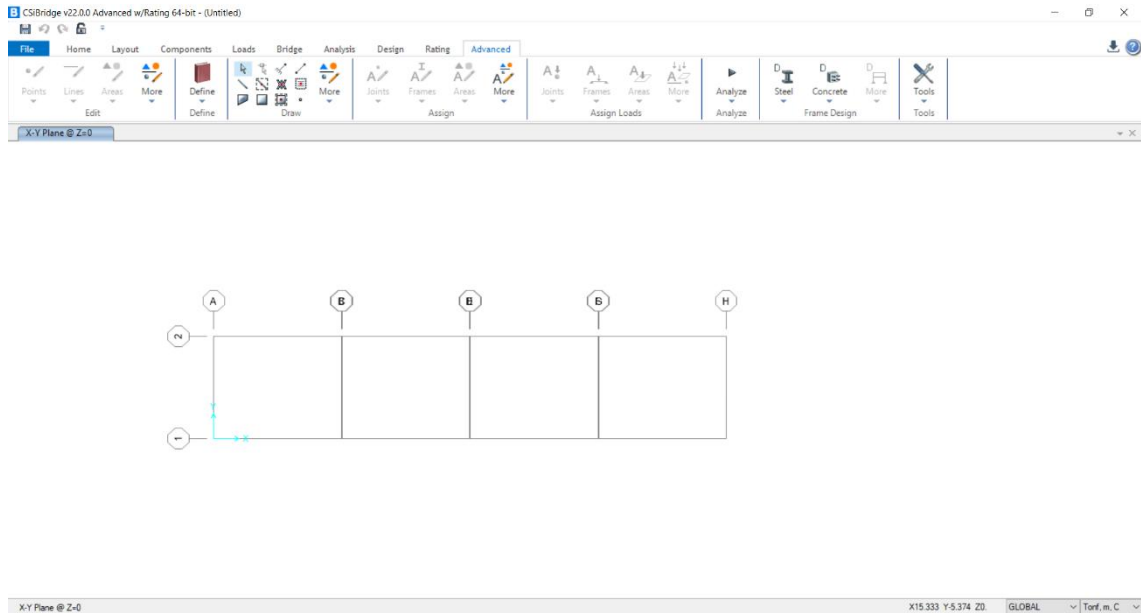


*Ilustración 34.- Losa de 1.8m x 1.4m*

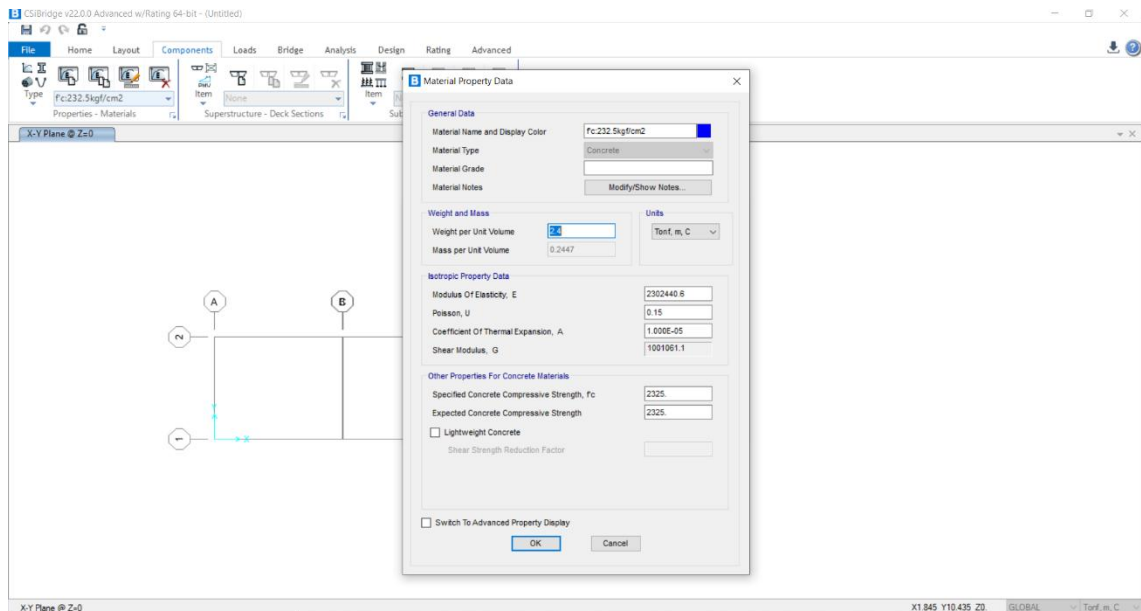


# “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”

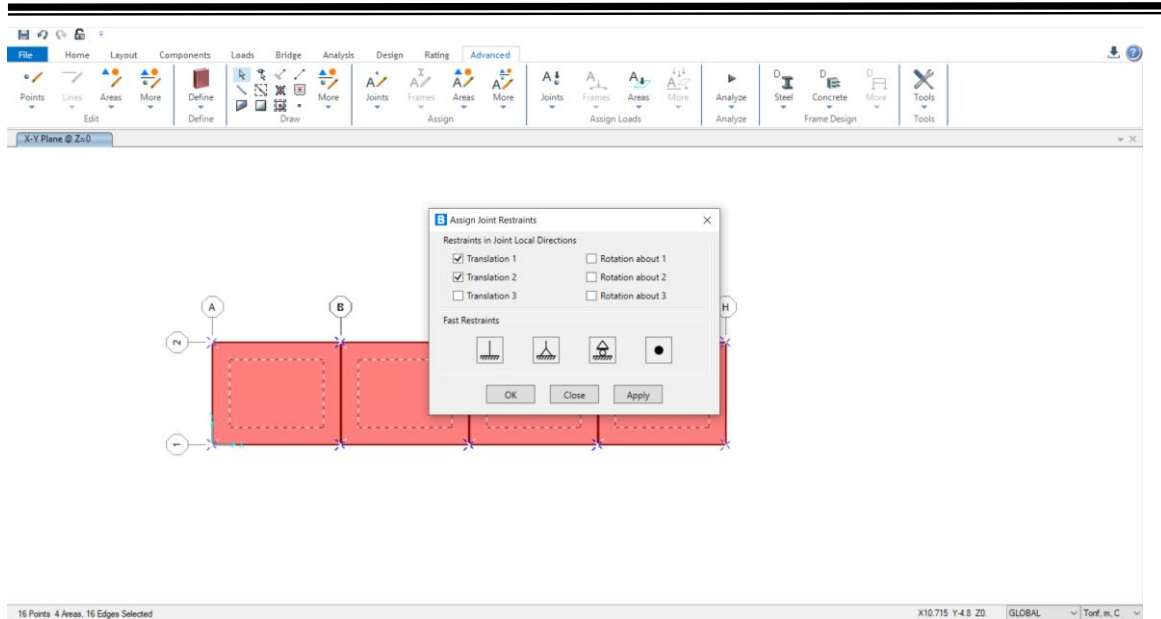
## Paso 1.- Determinar los ejes de la losa y sus paños



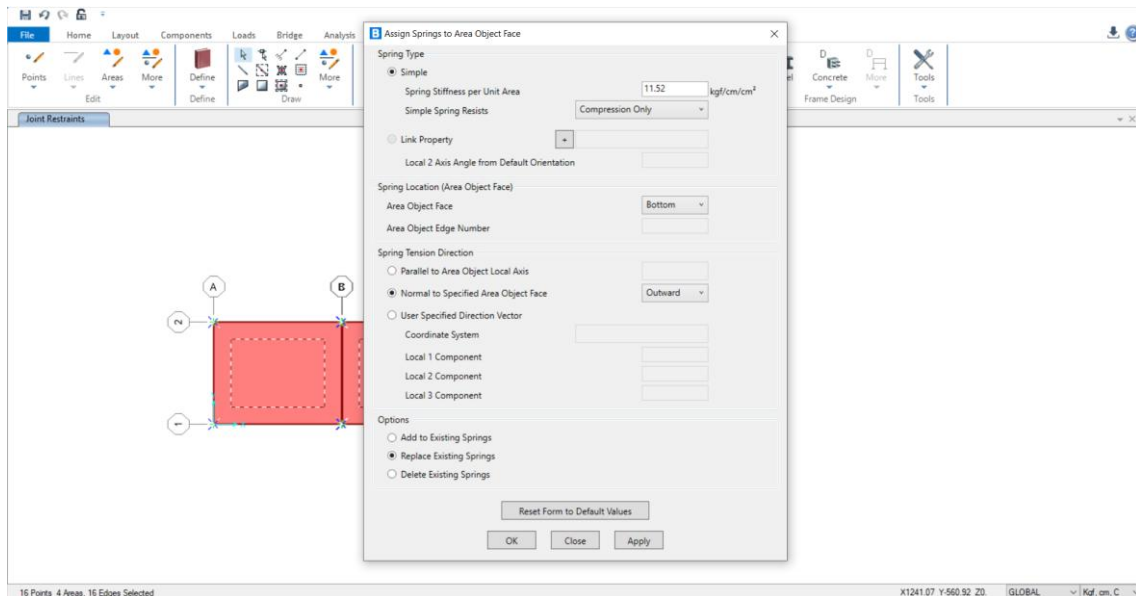
## Paso 2.- Determinar las propiedades del material, modulo de elasticidad, Poisson.



## Paso 3.- Dibujar la losa y asignar las restricciones correspondientes en la losa.



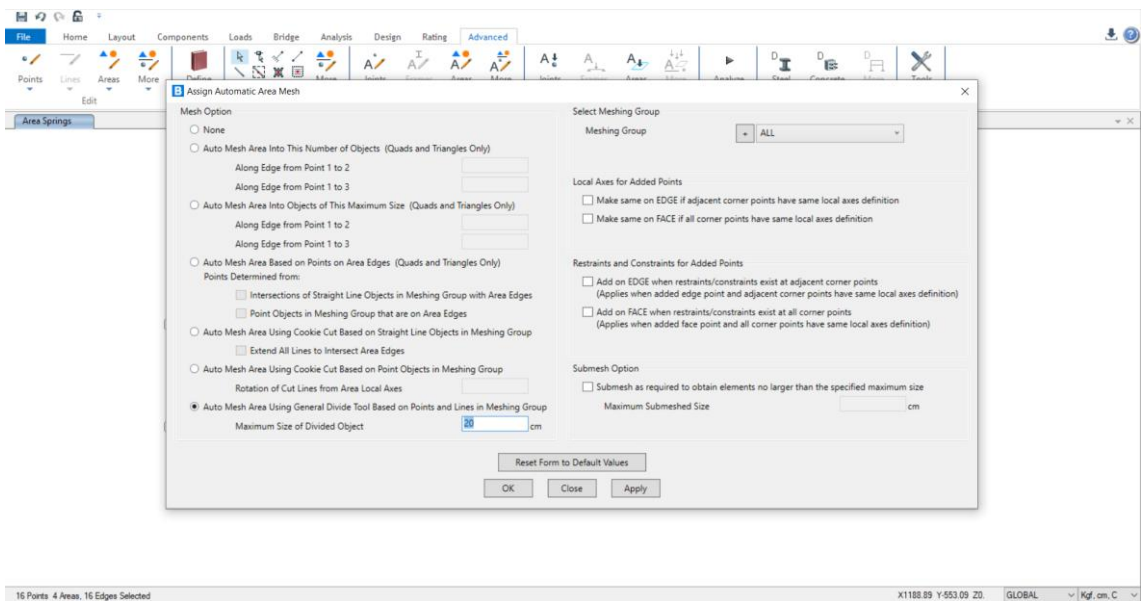
Paso 4.- Asignar los resortes en la cara del área del objeto. Se ingresa el valor del coeficiente de balasto



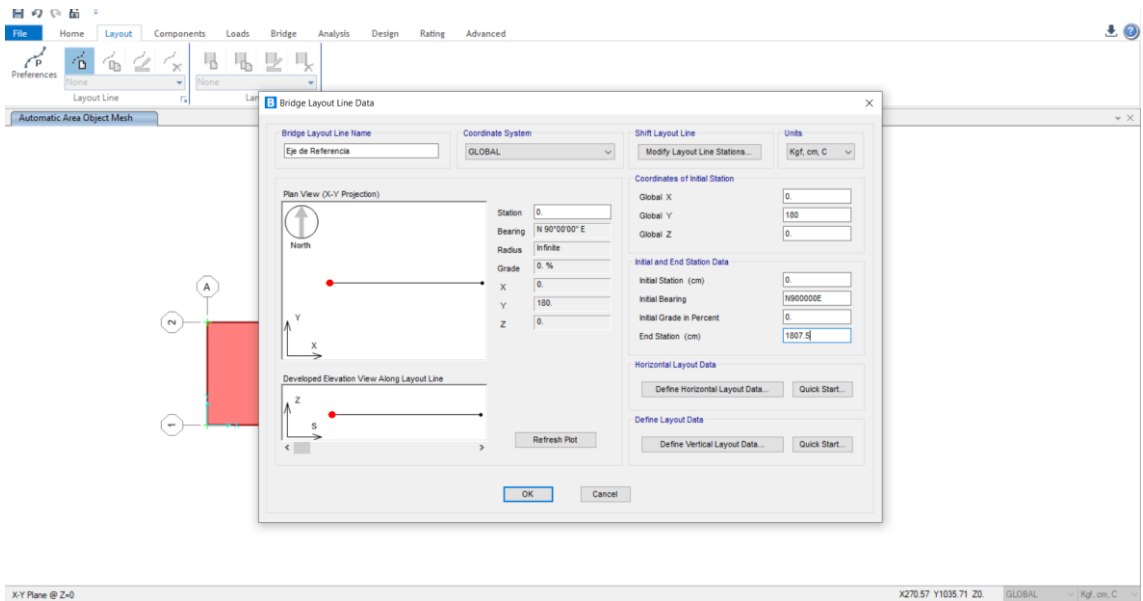
Paso 5.- Asignar una malla en el área del análisis para obtener resultados más exactos.



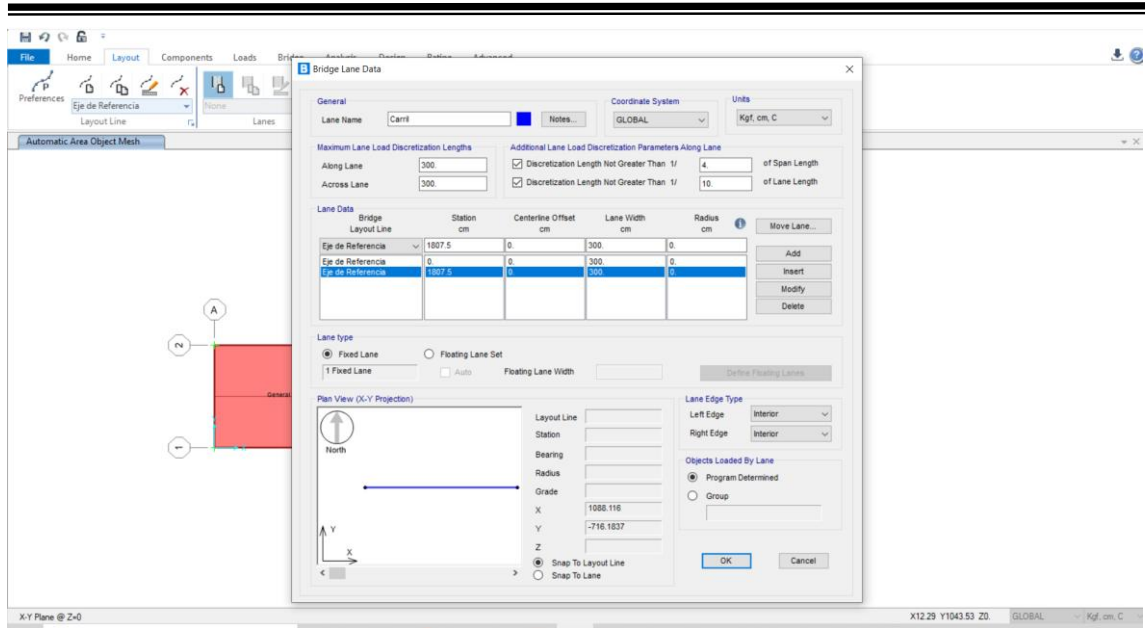
# “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”



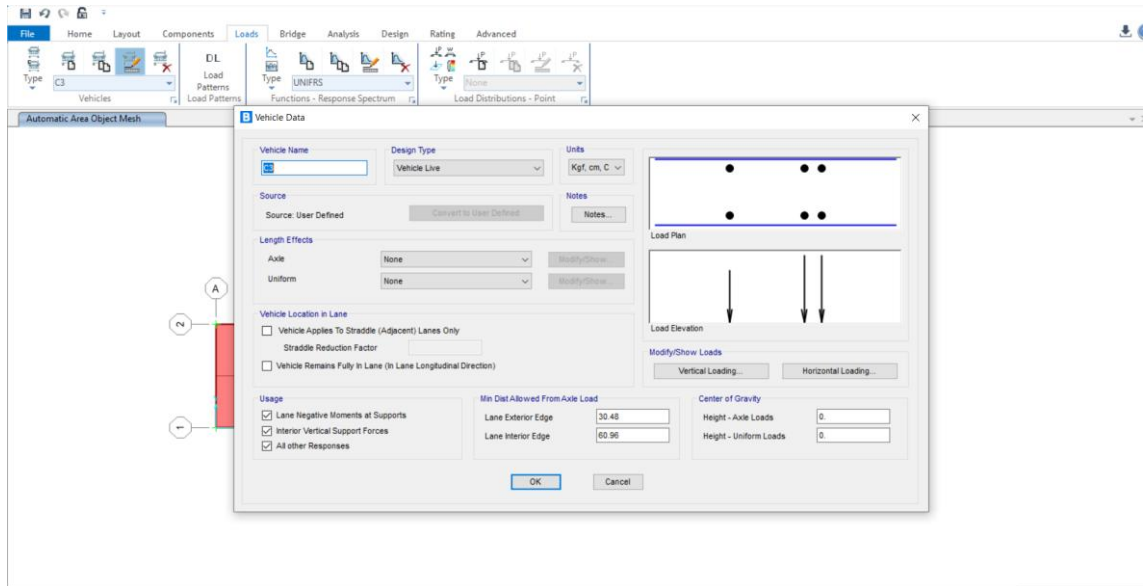
## Paso 6.- Definir el eje de referencia



## Paso 7.- Definir el carril de estudio



### Paso 8.- Definir el vehículo de estudio

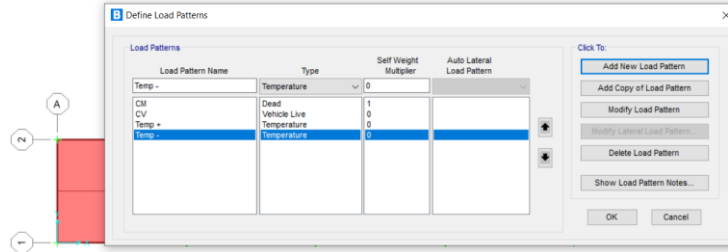
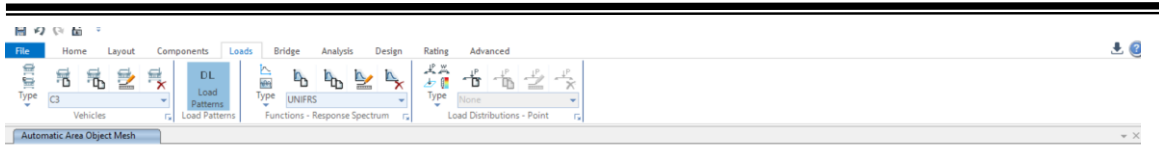


### Paso 9.- Definir las cargas que influyen en el modelo



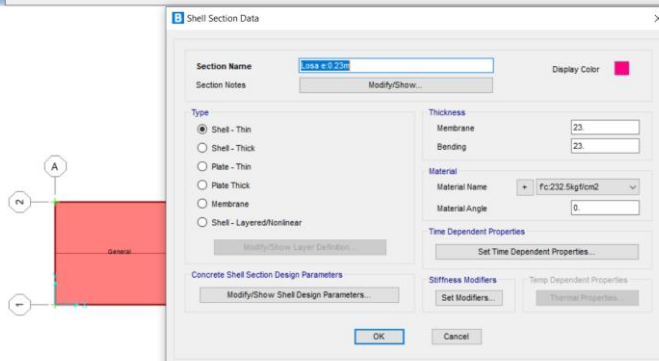
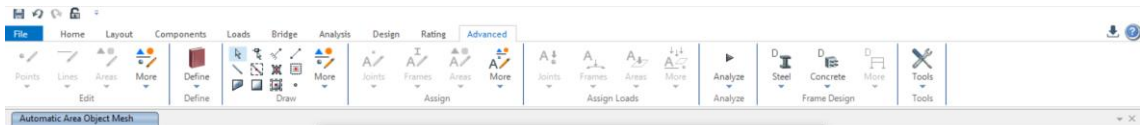


## “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”



X-Y Plane @ Z=0 X382.75 Y1035.71 Z0 GLOBAL Kgf, cm, C

Paso 9.- Definir el espesor de la losa, así como las propiedades del concreto.

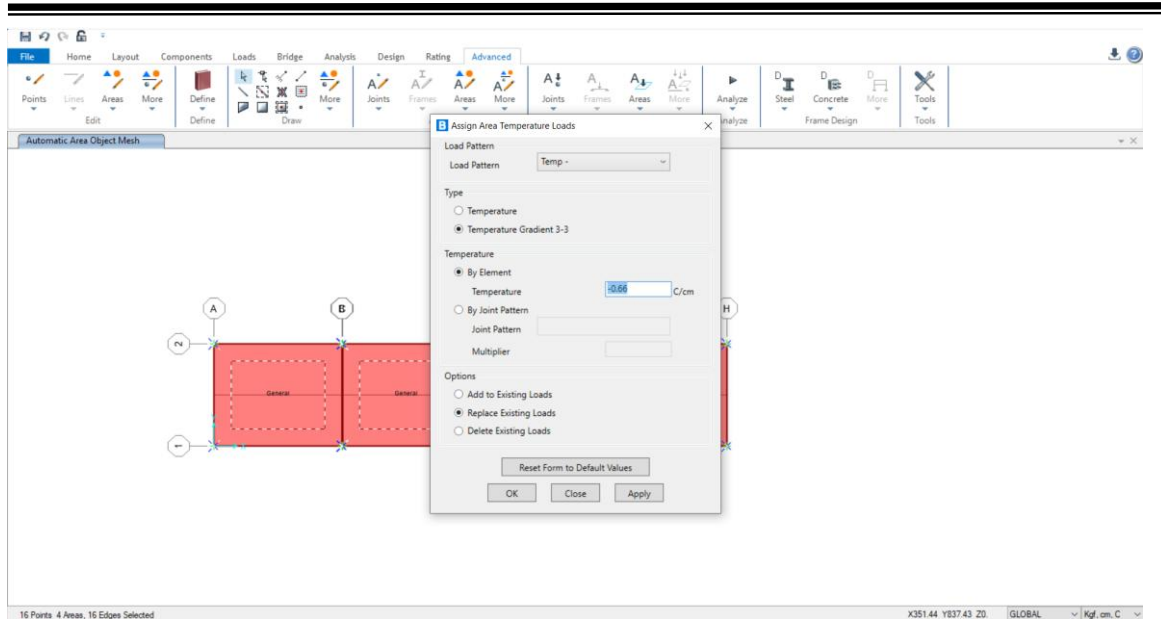


X-Y Plane @ Z=0 X1246.28 Y983.53 Z0 GLOBAL Kgf, cm, C

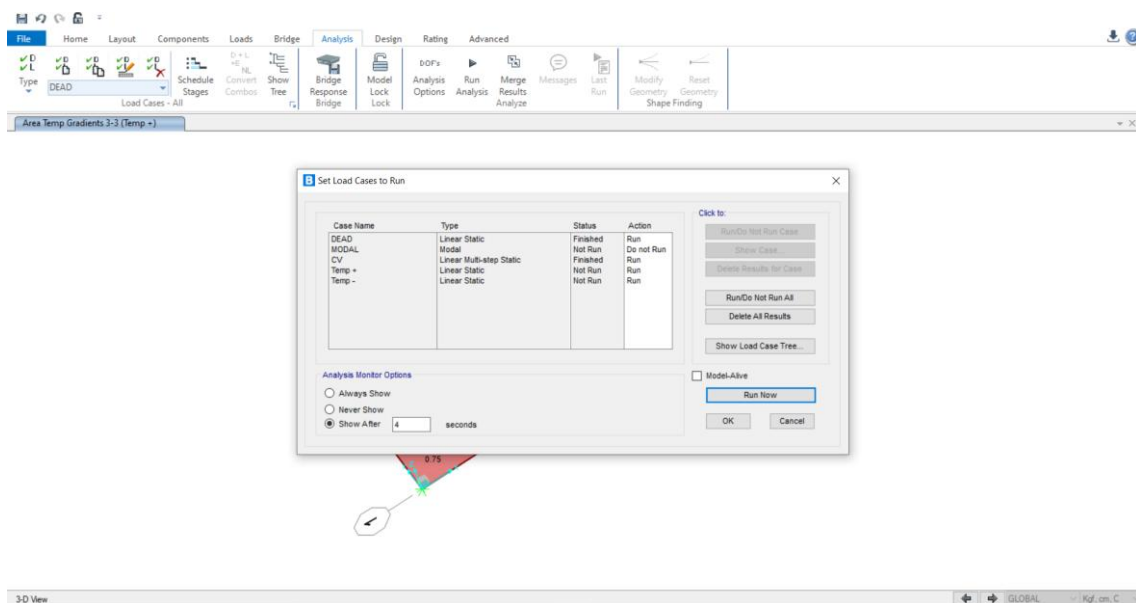
Paso 10.- Asignar las cargas de temperatura y la gradiente.



# “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”



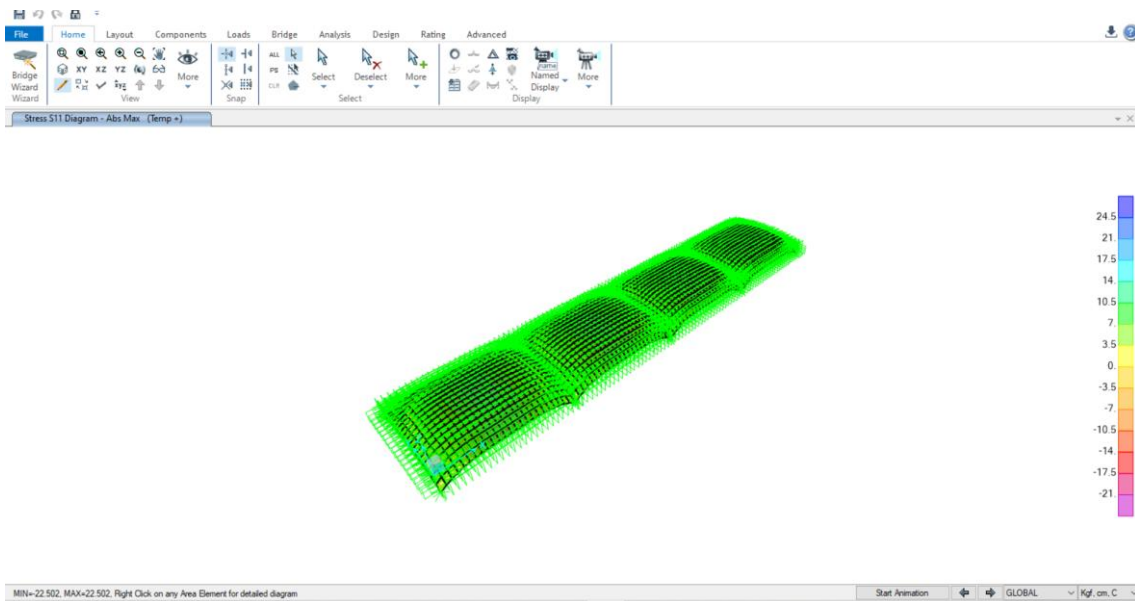
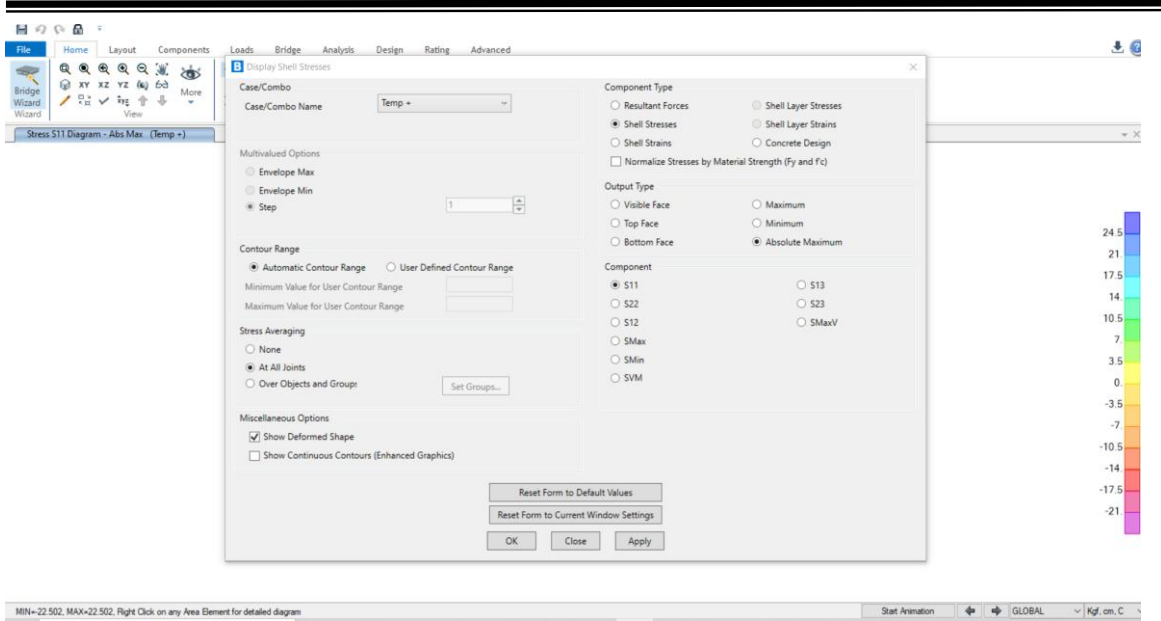
Paso 11.- Realizar la corrida del programa



Paso 12.- Generar los resultados de los esfuerzos y momentos .



# “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO - ANCASH”





## 4. : RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. ENSAYOS DE COMPRESIÓN

Se presentan los resultados de los ensayos a compresión realizados a los especímenes de concreto. Estos se evaluaron a las edades de 7,14 y 28 días respectivamente. Se trabajó a manera de cumplir con lo requerido en el diseño de mezcla planteado.

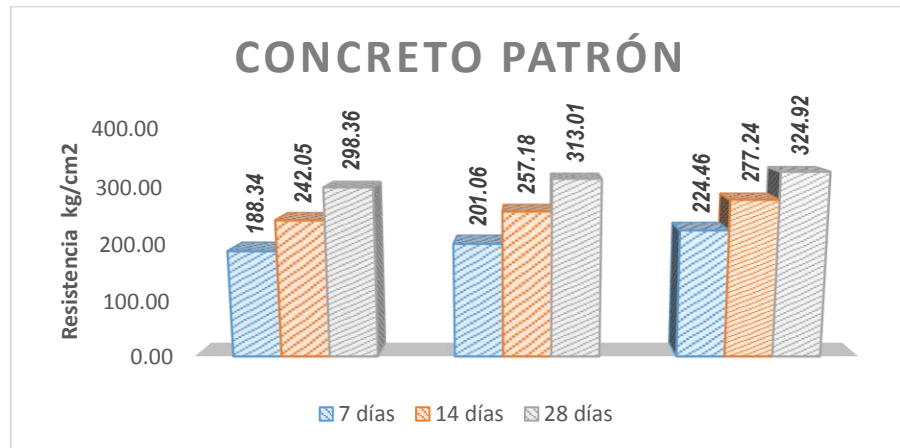
Se trabajó en base al método ACI. Para mayor detalle véase en anexos.

#### 4.1.1. Muestra Patrón

Los resultados de los ensayos del diseño de mezcla patrón.

|                     | <b>F'c obtenida a los 7 días</b> | <b>F'c obtenida a los 14 días</b> | <b>F'c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 188.34                           | 242.05                            | 298.36                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 201.06                           | 257.18                            | 313.01                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 224.46                           | 277.24                            | 324.92                            |
| <b>F'c Promedio</b> | 204.62                           | 258.82                            | 312.10                            |

*Ilustración 35.-Resultados de ensayos de diseño patrón. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 36.-Se muestra los resultados de los ensayos de compresión realizados a las probetas patrón.*

Cantidades de adición de fibras por tanda de 3 probetas:

| <b>Cemento patrón</b> | <b>Adición</b> | <b>Fibras de Polipropileno</b> | <b>Fibras Metálicas</b> |
|-----------------------|----------------|--------------------------------|-------------------------|
| <b>3000 gr</b>        | 3%             | 27 gr                          | 243 gr                  |
|                       | 6%             | 54 gr                          | 486 gr                  |
|                       | 10%            | 90 gr                          | 800 gr                  |



#### 4.1.2. Relación de adición de Fibras 10 – 90 / Polipropileno – Metálicas

- **Porcentaje de Adición de 3%**  
Resultados de los ensayos a compresión a los 7, 14 y 28 días de los testigos de concreto.

|                     | F'c obtenida<br>a los 7 días | F'c obtenida<br>a los 14 días | F'c obtenida<br>a los 28 días |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 221.58                       | 260.17                        | 281.27                        |
| <b>Probeta 2</b>    | 236.31                       | 248.46                        | 298.40                        |
| <b>Probeta 3</b>    | 209.49                       | 272.68                        | 315.81                        |
| <b>F'c Promedio</b> | 222.46                       | 260.44                        | 298.50                        |

*Cuadro 50.-Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra. Fuente:  
Elaboración propia*

- **Porcentaje de Adición de 6%**

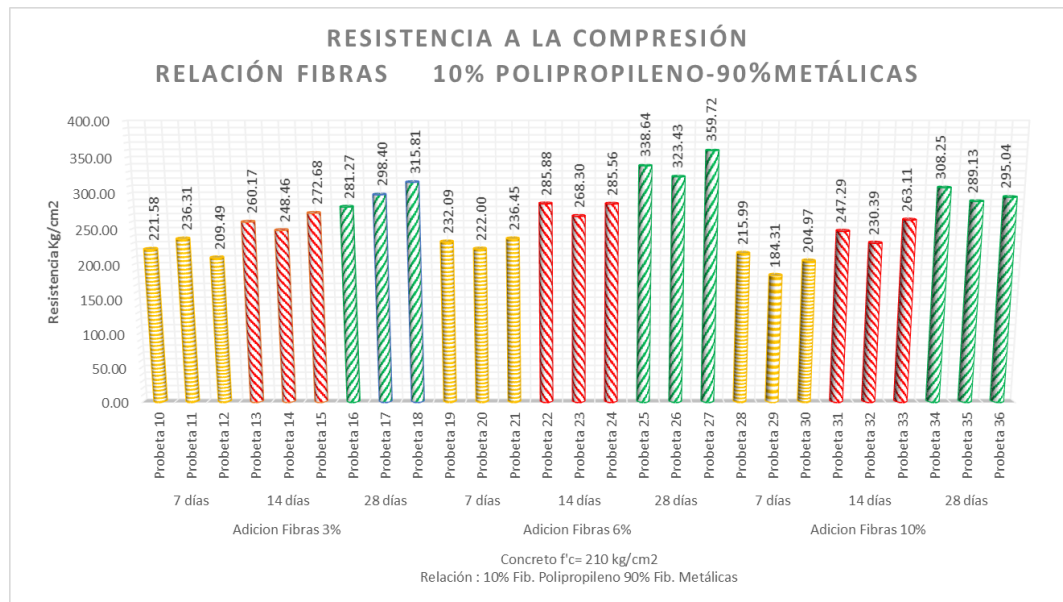
|                     | F'c obtenida<br>a los 7 días | F'c obtenida<br>a los 14 días | F'c obtenida<br>a los 28 días |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 232.09                       | 285.88                        | 338.64                        |
| <b>Probeta 2</b>    | 222.00                       | 268.30                        | 323.43                        |
| <b>Probeta 3</b>    | 236.45                       | 285.56                        | 359.72                        |
| <b>F'c Promedio</b> | 230.18                       | 279.91                        | 340.60                        |

*Cuadro 51.-Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra. Fuente:  
Elaboración propia.*

- **Porcentaje de Adición de 10%**

|                     | F'c obtenida<br>a los 7 días | F'c obtenida<br>a los 14 días | F'c obtenida<br>a los 28 días |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 215.99                       | 247.29                        | 308.25                        |
| <b>Probeta 2</b>    | 184.31                       | 230.39                        | 289.13                        |
| <b>Probeta 3</b>    | 204.97                       | 263.11                        | 295.04                        |
| <b>F'c Promedio</b> | 201.76                       | 246.93                        | 297.47                        |

*Cuadro 52.-Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra. Fuente:  
Elaboración propia.*



**Ilustración 37.**-Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 10% Polipropileno- 90% Metálicas. Resultados en Adición 3%, 6% y 10% respectivamente.

Se puede observar que los especímenes de la relación 10%P-90%M, en el porcentaje de adición de 6%, son los más regulares. Incluso los resultados a los 28 días son los más altos de todas las probetas realizadas.

#### 4.1.3. Relación de adición de Fibras 20 – 80 / Polipropileno – Metálicas

- **Porcentaje de Adición de 3%**

|                     | F'c obtenida a los 7 días | F'c obtenida a los 14 días | F'c obtenida a los 28 días |
|---------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 215.57                    | 278.89                     | 293.40                     |
| <b>Probeta 2</b>    | 231.15                    | 255.73                     | 318.43                     |
| <b>Probeta 3</b>    | 189.63                    | 247.35                     | 303.56                     |
| <b>F'c Promedio</b> | 212.12                    | 260.66                     | 305.13                     |

**Cuadro 53.**-Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra. Fuente: Elaboración propia.

- **Porcentaje de Adición de 6%**

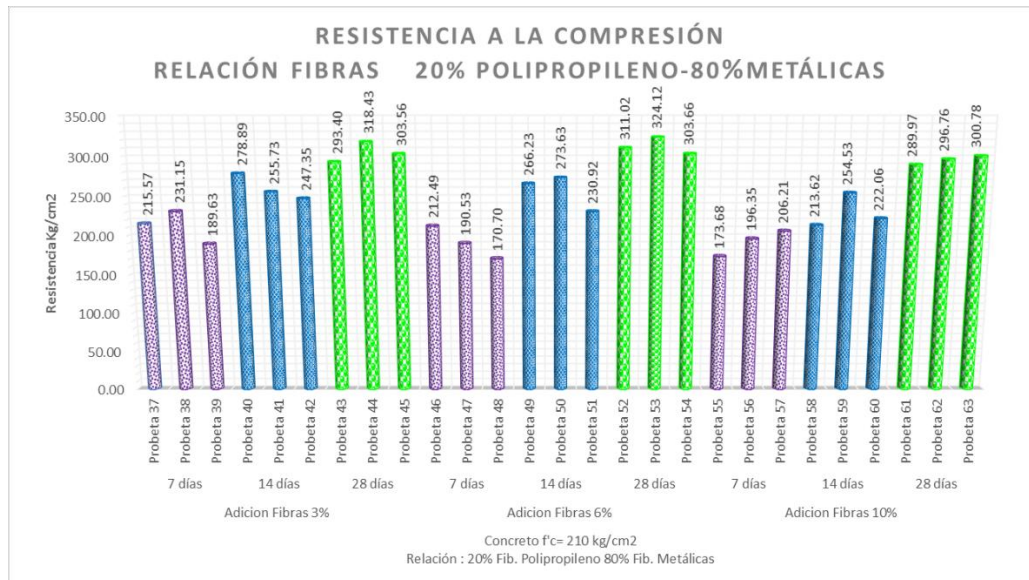
|                     | <b>F’c obtenida a los 7 días</b> | <b>F’c obtenida a los 14 días</b> | <b>F’c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 212.49                           | 266.23                            | 311.02                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 190.53                           | 273.63                            | 324.12                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 170.70                           | 230.92                            | 303.66                            |
| <b>F’c Promedio</b> | 191.24                           | 256.92                            | 312.93                            |

*Cuadro 54.- Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra. Fuente: Elaboración propia.*

- **Porcentaje de Adición de 10%**

|                     | <b>F’c obtenida a los 7 días</b> | <b>F’c obtenida a los 14 días</b> | <b>F’c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 173.68                           | 213.62                            | 289.97                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 196.35                           | 254.53                            | 296.76                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 206.21                           | 222.06                            | 300.78                            |
| <b>F’c Promedio</b> | 192.08                           | 230.07                            | 295.84                            |

*Cuadro 55.-Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra. Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 38.-Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 20% Polipropileno- 80% Metálicas. Resultados en Adición 3%,6%y 10% respectivamente.*





Los resultados de estos ensayos nos muestran que aplicando la adición de fibras en esta proporción nos da resultados bajos respecto a lo esperado a los 14 días. Y relativamente irregulares respecto a los 7 y 28 días.

#### 4.1.4. Relación de adición de Fibras 35-65 / Polipropileno - Metálicas

- **Porcentaje de Adición de 3%**

|                     | <b>F'c obtenida a los 7 días</b> | <b>F'c obtenida a los 14 días</b> | <b>F'c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 193.35                           | 231.32                            | 277.10                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 206.78                           | 260.84                            | 338.16                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 186.98                           | 222.08                            | 306.66                            |
| <b>F'c Promedio</b> | 195.70                           | 238.08                            | 307.31                            |

*Cuadro 56.- Resultados de porcentaje de adición al 3% de fibra.  
Fuente: Elaboración propia.*

- **Porcentaje de Adición de 6%**

|                     | <b>F'c obtenida a los 7 días</b> | <b>F'c obtenida a los 14 días</b> | <b>F'c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 175.12                           | 242.83                            | 318.29                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 193.40                           | 239.00                            | 329.73                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 203.43                           | 228.03                            | 311.73                            |
| <b>F'c Promedio</b> | 190.65                           | 236.62                            | 319.92                            |

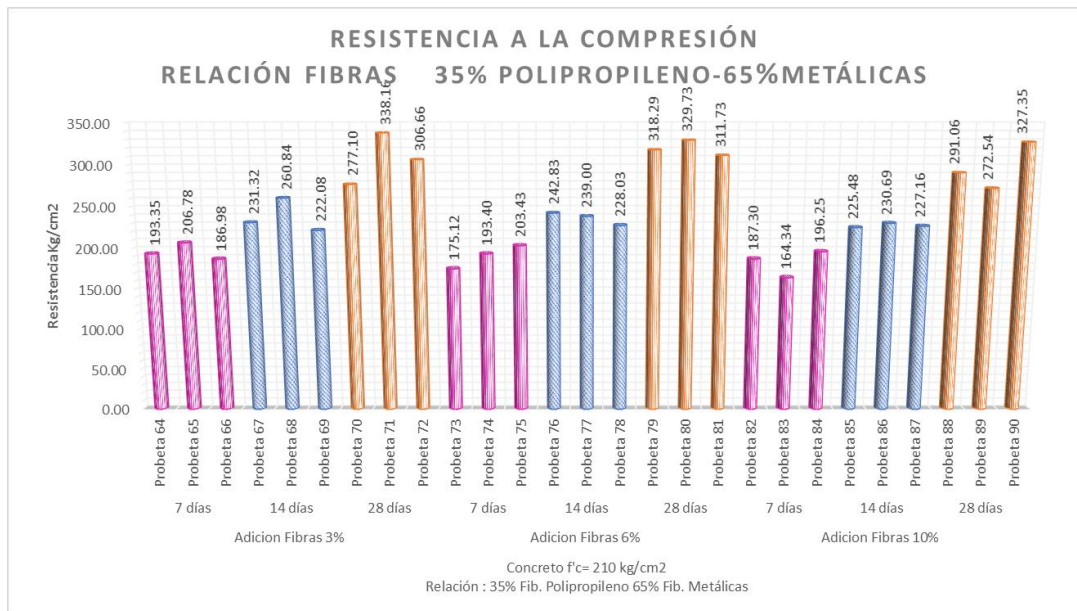
*Cuadro 57.- Resultados de porcentaje de adición al 6% de fibra.  
Fuente: Elaboración propia.*

- **Porcentaje de Adición de 10%**

|                     | <b>F'c obtenida a los 7 días</b> | <b>F'c obtenida a los 14 días</b> | <b>F'c obtenida a los 28 días</b> |
|---------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Probeta 1</b>    | 187.30                           | 225.48                            | 291.06                            |
| <b>Probeta 2</b>    | 164.34                           | 230.69                            | 272.54                            |
| <b>Probeta 3</b>    | 196.25                           | 227.16                            | 327.35                            |
| <b>F'c Promedio</b> | 182.63                           | 227.78                            | 296.98                            |

*Cuadro 58.- Resultados de porcentaje de adición al 10% de fibra.  
Fuente: Elaboración propia.*





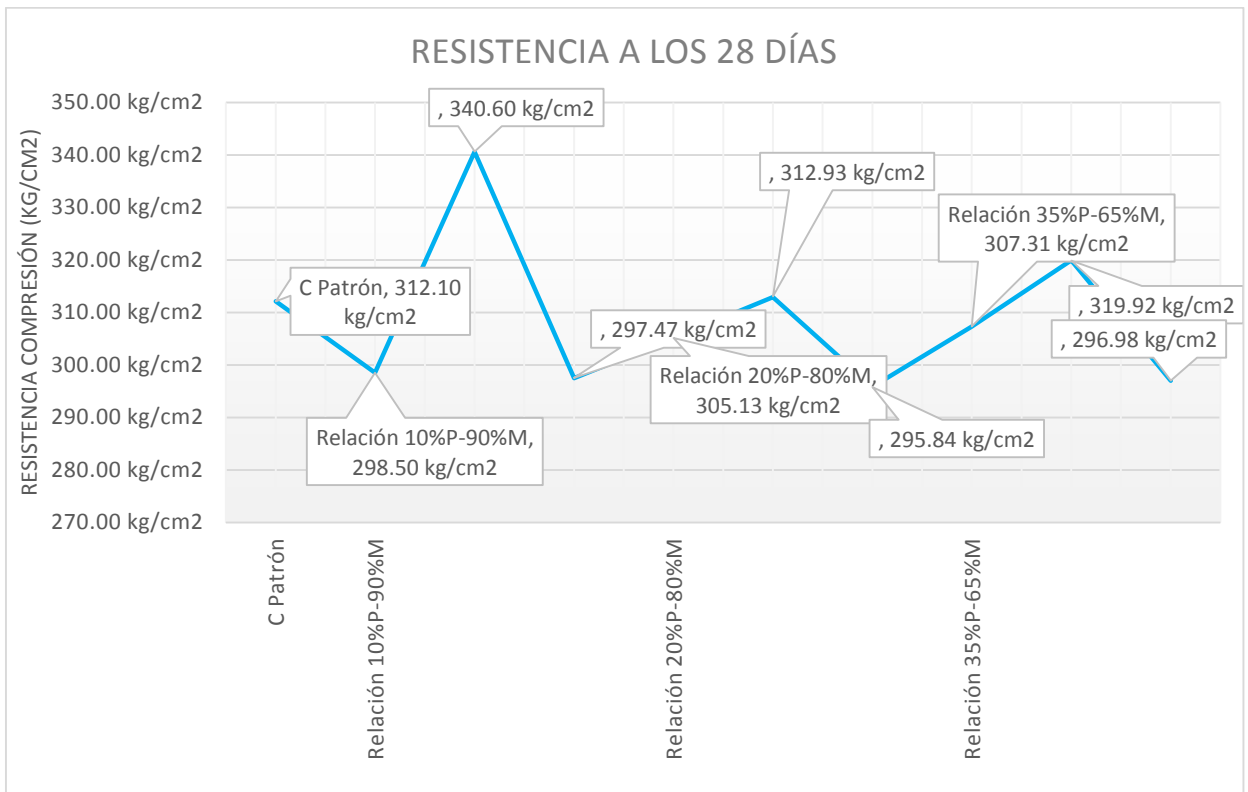
**Ilustración 39.**-Resultados de resistencia a la compresión, adición de fibras proporción 35% Polipropileno – 65% Metálicas. Resultados en adición 3%, 6% y 10% respectivamente.

Los resultados de estos ensayos nos muestran que aplicando la adición de fibras en esta proporción nos da resultados bajos respecto a lo esperado a los 14 días. Sin embargo, respecto a la resistencia a los 28 días, los resultados están en la media. No obstante es aún irregular respecto a los resultados obtenidos a los 7 y 14 días respectivamente.

Para escoger la proporción adecuada se evaluó los resultados de los ensayos a los 28 días. De esta manera se obtuvo los siguientes datos:



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**



**Ilustración 40.-**Resultados de resistencia obtenida en los ensayos de compresión, con las distintas dosificaciones, evaluados a los 28 días.

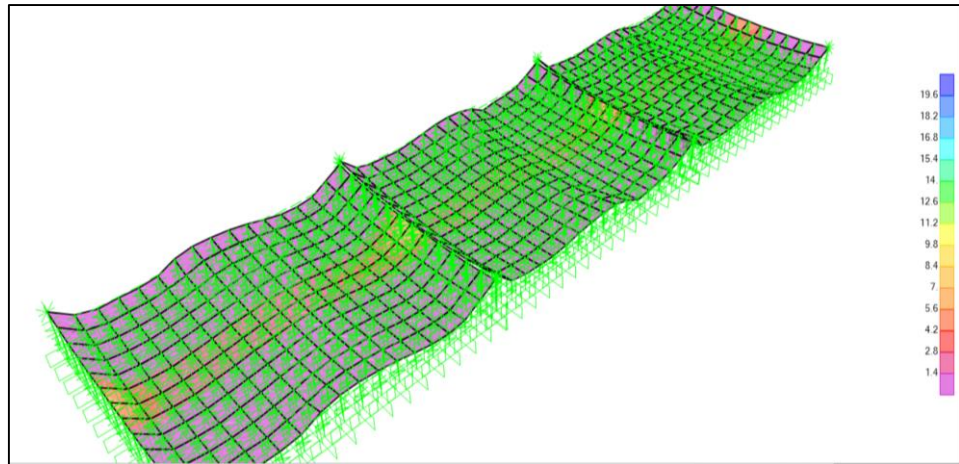
|                           |             |                           |
|---------------------------|-------------|---------------------------|
| <i>C Patrón</i>           | Patrón      | 312.10 kg/cm <sup>2</sup> |
| <i>Relación 10%P-90%M</i> | 3% Adición  | 298.50 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 6% Adición  | 340.60 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 10% Adición | 297.47 kg/cm <sup>2</sup> |
| <i>Relación 20%P-80%M</i> | 3% Adición  | 305.13 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 6% Adición  | 312.93 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 10% Adición | 295.84 kg/cm <sup>2</sup> |
| <i>Relación 35%P-65%M</i> | 3% Adición  | 307.31 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 6% Adición  | 319.92 kg/cm <sup>2</sup> |
|                           | 10% Adición | 296.98 kg/cm <sup>2</sup> |



## 4.2. Resultados de corrida en CSI BRIDGE

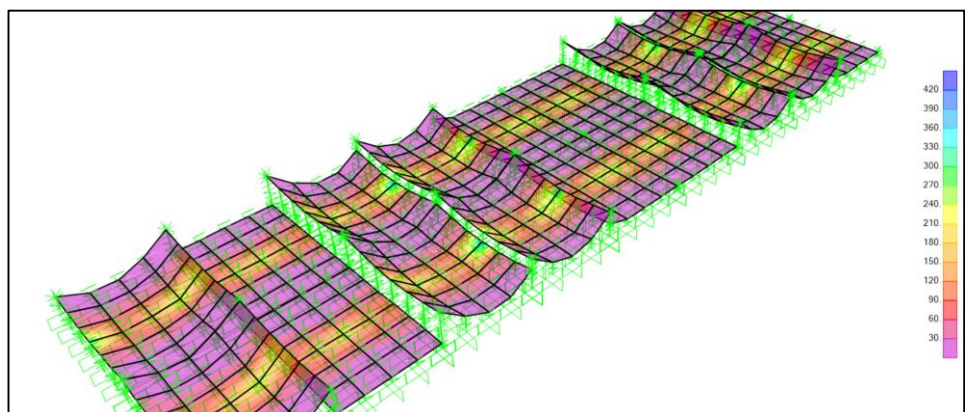
- Datos Modelo Patrón 3.6 x 4.5m e=15.69 cm  
Con concreto mejorado con fibras ( $f'c=288.73$ )

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1769.212 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 43.121 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 20.699 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura -       | 18.337 kgf/cm <sup>2</sup> |



- Datos Losa 1.8 x 1.4 m e=8 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 705.056 kg-cm/cm           |
| Tensión Superficial | 66.099 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 8.091 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Temperatura -       | 7.168 kgf/cm <sup>2</sup>  |

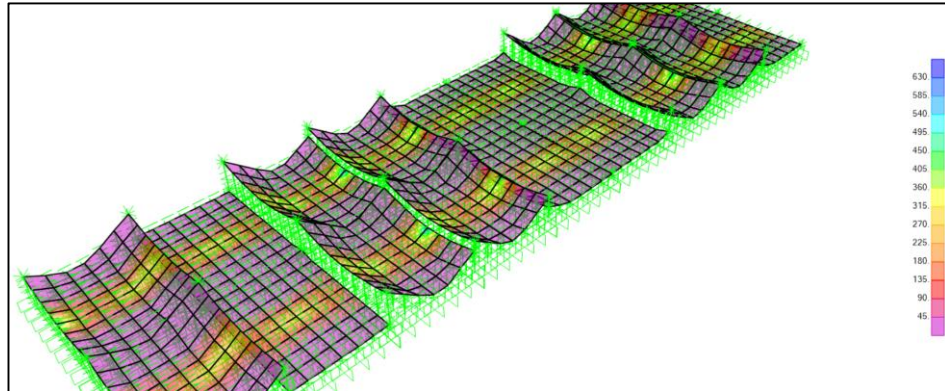


- Datos Losa 1.8 x 1.4 m e=10 cm



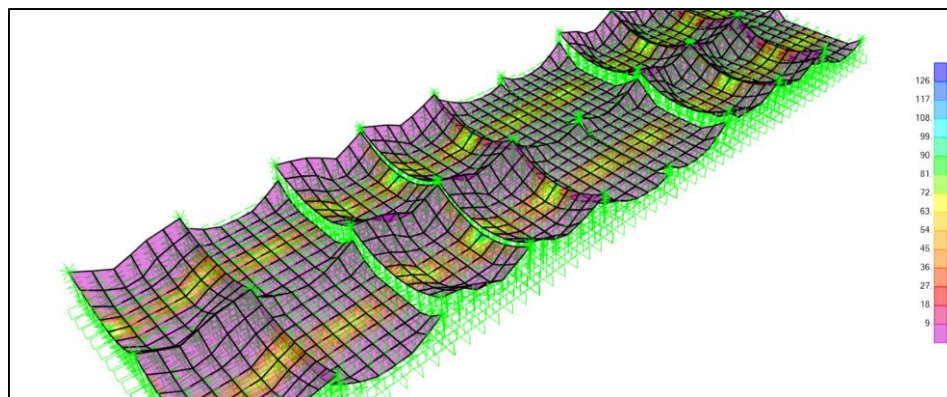
“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 756.371 kg-cm/cm           |
| Tensión Superficial | 45.382 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 7.652 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Temperatura -       | 6.779 kgf/cm <sup>2</sup>  |



- Datos Losa 1.8 x 1.4 m e=12 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 793.452 kg-cm/cm           |
| Tensión Superficial | 33.061 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 6.736 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Temperatura -       | 5.967 kgf/cm <sup>2</sup>  |



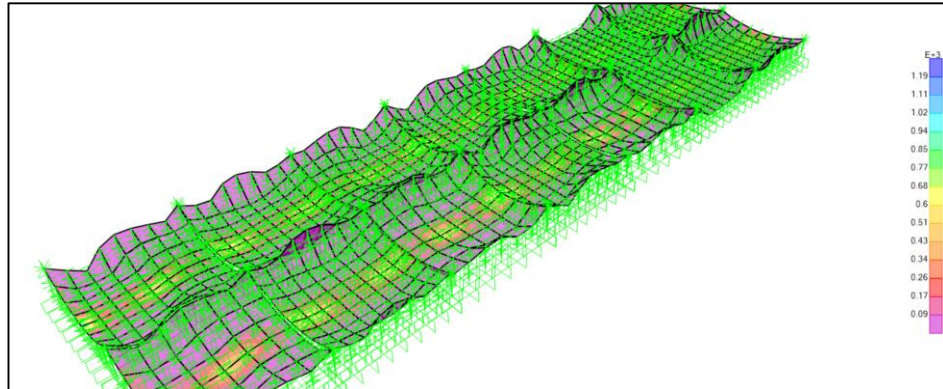
- Datos Losa 1.8 x 1.8 m e=8 cm





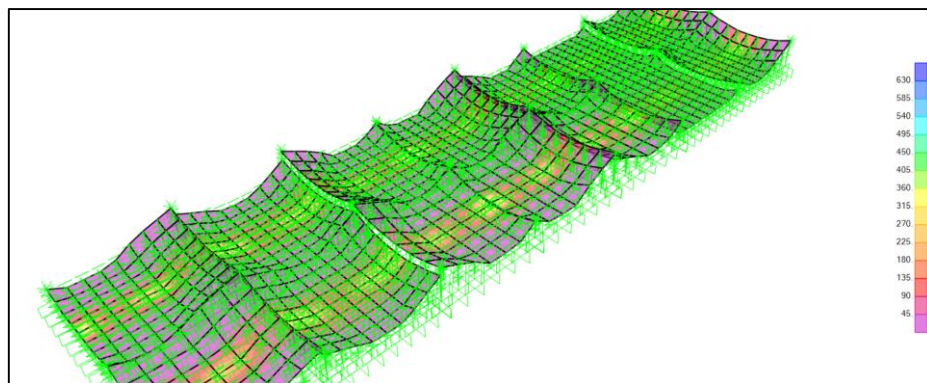
**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1014.138 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 95.075 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 8.75 kgf/cm <sup>2</sup>   |
| Temperatura -       | 7.752 kgf/cm <sup>2</sup>  |



- Datos Losa 1.8 x 1.8 m e=10 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1080.281 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 64.817 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 8.441 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Temperatura -       | 7.478 kgf/cm <sup>2</sup>  |

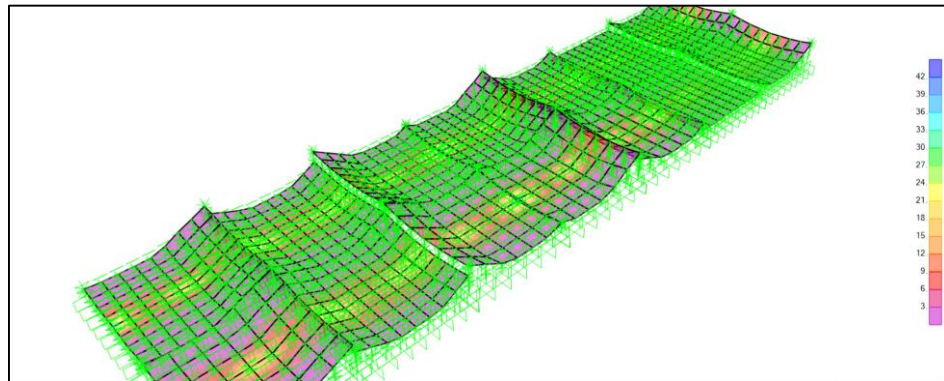


- Datos Losa 1.8 x 1.8 m e=12 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1127.404 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 46.975 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 7.511 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| Temperatura -       | 6.554 kgf/cm <sup>2</sup>  |

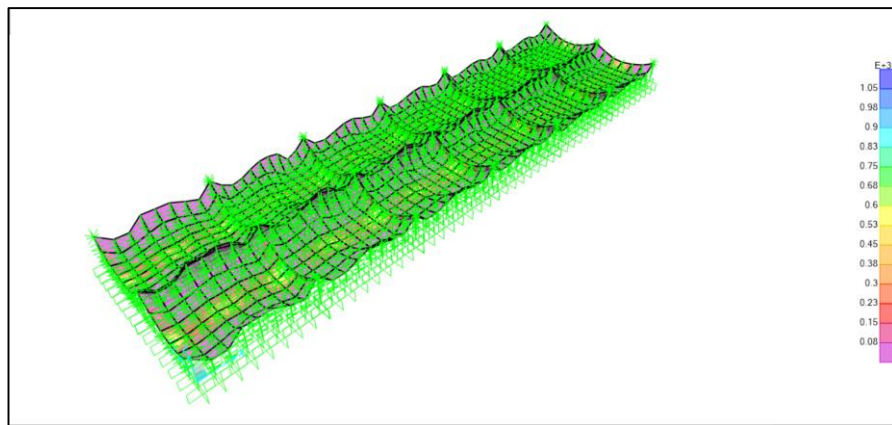


“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”



- Datos Losa 1.8 x 2.25 m e=8 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1069.562 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 100.28 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 10.035 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura -       | 8.89 kgf/cm <sup>2</sup>   |

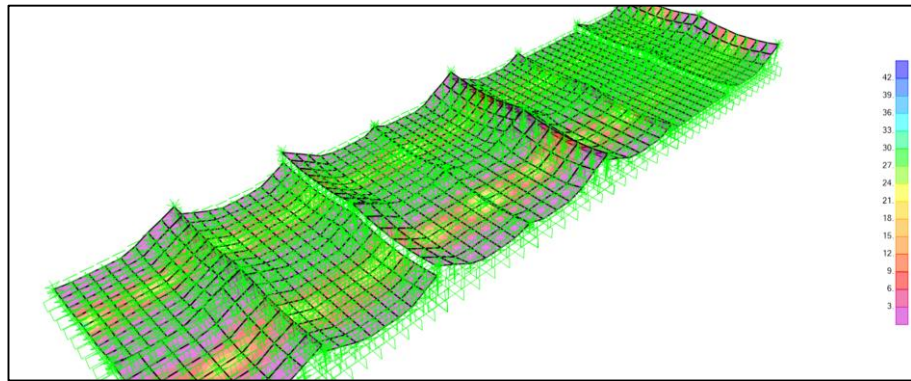


- Datos Losa 1.8 x 2.25 m e=10 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1138.185 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 68.291 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 10.899 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura -       | 9.655 kgf/cm <sup>2</sup>  |

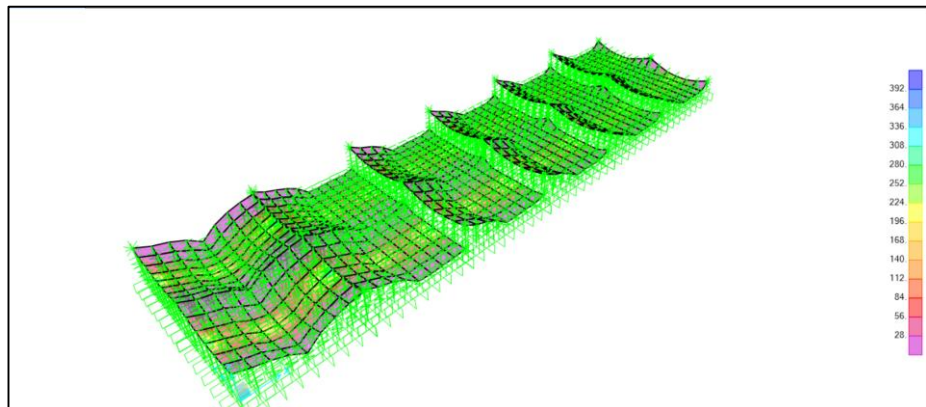


“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”



- Datos Losa 1.8 x 2.25 m e=12 cm

|                     |                            |
|---------------------|----------------------------|
| Momento Máximo D22  | 1187.688 kg-cm/cm          |
| Tensión Superficial | 49.487 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura +       | 10.817 kgf/cm <sup>2</sup> |
| Temperatura -       | 9.583 kgf/cm <sup>2</sup>  |





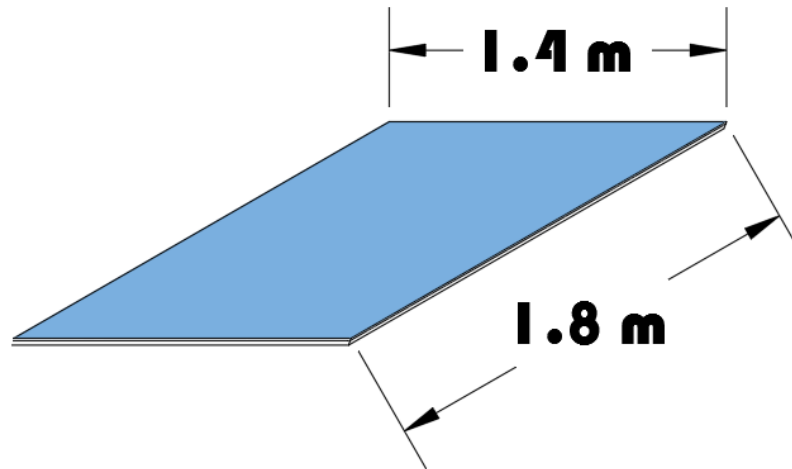
“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”

Iterando se logró obtener los espesores óptimos por cada dimensión de losa corta.

|   |                       | Val. Óptimos               |
|---|-----------------------|----------------------------|
| Pav. Patron<br>3.6 x 4.5 m<br><br>Espesor : 15.69 cm  | Momento Máximo        | 1769.212 kg-cm/cm          |
|   | Tensión Superficial   | 43.121 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura +         | 20.699 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura -         | 18.337 kgf/cm <sup>2</sup> |
| 180 x 2.25 m<br><br>Espesor : 13 cm                   | Momento Máximo        | 1207.959 kg-cm/cm          |
|   | Tensión Superficial   | 42.886 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura +         | 10.534 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura -         | 9.333 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| 180 x 1.40<br><br>Espesor : 10.35 cm<br><b>ÓPTIMO</b> | Momento Máximo<br>D22 | 763.748 kg-cm/cm           |
|   | Tensión Superficial   | 42.778 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura +         | 7.512 kgf/cm <sup>2</sup>  |
|   | Temperatura -         | 6.655 kgf/cm <sup>2</sup>  |
| 180 x 1.80<br><br>Espesor : 12.7 cm                   | Momento Máximo<br>D22 | 1140.882 kg-cm/cm          |
|   | Tensión Superficial   | 42.441 kgf/cm <sup>2</sup> |
|   | Temperatura +         | 7.133 kgf/cm <sup>2</sup>  |
|   | Temperatura -         | 6.319 kgf/cm <sup>2</sup>  |

Por lo tanto, se toma como espesor óptimo del pavimento rígido  $E=10.35$  cm. Con losas cortas de 1.80 x 1.40 m.





## Dimensiones losa Optimizada

### PAVIMENTO OPTIMIZADO





---

### 4.3. DISCUSIONES

Adición de Fibras:

- Se obtuvo que el óptimo porcentaje para el diseño es una adición de 6% de fibras en el concreto, el cual contiene 10% de fibras de polipropileno y 90% de Fibras metálicas.

Estos resultados son respaldados por Saenz y Zanuy (2017) en su investigación “Caracterización del comportamiento en flexión del hormigón reforzado con fibras de acero sometido a impacto”, quienes señalan que a mayor contenido volumétrico de fibras metálicas, el concreto tiene un mejor comportamiento. Sin embargo, Según la norma de Concreto E.060 establece que la dosificación de los materiales para el concreto debe lograr la trabajabilidad y consistencia adecuada.

Razón por la cual en la presente investigación la adición de este % se considera como el óptimo a trabajar debido a que el empleo de mayores cantidades de fibra metálica hace que se pierda adherencia y trabajabilidad de los agregados. Especialmente el agregado grueso, el cual queda atrapado entre las fibras y no se distribuye de manera uniforme.

Resistencia de concreto:

- Se obtuvo como mejor resultado una resistencia de 340.60 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días usando una adición de 6% de fibras.

Al respecto Muñoz (2010) en su investigación “Comportamiento mecánico del hormigón reforzado con fibra de polipropileno multifilamento” señala que la resistencia a la compresión del concreto adicionando fibras de polipropileno tiene un tope hasta 10% de adición a partir del cual la resistencia en vez de aumentar disminuye.



Asimismo Araujo (2018) concluye que las adiciones fibras de acero y polipropileno influyen significativamente en la resistencia al concreto.

En esta investigación lo mencionado por dichos autores se comprueba con el empleo de las fibras de polipropileno, las cuales, si bien es cierto aumentaron considerablemente la resistencia y disminución de grietas en el concreto, pero en cantidades mayores la resistencia lograda fue menor o similar al patrón.

#### Espesor Pavimento:

- Se obtuvo un espesor de 10.35 cm mediante el uso del software CSiBridge con el método TCP, logrando reducir 5.34 cm en función al espesor del patrón debido a la incorporación de fibras al concreto.

Al respecto, Mendoza (2015) en su investigación “Evaluación de losas cortas TCP en pavimentos según sus tensiones” señala que usando el método TCP con el uso del software 2000 obtuvo una reducción de espesor de 3 cm, pero menciona que si se usase un programa con mayor especialidad en pavimentos podría reducir un poco más el espesor.

Con la utilización del método TCP en esta investigación se comprobó que se reduce el espesor del pavimento, más aun usando las fibras que elevan la resistencia del concreto y teniendo en cuenta que el software usado es más enfocado en pavimentos se logró reducir 6.275 cm en comparación al espesor del pavimento obtenido a través del método AASHTO 93.



## 5. CAPITULO VI : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. Se obtuvo una propuesta de diseño de pavimento rígido con un espesor de 10.35 cm, en base a la adición de un 6% de fibras (10% polipropileno y 90% de metálicas), aplicando de la tecnología de losas cortas TCP. Logrando comprobar la hipótesis alterna planteada.

5.1.2. Se realizó un diseño de pavimento rígido usando el método AASHTO 93 con un concreto cuya resistencia de diseño es de 280 kg/cm<sup>2</sup> y con la adición de fibras de polipropileno y metálicas la resistencia alcanzo 340.60 kg/cm<sup>2</sup>.

5.1.3. Se realizaron los ensayos de laboratorio de acuerdo a la normativa vigente según el Manual de Ensayo de materiales, la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos y el Manual de Carreteras (Suelos, Geología y Pavimentos).



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METÁLICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| <b>ENSAYOS REALIZADOS</b>   |                            |                            |                       |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| <b>Terreno</b>              |                            |                            |                       |
| <b>CBR</b>                  | 27%                        |                            |                       |
| <b>Límites de Atterberg</b> | L. Líquido<br>21 %         | L. Plástico<br>17%         | Suelo AASHTO<br>A-1-B |
| <b>Agregados</b>            | Agregado fino              | Agregado fino              |                       |
| <b>Peso específico</b>      | 2.75 Gr/cm <sup>3</sup>    | 2.83 Gr/cm <sup>3</sup>    |                       |
| <b>Absorción</b>            | 0.96%                      | 0.50%                      |                       |
| <b>Contenido de humedad</b> | 1.16%                      | 0.20%                      |                       |
| <b>Módulo de fineza</b>     | 2.85                       |                            |                       |
| <b>Peso unitario suelto</b> | 1464.65 Kg/cm <sup>3</sup> | 1423.12 Kg/cm <sup>3</sup> |                       |
| <b>Concreto</b>             | 340.60 kg/cm <sup>2</sup>  |                            |                       |

5.1.4. Se obtuvo un pavimento rígido de espesor 10.35 cm, con losas cortas de dimensiones 1.80 x 1.4m, con un  $f'c=340.60$  kg/cm<sup>2</sup>.



## 5.2. RECOMENDACIONES

- 5.2.1. Al aplicar el método de losas cortas en los pavimentos ultra delgados se tiene que tener especial atención y control en las fases de diseño y construcción; con una importante atención en el diseño y control de las especificaciones de las capas de soporte y sistema de juntas.
- 5.2.2. De acuerdo a la parte teórica y con los resultados obtenidos en las simulaciones realizadas en el programa CSiBRIDGE. Se concluye que los esfuerzos resultantes por cargas de eje de las losas cortas van en aumento a medida que se disminuye el espesor. No obstante, los esfuerzos generados por los cambios de temperatura son menos susceptibles.
- 5.2.3. Basados en las dimensiones y cargas del vehículo de diseño, en este caso el Camión C3, para el dimensionamiento de las losas para correr en el CSiBRIDGE, se determinaron las dimensiones de las losas optimizadas de tal manera que se apoye una rueda o un par de estas en cada losa del pavimento.
- 5.2.4. Se recomienda tener en consideración respecto al uso de las fibras de polipropileno. Debido a que mientras mayor es la participación de este en el concreto, menor es la trabajabilidad del concreto. Por lo cual, de ser empleado se debe considerar el empleo de aditivos que ayuden con la mejora de esta propiedad.
- 5.2.5. El espesor de la losa se puede reducir aún más usando softwares más específicos, de acuerdo a como nos plantea Mendoza H (2015), “los software como ISLAB2000, EverFE2.24 son de exclusividad para determinación de tensiones en las losas permitiéndonos reducir espesores hasta en 10 cm con la misma resistencia planteada con el diseño AASHTO”.
- 5.2.6. El tipo de material de la sub rasante tiene gran influencia en el espesor escogido como el óptimo, debido a que este influye en el



coeficiente de Balasto o K. El cual, es muy importante porque a mayor el número del CBR, se incrementa también la capacidad de soporte de la sub base , con lo cual también permitirá reducir el espesor del pavimento a trabajar.

5.2.7. Se recomienda tomar en observación y estudio el comportamiento de las losas de menor espesor a las tradicionales. De ese modo tener mejores referencias de la funcionalidad de estas en la práctica. Asimismo, evaluar la exposición de estas en diversos ambientes.

5.2.8. Se recomienda tomar en consideración el vehículo de diseño adecuado para evaluar y decidir las dimensiones de losas cortas óptimas para trabajarlas.

5.2.9. El empleo de fibras, y de la tecnología de losas cortas, no nace con la finalidad de reemplazar a las metodologías de trabajo existentes. Por el contrario, nace como una propuesta para su consideración en la aplicación en nuestra realidad. Para que de este modo sea tomada en cuenta como una alternativa viable en diferentes tipos de vías de nuestro país. Para que de este modo se pueda verificar su fiabilidad en su comportamiento



## 6. CAPITULO VII : BIBLIOGRAFIA

### 6.1. NORMAS

- Manual de Carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos: sección suelos y pavimentos. Resolución directoral N° 10-2014 – MTC/14
- MVCS Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2010) Norma CE010, Pavimentos Urbanos. Lima, Perú.

### 6.2. LIBROS

- Tópicos de pavimentos de concreto diseño construcción y supervisión, ing. Mario Becerra Salas, Lima 2012
- López E (2012). Diseño de Mezclas. Lima, Perú
- Salazar A (2015). Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, 2da Edición. México.
- MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). Manual de ensayo de Materiales. Lima, Perú.
- MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de carreteras, Especificaciones técnicas generales para la construcción EG-2013. Lima, Perú.

### 6.3. INFORMES DE INVESTIGACION

- Canchari, E. (2015). Evaluación del diseño de losas cortas (TCP) en pavimentos según tensiones. Ayacucho, Perú.
- Calla, A. (2015). Pavimentación de los Jirones Achaya, Manco Capac, “Conde de Lemus, Arica y Puno de la municipalidad distrital de Caminaca – Azangaro”. Puno, Perú.
- Diaz, O. (2012). “La evolución de la industria del cemento con énfasis en Latinoamérica”. Guatemala
- Chapoñan J. & Quispe J. (2017). Análisis del comportamiento de las propiedades del concreto hidráulico para el diseño de





pavimentos rígidos adicionando fibras de polipropileno en el A.A.H.H Villamaria – Nuevo Chimbote . Nuevo Chimbote – Perú.

- De la Cruz, W. & Quispe W (2014). “Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga – Ayacucho”. Huancavelica, Perú.
- Valero, J. (2015). Influencia de las fibras de polipropileno en la fisuración asociada a la retracción plástica en pavimentos de concreto, Huancayo 2014. Huancayo, Perú.
- Heredia E. & Perez J.(2018) “Análisis y evaluación del concreto ligero como concreto estructural usando como adición controlada poliestireno expandido modificado (MEPS) aplicando una losa unidireccional para fines habitacionales”. Nuevo Chimbote, Perú.

#### 6.4. PAGINAS DE INTERNET

- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Efectos\\_de\\_la\\_alta\\_compactaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_capa\\_de\\_base\\_en\\_pavimentos\\_flexibles.pdf](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/0b/Efectos_de_la_alta_compactaci%C3%B3n_de_la_capa_de_base_en_pavimentos_flexibles.pdf)
- <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6735/ICmoorcr.pdf?sequence=1&isAllowed=y>



## 7. CAPITULO VII : ANEXOS

### 7.1 PANEL FOTOGRÁFICO



Reconocimiento de ruta de objeto de estudio.



Extracción de muestra en calicatas.



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**



**Traslado de muestras in situ al laboratorio**



**Inicio de elaboración de ensayos de mecánica de suelos  
(CBR en imagen,)**





**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**



**Cuarqueo de muestras para elaboración de ensayos**



**Colocación de muestras en el horno**



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**



**Determinación de límites de atterberg**



**Pesaje y verificación de muestras**





**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**



**Cuantificación de materiales para  
elaboración de concreto**





**Elaboración del concreto aplicando el diseño de mezcla trabajado**



**Ruptura de testigos de concreto a los 7, 14 y 28 días.**







**Ruptura de testigos de concreto a los  
7, 14 y 28 días.**



**Ruptura de testigos de concreto a los  
7, 14 y 28 días.**







## 7.2 ENSAYOS DE MATERIALES Y FICHAS TÉCNICAS

- Diseño de Mezcla
- Granulometría
- Peso Específico
- Peso Volumétrico
- Contenido de humedad
- Control de Ruptura de probetas
- Ficha Técnica de Fibra de Polipropileno
- Ficha técnica de fibra metálica
- Diseño Mediante AASHTO 93
- Aplicación de CSIBRIDGE



**"PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH"**

| DECLARACION JURADA DE AUTORÍA  |   |                      |              |
|--|---|----------------------|--------------|
| Yo, ESPINOZA MENDOZA HILMAR YAMIL  |   |                      |              |
| estudiante / docente de la   |   |                      |              |
| Facultad:  | Ciencias                                  | Educación            | Ingeniería x |
| Escuela Profesional:   | Ingeniería Civil                          |                      |              |
| Departamento Académico:  | Ingeniería Civil y Sistemas e Informática |                      |              |
| Escuela de Posgrado  | Maestría                                  | Doctorado            |              |
| Programa:  |   |                      |              |
| De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:  |   |                      |              |
| "PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RIGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO-ANCASH"   |   |                      |              |
| presentado en ..... folios, para la obtención del Grado académico:   |   |                      | ( )          |
| Título profesional:  | ( X )                                     | Investigación anual: | ( )          |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.</li><li>➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.</li><li>➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.</li><li>➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.</li></ul> |   |                      |              |
| Nuevo Chimbote, 28 de junio de 2021  |   |                      |              |
| Firma:   |   |                      |              |
| Nombres y Apellidos: HILMAR YAMIL ESPINOZA MENDOZA   |   |                      |              |
| DNI: 70921099  |   |                      |              |

NOTA: *Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesis e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.*



**“PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RÍGIDO ULTRADELGADO CON FIBRA DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS  
EN QUILLO - ANCASH”**

| DECLARACION JURADA DE AUTORÍA  |  |                      |              |
|--|--|----------------------|--------------|
| Yo, ESPINOZA MENDOZA OLMER CARLITOS  |  |                      |              |
| estudiante / docente de la   |  |                      |              |
| Facultad:  | Ciencias                                       | Educación            | Ingeniería x |
| Escuela Profesional:   | Ingeniería Civil                               |                      |              |
| Departamento Académico:  | Ingeniería Civil y Sistemas e Informática      |                      |              |
| Escuela de Posgrado  | Maestría                                       | Doctorado            |              |
| Programa:  |  |                      |              |
| De la Universidad Nacional del Santa; Declaro que el trabajo de investigación intitulado:  |  |                      |              |
| “PROPUESTA DE UN PAVIMENTO RIGIDO ULTRA DELGADO CON FIBRAS DE POLIPROPILENO Y FIBRAS METALICAS EN QUILLO-ANCASH”   |  |                      |              |
| presentado en .....  | folios, para la obtención del Grado académico: | ( )                  |              |
| Título profesional:  | ( X )  | Investigación anual: | ( )          |
| <ul style="list-style-type: none"><li>➤ He citado todas las fuentes empleadas, no he utilizado otra fuente distinta a las declaradas en el presente trabajo.</li><li>➤ Este trabajo de investigación no ha sido presentado con anterioridad ni completa ni parcialmente para la obtención de grado académico o título profesional.</li><li>➤ Comprendo que el trabajo de investigación será público y por lo tanto sujeto a ser revisado electrónicamente para la detección de plagio por el VRIN.</li><li>➤ De encontrarse uso de material intelectual sin el reconocimiento de su fuente o autor, me someto a las sanciones que determinan el proceso disciplinario.</li></ul> |  |                      |              |
| Nuevo Chimbote, 28 de junio de 2021  |  |                      |              |
| Firma:   |  |                      |              |
| Nombres y Apellidos:   | OLMER CARLITOS ESPINOZA MENDOZA                |                      |              |
| DNI:   | 70918197                                       |                      |              |

NOTA: Esta Declaración Jurada simple indicando que su investigación es un trabajo inédito, no exime a tesisistas e investigadores, que no bien se retome el servicio con el software antiplagio, ésta tendrá que ser aplicado antes que el informe final sea publicado en el Repositorio Institucional Digital UNS.