

# **CAPÍTULO I**

## **DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

## **CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO Y METODOLÓGICO**

### **INTRODUCCIÓN**

Existen varias técnicas para generar una textura sobre la superficie del hormigón, que pueden efectuarse con equipamiento mecánico o en forma manual, las buenas prácticas de texturizado del hormigón permiten conseguir una adecuada resistencia al deslizamiento, un buen drenaje y escurrimiento superficial del agua, mantener bajos niveles de ruido y no afectar la resistencia al desgaste y su durabilidad.

En Bolivia la técnica utilizada generalmente para texturizar es mediante un peine metálico o plástico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento que funcionan como pequeños canales superficial en la construcción de los nuevos pavimentos, aunque en los últimos años, se ha observado a nivel internacional una creciente tendencia hacia otro tipo de técnicas que permiten incrementar las condiciones de fricción y alcanzar superficies de circulación más seguras y silenciosas.

El autor propone en este trabajo evaluar las características de la superficie generada por el uso de diferentes tipos de texturizado, mediante ensayos de laboratorio sobre losas tipo prefabricadas, para tener una base de criterios en la elección del tipo de texturizado a utilizar.

El aporte teórico es la utilización de la teoría física de fricción cinética de dos cuerpos en contacto en movimiento relativo; la aplicación práctica serán alternativas en el uso de técnicas de texturizado.

La relevancia social será enfocada al aspecto al aspecto económico y seguridad de transitabilidad en carreteras de pavimento rígido.

## **1.1. DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Determinación de line de estudio. Argumentos**

Las principales vías de comunicación en el país son de carácter terrestre, especialmente carreteras de transporte liviano y pesado, estas vías son construidas generalmente de pavimento rígido y flexible, los pavimentos rígidos son constituidos por losas de Hormigón que están en contacto con las ruedas del vehículo, existen técnicas de texturizado para dar la rugosidad necesaria para un transporte seguro, la rugosidad puede ser evaluada con ensayos de determinación de la fricción internacional.

### **1.1.2. Breve descripción de causales identificados**

Los causales identificados son los siguientes:

- Hay muy poco conocimiento sobre las técnicas para seleccionar adecuadamente la configuración de la textura superficial del pavimento rígido.
- No se considera el tráfico ni la velocidad en la elección del tipo de textura en el pavimento rígido.
- Se observa poca experiencia constructiva en el acabado del pavimento rígido.
- La metodología planteada para el mantenimiento es inadecuada.
- Existe mayor tráfico que el proyectado, en el diseño de la carretera.

### **1.1.3. Identificación del objeto de estudio**

El objeto de estudio se obtuvo mediante un análisis de los causales:

#### **Paso1: Configuración de las causales utilizando el No.**

- No hay mucho conocimiento sobre las técnicas para seleccionar adecuadamente la configuración de la textura superficial del pavimento rígido.
- No se consideran el tráfico ni la velocidad en la elección del tipo de textura en el pavimento rígido.

- No se observa mucha experiencia constructiva en el acabado del pavimento rígido.
- No hay una correcta metodología planteada para el mantenimiento.

No existe el mismo tráfico que el proyectado en el diseño de la carretera.

### **Paso 2: Selección de causales.**

- El primer causal; corresponde a la ingeniería este causal habla de posibles técnicas de elección del tipo de textura que podrían mejorar la calidad de la superficie de rodadura. Este causal sí puede ser considerado.
- El segundo causal; también está sumergido en la ingeniería porque cuando hablamos de una elección basada en parámetros de la carretera se trata de un criterio de ingeniería. Este causal sí puede ser considerado para el análisis.
- El tercer causal; se refiere a la habilidad de los obreros, es un tema más administrativo de contratación de personal adecuado. Este causal se descarta.
- El cuarto causal; se refiere a la metodología planteada por el ingeniero para el mantenimiento. Este causal sí puede ser considerado.
- El causal quinto causal; habla de una mala proyección del tráfico futuro, es más un problema de diseño que de la capa de rodadura. Este causal se descarta.

### **Causales seleccionados.**

- No hay mucho conocimiento sobre las técnicas para seleccionar adecuadamente la configuración de la textura superficial del pavimento rígido.
- No se consideran el tráfico ni la velocidad en la elección del tipo de textura en el pavimento rígido.
- No hay una correcta metodología planteada para el mantenimiento.

### **Paso 3: Configurando el cambio del No por el Sí.**

- Si hay mucho conocimiento sobre las técnicas para seleccionar adecuadamente la configuración de la textura superficial del pavimento rígido.

- Si se consideran el tráfico y la velocidad en la elección del tipo de textura en el pavimento rígido.
- Si hay una correcta metodología planteada para el mantenimiento.

**Paso 4: Aplicando la conexión de la simple implicación. “Si p entonces q”.**

**Tabla N° 1 Determinación del causal por simple implicación.**

<b>P</b>	1	1	2	3	2	3
<b>Q</b>	2	3	1	1	3	2
<b>Sentido</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>V</b>	<b>F</b>	<b>F</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

La proposición que tiene más verdaderos se selecciona como el objeto de estudio.

**Objeto de estudio: El conocimiento de las técnicas de texturizado en pavimentos rígidos.**

#### **1.1.4. Determinación de la perspectiva de solución.**

Para conocer las características y poder realizar una valoración cuantitativa y cualitativa de las técnicas de texturizado es necesario realizar una evaluación.

**Evaluación del uso de diferentes técnicas de texturizado superficial del pavimento rígido.**

### **1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

- Conceptualización puntual del objeto de estudio.

Los pavimentos de hormigón deben tener una textura superficial que provea una resistencia al deslizamiento de neumáticos adecuada, para alcanzar niveles de seguridad en el tránsito acordes con el uso y categoría de la vía. La textura tiene influencia además, en los niveles de ruido generado y en el drenaje superficial de la calzada, y se efectúa generalmente mediante el arrastre o pasaje de algún elemento o herramienta en el hormigón fresco.

Existen varias técnicas para generar una textura sobre la superficie del hormigón, que pueden efectuarse con equipamiento mecánico o en forma manual, las buenas prácticas de texturizado del hormigón permiten conseguir una adecuada resistencia al deslizamiento, un buen drenaje y escurrimiento superficial del agua, mantener bajos niveles de ruido y no afectar la resistencia al desgaste y su durabilidad.

- Descripción del fenómeno ocurrido.

La etapa del texturizado en nuestro medio es realizada de manera empírica, sin considerar las condiciones específicas del lugar de aplicación, existe falta de conocimiento de las nuevas técnicas de texturizado, sus características y su aplicabilidad, la mala elección de la técnica de texturizado puede generar sobrepuestos, retrasos, e inseguridad de circulación.

- Breve explicación de la perspectiva de solución.

Es necesario realizar una evaluación a las diferentes técnicas de texturizado para poder conocer las propiedades de cada técnica y su aplicabilidad.

### **1.3. DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA**

- Problemas de investigación

¿Cómo una evaluación a las diferentes técnicas de texturizado brindara conocimiento de las propiedades y características de cada técnica aplicada?

- Breve descripción sobre: Delimitación de tiempo, factibilidad y espacio.

Los ensayos se los realizará en el primer semestre académico de la gestión del 2017 en un tiempo aproximado de 13 semanas.

Los laboratorios cuentan con los aparatos para realizar las evaluaciones como el permeámetro de superficie, el péndulo inglés para determinar la fricción.

Todos los ensayos se los realizará en laboratorio esto incluye la caracterización de los materiales de las losas tipo, la dosificación de las losas, el texturizados y las evaluaciones correspondientes.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar las características de la superficie generada por el uso de diferentes tipos de texturizado, mediante ensayos de laboratorio sobre losas tipo prefabricadas, para tener una base de criterios en la elección del tipo de texturizado a utilizar.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Recopilar información sobre las diferentes técnicas de texturizado, sus fortalezas, debilidades y las recomendaciones constructivas para pavimento rígido, en base a bibliografía actualizada.
- Caracterizar los materiales empleados para la construcción de losas tipo, mediante los ensayos en laboratorio de granulometría, determinación de densidades, porcentaje de caras fracturadas, índice de aplanamiento, alargamiento y ensayo de desgaste de los ángeles en los agregados de acuerdo a la norma ASTM de construcción de pavimentos rígidos.
- Evaluar las propiedades superficiales de losas tipo prefabricadas en laboratorio mediante ensayos del péndulo británico, la mancha de arena y pruebas de drenaje.
- Elaborar una propuesta con recomendaciones técnicas en la selección de las técnicas de texturizado.

## **1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS**

### **1.5.1. Hipótesis**

Si se realiza una evaluación de las propiedades superficiales del pavimento rígido, a distintas losas texturizadas con diferentes técnicas de texturizado, se podrá tener una

base de criterios para la selección del método de texturizado más adecuado para las condiciones de diseño.

### 1.5.2. Identificación de variables

#### Variables

##### Variables independientes

- Técnicas de texturizado.

##### Variables dependientes

- Microtextura.
- Macrotextrura.
- Megatextura.
- Grado de rugosidad de la superficie.
- Rapidez de conducción de las aguas superficiales.

### 1.5.3. Conceptualización y operacionalización de las variables

**Tabla N° 2 Conceptualización y operacionalización de las variables**

Variable	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor/acción
Técnicas de texturizado.	Técnicas para generar una textura sobre la superficie del hormigón, que pueden efectuarse con equipamiento mecánico o en forma manual	Microtextura	Técnica del agregado expuesto	Determinado por el tipo de agregado en el mortero
		Macrotextrura	Técnicas de arrastre	Determinado por la profundidad del
			Técnicas de cepillado	texturizado



		Megatextura	Perfil de la losa	Superficie plana y uniforme de la losa
Grado de rugosidad de la superficial	Conjunto de irregularidades que posee la superficie de la losa de hormigón.	Fricción llanta-superficie	Fricción mínima y máxima establecida en norma	Evaluación del índice de fricción internacional IFI
Rapidez de conducción de las aguas superficiales.	Tiempo de evacuación de agua canalizada por la superficie de la losa y una pendiente.	Drenaje superficial	Cantidad máxima tolerable de agua en carreteras.	Evaluación del drenaje en losas, tiempo de evacuación de un volumen de agua conocido.

**Fuente: Elaboración propia.**

## **1.6. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DEL DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El trabajo se identificó como un diseño de investigación Experimental del tipo Experimentos puros, se manipulan intencionalmente las variables independientes, se pueden medir las variables independientes además de hacer un control y validez.

## **1.7. UNIDAD DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL POR VARIABLE**

### **1.7.1. Unidad de estudio**

Losas tipo con diferentes propiedades superficiales generadas por técnicas de texturizado.

### 1.7.1.1. Población

Combinación de todas las técnicas empleadas para texturizar pavimentos rígidos.

- Selección del nivel de confianza

El nivel de confianza debido a la importancia de este trabajo es del 95% con un error del 5%.

- Tamaño y muestra

La muestra se tomará a las técnicas de texturizado de arpillera, césped sintético, cepillado y peinado superficial.

Numero de muestras para un nivel de confianza del 95% y un error del 5%

**Tabla N° 3 Número de muestras para un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.**

Ensayos	Cantidad de ensayos	Pi	qi	pi	Pi*qi	N*pi*wi	Ni
Peso unitario	30	0,5	0,5	0,25	7,5	0,08	15
Granulometría	26	0,5	0,5	0,25	6,5	0,07	13
Evaluación texturizado tipo 1	65	0,5	0,5	0,25	16,25	0,17	32
Evaluación texturizado tipo 2	65	0,5	0,5	0,25	16,25	0,17	32
Evaluación texturizado tipo 3	65	0,5	0,5	0,25	16,25	0,17	32
Evaluación texturizado tipo 4	65	0,5	0,5	0,25	16,25	0,17	32
Evaluación texturizado tipo 5	65	0,5	0,5	0,25	16,25	0,17	32

Suma	384						189
------	-----	--	--	--	--	--	-----

**Fuente: Elaboración propia.**

### **1.7.2. Selección de las técnicas de muestreo**

El muestreo se realizara a las propiedades de la losa de hormigón, como ser las propiedades superficiales de la fricción, drenaje y el perfil de la losa en cada técnica de texturizado.

### **1.7.3. Justificación de factibilidad: Recursos, insumos y medios utilizados.**

Los materiales para la construcción de las losas tipos son el cemento, agregados, agua, herramientas de apoyo, encofrados, lonas de curado estos materiales son de fácil acceso en el mercado local.

Para el proceso de texturizado las herramientas, césped sintético, material tipo arpillera, escobillas y peines de alambres se pueden comprar en el mercado local.

Las herramientas para la evaluación superficial, el péndulo británico, la prueba de mancha de arena, el drenómetro, pueden ser adquiridos como préstamo en el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S.

## **1.8. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS LÓGICOS**

### **1.8.1. Listado de actividades a realizar**

Caracterización de los materiales:

- Peso unitario
- Granulometría

Dosificación de losas tipo.

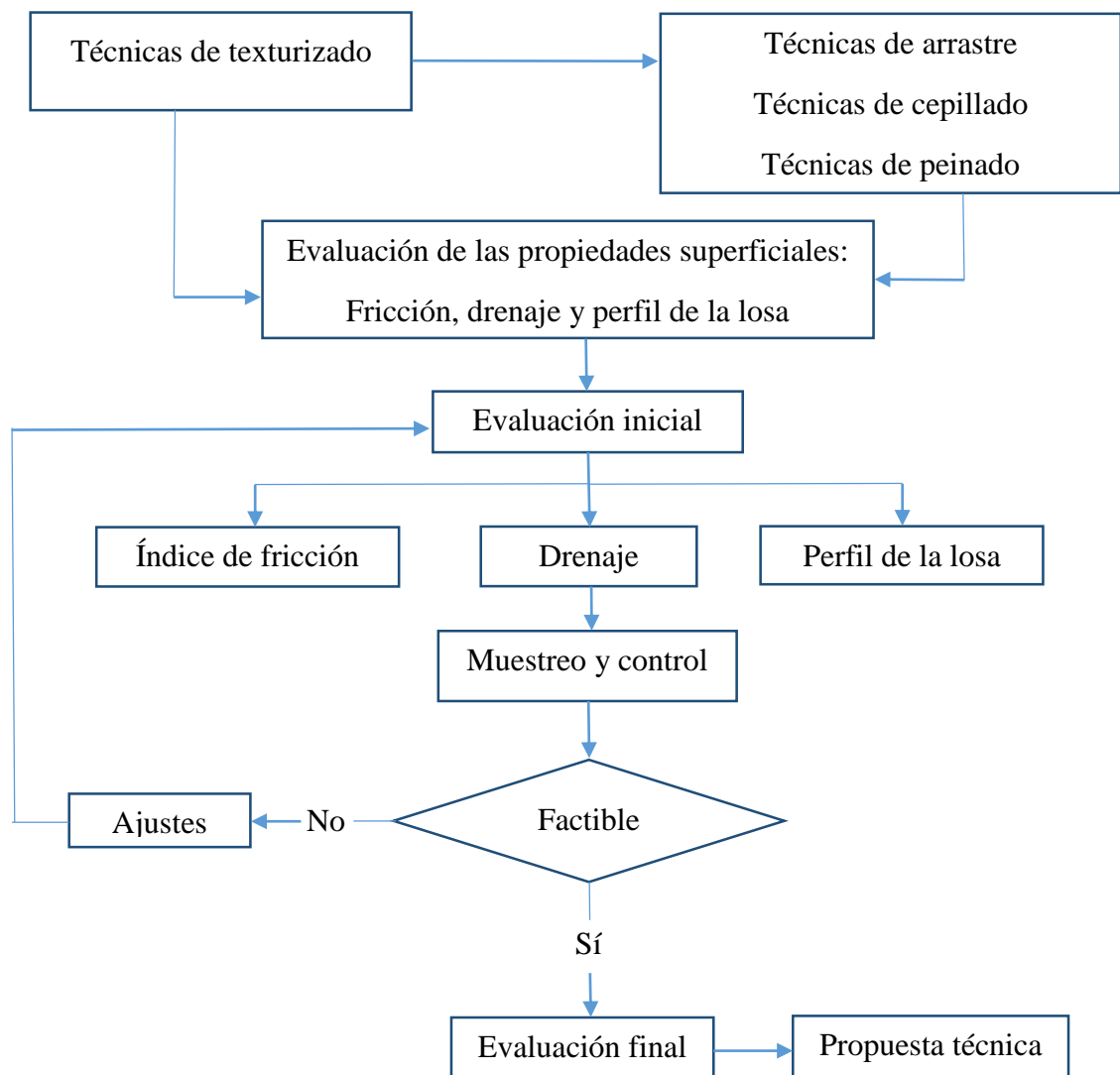
Texturizado de las losas tipo.

Evaluación de las propiedades superficiales de las losas tipo:

- Evaluación losas Texturizadas con arrastre de Arpillera.
- Evaluación losas Texturizadas con arrastre de Césped sintético.
- Evaluación losas Texturizadas con cepillado transversal.
- Evaluación losas Texturizadas con peine.

### 1.8.2. Esquema de actividades en función a procedimiento definido por la perspectiva

**Esquema N° 1 Actividades del proyecto definido por perspectiva.**



**Fuente: Elaboración propia**

### **1.8.3. Productos esperados en correspondencia con el procedimiento de la perspectiva.**

El producto para la evaluación de las técnicas de texturizado es el conocimiento de las propiedades superficiales generadas por las diferentes técnicas, su valoración cuantitativa, cualitativa y su aplicación ingenieril.

### **1.8.4. Resultados esperados**

El resultado final esperado es una base de información que servirá para la generación de propuestas técnicas y constructivas en vías que serán pavimentadas con pavimento rígido.

## **1.9. TRATAMIENTO ESTADÍSTICO**

### **1.9.1. Selección de programa a utilizar**

El programa computacional para un tratamiento estadístico por variable será el programa STATS, porque tiene un enfoque especializado en la ingeniería.

### **1.9.2. Estadística descriptiva**

La estadística descriptiva es la técnica matemática que obtiene, organiza, presenta y describe un conjunto de datos con el propósito de facilitar su uso generalmente con el apoyo de tablas, medidas numéricas o gráficas. Además, calcula parámetros estadísticos como las medidas de centralización y de dispersión que describen el conjunto estudiado.

Debido a que es necesario evaluar una misma losa más de una vez, se obtienen numerosos valores que deben ser centralizados con la estadística, los principales conceptos que se utilizarán serán:

La Media.- Es un promedio estándar que a menudo se denomina "promedio".

La mediana.- Representa el valor de la variable de posición central en un conjunto de datos ordenados.

La moda.- Es el valor con mayor frecuencia en una distribución de datos.

La desviación típica.- es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Varianza.- Es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

### **1.9.3. Estadística inferencial seleccionada para comprobar la hipótesis formulada.**

Los contrastes de hipótesis son técnicas que permiten simplificar el modelo matemático bajo análisis. Frecuentemente el contraste de hipótesis recurre al uso de estadísticos muestrales.

Para comprobar la Hipótesis se calculará regresiones lineales y no lineales con los datos obtenidos de la evaluación así como también se hará una correlación con los valores obtenidos utilizando diferentes técnicas de texturizado, por el tipo de valores semejantes el tratamiento estadístico usado será el del chi cuadrado.

## **CAPÍTULO II: PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y EVALUATIVOS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS ENFOCADOS AL TEXTURIZADO.**

### **2.1. ANTECEDENTES**

En nuestro país, el transporte por carretera es el de mayor contribución a la actividad nacional, por lo que es necesario que el transporte opere con base a parámetros de eficiencia. Por la red de carreteras fluye el 90% de las cargas que se mueven en el territorio y el 98% del movimiento de pasajeros; además, permite desarrollar los aspectos comercial, social e industrial.

Para preservar esta red de carreteras es importante contar con un programa de mantenimiento acorde con las necesidades y presupuestos. La información que se requiere para preparar un programa de conservación es sólo una parte de toda la información que se puede medir en un camino, por lo que se debe "tamizar" constantemente para obtener sólo aquellos datos que realmente influyan en las decisiones para el mantenimiento de la red o para la elaboración de un proyecto detallado de rehabilitación de un tramo específico.

Se han realizado estudios para conocer cuáles son los factores de un camino que influyen de manera directa en los costos de operación de los vehículos, principalmente de los de carga, resultando que uno de los principales es el estado superficial.

Los principales costos de operación son los siguientes:

- Combustibles.
- Lubricantes.
- Llantas.
- Reparación y refacciones.
- Costos del operador.
- Depreciación y reposición de vehículos.
- Intereses.

- Seguros.
- Tiempo de transporte de las mercancías.

La influencia de las condiciones del camino en los costos de operación de los vehículos es significativa. En condiciones óptimas de circulación, que se asocian con una carretera bien conservada, recta, en terreno plano y sin problemas de tránsito, el costo de operación es mínimo. La presencia de baches o deficiencias en la superficie; de pendientes o grados de curvatura no adecuados, así como de otros vehículos afecta las condiciones de operación y por lo tanto, los costos correspondientes.

Para evaluar la calidad de la superficie de las carreteras en nuestro país, durante muchos años se ha utilizado el método desarrollado en los años sesentas por la American Association of State Highway Officials (AASHO), la cual toma en cuenta un parámetro denominado Índice de Servicio Actual (ISA). Esto ayudó a estimar de una forma rápida y sin interrumpir el flujo de vehículos, las condiciones en las que se encontraban algunos tramos carreteros en Bolivia.

El índice o nivel de servicio actual (ISA) consiste en calificar el grado de confort y seguridad que el usuario percibe al transitar por un camino a la velocidad de operación y lo realiza un grupo o panel de evaluadores. Cada evaluador debe calificar el camino de una manera subjetiva en una escala de 0 a 5, correspondiente a una superficie intransitable y a una superficie en excelentes condiciones, respectivamente.

Para medir las características superficiales de los caminos se han diseñado y modificado algunos equipos, tales como las vigas móviles que tienen un interés específico en la detección de irregularidades puntuales en la fase de control de obra; sin embargo, por sus bajos rendimientos son obsoletos para la medición de grandes longitudes de camino. Otro grupo de sistemas de medida, son los equipos de tipo dinámico, con los que se pueden conseguir altos rendimientos y que, por lo tanto, pueden aplicarse incluso para la evaluación del estado total de la red. Recientemente han aparecido equipos sofisticados que pueden desplazarse a velocidades superiores a



los 80 km/hr, provistos de cámaras láser y que además de medir la rugosidad, pueden evaluar: la profundidad de roderas, la macrotextura, radios de curvatura, fisuraciones, etc.

Debido a la gran variedad de equipos utilizados para medir la regularidad superficial de los caminos, y los numerosos índices y escalas para establecer los criterios de aceptación de la funcionalidad de una carretera, se llegó a considerar la conveniencia de adoptar un "índice único". Cada país contaba con equipos "sui géneris", dificultando adoptar criterios de calificación universal. Estas razones han obligado a proponer a nivel mundial, el empleo del Índice Internacional de Rugosidad.

## **2.2. POSICIÓN DEL INVESTIGADOR**

Debido a los progresivos incrementos de los volúmenes de tránsito y de las velocidades de circulación, desde hace ya varios años, existe una creciente preocupación por las texturas superficiales de los pavimentos de hormigón. Esto se debe a que la misma influye en muchos aspectos vinculados con las características de interacción carretera – vehículo, tales como la fricción sobre pavimento húmedo, el spray, las salpicaduras, el ruido pavimento - neumático, el desgaste de los neumáticos, entre otros.

En este sentido, al momento de decidir el tipo de textura a aplicar en un pavimento de hormigón, deberán tenerse en consideración las características superficiales requeridas, además de lo relativo con el costo de materialización.

Debe destacarse que debido a que se encuentra vinculado con las condiciones de seguridad de la vía, el propósito inicial de texturizar los pavimentos rígidos históricamente, estuvo asociado casi exclusivamente a la reducción de accidentes sobre superficies húmedas por deslizamiento. Sin embargo, en los últimos años, se ha observado en el plano internacional, que existe una creciente preocupación por otras características, como las previamente mencionadas, que comienzan a tenerse en consideración al momento de definir el tipo de textura a aplicar.

### **2.3. CONCEPTOS GENERALES**

Las irregularidades superficiales que presenta un pavimento pueden definirse como aquellas desviaciones que presenta la calzada respecto a una superficie perfectamente plana.

El firme constituye una de las partes más importantes de la ingeniería de carreteras tanto desde el punto de vista técnico, en el proyecto, construcción y conservación, como económico y también desde el punto de vista general de valoración de los usuarios que mayoritariamente califican a la carretera por el estado del firme.

Es habitual distinguir dos aspectos en la calidad del firme:

- Calidad estructural
- Calidad funcional

La calidad estructural como su propio nombre indica se refiere a la capacidad del firme, considerado como una “estructura”, de soportar las sollicitaciones durante la vida de proyecto sin necesidad de llevar a cabo medidas de rehabilitación estructural y de ella se habla en otra ponencia de estas jornadas sobre la calidad.

La calidad funcional afecta a las características superficiales del pavimento, que es la parte del firme que está en contacto con los vehículos y que se conoce también con el nombre de capa de rodadura y sobre cuya calidad se va a hablar en esta ponencia.

#### **2.3.1. Pavimentos rígidos de hormigón.**

Son aquéllos formados por una losa de concreto Pórtland sobre una base, o directamente sobre la sub-rasante. Transmite directamente los esfuerzos al suelo en una forma minimizada, es auto-resistente, y la cantidad de concreto debe ser controlada.

##### **Características del pavimento rígido:**

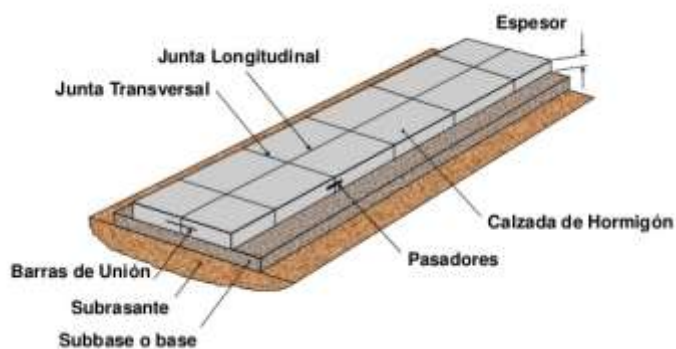
- Bajo mantenimiento.
- Larga durabilidad.

- Alta resistencia a los cambios climáticos.
- Alta Resistencia a esfuerzos.

### Componentes del pavimento rígido.

- Subrasante
- Subbase
- Superficie de rodadura (Base)

**Figura N° 1 Componentes del pavimento rígido.**



**Fuente: Ing. Raysa López Alfonso, “Procedimiento Constructivo para la Elaboración, Construcción y Puesta en Servicio de pavimentos rígido para carreteras con juntas sin refuerzo continuo”.**

### Ventajas del pavimento rígido.

- Menor costo total.
- Menor costo operativo de la vía.
- Menor costo social por mantenimiento.
- Durabilidad.
- Resistencia.
- Amigable con el medio ambiente.
- Indeformabilidad.

- Economía en capa base.
- Estabilidad.
- Periodo de vida varía entre 20 y 40 años.

### **Método de Diseño.**

El método de diseño AASHTO es un método utilizado para diseño y rehabilitación de pavimentos rígidos, para la determinación de espesores este método considera:

- Características de la subrasante o fundación.
- Repeticiones de cargas.
- Nivel de falla o comportamiento del pavimento.
- Confiabilidad estadística.
- Estructura de pavimento y materiales disponibles.

### **Desventajas del Pavimento Rígido.**

- Tiene un costo inicial mucho más elevado que el pavimento flexible.
- Se deben tener cuidado en el diseño

### **2.3.2. Superficie de rodadura**

Se puede diferenciar el “firme” del “pavimento”, entendiendo por el primero el conjunto de capas (incluida la explanada o “cimiento” del firme) que constituyen toda la sección estructural, mientras que el pavimento es únicamente la capa superior cuya “cara vista” es una superficie que se denomina rodadura.

**Figura N° 2 Dosificación de la capa de rodadura en pavimentos rígidos.**



**Fuente: Ing. Diego H. Calo, Texturizado de pavimentos de hormigón en vías de altas velocidades. ICPA, 2012**

La capa de rodadura es el plano superior del pavimento, que soporta directamente las cargas del tráfico. En particular, debe soportar los esfuerzos tangenciales. Se trata del área por la que circula el tráfico. Debe presentar determinadas características:

- Uniforme, sin desnivelaciones ni ondulaciones, tanto en sentido transversal como longitudinal.
- Tener una textura que dificulte el deslizamiento de los vehículos; siempre en relación con la velocidad específica prevista para la vía, en el tramo que corresponda.
- Ser impermeable, de modo que impida la penetración del agua hacia las capas inferiores del firme y de la explanada.

### **2.3.3. Características superficiales**

Desde el punto de vista general la rodadura debe ser cómoda, segura, duradera, poco ruidosa, producir un desgaste mínimo en los vehículos y debe facilitar la evacuación del agua (cuando existe) en la zona de contacto con el neumático.

La declaración anterior se debe concretar en la definición de unas características de acuerdo con los objetivos a conseguir.

Las características del pavimento se clasifican por las dimensiones de las irregularidades superficiales. Para analizarlas se estudia su tamaño (longitud de onda y amplitud de la irregularidad) y además si las características son globales (corresponden a un tramo concreto) o localizadas (específicas de una zona más pequeña). Por ejemplo el tipo de pavimento de un tramo es un atributo global. La existencia de un bache es un atributo local.

Las características superficiales de un tramo recién construido son homogéneas y por lo tanto se trata de un atributo global, aunque con el uso del pavimento pueden aparecer defectos localizados que deben ser estudiados como atributos locales.

La determinación de si un atributo es global o local es importante en términos de su medida. Los atributos globales, por pequeños que sean, normalmente se pueden medir fiablemente usando procedimientos estadísticos aplicados sobre el área de análisis. Los atributos locales sólo se miden fácilmente si se extienden sobre un área relativamente grande.

Los pequeños atributos localizados son los más difíciles de medir.

La geometría del pavimento afecta a la seguridad, comodidad y costes de los usuarios.

Las características que se consideran importantes incluyen:

- Regularidad superficial
- Fricción o Resistencia al deslizamiento
- Textura

Además se debe recordar que la rodadura es una superficie no plana (es decir, que no está contenida en un plano) por lo tanto complicada de examinar. A efectos prácticos esta superficie se estudia analizando líneas perpendiculares y paralelas al eje de la carretera, es decir, estudiando el perfil transversal y el perfil longitudinal.

### 2.3.4. Perfil del pavimento rígido

#### Perfil transversal.

Desde el punto de vista de la calidad en la construcción no es habitual estudiar el perfil transversal ya que sus características más importantes son el peralte y las roderas. Durante el proceso constructivo no es imaginable que se produzcan roderas por lo que no se considera necesario establecer especificación o criterio de calidad o de limitación del valor de roderas.

Correspondiendo en todo caso al diseño de mezclas resistentes a las deformaciones plásticas o a las prácticas de conservación, para cuando las roderas como consecuencia del uso del firme puedan llegar a producirse.

#### Perfil longitudinal

El análisis de la calidad de rodadura se realiza principalmente mediante la medida e interpretación del perfil longitudinal. Para este propósito es conveniente comenzar clasificando el perfil de acuerdo a convenios internacionales.

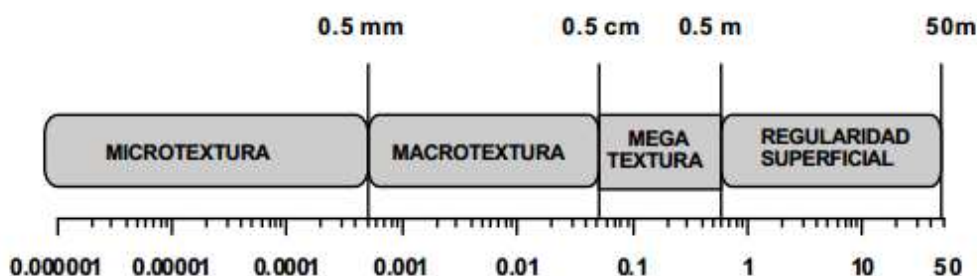
**Tabla N° 4 Clasificación del perfil longitudinal.**

<b>Clasificación del perfil longitudinal</b>		
<b>Dominio</b>	<b>Longitud de Onda</b>	<b>Amplitud</b>
Trazado	50-1000 m	0,5-50m
Regularidad superficial	0,5-50 m	0.0001-0,5 m
Textura	0-0,5m	0,001-50 mm

**Fuente: AIPCR (Asociación mundial de carreteras)**

La Textura a su vez se clasificó en tres bandas según el gráfico adjunto:

**Figura N° 3 Clasificación del perfil según AIPCR.**



**Fuente:** Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, AIPCR, 1995.

### 2.3.6. Regularidad superficial

En Ingeniería de carreteras la calidad del pavimento se analiza determinando la Regularidad Superficial, materia que estudia la diferencia entre las cotas teóricas y las cotas reales del perfil longitudinal. Las diferencias (o irregularidades) se deben a dos causas:

- El proceso constructivo
- El uso de la carretera.

En ocasiones son una combinación de ambas.

Así, por ejemplo, los rellenos de trasdós de las estructuras suelen producir irregularidades por asentamientos de la parte más flexible (el relleno detrás del estribo) que aparecen con el uso pero son debidas a un deficiente proceso constructivo.

La Regularidad Superficial se define normalmente por un índice que se refiere a una determinada longitud de carretera. Los índices se obtienen midiendo el perfil longitudinal y aplicando un modelo matemático de análisis para reducir el perfil a un índice estadístico.

Tradicionalmente el equipo y método de medida del perfil más empleado ha sido una regla (normalmente rodante) de una determinada longitud (mayoritariamente tres



metros) que mediante un sistema gráfico determinaba las irregularidades del punto medio de la regla respecto a los dos extremos (que definen el plano de comparación). En los pliegos de prescripciones se establecían unas “tolerancias de la superficie acabada”.

La superficie acabada no presentará irregularidades de más de 5 milímetros en las capas de rodadura cuando se compruebe con una regla de tres metros aplicada tanto paralela como normalmente al eje de la zona pavimentada”. Pavimentos de Hormigón, indicaba “La superficie del pavimento no deberá presentar diferencias de más de 3 milímetros respecto a una regla de tres metros apoyada sobre la superficie en cualquier dirección.

La medida de la Regularidad superficial con la regla de tres metros o con el Diágrafo modelo más evolucionado de regla rodante (más larga 9.31 metros y apoyada en 8 puntos, más uno central de medida) tiene limitaciones para el análisis del perfil longitudinal y ha sido paulatinamente sustituida por modelos más representativos de la percepción de los usuarios.

### **2.3.7. Textura de un pavimento.**

La textura del pavimento es un parámetro crítico en la comodidad y la seguridad de los usuarios, necesario para la conservación de las carreteras. La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático-pavimento y, de forma indirecta en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, que tiene gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento. Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico, tanto del que perciben los ocupantes de los vehículos como el ruido de entorno que condiciona la calidad de vida de las zonas colindantes. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina, en el deterioro de los vehículos y sobre todo en el desgaste de los neumáticos.

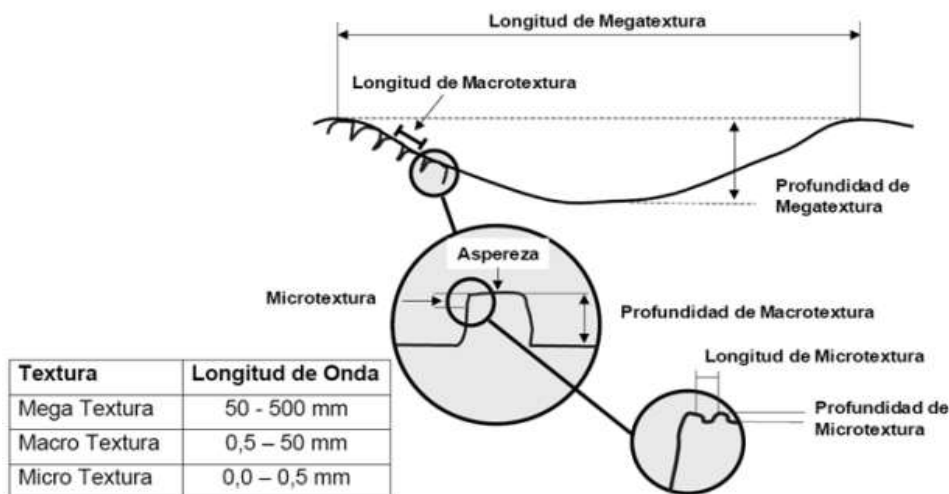
### **2.3.8. Definiciones de textura.**

Como consecuencia del experimento internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento se consolidaron internacionalmente una serie de definiciones que afectan a la textura. Por su interés y actualidad se reproducen a continuación. Durante el congreso mundial de la AIPCR celebrado en Bruselas en 1987 se definieron tres bandas de textura: microtextura, macrotextura y megatextura. Su definición fue establecida por un grupo trabajo de la ISO a partir de la propuesta inicial de la AIPCR.

Igualmente se establecen definiciones para las distintas formas de evaluar la textura. Estas definiciones también figuran en la norma ISO/13473 y son las siguientes:

Amplitud y longitud de la onda de textura: el perfil del pavimento se describe por el desplazamiento a lo largo de su superficie y por el desplazamiento en dirección normal a ella. Aquí se llama distancia al primero y amplitud al segundo. La distancia puede medirse en sentido longitudinal o transversal respecto a la dirección de la marcha, o en cualquier inclinación intermedia. Se define la longitud de onda de textura como la distancia mínima existente entre partes de la curva que se repiten periódicamente en dirección longitudinal al plano del pavimento.

**Figura N° 4 Clasificación de la textura superficial.**



**Fuente: Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, AIPCR, 1995.**

**Macrotextura:** La macrotextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie en relación con una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal comprendidas entre 0,5 y 50 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava entre 0,5 y 50 mm). La amplitud entre picos de la macrotextura varía normalmente entre 0,01 y 20 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que los dibujos del neumático.

**Microtextura:** La microtextura de un pavimento es la desviación que presenta su Superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal inferiores a 0,5 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas de no más de 0,4 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,001 y 0,5 mm. Este tipo de textura es la que hace al pavimento más o menos áspero, pero normalmente es tan pequeña que no puede observarse a simple vista.

**Megatextura:** La megatextura de un pavimento es la desviación que presenta su superficie con respecto a una superficie plana de dimensiones características en sentido longitudinal entre 50 y 500 mm (correspondiente a la longitud de onda de textura obtenida con bandas de un tercio de octava con ondas entre 63 y 500 mm). La amplitud entre picos suele variar entre 0,1 y 50 mm. Este tipo de textura es la que presenta longitudes de onda del mismo orden que el neumático en el contacto con el pavimento (a menudo originadas por baches u ondulaciones).

**Profundidad de textura:** En un análisis tridimensional, el término profundidad de textura (TD) es, para un área similar a la de contacto con el neumático, la distancia media entre la superficie del pavimento y un plano que pase por los tres vértices más altos y "claramente espaciados" de dicha superficie.

**Método volumétrico:** El método de ensayo conocido con el nombre de círculo o mancha de arena se viene empleando desde hace muchos años en la medida de textura de pavimentos. Se realiza esparciendo un volumen conocido de arena sobre el pavimento en forma de círculo y midiendo su diámetro. Dividiendo el volumen de arena entre la superficie del círculo, se obtiene la profundidad media de arena equivalente a la profundidad media de textura. En los últimos años la arena ha sido sustituida por micro esferas de vidrio. En vista de que realmente se trata de un método basado en la medida de un volumen de material, el nombre apropiado es el de "método volumétrico".

**Profundidad media de textura:** En la aplicación del "método volumétrico", el "plano" se determina en la práctica por el contacto entre una zapata de caucho y la superficie con la que roza. Por tanto, la superficie de referencia que se obtiene no es exactamente un "plano", sino una superficie curva difícil de definir. La profundidad de textura que se obtiene con el método volumétrico se denomina profundidad media de textura MTD (MeanTexture Depth) valor semejante al expresado en España en la NLT-335/87 "Medida de la textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena".

**Profundidad media del perfil:** En el caso bidimensional, es decir, en el estudio de una línea del perfil, el término profundidad media del perfil MPD (Mean Profile Depth) es la diferencia (en una distancia del mismo orden de magnitud que el contacto pavimento neumático) entre la recta de regresión de los puntos del perfil y una paralela trazada por su punto más alto.

#### **2.4. RECOMENDACIONES CONSTRUCTIVAS PARA PAVIMENTO RÍGIDO**

El objetivo del diseño de pavimentos, es contar con una estructura sostenible y económica que permita la circulación de los vehículos de una manera cómoda y segura, durante un periodo fijado por las condiciones de desarrollo. Con respecto a los métodos de diseño de pavimentos, tradicionalmente se han limitado a determinar el espesor de la estructura. En el caso de los pavimentos de hormigón, estos métodos se basan exclusivamente en los conceptos de la fatiga y de la erosión, para determinar, mediante modelos matemáticos, el espesor y la calidad del hormigón. Es decir, el diseño se orienta fundamentalmente a dimensionar la losa para unas condiciones de subrasante, base y tráfico determinado y casi tipificado. En un sentido estrictamente teórico es posible que todos estos métodos sean válidos tanto en sus fundamentos como en sus concepciones. La cuestión es determinar que tanto se aproximan estos métodos extranjeros a las realidades muy particulares de países y regiones en las cuales la naturaleza de los suelos, no pueden ser generalizados o estabilizados por factores económicos. De igual forma las técnicas de trabajo y la tecnología empleada en la construcción no son muchas veces homologables. Por lo cual se hace necesario elaborar un procedimiento constructivo para este tipo de pavimento adaptando en un principio las tecnologías disponibles por los países rectores en estos tipos de pavimentos a nuestras posibilidades reales sin perder la visión del futuro.

Para la construcción de pavimentos rígidos es un punto muy importante los materiales a utilizar. El transporte, almacenamiento, calidad y características en general de cada uno de ellos, se debe tener en cuenta a la hora de acometer proyectos como estos. Por

esto, tanto en las obras, como en las plantas productoras del hormigón se deben seguir especificaciones que están regidas tanto por normas nacionales como internacionales

A continuación se desglosa un detalle de todos los materiales a utilizar en la obra. La presente especificación se considera complementaria a las especificaciones particulares para los distintos elementos de la carretera y en todo caso específica para los pavimentos rígidos, de manera que las especificaciones de hormigón para pavimento rígido pueden ser diferentes a las especificaciones de hormigones estructurales.

#### **2.4.1. Caracterización del cemento Portland utilizado para la construcción de pavimento rígido.**

El material gigante a utilizar será Cemento Portland Normal o Cemento Portland con Adiciones, de marca aprobada que reúna estrictamente las condiciones exigidas por las Normas correspondientes.

##### **Transporte y almacenamiento**

El transporte de cemento se realizará preferentemente a granel, en camiones silo o en bolsas especiales "big-bags", y deberá almacenarse de manera que se encuentre bien protegido de la humedad e intemperie, en silos apropiados que reúnan condiciones para ello. El almacenamiento será cuidadoso, de manera que no se mezclen distintas marcas o distintos tipos de cemento.

##### **Calidad del cemento en el momento de usarlo**

El cemento se deberá entregar en estado perfectamente pulverulento sin la menor tendencia a aglomerarse. No se permitirá el uso de cemento total o parcialmente fraguado o que contenga terrones, para ningún tipo de trabajo. El material en tales condiciones será retirado sin dilatación del ámbito de la obra.

Cuando se trate de cemento ensilado, el mismo se empleará extrayéndolo por la boca o tolva de descarga del silo, en las cantidades exactamente requeridas para cada pastón, mediante un sistema de dosificación adecuado y en el momento de su empleo.

No se permitirá el reintegro al silo del material excedente que por cualquier circunstancia se haya retirado del mismo y no haya sido utilizado.

### **Finura del cemento.**

La fineza del cemento influye en el calor de hidratación liberado y en la velocidad de deshidratación. A mayor finura del cemento, mayor rapidez de hidratación del cemento y por lo tanto mayor desarrollo de resistencia. La finura de molido del cemento es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento ya que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento. Al entrar en contacto con el agua, los granos de cemento se hidratan sólo en una profundidad de 0,01 mm por lo que si dichos granos fuesen muy gruesos, su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte. Si el cemento posee una finura excesiva, su retracción y calor de fraguado son muy altos (lo que en general resulta muy perjudicial); el conglomerante resulta ser más susceptible a la meteorización (envejecimiento) tras un almacenamiento prolongado; disminuye su resistencia a las aguas agresivas, pero siendo así que las resistencias mecánicas aumentan con la finura, se llega a una situación de compromiso: el cemento Portland debe estar finamente molido pero no en exceso. La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

Sí el %F es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido.

Sí el %F es menor que el 10% es que es un cemento Portland para uso ordinario.

**Figura N° 5 Pérdida de la finura causada por la hidratación.**



**Fuente: Ing. Raysa López Alfonso, “Procedimiento Constructivo para la Elaboración, Construcción y Puesta en Servicio de pavimentos rígido para carreteras con juntas sin refuerzo continuo”.**

### **Densidad del cemento.**

La densidad del cemento desempeña un papel significativo en su producción y funcionamiento. Los minerales crudos se calientan en hornos enormes para promover cambios químicos en éstos. De este proceso se obtiene lo que comúnmente es llamado “clinker”. Los pasos finales en la fabricación del cemento implican la molienda y el mezclado, los cuales producen precisamente ese polvo fino al que llamamos cemento. Cada paso en la fabricación del cemento es verificado por frecuentes pruebas físicas, al igual que el producto terminado, a fin de asegurar que este cumple con todas las especificaciones necesarias. El cemento se muele hasta una finura determinada puesto que la influencia del tamaño de partícula tanto en su cinética de hidratación así como en el desarrollo de la resistencia de éste es bien conocida. Para un contenido de cemento dado, una reducción en los tamaños de partícula medios, produce generalmente una resistencia compresiva más alta. Consecuentemente, la finura de los cementos de Portland se ha ido aumentando con el paso de los años a fin de mejorar características tales como altas resistencias tempranas. Sin embargo, algunos otros efectos del aumento de la finura, tales como demandas más altas de agua y generación más rápida de calor en el concreto no pueden ser pasados por alto. A pesar de la disponibilidad de diversos métodos instrumentales para medir distribuciones de tamaño de partícula, el



método clásico de penetración de aire (Blaine) todavía es muy usado. La densidad del cemento debe ser conocida en conexión con el diseño y control de mezclas de concreto.

#### Tamaño de partícula

El permeámetro asociado lo más de cerca posible a la industria del cemento es el aparato de Blaine. Este método requiere a operador embalar una cama del polvo hasta la porosidad del 50%, +/- 0,5% presiones del pulgar que usan solamente. Esto significa que la densidad verdadera del cemento bajo prueba esté sabida, a excepción del cemento de Portland cuando una densidad de  $3,15 \text{ g/cm}^3$  se asume. A pesar de las dificultades experimentales, el método puede solamente ser tan exacto como el valor de densidad asumido. Más bien que si se asume que una densidad, o midiendo por un cierto método mojado, se recomienda para utilizar un picnómetro seco del gas. Estos dispositivos, como el Ultrapycnometer, pueden mejorar perceptiblemente la precisión debido a de la medida de Blaine y se prefieren sobre métodos mojados su modo de operación intrínsecamente limpio y eliminación de los problemas solventes de la disposición.

#### **2.4.2. Caracterización del agregado fino utilizado para la construcción de pavimento rígido.**

##### Origen, naturaleza y características

El agregado fino a emplearse estará constituido por arenas naturales o artificiales o una mezcla de ellas. Arenas naturales son aquellas cuyas partículas son redondeadas y provienen de la disgregación de las rocas por la acción de los agentes naturales.

Arenas artificiales son las originadas por la trituración de las rocas mediante equipo de chancado. Se dará preferencia al uso de arenas naturales de origen. Las arenas presentarán partículas duras, durables y limpias, libres de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o laminares, álcalis, arcillas, materias orgánicas y deletéreas.

### Pureza del agregado fino

**Tabla N° 5 Sustancias perjudiciales agregado fino.**

Sustancias perjudiciales	Porcentaje del peso
Partículas de arcilla	1
Impurezas orgánicas	Máximo placa 3
Material más fino que el tamiz 200°	5

**Fuente: MICONS NC 178-2002 Ministerio de la construcción (Habana-Cuba)**

Se consideran prohibidas las partículas de carbón, de madera u otros residuos (coke, ceniza, escoria, asfalto, y otros).

Se consideran toleradas las pequeñas cantidades de sulfato de calcio (yeso) y de sulfuro de hierro (pirita) bajo reserva que su contenido total en azufre expresado en anhídrido sulfúrico  $SO_3$  no sobrepasa el 1% del peso total de la muestra de árido seco.

### Granulometría del agregado fino

El agregado fino será bien graduado y su composición granulométrica deberá responder a las exigencias:

**Tabla N° 6 Granulometría del agregado fino.**

Límites nominales de la fracción (mm)	Abertura de malla de tamices normalizados (mm).	% Pasado
5-0,15	9,52	100
	4,76	90-100
	2,38	70-100
	1,19	45-80
	0,59	25-60
	0,29	10-30

	0,15	2-10
--	------	------

**Fuente: MICONS NC 178-2002 Ministerio de la construcción (Habana-Cuba)**

La gradación precedente representa los límites extremos que determinarán si el agregado fino es adecuado para emplearse. El Constructor utilizará agregados obtenidos directamente o por mezclas de otros, cuya gradación durante toda la ejecución de los trabajos, sea razonablemente uniforme y no sujeta a los porcentajes extremos o límites de granulometría especificada. La verificación granulométrica será diaria. A tal efecto, el Constructor propondrá una gradación que utilizará en el curso de los trabajos.

El agregado fino que no satisfaga los requisitos dispuestos precedentemente para su granulometría, podrá utilizarse, si mezclado con el agregado grueso y cemento a usarse en obra, en las proporciones que indique el Constructor, se obtiene un hormigón con la resistencia a tracción por flexión.

Esta utilización la autorizará el Inversionista a solicitud del Constructor, a cuyo cargo correrán los gastos de las determinaciones necesarias, así como la provisión de muestras del material a usar.

El agregado fino que no llene las exigencias granulométricas y se acepte en mérito a lo dispuesto en éste sub-inciso, deberá conformar el requisito de uniformidad.

A los fines de comprobar el cumplimiento de esta exigencia, se realizarán verificaciones periódicas de las diversas partidas de material que ingresen al obrador.

#### **Almacenamiento del agregado fino**

El agregado fino proveniente de fuentes distintas no será almacenado en la misma pila, ni usado alternadamente en la misma clase de obras, o mezclado sin la autorización previa y escrita del Inversionista. Se tendrá especial cuidado en evitar la segregación, contaminación con otros materiales y contenido de humedad no uniforme.

### **Densidad del agregado fino.**

Dentro de las propiedades físicas de los agregados que dependen directamente de las propiedades de la roca original de donde provienen se encuentra la densidad, la cual está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Sin embargo, en el caso de los agregados para concreto hay necesidad de definir cuidadosamente el término densidad, puesto que generalmente entre sus partículas hay cavidades o poros que pueden estar vacío, parcialmente saturado o llenos de agua, dependiendo de su permeabilidad interna.

### **2.4.3. Caracterización del agregado grueso utilizado para la construcción de pavimento rígido.**

#### **Origen, naturaleza y características**

El agregado grueso será piedra triturada, grava, u otro material inerte aprobado por el Inversionista. Se compondrá de partículas duras, resistentes y durables libres de cualquier cantidad perjudicial de capas o materias adheridas, arcilla y materias extrañas.

Material más fino que el tamiz 200 (75  $\mu$ m) de los áridos gruesos

El % permitido de material más fino que el tamiz 200 en los áridos gruesos para cualquier hormigón es inferior o igual que 1%.

Otras sustancias perjudiciales

**Tabla N° 7 Sustancias perjudiciales para áridos gruesos.**

<b>Indicadores de Calidad</b>	<b>Cantidad máxima del peso total de la muestra. (%)</b>
Partículas de arcillas	Inferior o igual al 0,25%
Cantidad de partículas planas y alargadas:	

-Cuando el árido proviene de rocas sedimentarias.	Inferior o igual al 10%
-Cuando el árido proviene de rocas ígneas	Inferior o igual al 20%

**Fuente: MICONS NC 178-2002 Ministerio de la construcción (Habana-Cuba).**

### **Granulometría del agregado grueso**

El agregado grueso estará graduado de manera apropiada, para evitar la segregación se recomienda un tamaño máximo no mayor a 1 1/2" (28,1 mm)

La verificación granulométrica será diaria y se realizarán los ajustes necesarios en la mezcla si fuera necesario. El Inversionista podrá exigir que el agregado grueso que responda a esta granulometría se obtenga por mezcla en obra de dos o más agregados de distintas clasificaciones granulométricas, en cuyo caso se procederá a sus acopios y mezclas.

**Tabla N° 8 Granulometría para el agregado grueso.**

Límites de la fracción (mm)		Abertura de malla de tamices normalizados (mm)	% Pasado
Nominal	Equivalente		
75-40	76-38	101,60	100
		76,20	90-100
		63,50	35-70
		38,10	0-15
		19,10	0-5
65-40	63-38	76,2	100
		63,50	90-100
		50,80	35-70
		38,10	0-15
		19,10	0-5
		50,80	100

40-20	38-19	38,10	90-100
		25,40	20-55
		19,10	0-15
		9,52	0-5
40-10	38-13	50,80	100
		38,10	90-100
		19,10	20-60
		12,70	0-15
		9,52	0-5
25-10	25-13	38,10	100
		25,40	90-100
		19,10	25-60
		12,70	0-10
		9,52	0-5
25-5	25-5	38,10	100
		25,40	90-100
		12,70	25-60
		4,760	0-10
		2,380	0-5
20-10	19-10	25,40	100
		19,10	90-100
		12,70	20-55
		9,52	0-10
		4,76	0-5
20-5	19-5	25,40	100
		19,10	90-100
		9,52	20-55
		4,76	0-10

		2,38	0-5
13-5	13-5	19,10	100
		12,70	90-100
		9,52	40-70
		4,76	0-15
		2,38	0-5
10-5	10-5	12,70	100
		9,52	85-100
		4,76	15-35
		2,38	0-10
		1,19	0-5

**Fuente: MICONS NC 178-2002 Ministerio de la construcción (Habana-Cuba).**

#### **Resistencia mecánica (Desgaste de los ángeles)**

La resistencia mecánica de los áridos gruesos se determinará por el Índice de triturabilidad o por el ensayo de Abrasión Los Ángeles, En el caso del Índice de triturabilidad para pavimentos de hormigón para tráfico pesado, (hormigones de más de 40 mPa), el porcentaje de triturabilidad en seco es menor de 15 y cuando esta húmedo-saturado es menor de 25. Para pavimentos y pisos sometidos a desgaste (Hormigones arquitectónicos, expuestos a diferentes tipos de erosiones), en seco el índice esta entre el 15 y el 20 % y húmedo-saturado está entre 25 y 35 %.

**Figura N° 6 Maquina de Los Ángeles (resistencia agregados)**



**Fuente: Ing. Raysa López Alfonso, “Procedimiento Constructivo para la Elaboración, Construcción y Puesta en Servicio de pavimentos rígido para carreteras con juntas sin refuerzo continuo”.**

Mientras que el ensayo de Abrasión Los Ángeles permite un porcentaje de abrasión máximo de 40 para hormigones sometidos a desgastes en pavimentos para tráfico vehicular y peatonal y hormigones de más de 50 mPa.

#### **Almacenamiento del agregado grueso**

El agregado grueso proveniente de fuentes distintas no será almacenado en la misma pila ni usado alternadamente en la misma clase de obra o mezclado sin autorización previa y escrita por el Inversionista. Igualmente cuando se almacene agregado que responda a distintas clasificaciones granulométricas, el mismo se almacenará en pilas separadas y su mezcla a los fines de cumplimentar la granulometría. Se hará en el momento de confeccionar el hormigón en las proporciones adecuadas para lograr el cumplimiento del requisito señalado. Se tendrá especial cuidado en evitar la segregación, contaminación con otros materiales y contenido de humedad no uniforme.



## **Requisitos generales para todos los áridos**

### **Reacción árido álcali**

El árido que se utilizará en hormigones sujetos a frecuentes humedecimientos, exposiciones largas en una atmósfera o en contacto con el suelo húmedo, no estará compuesto por sustancias o minerales de forma tal que sean nocivamente reactivos con los álcalis en el cemento, en una proporción tal que sea causa de expansiones excesivas del hormigón.

### **Contenidos de cloruros**

Para limitar de manera total la afectación de cualquier tipo de cloruros, se utilizarán como referencia el total de todos los iones cloruro (Cl) contenidos en la suma de todos los áridos que se combinen.

Las cantidades de iones cloruro (Cl) para hormigón armado con cemento Portland puro es 0,03 %.

### **Absorción**

La absorción del árido, generalmente, no superará el 3% de la masa seca del mismo.

### **Agua para hormigón**

El agua a utilizar en la preparación del hormigón y en todo otro trabajo relacionado con la ejecución del pavimento será razonablemente limpia y libre de sustancias perjudiciales al hormigón, preferentemente potable.

A los fines de conservar la limpieza y pureza del agua, el contratista utilizará para su extracción y conducción, elementos adecuados para disponer de ella en el sitio en que va a usarse, libre de sustancias extrañas que puedan ser arrastradas por la misma.

Para que el agua sea utilizable deberá cumplir con los requisitos de la Norma Boliviana.

### **Índice de caras fracturadas.**

Cara Fracturada: una cara angular, lisa o superficie fracturada de una partícula de agregado formada por trituración, otros medios artificiales o por la naturaleza.

Una cara será considerada “cara fracturada” solamente si ésta tiene un área mínima proyectada tan grande como un cuarto de la máxima área proyectada (máxima área de la sección transversal) de la partícula y la cara tiene aristas bien definidas; esto excluye las pequeñas irregularidades.

La norma MTC E-210-2000, si una partícula de agregado redondeada presenta una fractura muy pequeña, no se clasificará como “partícula fracturada”. Una partícula se considera fracturada cuando un 25% o más del área de la superficie aparecen fracturada. Las fracturas deben ser recientes y producidas por procedimientos mecánicos

Partícula fracturada una partícula de agregado es fracturada si tiene el número mínimo de caras fracturadas especificadas (usualmente uno o dos).

Algunas especificaciones técnicas contienen requisitos relacionados al porcentaje de agregado grueso con caras fracturadas con el propósito de maximizar la resistencia al esfuerzo cortante con el incremento de la fricción entre las partículas.

Otro propósito es dar estabilidad a los agregados empleados para carpeta o afirmado; y dar fricción y textura a agregados empleados en pavimentación. La forma de la partícula de los agregados puede afectar la trabajabilidad durante su colocación; así como la cantidad de fuerza necesaria para compactarla a la densidad requerida y la resistencia de la estructura del pavimento durante su vida útil.

El porcentaje establecido en la norma MTC E-210-2000 V es de un 80% mínimo para partículas con una cara fracturada y 50% para partículas con dos caras fracturadas.

#### **2.4.4. Dosificación de hormigón para pavimento rígido.**

##### **Dosificación.**

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m).

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones (cantidad, ya sea en peso o en volumen) en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo, para obtener mezclas y hormigones que reúnan las características y necesidades exigidas en un proyecto. Entre éstas podemos nombrar:

Resultados económicos, no sólo respecto al costo inicial, sino durante la vida útil, hasta su servicio final.

Trabajabilidad adecuada, para poder dar lugar a un vaciado satisfactorio en las condiciones de trabajo (con una relación agua/cemento (A/C)).

Resistencia suficiente, para soportar las cargas de diseño.

Durabilidad, para permitir un servicio satisfactorio en las condiciones esperadas de exposición durante su vida útil.

Cada una de las anteriores requiere variaciones en la dosificación, y como consecuencia, en la mayor parte de las mezclas de hormigón, se busca un balance en las proporciones para satisfacer todas en cierta medida. Por ejemplo una excelente trabajabilidad, normalmente exige elevados contenidos de cemento, agregado fino y agua, y un bajo contenido de agregado grueso; es evidente que una mezcla de este tipo no resultaría económica y sus propiedades no serían las óptimas. Como consecuencia, a medida que se cambian las proporciones de una mezcla dada para mejorar una propiedad, deben considerarse los efectos que estos cambios generan sobre las demás, de modo que se produzca el efecto menos nocivo sobre éstas.

La mejor forma de dosificar un hormigón es dando las cantidades de cada material en peso, debido a que si se hace en volumen existe la incertidumbre de no conocer cuánto volumen ocupa en realidad el material dentro del envase que lo contiene, y la susceptibilidad de la arena a sufrir grandes cambios en volumen, con un pequeño contenido de humedad.

Los datos necesarios iniciales, y con los que se debe contar para determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos disponibles para obtener el hormigón deseado al más bajo costo posible, son:

Resistencia a una edad especificada, según el tipo de obra.

Consistencia requerida, según de las condiciones de puesta en obra y tipo de compactación.

Tamaño máximo del agregado grueso y agregado económicamente disponible en obra.

Granulometrías y módulos de finura de los agregados.

Condiciones de exposición a la que va a estar expuesta la estructura, esto incluye el clima, nivel freático, tipo de agua, etc.

### **Relación agua cemento.**

Todos los métodos de dosificación destacan la importancia de la relación entre las proporciones de agua y cemento. Ambos materiales forman una pasta que, al endurecer, actúa como aglomerante, manteniendo unidos los granos de los agregados. Mientras mayor sea la dosis de agua el concreto será más trabajable, sin embargo esto disminuye su resistencia y durabilidad.

### **Manejabilidad de la mezcla.**

Una mezcla trabajable es aquella que puede colocarse sin dificultad y que con los métodos de compactación disponibles permite obtener concretos densos. Al mismo tiempo la mezcla debe tener suficiente mortero para envolver completamente la roca y

las armaduras y obtener superficies lisas sin nichos de rocas ni porosidades. En otras palabras, debe llenar completamente los huecos entre las rocas y asegurar una mezcla plástica y uniforme. Una mezcla trabajable para un tipo de elemento puede ser muy dura para otro. Por ello el hormigón que se coloca en elementos delgados o con mucha armadura debe ser más plástico que el de construcción masiva.

### **Dosificación para capa de rodadura.**

La dosificación para este tipo de proyecto se la realiza completamente en plantas de producción de mortero, y son transportadas a obra mediante camiones mezcladores.

**Figura N° 7 Planta de producción de hormigón.**



**Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, “Recomendaciones Constructivas para Pavimento Rígido”.**

Planta de producción de hormigón de capacidad nominal de  $70 \text{ m}^3/\text{hr}$ .

Se distinguen los dos silos de cemento, el depósito de agregados (dos gravas y dos arenas), el mezclador de capacidad  $2 \text{ m}^3$  por bachada, la cinta transportadora y el buzón de recepción de material

Esta planta es alimentada con energía de un generador a diésel

**Figura N° 8 Almacenamiento de grava y arena.**



**Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, “Recomendaciones Constructivas para Pavimento Rígido”.**

La pala cargadora se encarga de alimentar a la planta de hormigón

El trabajo de ésta debe ser continuo de tal manera de que en ningún momento falte material en los depósitos

Obsérvese al fondo el depósito de turriles de un aditivo para el hormigón que fluidifica la mezcla reduciendo además el contenido de agua (plastificante reductor de agua)

**Figura N° 9 Entrega del hormigón para su transporte**



**Fuente: Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón, “Recomendaciones Constructivas para Pavimento Rígido”.**

La planta dosificadora mezcladora entrega los componentes del hormigón a camiones mezcladores (mixers).

La adición de agua se hace en el camión mezclador.

Luego de la entrada de agua en el camión mezclador recién se procede con el batido de los distintos componentes.

Esta planta tiene una producción nominal de  $70 \text{ m}^3/\text{hr}$  y según lo explicado no posee un mezclador propio.

La tubería color blanco ubicada en la parte superior es la entrada de cemento hacia el camión mezclador.

## **2.5. MÉTODOS DE TEXTURIZADO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN NUEVOS.**

### **Métodos de texturizado en pavimentos de hormigón nuevos**

Para el caso específico de pavimentos de hormigón, durante la ejecución de las tareas de terminación suele aplicarse el texturizado del pavimento, para lo cual existe un importante abanico de alternativas a aplicar en estado fresco, que permiten ajustar la condición superficial del pavimento a la requerida por el tipo de vía.

La provisión de una adecuada textura superficial brindará una macro textura apropiada, que permitirá alcanzar los niveles de seguridad en el tránsito acordes con el uso y categoría de la vía. Esta operación se realiza una vez finalizadas las tareas de terminación de la calzada de hormigón, y se efectúa generalmente mediante el arrastre o pasaje de algún elemento o herramienta sobre el hormigón fresco. Luego de esta tarea, debe procederse en forma inmediata a la ejecución del curado.

Según se ha expresado anteriormente, el objetivo del texturizado del hormigón es, entonces:

- Conseguir una adecuada resistencia al deslizamiento en condición húmeda,

- Conservar un buen drenaje y escurrimiento superficial del agua,
- Mantener bajos niveles de ruido,
- Brindar resistencia al desgaste y durabilidad.

Existen varias técnicas para aplicar una textura adecuada sobre la superficie del hormigón, que pueden ejecutarse con equipamiento mecánico o en forma manual. Asimismo, existen otras técnicas que pueden aplicarse en estado endurecido, que suelen utilizarse en pavimentos en servicio para recuperar las condiciones de fricción a las requeridas en función del tipo de vía que se trate, o incluso también en pavimentos nuevos para mejorar el desempeño de la superficie en algunos de los parámetros mencionados anteriormente (fricción, drenaje superficial, ruido, etc.).

Independientemente de la técnica empleada, es importante que la textura se aplique en forma homogénea para producir condiciones de fricción y de circulación uniformes. Los factores que más influyen sobre la textura del pavimento cuando ésta se aplica en estado fresco, para cualquier método o herramienta usados, son la consistencia y características del hormigón, el momento o tiempo en el cual se realiza, la presión con la que se aplican las herramientas de texturizado, su limpieza, y la presencia de agua de exudación en la superficie del hormigón, entre otros.

Se resume a continuación una breve descripción de los métodos empleados comúnmente para el texturizado en la construcción de pavimentos de hormigón.

### **2.5.1. Arpillera**

El texturizado con rastra de arpillera consiste en el arrastre de una tela de este material, sobre la superficie recién terminada del hormigón.

Produce una textura longitudinal de bajo ruido y coeficiente de fricción moderado.

Esta técnica es de sencilla implementación, pudiendo deslizarse en forma manual o mediante el equipo pavimentador, adosada detrás del molde o de las herramientas de terminación. Es importante mantenerla limpia y húmeda durante toda la



jornada de trabajo, en tanto que se puede usar en uno o varios pliegues o deshilachada levemente en su extremo posterior, para mejorar la profundidad de textura.

Con esta metodología suelen alcanzarse profundidades de textura relativamente bajas (de 0,2 mm a 0,5 mm), las cuales dependerán especialmente de las condiciones de ejecución, de la trama de la tela empleada y de las características de la mezcla.

**Figura N° 10 Texturizado manual con arpillera**



**Fuente: Ing. Diego H. Calo, Texturizado de pavimentos de hormigón en vías de altas velocidades. ICPA, 2012.**

### **2.5.2. Césped sintético**

Una variante a la técnica anterior es el arrastre de una carpeta invertida de césped sintético, que produce una textura de mayor profundidad, sin aumentar los niveles de sonoridad; y se aplica con las mismas técnicas que la arpillera.

Tiene como ventaja respecto a la anterior que cuenta con un mayor peso y que no requiere que la misma sea mantenida húmeda durante la jornada.

Es la práctica habitualmente empleada por el departamento de transporte de Minnesota (EEUU), en tanto que el césped sintético a emplear deberá verificar las siguientes condiciones:

- Largo de pelo: 15 - 25 mm.
- Cantidad de pelos por metro cuadrado: 77.500
- Peso > 2350 g/m

**Figura N° 11 Texturizado por arrastre de césped sintético**



**Fuente: Ing. Diego H. Calo, Texturizado de pavimentos de hormigón en vías de altas velocidades. ICPA, 2012.**

En ese estado norteamericano, la técnica ha sido adoptada como práctica habitual de texturizado, requiriéndose además alcanzar una profundidad media de textura de 1 mm o superior, medida mediante parche de arena (en al menos 4 mediciones por jornada). Para cumplimentar este último requisito, resulta en general necesario incorporar agregados u otros elementos para incrementar el peso de la carpeta sobre el hormigón fresco.

### 2.5.3. Cepillado transversal o longitudinal.

El cepillado puede efectuarse deslizando en el sentido longitudinal o transversal a la dirección de circulación, un cepillo en forma manual o mecánica, creando pequeñas crestas sobre la superficie del pavimento.

Es una técnica de sencilla implementación, de bajo costo y relativamente silenciosa al tránsito si se aplica en el sentido longitudinal. Empleada en el sentido transversal puede generar un incremento significativo de la sonoridad en la interface pavimento - neumático.

**Figura N° 12 Texturizado con cepillo en sentido transversal (manual)**



**Fuente: Ing. Diego H. Calo, Texturizado de pavimentos de hormigón en vías de altas velocidades. ICPA, 2012.**

### 2.5.4. Peine transversal

Consiste en el arrastre en el sentido transversal de un implemento tipo peine metálico o plástico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento que funcionan como pequeños canales a través de los cuales el agua puede escapar más fácilmente de la huella de contacto entre el pavimento y el neumático, reduciendo de esta manera el potencial de hidropneumático, el spray y las salpicaduras.

Esta técnica de texturizado es la principalmente empleada en los Estados Unidos para vías de alta velocidad, dado que se considera que es la que en mayor medida permite alcanzar de manera consistente adecuados niveles de fricción con alta durabilidad y a bajo costo. Sin embargo, a partir de los primeros antecedentes de aplicación de esta técnica, surgió la necesidad de controlar el ruido generado en la interface pavimento – neumático, lo cual derivó en el análisis de los distintos patrones que pueden materializarse con el fin de minimizar este efecto. La siguiente tabla resume las recomendaciones actuales para la ejecución de este tipo de texturizado.

**Tabla N° 9 Recomendaciones para la ejecución de texturizado con peine metálico transversal.**

<b>Espaciamiento de pines</b>	-Uniformemente espaciados cada 13 mm. -Separaciones variables de 10 a 75 mm (recomendado para buen control de aplicación). .Separaciones variables de 10 a 50 mm (recomendado para menor control de aplicación)
<b>Profundidad de dibujo</b>	-De 1,5 a 3 mm
<b>Ancho de canales</b>	-3mm
<b>Orientación del patrón</b>	-Esviado 1:6 con dirección de esviado opuesta al esviado de las juntas.
<b>Texturizado adicional</b>	-Arpillera o césped sintético con anterioridad a la aplicación del peine.

**Fuente: Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades  
ICPA (Argentina)**

#### **2.5.5. Peine longitudinal.**

Esta metodología es similar a la anterior, diferenciándose únicamente en que la misma se aplica en el mismo sentido que el de pavimentación.

En general, se caracteriza por ser una solución más silenciosa que el peine transversal. Aun cuando los índices de fricción que se alcanzan con esta metodología resultan algo

menores a los que ofrece la alternativa anterior, los mismos en general resultan satisfactorios. Estos menores valores de fricción, se considera que son debido a la mejor condición de drenaje que brinda el peine transversal para iguales condiciones de pendiente transversal.

Además de la reducción del nivel de ruido, otra ventaja que ofrece el peine longitudinal respecto del transversal es que en curvas horizontales esta técnica presenta una mejor resistencia al deslizamiento lateral, permitiendo que los vehículos transiten la curva de manera más segura. Esta ventaja puede resultar en un efecto perjudicial para los conductores de motocicletas u otros vehículos livianos, ya que las estrías longitudinales pueden provocar dificultades en la conducción al guiar la dirección de circulación.

#### **2.5.6. Agregado expuesto.**

La técnica del agregado expuesto se ha comenzado a utilizar con éxito, principalmente en obras de pavimentación en países europeos líderes en tecnología de pavimentos rígidos (Austria, Bélgica, Alemania), por sus excelentes características friccionales y su bajo nivel de ruido. El agregado expuesto se logra removiendo una delgada capa de mortero del hormigón superficial exponiendo agregados gruesos de elevada resistencia al desgaste. La metodología requiere que la ejecución de la calzada se efectúe mediante la técnica de pavimentación en doble capa, aunque hay casos en que la misma se ha realizado exitosamente en una única capa. La capa superior en general cuenta con un espesor de 40 a 70 mm y se construye mediante el empleo de hormigón de elevada resistencia y agregados triturados de menor tamaño máximo y graduación más estricta, de elevada dureza y resistencia a la abrasión.

El proceso de ejecución involucra la aplicación sobre el hormigón fresco de un retardador de fraguado sobre el cual se coloca un film de polietileno en toda la superficie del pavimento que evita la pérdida de agua por evaporación. Luego, una vez

que el hormigón de la porción inferior alcanza una resistencia suficiente, se elimina mediante un cepillo mecánico, el mortero superficial que aún no ha fraguado, dejando expuesto el agregado grueso de la porción superior.

Si bien las características de desempeño que se obtienen con esta metodología resultan adecuadas, la misma se caracteriza por incrementar significativamente el costo de construcción, en tanto que además requiere la implementación de metodologías y equipos especiales con personal altamente calificado.

## **2.6. FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE TEXTURIZADO EN FRESCO**

Mediante la siguiente tabla se resumen las fortalezas y debilidades de las distintas metodologías de texturizado de pavimentos de hormigón en fresco.

**Tabla N° 10 Fortalezas y debilidades de las distintas metodologías de texturizado de pavimentos de hormigón en fresco.**

<b>Método</b>	<b>Fortalezas</b>	<b>Debilidades</b>
Arpillera	-De sencilla ejecución. -Puede aplicarse en forma manual y automática. -Baja generación de ruido.	-Baja profundidad de textura. -Experimenta una mayor pérdida de fricción inicial.
Césped sintético	-De construcción sencilla. -Puede aplicarse en forma manual y automática. -Baja generación de ruido. -Puede variarse la profundidad de textura agregándole peso. -Buenos índices de fricción	-Su comportamiento a largo plazo no se encuentra definido hasta el momento, por ser una técnica de desarrollo reciente. -La calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.
Cepillo longitudinal	-De aplicación automática o manual. -Baja generación de ruido.	-La calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.

Cepillo transversal	-De aplicación automática o manual. -Elevados índices de fricción.	-Mayor generación de ruido. -La calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.
Peine transversal	-Elevados índices de fricción. -Elevada durabilidad. -De aplicación automática o manual. -Reduce el riesgo de hidroplaneo. -Reduce el spray y las salpicaduras.	-Mayor generación de ruido. -Puede presentar variaciones significativas en función del operador, clima y características de la mezcla.
Peine longitudinal	-Elevados índices de fricción. -Elevada durabilidad. -Baja generación de ruido. -Previene el deslizamiento lateral en curvas horizontales.	-Puede generar algunas molestias a motociclistas.
Agregado expuesto	-Elevados índices de fricción. -Baja generación de ruido. -Elevada durabilidad.	-Requiere métodos y equipos especiales. -Elevado costo. -Es crítico contar con constructor calificado.

**Fuente: Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades  
ICPA (Argentina)**

Debido a los progresivos incrementos de los volúmenes de tránsito y de las velocidades de circulación, desde hace ya varios años, existe una creciente preocupación por las texturas superficiales de los pavimentos de hormigón. Esto se debe a que la misma influye en muchos aspectos vinculados con las características de interacción carretera – vehículo, tales como la fricción sobre pavimento húmedo, el spray, las salpicaduras, el ruido pavimento - neumático, el desgaste de los neumáticos, entre otros.

En este sentido, al momento de decidir el tipo de textura a aplicar en un pavimento de hormigón, deberán tenerse en consideración las características superficiales requeridas, además de lo relativo con el costo de materialización.

Debe destacarse que debido a que se encuentra vinculado con las condiciones de seguridad de la vía, el propósito inicial de texturizar los pavimentos rígidos históricamente, estuvo asociado casi exclusivamente a la reducción de accidentes sobre superficies húmedas por deslizamiento. Sin embargo, en los últimos años, se ha observado en el plano internacional, que existe una creciente preocupación por otras características, como las previamente mencionadas, que comienzan a tenerse en consideración al momento de definir el tipo de textura a aplicar.

## 2.7. EVALUACIÓN DE LA FRICCIÓN SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS RIGIDOS.

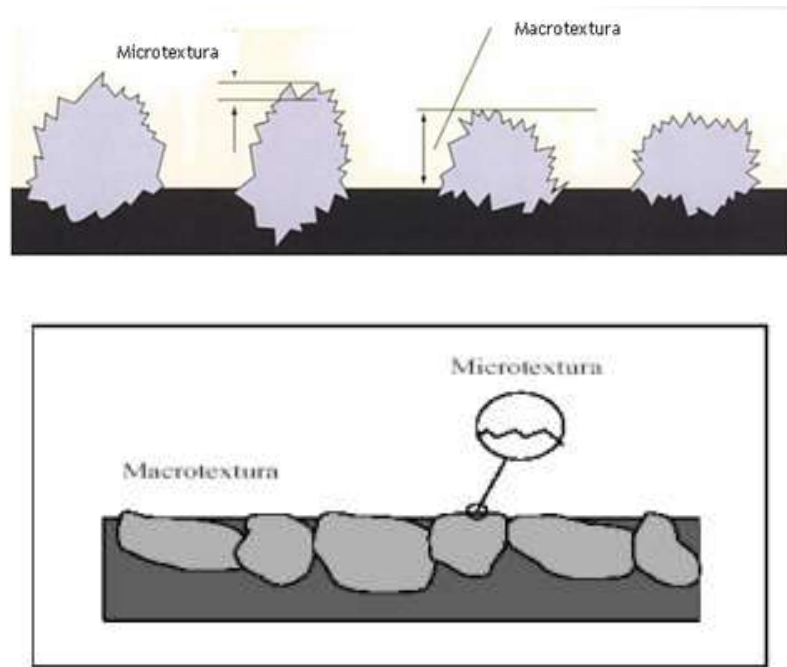
### **Microtextura en pavimentos rígidos.**

( $\lambda < 0,5$  mm;  $A < 0,2$  mm)

Esta textura se encuentra provista por las pequeñas irregularidades en las partículas de agregado presente en el mortero, por lo cual no resulta visible al ojo humano. Una buena microtextura en general es suficiente para proveer un adecuado nivel de fricción en pavimentos secos o en húmedo (no inundado) con velocidades menores de 80 km/h. Esta característica no se encuentra vinculada con la generación del ruido neumático - pavimento, ni al spray o salpicaduras. Aun cuando un incremento en la microtextura provocará mayor desgaste de los neumáticos, este aspecto negativo tiene poca importancia en comparación con la necesidad de alcanzar las mejores condiciones de fricción posibles.



**Figura N° 13 Microtextura y macrotextura superficial.**



**Fuente: Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, 1995.**

### **2.7.1. Resistencia al deslizamiento**

La fricción o resistencia al deslizamiento del pavimento es un valor crítico en la seguridad cuando el pavimento está mojado. Su medida y estudio es fundamental sobre todo en carreteras de elevada intensidad de tráfico. La fricción se determina de forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una rueda de goma especial. También se puede considerar que es una forma indirecta de medir la parte más fina de la textura es decir, la microtextura.

El coeficiente de rozamiento es el parámetro que se emplea para determinar el nivel de adherencia entre el neumático y el pavimento. El valor del coeficiente de rozamiento depende de una serie de factores, algunos inherentes a la carretera mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de los neumáticos del vehículo) o de la naturaleza (lluvia, nieve o hielo sobre la calzada, etc). La demanda de

rozamiento es función de la velocidad y de la cantidad de agua sobre la carretera. A su vez la capacidad de responder a esa demanda es función del tipo y del estado del pavimento.

Al igual que otras características superficiales, los niveles de adherencia de un pavimento evolucionan con el tiempo como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de los neumáticos de los vehículos. Por tanto se tiene que comprobar periódicamente la resistencia al deslizamiento mediante técnicas de auscultación con equipos de medida del coeficiente de rozamiento.

Los equipos de medida de rozamiento realizan los ensayos sobre el pavimento mojado (por el equipo que vierte agua de forma controlada) y a una velocidad constante para poder comparar la variación del rozamiento a lo largo de la carretera.

Existe una gran variedad de equipos y de principios de medida, tanto de medida de la textura como de medida del rozamiento, lo que dificulta la interpretación y la comparación de los datos. Para disminuir este inconveniente la AIPCR organizó en 1992 un experimento internacional que permitió establecer correlaciones y comparaciones entre equipos. Los resultados se publicaron en el documento “Experimento Internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de Textura y Resistencia al Deslizamiento” (1995).

Históricamente el nivel de adherencia se establecía (y se sigue haciendo) en los pliegos de prescripciones exigiendo al árido a emplear en las capas de rodadura unas características determinadas sobre su resistencia al pulimento (o desgaste). El ensayo que se emplea en España (y en gran parte de los países europeos) es el ensayo denominado “Pulimento acelerado de los áridos” que determina un coeficiente de resistencia al desgaste denominado CPA cuya forma de realización viene recogido en la norma NLT.-174/93

### **2.7.2. Fricción superficial.**

La fricción entre los neumáticos de su automóvil y la carretera, determina su máxima aceleración, y lo que es más importante aún su mínima distancia de parada. De modo que la naturaleza de esa fricción puede ser realmente una cuestión de vida o muerte. Pero al igual que todas las aplicaciones de fricción, contiene ambigüedades frustrantes.

Muchos años de investigación y prácticas nos ha llevado a diseños de bandas de rodadura que ofrecen buena tracción en una amplia variedad de condiciones. Los diseños de las bandas de rodadura canalizan el agua afuera de la superficie de apoyo en carreteras mojadas, para combatir la tendencia al aquaplaning - una condición que hace que el coche se deslice por la carretera como esquiando, porque tenemos una capa de agua que actúa de lubricante debajo de toda la superficie del neumático.

### **2.7.3. Módulo Coeficiente de Fricción (CF)**

En la presente versión del Sistema de Evaluación de Pavimentos se contempla un nuevo módulo, denominado coeficiente de Fricción (CF), en el cual será obligatorio determinar valores para cada segmento que se evalúe dentro de la red federal y autopistas.

En lo que respecta a la fricción o resistencia al deslizamiento del pavimento, se considera la condición más desfavorable aquella en la que el pavimento se encuentra mojado. Su medida y estudio es fundamental, sobre todo en caminos de elevada intensidad de tránsito. La fricción se determina en forma indirecta midiendo el coeficiente de rozamiento entre el pavimento artificialmente mojado y una llanta especial. También se puede considerar de forma indirecta, al medir la textura del pavimento con ayuda de técnicas como el cono de arena.

El valor del coeficiente de fricción para pavimento mojado depende de una serie de factores; algunos inherentes a la carretera, como el estado de la superficie de rodamiento, drenaje, etc.; mientras que otros son responsabilidad del usuario (como la velocidad y el estado de las llantas), o de la naturaleza (lluvia, nieve, hielo sobre la

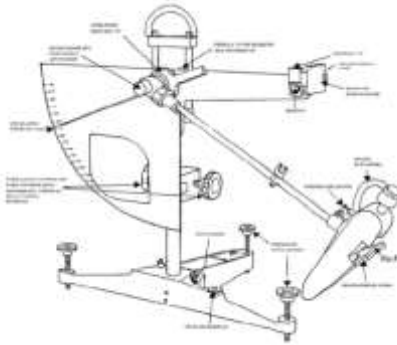
carpeta, etc.). El coeficiente de fricción está en función de la velocidad y cantidad de agua que exista sobre el pavimento, además del tipo y del estado de la carpeta.

Al igual que otras características superficiales, los valores del coeficiente de fricción de un pavimento evolucionan con el tiempo, como consecuencia del pulido de la superficie por la acción repetida de las llantas de los vehículos. Esta acción será más o menos intensa dependiendo del tipo de agregado utilizado. Así por ejemplo, para agregados calizos el problema cobra indiscutible importancia, lo que quizá no sea tan marcado cuando se utilizan agregados de origen volcánico. Por tanto, es necesario determinar periódicamente de manera indirecta la resistencia al deslizamiento mediante equipos que determinen el coeficiente de fricción.

#### **2.7.4. Péndulo de fricción del TRRL.**

Es uno de los equipos más sencillos que proporcionan una medida adecuada del coeficiente de fricción, TRR (Transport and Road Research Laboratory).

**Figura N° 14 Péndulo de fricción del TRRL.**



**Fuente: Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, 1995.**

Este aparato sirve para obtener un coeficiente de fricción que mantiene correlación con la fuerza de fricción real, y ayuda a valorar las características deslizantes de la superficie de un pavimento.

Este ensayo consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo, cuyas características corresponden a ciertas especificaciones, provisto en su extremo de una zapata de caucho. La pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo.

Los valores de fricción para un pavimento mojado y seco, obtenidos con el péndulo TRRL, y producto de la experiencia europea, sirven como apoyo para sugerir un valor de referencia con respecto a la fricción.

**Tabla N° 11 Límites permisibles del coeficiente de fricción para pavimento mojado**

Vehículo	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Pavimento				
Rígido	0,50	0,45	0,45	0,50
Flexible	0,50	0,50	0,45	0,45
Poroso	0,45	0,45	0,40	0,40
Lechada	0,50	0,55	0,55	0,45
Sellos	0,50	0,45	0,45	0,40

**Fuente: Experimento Internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento. Publicación AIPCR – 01-04. T- 1995.**

**Tabla N° 12 Límites permisibles del coeficiente de fricción para pavimento seco**

Vehículo	C2, C3, C4	B1, B2	T2-S2, T3-S2	T3-S2-R2, T3-S2-R4
Pavimento				
Rígido	0,80	0,85	0,80	0,80
Flexible	0,80	0,85	0,85	0,85
Poroso	0,75	0,85	0,85	0,85
Lechada	0,80	0,90	0,80	0,85
Sellos	0,85	0,90	0,75	0,80

**Fuente: Experimento Internacional AIPCR de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento. Publicación AIPCR – 01-04. T- 1995.**

## 2.8. EVALUACIÓN DE LA PROFUNDIDAD MEDIA DE LA TEXTURA

Hoy en día existen diferentes tipos de ensayos para evaluar la macrotextura de un pavimento. Estos ensayos varían mucho, tanto en la rapidez del trabajo, tipo de medida y costo del equipo.

Método Volumétrico.- Este método mide la profundidad media de textura (MTD) y se mide con el método del Círculo de la Arena.

Con el fin de distinguir la influencia de la misma en las condiciones de interacción vehículo-carretera, la Asociación Mundial de la carretera (AIPCR) ha propuesto diferentes categorías para la clasificación de las características superficiales de los pavimentos, en función de su longitud ( $\lambda$ ) y/o amplitud de onda (A).

**Macrotextura** ( $0,5 \text{ mm} < \lambda < 50 \text{ mm}$ ;  $0,1 \text{ mm} < A < 20 \text{ mm}$ )

Esta propiedad se encuentra definida por las estrías o ranuras formadas en la superficie del pavimento, a partir de la operación de texturizado en fresco, o mediante otras técnicas aplicables sobre el hormigón endurecido. La misma juega un rol fundamental en las características de fricción de los pavimentos en condición húmeda, especialmente para vehículos a altas velocidades. Por lo tanto, en aquellas vías en las que se encuentre prevista la circulación de vehículos a más de 80 km/h, requieren construirse con una adecuada macrotextura con el fin de prevenir el riesgo de hidroplaneo. Esta característica superficial tiene impacto significativo en el ruido pavimento - neumático, el spray y las salpicaduras.

**Figura N° 15 Macrotextura en pavimentos antiguos y nuevos**



**Fuente: Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, 1995.**

### **2.8.1. La macrotextura en pavimento rígido.**

La macrotextura es un atributo global del pavimento por lo que interesa su determinación de manera continua y no con ensayos puntuales lentos y costosos. Por ello los equipos de auscultación de tipo perfilométrico disponen de formas de medir la textura y el mayor problema que se suscita es la correspondencia con el valor MTD (mancha de arena) que es la más conocida y de más fácil interpretación por los ingenieros. El valor que obtienen es conveniente convertirlo, mediante estudios generales o particulares de correlación, al valor MTD.

El “Experimento internacional de comparación y armonización de las medidas de textura y resistencia al deslizamiento” (1995) permitió a los equipos participantes obtener correlaciones entre el parámetro obtenido por el equipo y la MTD.

Las limitaciones del ensayo de la mancha de arena (realizada con grasa en pavimentos de aeropuertos) y la evolución de las técnicas de medida de la textura especialmente con sensores láser de alta intensidad de muestreo (hasta 64 kHz) y rayo muy fino (< de 0.5 mm) han originado un interés creciente por mejorar cuantitativa y cualitativamente la medida de la textura.

Los ensayos con equipos de este tipo permiten obtener un perfil muy preciso y “fino” del pavimento que se debe analizar con criterios estadísticos lo que ha permitido definir nuevos índices de medida y valoración de la textura.

Los equipos deben obtener información fiable y precisa sobre el estado del pavimento.

Para asegurar las medidas de cada característica que varía con la distancia, hay que recoger y tratar los datos recogidos. Para cada característica se usan distintos tipos de datos que se resumen en indicadores que se interpretan de manera diferente. A este respecto el citado

Experimento internacional constituyó un importante evento para consolidar definiciones y criterios de medida de la textura.

Además recientemente se ha aprobado la norma ISO/CD13473/97 Characterization of pavement texture by use of surface profiles -- Part 1: Determination of Mean Profile Depth donde se define la textura por medio de un índice denominado “Profundidad media del perfil”. MPD (Mean Profile Depth). Existe buena correlación entre el valor MPD y el valor de mancha de arena MTD. (Mean Texture Depth).

Otra forma de determinar el valor de textura, empleada por diferentes equipos, es la RMS (media cuadrática) de las amplitudes del perfil filtrado en determinadas bandas de longitudes de onda. También existe buena correlación entre la RMS de la macrotextura y la MTD (o mancha de arena).

El interés de trabajar con la media cuadrática RMS en lugar de la media aritmética se ve muy claro si se compara el valor de ambas para ondas sinusoidales. Por ejemplo un seno de 3 m de longitud de onda y 2 milímetros de amplitud y otro de 2 metros y 0.5 mm tienen la misma media aritmética, cero, sin embargo su RMS es muy diferente, 1.33 mm y 0.33mm respectivamente. Trabajar con la media cuadrática elimina el problema de la media aritmética de valor cero.



### 2.8.3. Características que debe reunir la textura

Desde un punto de vista global la textura debe reunir las siguientes características.

Debe ser homogénea tanto en sentido longitudinal como en sentido transversal al sentido de avance de los vehículos.

Cuanto mayor sea el valor de la microtextura mayor y mejor adherencia entre el neumático y la superficie. Por el contrario se produce un mayor desgaste de los neumáticos.

Cuanto mayor sea el valor de la macrotextura mejor capacidad de evacuación de agua en la interface neumático pavimento, por contra las texturas elevadas suelen ser más ruidosas. Se trata de una disfunción entre una característica deseada (la elevada capacidad de drenaje) y una característica añadida (el mayor nivel de ruido) para conseguir aquélla. Este efecto contrario se está tratando de compensar con mezclas de granulometría discontinua, principalmente las mezclas porosas cuyo elevado contenido de huecos junto con su elevada macrotexturanegativa, permite una rodadura sin formación de película de agua en la superficie y además muy silenciosa, porque el sonido puede “salir” hacia abajo. Por el contrario los inconvenientes están motivados por el coste, la duración y la dificultad de mantenimiento y de rehabilitación de este tipo de capas.

En resumen la textura debe ser:

- Elevada para permitir la evacuación del agua en la interfaz neumático/pavimento.
- Debe ser pequeña para proporcionar un menor nivel de ruido.
- Debe ser homogénea para ofrecer en toda la superficie la misma capacidad de evacuación.

#### **2.8.4. Evolución de la macrotextura con el tiempo.**

Cada tipo de pavimento tiene un valor natural de textura. El valor natural corresponde al pavimento recién ejecutado y está asociado con el tipo de capa que se trate, con el tamaño de los áridos empleados y con el procedimiento de fabricación y extendido.

Con el tiempo a consecuencia del desgaste del pavimento por los vehículos la textura va modificando su valor inicial de la siguiente forma.

Transversalmente al sentido de avance la textura en la zona de rodada y en el centro del carril se va diferenciando. Mientras en el centro del carril apenas se modifica el valor inicial, en la zona de rodada va disminuyendo. La magnitud de la diferencia (a veces muy significativa) es un índice de la edad del pavimento y/o de su comportamiento. Por ejemplo, se ha observado que los pavimentos de corta edad (2-3 años) que presenten diferencias acusadas entre el valor de textura obtenida en el centro del carril y en la zona de rodadas, tienen a corto plazo un deterioro importante, mayor de lo habitual y probablemente también es una señal de fisuración próxima (prefisuración).

Longitudinalmente la velocidad evolución de la textura es función del valor inicial (valores iniciales pequeños disminuyen más despacio que valores iniciales más elevados). Con el paso del tiempo tanto las texturas bajas (0.3 - 0.7 mm) como las elevadas (0.7-2.0 mm) decrecen hasta un valor mínimo (que corresponde al momento de máximo desgaste, sin pérdida de estructura, pérdida que comienza con la suelta de áridos).

A partir de ese mínimo la macrotextura comienza a crecer (sin que ese crecimiento tenga un significado positivo de recuperación) y tiende a hacerlo muy rápidamente hasta que se alcanza un máximo a partir del cual ya no tiene sentido hablar de macrotextura de la capa, pasando a formar parte de la megatextura, que presentará valores elevados por formación de “nidos de pollo” o baches. En capas delgadas tipo lechada puede suceder que la pérdida de textura signifique la desaparición de la capa o

por lo menos de sus efectos favorables, quedando al descubierto la capa inferior que fue cubierta con la capa delgada. Se puede decir que la capa de rodadura ha agotado su misión.

### 2.8.5. Ensayo del círculo de arena.

Este ensayo es la manera más antigua que se tiene de evaluar el pavimento.

**Figura N° 16 Ensayo de la mancha de arena**



**Fuente: Ing, Giuliana Barraza Eléspuru, “Resistencia al deslizamiento en pavimentos”, AIPCR, 1995.**

Consiste en extender sobre la superficie del pavimento un volumen conocido de arena fina (que pase la malla 100 y la retenga la 200). Luego se extiende la arena formando un círculo. La medida de su diámetro permite determinar el área del círculo y al dividirlo entre el volumen se obtiene la profundidad promedio de las depresiones.

Actualmente también se está realizando este ensayo con esferas de vidrio, de tal manera que la homogeneidad del material sea más confiable.

Este ensayo es útil para valores de textura superiores a los 0.25mm y se debe hacer en un pavimento seco, limpio y sin viento.

A pesar que este ensayo es el más utilizado presenta una serie de inconvenientes:

- Funciona en tramos específicos, y no a nivel de red.
- Se debe cortar el tránsito en una carretera abierta.

- Es difícil garantizar la homogeneidad de la arena o de las esferas de vidrio por lo que se puede producir errores.

**Tabla N° 13 Clasificación de la textura a nivel internacional**

<b>Tipo de textura</b>	<b>H. (Profundidad media) mm.</b>
Textura muy fina (No deben utilizarse)	$<0,2$
Textura fina (Zonas urbanas de baja velocidad)	$0,2 < H < 0,4$
Textura media (Velocidades entre 80 y 120 km/h)	$0,4 < H < 0,8$
Textura profunda (Velocidades mayores a 120 km/h)	$0,8 < H < 1,2$
Textura muy profunda (Curvas peligrosas, alt precipitación)	$1,2 < H$

**Fuente: Norma NLT-335/87 “Medida de lo textura superficial de un pavimento por el método del círculo de arena”.**

## **2.9. DRENAJE SUPERFICIAL DE PAVIMENTO RÍGIDO.**

El drenaje de pavimentos es esencial para mantener un buen nivel de servicio y seguridad en el tráfico. El agua sobre el pavimento puede interrumpir el tráfico, reducir la resistencia al patinaje, incrementar el potencial de “hidroplaneo”, limitar la visibilidad debido al salpique y rocío, y, causar la consecuente dificultad en la conducción del vehículo cuando las ruedas frontales se encuentran con charcas.

El drenaje de pavimentos requiere de la consideración del escurrimiento superficial, del flujo en cunetas y de la capacidad de captación de los sumideros. El diseño de estos elementos depende de la frecuencia de la lluvia y del spread permisible del agua sobre la superficie del pavimento.

### **2.9.1. Criterios principales para la selección de la frecuencia y el spread de diseño:**

- La identificación del tipo la carretera es un buen inicio en el proceso de selección puesto que define la expectativa pública respecto a la presencia del agua sobre la superficie del pavimento.
- La velocidad es importante para la selección del criterio de diseño. Se ha demostrado que para velocidades mayores a 70 km/hr, el agua sobre el pavimento puede causar “hidroplaneo”.

- Los volúmenes de tráfico proyectados son un indicador de la importancia económica de mantener la vía abierta al tráfico.
- La intensidad de los eventos de lluvia puede significativamente afectar la selección de la frecuencia y el spread de diseño.
- Los costos de inversión no son ni la menor ni la última consideración. Su consideración es necesaria para formular una aproximación racional en la selección del criterio de diseño.

### **2.9.2. Drenaje superficial**

Cuando la lluvia cae sobre un pavimentado inclinado, forma una delgada capa de agua cuyo espesor se incrementa a medida que fluye hacia el extremo aguas abajo del pavimento. Los factores que influyen en la magnitud de la profundidad del agua son: la longitud de la ruta del flujo, la textura del pavimento, la pendiente superficial y la intensidad de la lluvia. A medida que la profundidad del agua sobre el pavimento se incrementa, el potencial de “hidroplaneo” también se incrementa. Más adelante se presenta una discusión sobre el “hidroplaneo”; y, también se presentan guías para el diseño de los siguientes elementos del sistema de drenaje:

- Pendiente longitudinal del pavimento
- Pendiente transversal del pavimento
- Bordillo y cuneta
- Zanjas medianeras y laterales
- Plataforma de puentes
- Barreras medianeras
- Atenuadores de Impacto

### **2.9.3. Hidroplaneo en carreteras.**

El hidroplaneo ocurre cuando la capacidad de las estrías y de la superficie del pavimento es excedida y el agua comienza a elevarse enfrente de la llanta. A medida que el agua se eleva, se crea una cuña de agua y esta cuña produce una fuerza

hidrodinámica la cual eleva la llanta por encima de la superficie del pavimento. Esto es considerado como un hidroplaneo dinámico total y, ya que el agua ofrece poca resistencia al corte, la llanta pierde su habilidad tractiva y el conductor pierde el control del vehículo. El hidroplaneo puede ocurrir en velocidades de 89 km/hr con una profundidad de agua de 2 mm.

El hidroplaneo puede ser reducido aplicando las siguientes medidas:

- Diseñe la geometría de la vía de manera de reducir la longitud de recorrido del agua que fluye sobre el pavimento. Esto evitará la formación de la cuña de agua.
- Incremente la profundidad de la textura del pavimento mediante métodos tales como el estriado del concreto.
- El uso de pavimento asfáltico de gradación abierta, se ha demostrado, que reduce enormemente el potencial de hidroplaneo.
- El uso de estructuras de drenaje a lo ancho de la calzada, para capturar el flujo de agua sobre el pavimento, reducirá el espesor de la película de agua y reducirá también el potencial de hidroplaneo de la superficie de rodadura.

#### **2.9.4. Pendiente transversal de la superficie de rodadura.**

La tabla incluye un rango aceptable de pendientes transversales, especificadas en “AASHTO’s policy on geometric design of highways and streets(21)”.

**Tabla N° 14 Rangos de pendientes transversales**

<b>Tipo de superficie</b>	<b>Rango de pendientes transversales</b>
Superficie Tipo-Alta	
2 carriles	0,015-0,020
3 o más carriles, en ambas direcciones	0,015 mínimo; incremento 0,005 a 0,010 por carril; 0,040 máximo.
Superficie intermedia	0,015-0,030
Superficie Tipo-Baja	0,020-0,060
Espaldones	
Asfalto o concreto	0,020-0,060
Con bordillos	$\geq 0,040$

**Fuente: AASHTO's policy on geometric design of highways and streets (21)".**

## CAPÍTULO III DISEÑO Y EVALUACIÓN DE LA TEXTURA EN PAVIMENTOS

### 3.1. EXTRACCIÓN DE LOS ÁRIDOS

La extracción de los áridos se hizo bajo el criterio de "Método para extraer y preparar muestras" H0101 (ASTM C 75 AASHTO T2).

Este método establece los procedimientos para extraer y preparar las muestras representativas de áridos finos, gruesos e integrales para fines de ensayo. Se aplicará a los áridos naturales y manufacturados.

El material para realizar los ensayos de caracterización como de dosificación de probetas y losas tipo fueron producidos en la planta de triturado y extracción de áridos "Garzón" la cual extrae y procesa los áridos del río Guadalquivir, todos los agregados se tomaron de los mismos depósitos existentes para todos los experimentos.

El Río Guadalquivir cuenta con un caudal constante, que es usado para la agricultura de la zona más cercana, no es un río contaminado ni erosionado, por toda la zona de San Mateo existe vegetación y pequeños cultivos, se encuentra aproximadamente a 30 minutos del centro de la ciudad de Tarija.

**Figura N° 17 Banco de extracción de agregado grueso.**



**Fuente: Elaboración propia.**



Se eligió áridos producidos por triturado debido al aumento exponencial que ha tenido los últimos años debido a sus mejores propiedades mecánicas y al mayor control que existe en la extracción de áridos naturales en los ríos de Bolivia por el impacto ambiental negativo que producen.

Para la construcción de carreteras ya sea de pavimento rígido o flexible es recomendado usar agregados triturados debido a su mayor adherencia a la mezcla por la aristas que posee a diferencia de los agregados redondeados provenientes de ríos, como se usó material triturado el material tiene un tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ " debido a que en general ese es el tamaño más producido en las plantas de chancado de áridos, el caso de la arena es similar, para un mejor desempeño se recomienda usar arena producto del triturado de agregados por lo que también se adquirió la arena de la planta de triturado del río Guadalquivir.

**Figura N° 18 Chancadoras de agregados "Chancadora Garzón".**



**Fuente: Elaboración propia.**

Los materiales que se compraron son clasificados como:

- Grava (tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ ").

- Gravilla (tamaño máximo de 3/8”).
- Arena (Gruesa).

Los criterios de transporte empleados:

- Las pérdidas de la muestra en el transporte deben ser mínimas.
- Las muestras deben ser representativas del banco de extracción.
- La cantidad de muestra debe ser suficiente para realizar todos los ensayos de caracterización.

Para los ensayos se compró una bolsa de grava una bolsa de gravilla y una bolsa de arena gruesa, cada bolsa con un peso aproximado entre 60 kg a 80 kg aproximadamente.

### **3.2. CUARTEO DE LA MUESTRA**

El cuarteo de la muestra se hizo bajo el criterio de “ método para el cuarteo de muestras” H0102 (ASTM C702 AASHTO T248)

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayos a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensayo.

El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensayo que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

El cuarteo de la muestra para los agregados gruesos se realizó con un cuarteador metálico material del laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

**Figura N° 19 Cuarteador "laboratorio de suelos U.A.J.M.S.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El método consiste en vaciar el contenido de las bolsas de agregados en un cuarteador metálico el cual separa la muestra en dos recipientes previamente colocados al final de los canales del cuarteador.

**Figura N° 20 Bolsa de agregado grueso.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 21 Bandejas de recepción.**



**Fuente: Elaboración propia.**

La muestra se divide en las veces necesarias hasta obtener el peso requerido para el ensayo que se desea realizar.

### **3.3. GRANULOMETRÍAS**

La determinación de las granulometrías de las muestras se las realizado basándose en el " Método para tamizar y determinar la granulometría" H0104 (ASTM C 136 AASHTO T27).

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

**Figura N° 22 Juego de tamices granulometría.**



**Fuente: Elaboración propia.**

La granulometría se obtuvo mediante un proceso de tamizado utilizando los tamices disponibles en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S. la cantidad de muestra tamizada se determinó de acuerdo a la norma basándose en el tamaño máximo de los agregados.

**Figura N° 23 Proceso de tamizado.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.3.1. Granulometría del agregado grueso 3/4"

Para un correcto análisis granulométrico para un tamaño máximo de las partículas de 3/4" es necesario como mínimo ensayar 5000 gramos de muestra.

- La muestra se cuartea de acuerdo al punto 3.3 hasta llegar a un peso de 5958 gramos.
- Antes de realizar el tamizado se seca la muestra con la hornilla del laboratorio.
- No se puede comenzar con el tamizado con la muestra caliente.
- El vaciado de la muestra debe ser de manera constante evitando perder material por los lados del tamiz.
- El material retenido es pesado en cada tamiz con una balanza electrónica.

Los datos obtenidos en la práctica fueron:

**Tabla N° 15 Granulometría agregado grueso 3/4".**

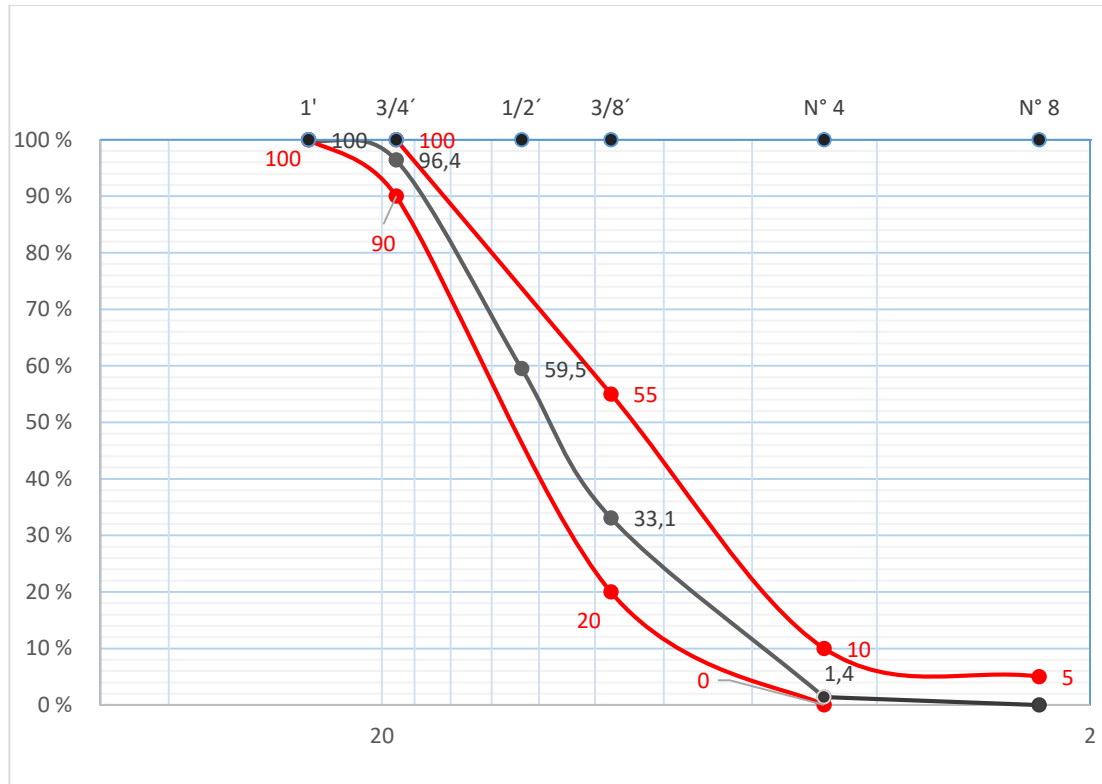
Tamiz	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado		Tamaño mm.	% Que pasa del total
		(gr)	Porcentaje (%)		
2"	0,00	0,00	0,00	50,80	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	38,10	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	25,40	100,00
3/4"	216,50	216,50	3,60	19,10	96,40
1/2"	2197,80	2414,30	40,50	12,70	59,50
3/8"	1574,00	3988,30	66,90	9,50	33,10
N° 4	1887,70	5876,00	98,60	4,75	1,40
N° 8	66,00	5942,00	99,70	2,36	0,30
N° 16	5,00	5947,00	99,80	1,18	0,20
N° 30	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00
N° 50	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00
N° 100	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
N° 200	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz se debe expresar la gráfica de la granulometría de un árido en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya

abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría.

**Figura N° 24 Granulometría agregado grueso 3/4”.**



**Fuente: Elaboración propia.**

La granulometría obtenida se encuentra dentro de los márgenes establecidos para la construcción de hormigones para pavimento rígidos de acuerdo a la norma descrita en el punto 2.4.3 de este documento, la distribución granulométrica es uniforme y bien distribuida en cantidad y tamaños, la planilla del ensayo, curva con límites, se encuentra en la parte de anexos.

### 3.3.2. Granulometría del agregado Grueso 3/8”.

Para un correcto análisis granulométrico para un tamaño máximo de las partículas de 3/8' es necesario como mínimo ensayar 1000 gramos de muestra.

- La muestra se cuartea de acuerdo al punto 3.3 hasta llegar a un peso de 3185 gramos.
- Antes de realizar el tamizado se seca la muestra con la hornilla del laboratorio.
- No se puede comenzar con el tamizado con la muestra caliente.
- El vaciado de la muestra debe ser de manera constante evitando perder material por los lados del tamiz.
- El material retenido es pesado en cada tamiz con una balanza electrónica.

Los datos obtenidos en la práctica fueron:

**Tabla N° 16 Granulometría agregado grueso 3/8”.**

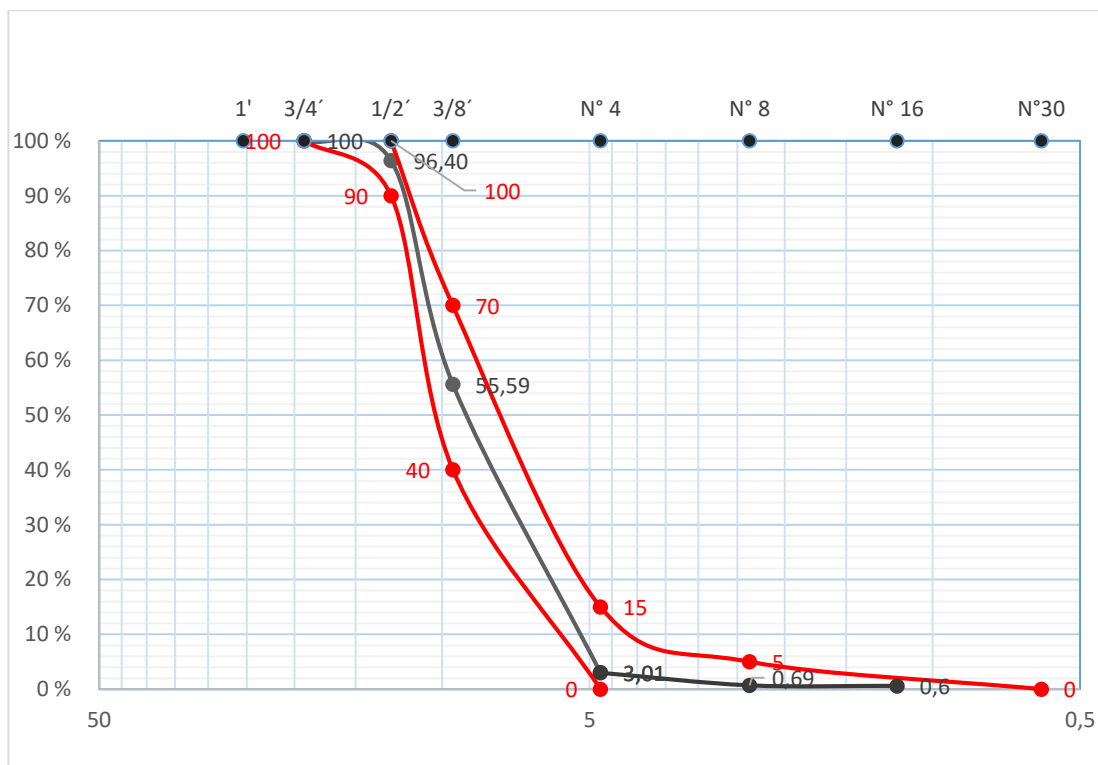
Tamiz	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado		Tamaño mm.	% Que pasa del total
		(gr)	Porcentaje (%)		
2"	0,00	0,00	0,00	50,80	100,00
1 1/2"	0,00	0,00	0,00	38,10	100,00
1"	0,00	0,00	0,00	25,40	100,00
3/4"	0,00	0,00	0,00	19,10	100,00
1/2"	114,70	114,70	3,60	12,70	96,40
3/8"	1299,80	1414,50	44,40	9,50	55,60
N° 4	1674,50	3089,00	97,00	4,75	3,00
N° 8	74,00	3163,00	99,30	2,36	0,70
N° 16	3,00	3166,00	99,40	1,18	0,60
N° 30	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00
N° 50	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00
N° 100	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
N° 200	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz se debe expresar la gráfica de la granulometría de un árido en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría



**Figura N° 25 Granulometría agregado grueso 3/8".**



**Fuente: Elaboración propia.**

La granulometría obtenida se encuentra dentro de los márgenes establecidos para la construcción de hormigones para pavimento rígidos de acuerdo a la norma descrita en el punto 2.4.3 de este documento, la distribución granulométrica es uniforme y bien distribuida en cantidad y tamaños, la planilla del ensayo, curva con límites, se encuentra en la parte de anexos.

### **3.3.3. Granulometría del agregado fino.**

Para un correcto análisis granulométrico para material fino (arena) es necesario tomar una muestra mayor a 500g, se tomó una muestra de 750g.

- La muestra de arena pesada debe ser lavada mediante el uso de un tamiz número 200 todas las partículas que pasan este tamiz no son consideradas arena.

- El lavado de la muestra se realiza hasta que todas las partículas restantes se retengan en el tamiz número 200.

**Figura N° 26 Lavado del agregado fino.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Antes de realizar el tamizado se seca la muestra con la hornilla del laboratorio.
- No se puede comenzar con el tamizado con la muestra caliente.
- El vaciado de la muestra debe ser de manera constante evitando perder material por los lados del tamiz.
- El material retenido es pesado en cada tamiz con una balanza electrónica.

Los datos obtenidos en la práctica fueron:

**Tabla N° 17 Granulometría agregado fino.**

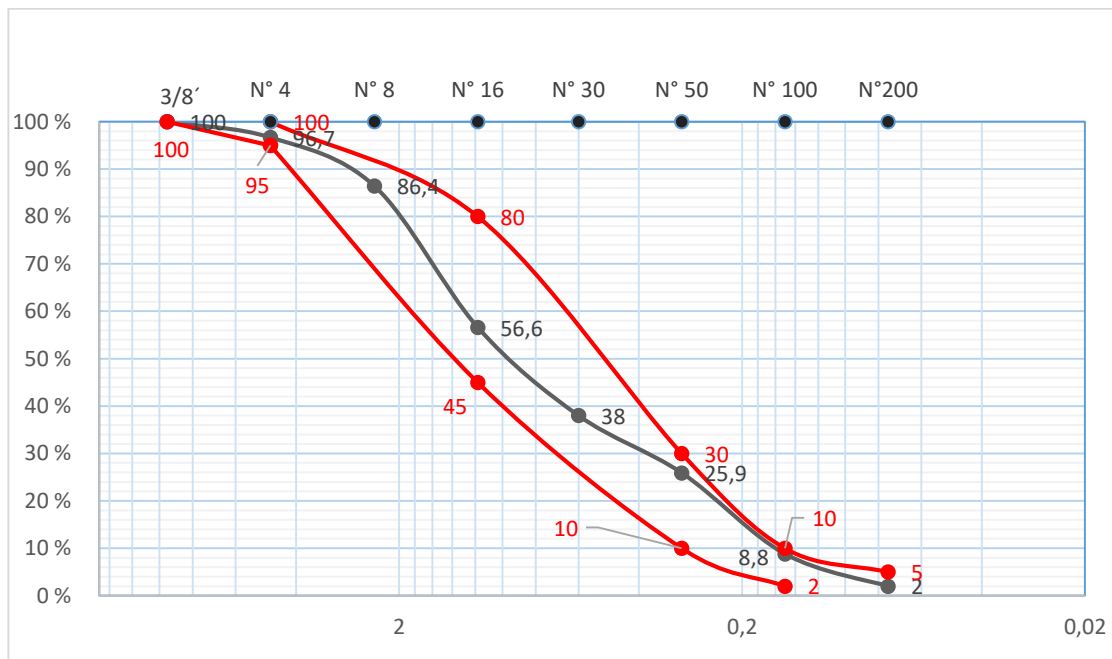
Tamiz	Peso retenido (gr)	Retenido acumulado		Tamaño mm.	% Que pasa del total
		(gr)	Porcentaje (%)		
3/8"	0,00	0,00	0,00	9,50	100,00
N° 4	25,00	25,00	3,30	4,75	96,70
N° 8	77,30	102,30	13,60	2,36	86,40
N° 16	223,20	325,50	43,40	1,18	56,60
N° 30	139,50	465,00	62,00	0,60	38,00

N° 50	91,00	556,00	74,10	0,30	25,90
N° 100	128,00	684,00	91,20	0,15	8,80
N° 200	51,00	735,00	98,00	0,08	2,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores de los porcentajes que pasan en cada tamiz se debe expresar la gráfica de la granulometría de un árido en un sistema de coordenadas ortogonales, cuya abscisa, a escala logarítmica, indica las aberturas nominales y cuya ordenada, a escala lineal, indica los valores de la granulometría

**Figura N° 27 Granulometría agregado fino.**



**Fuente: Elaboración propia.**

La granulometría obtenida se encuentra dentro de los márgenes establecidos para la construcción de hormigones para pavimento rígidos de acuerdo a la norma descrita en el punto 2.4.2 de este documento, la distribución granulométrica es uniforme y bien distribuida en cantidad y tamaños, la planilla del ensayo, curva con límites, se encuentra en la parte de anexos.

### 3.4. DENSIDADES DE LOS AGREGADOS

**Las densidades de los agregados se obtuvieron de los ensayos de "Método para determinar la densidad aparente H0108 (ASTM E 30 AASHTO C 29).**

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Para este ensayo se crearon 3 muestras de igual peso para cada tipo de agregado para los agregados gruesos muestras de 15 kg y para el agregado grueso 5 kg.

Se usó un recipiente metálico de  $2935 \text{ cm}^3$  de volumen, una balanza y recipientes previamente pesados para el agregado fino y un molde de  $9880 \text{ cm}^3$  para agregado grueso.

#### 3.4.1. Peso unitario suelto del agregado grueso.

Para la determinación del peso unitario suelto directamente se vació el contenido en el molde y se enrazo con la varilla metálica en el borde superior, se hizo el mismo procedimiento en los 3 casos.

**Figura N° 28 Enrase de molde volumétrico sin varillar.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El peso unitario suelto saldrá de la relación directa de:

$$\text{Peso específico suelto} = \frac{\text{Peso Suelto}}{\text{Volumen del contenedor}}$$

Los valores obtenidos fueron:

**Tabla N° 18 Peso específico grava 3/4" sin varillar.**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	13725,00	13685,00	13600,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	9880,00	9880,00	9880,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,39	1,39	1,38
<b>Promedio</b>		1,38		

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 19 Peso específico grava 3/8" sin varillar.**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	13596,00	13500,00	13585,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	9880,00	9880,00	9880,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,38	1,37	1,37
<b>Promedio</b>		1,37		

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 20 Peso específico agregado fino (suelto)**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	4801,00	4917,00	4903,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	2935,00	2935,00	2935,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,64	1,68	1,67

<b>Promedio</b>	1,66
-----------------	------

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.4.2. Peso unitario varillado del agregado grueso.

Para la determinación del peso unitario varillado se vació el contenido en el molde en 3 diferentes capas las cuales se varillaron, dejando caer el peso de la varilla sobre la muestra, 25 veces y finalmente se enrazo con la varilla metálica en el borde superior, se hizo el mismo procedimiento en los 3 casos.

**Figura N° 29 Varillado del agregado grueso.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El peso unitario varillado saldrá de la relación directa de:

$$\text{Peso específico suelto} = \frac{\text{Peso Suelto}}{\text{Volumen del contenedor}}$$

Los valores obtenidos fueron:

**Tabla N° 21 Peso específico grava 3/4" varillado.**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	14688,00	14735,00	14650,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	9880,00	9880,00	9880,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,49	1,49	1,48
<b>Promedio</b>		1,49		

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 22 Peso específico grava 3/8" varillado.**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	14600,00	14645,00	14666,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	9880,00	9880,00	9880,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,48	1,48	1,48
<b>Promedio</b>		1,48		

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 23 Peso específico agregado fino varillado.**

<b>Prueba N°</b>	<b>Unidad</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Peso del agregado</b>	Gramos	5325,0	5388,00	5400,00
<b>Volumen del recipiente</b>	Centímetro cúbico	2935,00	2935,00	2935,00
<b>Peso específico</b>	Gramos/Centímetro cúbico	1,81	1,84	1,84
<b>Promedio</b>		1,83		

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.4.3. Determinación de las densidades y porcentaje de absorción del agregado grueso.**

**“Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos H0109 (ASTM C 127 AASHTO T85).**

- Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos gruesos.
- Es aplicable a los áridos gruesos que se emplean en el análisis de suelos, elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Preparación de la muestra de ensayo:

- Puede emplear el material proveniente del ensayo de tamizado, debidamente homogeneizado.
- Se eliminó por tamizado las partículas inferiores a 4,75mm (Nº 4), en el caso de hormigones.
- Es necesario el lavado de la muestra hasta que no tenga partículas pequeñas o polvo.

Se efectuaron los ensayos para determinar el peso del agregado en las condiciones:

#### **Pesada al aire saturado con superficie seca:**

- La muestra saturada se secó con ayuda de una toalla de manera superficial de tal forma que dentro del agregado aún existía el nivel de saturación.
- Se pesó la muestra evitando perder el material en el transporte.



**Figura N° 30 Secado superficial agregado grueso.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### **Pesada sumergida**

- Previo a colocar la muestra se calibra la balanza para no tomar en cuenta el peso del canastillo metálico.
- La muestra se coloca en el canastillo evitando pérdidas, se sumerge el canastillo y se espera 4 minutos hasta que se estabilice.

**Figura N° 31 Pesado del agregado grueso sumergido.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Se pesó el material sumergido con la balanza calibrada.

**Pesada al aire ambiente de áridos seco.**

- Con la misma muestra de agregado se la vació en un recipiente tomando en cuenta no perder material.
- Se secó la muestra en el horno por 24 horas hasta que se encontraba seca.
- La muestra seca se enfrió y fue pesada.

Los valores obtenidos del ensayo fueron:

**Tabla N° 24 Valores obtenidos del ensayo peso específico agregado grueso.**

Descripción	Unidad	Grava 3/4'
<b>Peso saturado con superficie seca.</b>	Gramos	3550,00
<b>Peso muestra seca.</b>	Gramos	3515,00
<b>Peso muestra suspendida en agua.</b>	Gramos	2200,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Para la determinación del peso específico real del árido seco:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso saturado superficie seca} - \text{Peso susmergido}}$$

Peso específico en condición saturada y superficie seca:

$$\text{Peso específico sup. seca} = \frac{\text{Peso saturado superficie seca}}{\text{Peso saturado superficie seca} - \text{Peso susmergido}}$$

Peso específico aparente (neto):

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{\text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra seca} - \text{Peso susmergido}}$$

Porcentaje de absorción:

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{\text{Peso saturado superficie seca} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso saturado superficie seca}} * 100$$

**Tabla N° 25 Pesos específicos agregado grueso.**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Grava</b>
Peso específico del agregado seco (granel)	g./cm <sup>3</sup>	2,60
Peso específico saturado de superficie seca	g./cm <sup>3</sup>	2,63
Peso específico aparente	g./cm <sup>3</sup>	2,67
% de absorción	%	<b>0,99</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

#### **3.4.4. Determinación de las densidades y porcentaje de absorción del agregado fino.**

**“Método para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua en áridos finos H0110 (ASTM C 128 AASHTO T84).**

Este método establece los procedimientos para determinar la densidad real, la densidad neta y la absorción de agua de los áridos finos.

Es aplicable a los áridos finos, que se emplean en la elaboración de hormigones y obras asfálticas.

Para este ensayo se tomó una muestra de 1 kg de arena la cual se humedeció por el periodo de 24 horas en un recipiente impermeable.

Se sacó la muestra del envase y se procedió a su secado de manera superficial con un secador eléctrico, para comprobar el contenido de agua en la muestra se usó un molde cónico en el cual se vació la arena y se procedió a apisonarlo dejando caer una varilla 25 veces, si la muestra al retirar el cono no sufre cambios tiene exceso de humedad y si por el contrario toda la arena se asienta está muy seco.

**Figura N° 32 Verificación de la humedad del agregado fino.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- La muestra adecuadamente secada se introdujo en un matraz de 500 ml, el peso de la muestra fue de 500 gramos, luego se introdujo agua y se movió el matraz de manera circular para eliminar el aire dentro de la arena.
- Con una balanza se pesó el matraz con agua y arena, además del peso del matraz sólo con agua para el mismo volumen.

**Figura N° 33 Arena superficialmente seca en matraz 500ml.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Para todo este procedimiento se verificó que la temperatura del agua sea aproximada a 20°C en todos los pesados.

Los valores obtenidos del ensayo fueron:

**Tabla N° 26 Valores obtenidos del ensayo peso específico agregado fino.**

Descripción	Unidad	Arena
Peso Frasco Seco Vacío	g.	161,70
Peso Frasco + Muestra	g.	347,80
Peso Muestra Saturada de Superficie Seca	g.	298,30
Peso Muestra Seca	g.	293,30
Peso Agua	g.	525,70
Peso Muestra + Agua	g.	711,80

**Fuente: Elaboración propia.**

Para los cálculos se considera que:

A= Peso en el aire de la muestra secada al horno en gramos.

V=Volumen del frasco en mililitros.

W=Peso en gramos o volumen en ml del agua agregado al frasco.

Para la determinación del peso específico a seco:

$$\text{Peso específico seco} = \frac{A}{V - W}$$

Peso específico en condición saturada y superficie seca:

$$\text{Peso específico sup. seca} = \frac{500}{V - W}$$

Peso específico aparente:

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{(V - W) - (500 - A)}$$

Porcentaje de absorción:

$$\text{Porcentaje de absorcion} = \frac{500 - A}{A} * 100$$

**Tabla N° 27 Pesos específicos agregado fino.**

Descripción	Unidad	Grava
Peso específico del agregado seco	g./cm <sup>3</sup>	2,61
Peso específico saturado de superficie seca	g./cm <sup>3</sup>	2,66
Peso específico aparente	g./cm <sup>3</sup>	2,74
% de absorción	%	1,70

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.5. PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

El valor del porcentaje de caras fracturadas se obtuvo de los ensayos de "Porcentaje de caras fracturadas en los áridos" H0118 (D 5821 NTL 358)

Este método describe el procedimiento para determinar el porcentaje, en peso, del material que presente una o más caras fracturadas de las muestras de áridos.

#### Procedimiento

- Para este ensayo se usaron 2 muestras de agregado grueso para tener datos más concisos.
- Se lavó la muestra para eliminar partículas muy pequeñas, polvo, limos, el peso de la muestra ensayada fue de 1000 gramos secos para ambos casos.

**Figura N° 34 Muestra de agregado grueso ensayo de caras fracturadas.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Para la uniformidad de tamaños se pasó por el tamiz N°8 toda la muestra.
- Se analizó todas las partículas de la muestra encontrando fisuras en su superficie
- Las partículas con fracturas fueron separadas y pesadas de forma separada para los cálculos.
- La muestra fue pesada nuevamente para analizar las pérdidas.

Cálculos:

- Teniendo el peso inicial de la muestra y el peso de partículas fracturas y no fracturas se sacó una relación directa entre el peso total de la muestra y el peso de las partículas con fractura en porcentaje.

$$\% \text{Caras fracturas} = \frac{\text{Peso de muestra con caras fracturas}}{\text{Peso total de la muestra ensayada}} * 100$$

Los valores obtenidos en la práctica fueron:

**Tabla N° 28 Valores obtenidos en el primer ensayo de caras fracturadas.**

<b>Ensayo n°</b>	<b>1</b>
Peso total (g.)	1000,00
Peso retenido tamiz n° 8 (g.)	812,00
Caras no fracturadas (g.)	188,00
% Caras fracturadas	81,20

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 29 Valores obtenidos en el segundo ensayo de caras fracturadas.**

<b>Ensayo n°</b>	<b>2</b>
Peso total (g.)	1000,00
Peso retenido tamiz n° 8 (g.)	865,00
Caras no fracturadas	135,00
% Caras fracturadas	86,50

**Fuente: Elaboración propia.**

Los valores obtenidos en el ensayo son de un porcentaje mayor al 80% que requiere la norma para la dosificación de pavimento rígido, como se muestra en el punto 2.4.3 de este documento, la planilla del ensayo se encuentra en la parte de anexos.

### **3.6. ÍNDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS ÁRIDOS**

El índice de aplanamiento y de alargamiento de los áridos se obtuvo de los ensayos de "Índice de aplanamiento y de alargamiento de los áridos para carreteras H0121 (NTL 354).

Este método describe el procedimiento que debe seguirse, para la determinación de los índices de aplanamiento y de alargamiento, de los árido que se van a emplear en la construcción de carreteras.



De acuerdo con este método, se define como índice de aplanamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión mínima (espesor) es inferior a  $\frac{3}{5}$  de la dimensión media de la fracción.

Se define como índice de alargamiento de una fracción de árido, el porcentaje en peso de las partículas que la forman cuya dimensión máxima (longitud) es superior a  $\frac{9}{5}$  de la dimensión media de la fracción.

Este método no es aplicable a las fracciones del árido con tamaño inferior a 6,3 mm ( $\frac{1}{4}$ ").

**Figura N° 35 Muestra de agregado grueso ensayo de alargamiento y aplanamiento.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- El procedimiento consiste en analizar y medir las dimensiones del agregado grueso de manera manual y clasificarlo dependiendo de sus dimensiones.
- Para poder seleccionar la muestra de análisis se tamizo el agregado.
- El porcentaje es directamente el peso del agregado retenido sobre el total de la muestra analizada.

Los valores obtenidos con la práctica fueron:

**Tabla N° 30 Valores obtenidos en el primer ensayo de alargamiento y aplanamiento.**

Material	Peso retenido (g)	Peso retenido partículas chatas alargadas (gr)	% Retenido partículas chatas alargadas
3/4"	1000,00	38,40	3,84
Peso total de la muestra	1000,00		
(% ) Total de partículas chatas alargadas (máximo 10%)			3,84

**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 31 Valores obtenidos en el segundo ensayo de alargamiento y aplanamiento.**

Material	Peso retenido (g)	Peso retenido partículas chatas alargadas (gr)	% Retenido partículas chatas alargadas
3/8"	1000,00	18,50	1,85
Peso Total de la muestra	1000,00		
(% ) Total de partículas chatas alargadas (máximo 10%)			1,85

**Fuente: Elaboración propia.**

Los valores obtenidos en el ensayo son de un porcentaje mucho menor al de 10% que es el porcentaje máximo admisible para la dosificación de pavimento rígido, como se muestra en el punto 2.4.3 de este documento, la planilla del ensayo se encuentra en la parte de anexos.

### **3.7. DESGASTE DE LOS ÁNGELES**

El desgaste de los agregados fue obtenido realizando ensayos de "Método para determinar el desgaste mediante la máquina de los ángeles H0111 (ASTM C 131 AASHTO T 96).

Este método establece el procedimiento para determinar la resistencia al desgaste de los áridos mayores a 2,5 mm, mediante la máquina de Los Ángeles.

### **Equipos y materiales**

Se usó un tambor de acero de  $710 \pm 6$  mm de diámetro interior y de  $510 \pm 6$  mm de longitud interior montado horizontalmente por sus vástagos axiales con una tolerancia de inclinación de 1 en 100, uno de los cuales tiene un dispositivo de polea o similar, para acoplar un motor. En su manto cilíndrico tiene una abertura para introducir la muestra, con una tapa provista de dispositivos para fijarla firmemente en su lugar y que asegure la estanqueidad del material.

- Lleva en su superficie interior una aleta consistente en una plancha de acero desmontable, fijada rígida y firmemente a todo lo largo de una generatriz del cilindro, de modo que se proyecte radialmente hacia el interior en  $90 \pm 3$  mm.
- La rotación debe estar comprendida entre 30 y 33 rpm, ser contrapesada e impulsada de modo de mantener una velocidad periférica uniforme y tener incorporado un dispositivo contador de revoluciones con detención automática.
- Balanza con una capacidad superior a 10 kg. y una precisión de 1 g.
- Tamices
- Horno
- Esferas (Carga Abrasiva).

### **Procedimiento**

- Para este ensayo se tomó una muestra de 5 kilogramos para un número de 12 esferas en la máquina, a muestra fue lavada y secada eliminando impurezas antes del ensayo.
- Se tamizó el material para tener un tamaño uniforme dependiendo del agregado a ensayar.
- La muestra fue vaciada en el tambor de la máquina junto con las esferas de desgaste

- Según la tabla para el número de esferas utilizadas y el tamaño máximo de las partículas se los clasificó como G por lo tanto se ensayó 5 kilogramos y se sometió a 500 revoluciones en la máquina.

**Figura N° 36 Revoluciones programadas máquina de desgaste de Los Ángeles.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Se tamizó la muestra manualmente el material bajo 2,36 mm por tamiz de 1,7 mm (N° 12).
- Pese y registre la masa del material retenido como masa final de la muestra, aproximando a 1 g.

**Grava agregado grueso 3/4”.**

**Tabla N° 32 Valores obtenidos ensayo de desgaste de Los Ángeles grava 3/4”.**

<b>Pasado</b>	<b>Retenido</b>	<b>Cantidad tomada</b>
3/4	1/2	2500,00
1/2	3/8	2500,00
<b>Retenido en el Tamiz N° 12 (1,7 mm)</b>		<b>3680,00</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Donde:

$$\text{Diferencia} = 5000 - \text{Retenido en el Tamiz}$$

El desgaste será:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

El porcentaje de desgaste es de 26,4%.

**Grava agregado grueso 3/8”.**

**Tabla N° 33 Valores obtenidos ensayo de desgaste de Los Ángeles gravilla 3/8”.**

<b>Pasado</b>	<b>Retenido</b>	<b>Cantidad tomada</b>
3/8	1/4	2500,00
1/4	4	2500,00
<b>Retenido en el Tamiz N° 12 (1,7 mm)</b>		3915,00

**Fuente: Elaboración propia.**

Donde:

$$\text{Diferencia} = 5000 - \text{Retenido en el Tamiz}$$

El desgaste será:

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{5000} * 100$$

El porcentaje de desgaste es de 21,7%.

Los valores obtenidos en el ensayo son de un porcentaje mucho menor al de 40% que es el porcentaje máximo admisible para la dosificación de pavimento rígido, como se muestra en el punto 2.4.3 de este documento, la planilla del ensayo se encuentra en la parte de anexos.

### 3.8. DOSIFICACIÓN.

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas, o bien, para obtener un acabado o pegado correctos. Generalmente expresado en gramos por metro (g/m).

Con los valores obtenidos de los ensayos previos a los agregados, se determinó la condición y utilidad de estos para la construcción de Losas tipo prefabricadas, todas las codificación se realizaron con materiales representativos de la caracterización, sacados del mismo banco y del mismo tamaño de la "Chancadora Garzón" del rio Guadalquivir grava de 3/4", gravilla de 3/8" y arena gruesa.

El cemento usado en todas las dosificaciones es cemento "El Puente" IP-30 el cual es el cemento más común y utilizado en Tarija, el cemento cumple con todas las normas de producción de cemento como muestra en las tablas de rendimientos anexa en la bolsa.

- El cemento fue almacenado en un ambiente seco y protegido, todas las dosificaciones se hicieron con bolsas cerradas para evitar la humedad del aire, para la determinación de las proporciones se tomó en cuenta:
- Tipo y localización de la estructura para determinar una relación de agua cemento base, se determinó para Losas de Pavimento, losas de desgaste simples.
- La relación agua cemento para las diferencias resistencias, el diseño se realizó para una resistencia de  $230 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$ .
- El asentamiento permitido para mezcla entre los valores de 6' a 3' como máximo y como mínimo.
- El espesor de las losas de 6 cm determinaron el tamaño máximo del agregado que es hasta de media pulgada, como se usó grava de tamaño máximo de 3/4' cumple con la condición.

- Con los tamaños máximos se determinó el contenido absoluto de arena en la dosificación y finalmente restando el valor total de  $1m^3$  al contenido de cemento, arena y agua se determinó el contenido de agregado grueso.
- La dosificación fue corregida tomando en cuenta la humedad presente en los agregados y su porcentaje de absorción previamente calculado.

**Tabla N° 34 Dosificación para una bolsa de cemento.**

<b>Material</b>	<b>Peso seco (kg).</b>	<b>Peso húmedo (kg).</b>	<b>Trazo real</b>	<b>Trazo corregido</b>
Cemento	350,00	350,00	1,00	1,00
Agua	175,00	164,01	0,50	0,50
Grava	1040,70	1030,08	3,00	2,90
Arena	860,40	881,03	2,50	2,50

**Fuente: Elaboración propia.**

### 3.8.1 Dosificación de probetas

La dosificación de las probetas se las realizo en el laboratorio de suelos de la U.A.J.M.S tomando en cuenta la dosificación previamente calculada.

**Tabla N° 35 Dosificación para probetas en laboratorio.**

<b>Material</b>	<b>Peso seco</b>
Cemento	17,275 kg
Agua	8,637 lts
Grava	51,368 kg
Arena	42,466 kg

**Fuente: Elaboración propia.**

- Se dosificaron 6 probetas de la misma consistencia de cemento.
- Para obtener la dosificación establecida se separaron los materiales en diferentes baldes los cuales fueron con y sin material.

- Se comprobó el asentamiento de la muestra mediante un molde cónico el cual se varilló en 3 capas con 25 golpes cada capa, se retiró el molde y se midió la deformación ocurrida basándose en la altura total de la muestra.
- El asentamiento presentado fue de 2,4 pulgadas que está dentro de la norma que establece un mínimo de 2 pulgadas y máximo de 3 pulgadas.

**Figura N° 37 Determinación del asentamiento dosificación.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Al estar lista la mezcla se vació el contenido a las probetas las cuales fueron varilladas y golpeadas exteriormente con un combo de superficie de goma para eliminar espacios vacíos dentro de la probeta.
- Las probetas se dejaron fraguar al aire libre hasta tener una consistencia sólida, para el curado de las probetas se las sumergió en agua en la piscina de curado dentro del laboratorio.



**Figura N° 38 Curado de probetas en laboratorio.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### **Rompimiento de las probetas.**

Para determinar un valor real de la resistencia de las probetas se rompieron 2 probetas a los 7, 14, 21 y 28 días.

Todas las probetas tienen un diámetro superior de 15,2cm y una altura del cilindro de 30,5cm, el área de contacto en la compresión fue de  $18145,8 \text{ mm}^2$ .

Se pesaron y midieron todas las probetas antes de la ruptura.

**Figura N° 39 Ruptura de probetas.**



**Fuente: Elaboración propia.**

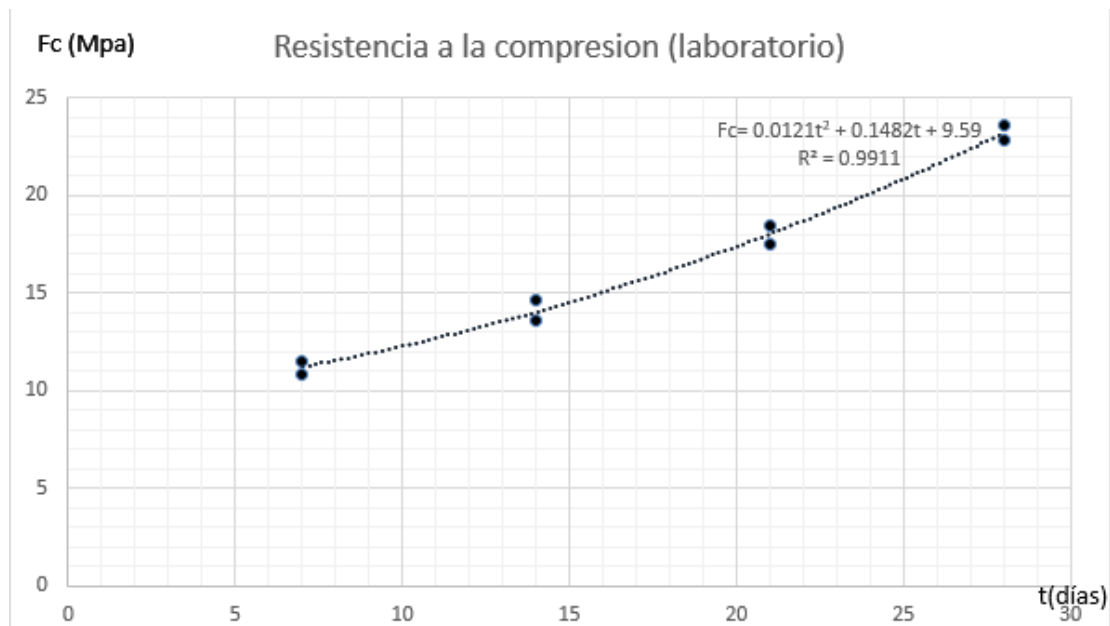
Lo valores obtenidos de la ruptura de probetas fueron:

**Tabla N° 36 Resistencia a la compresión por edad del hormigón.**

Probeta	Edad (días)	Peso (kg)	Resistencia a la compresión (mPa)
1	7,00	1254,00	11.54
2	7,00	1314,00	10.86
3	14,00	1286,00	13.57
4	14,00	1305,00	14.62
5	21,00	1297,00	17.53
6	21,00	1273,00	18.42
7	28,00	1291,00	<b>22,87</b>
8	28,00	1283,00	<b>23,61</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 40 Relación entre la resistencia a la compresión y la edad del hormigón.**



Fuente: Elaboración propia.

Las probetas cumplieron con la resistencia mínima establecida para pavimento rígido, en la gráfica se puede determinar una correlación entre datos que puede ser usada para estimar la resistencia a la compresión de probetas en laboratorio para los volúmenes de

dosificación obtenidos, la planilla de la dosificación usada se encuentra en la parte de anexos del documento.

### 3.8.2. Dosificación losas.

Para poder aplicar los métodos de texturizado se dosificaron 5 losas de 6 cm de espesor, la dosificación es la misma que se calculó para la dosificación en laboratorio.

Para 1 metro cúbico de hormigón:

**Tabla N° 37 Volúmenes de materiales para 1 metro cubico de hormigón.**

<b>Material</b>	<b>Cantidad (lt)</b>
Volumen de áridos	710,25
Volumen cemento	114,75
Volumen grava	391,70
Volumen arena	318,55
<b>Volumen total</b>	<b>1000,00</b>

**Fuente: Elaboración propia.**

Para determinar la cantidad de material se lo realizo de manera volumétrica es decir utilizando baldes de volumen conocido.

El mezclado se lo realizo con ayuda de una mezcladora eléctrica, el agua utilizada para la dosificación fue agua potable por lo que cumplía con los requerimientos de sustancias perjudiciales en el hormigón.

Se realizó la misma dosificación para todas las losas, se realizaron un total de 10 losas diferentes separadas por reglas metálicas y de madera, la dosificación se la realizo sobre una lona plástica para una menor perdida de agua en el proceso de curado y por motivos de limpieza.

Se colocaron parillas de fierro de 6mm para mayor resistencia de las losas.

**Figura N° 41 Armado de parrillas para losas.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Los agregados fueron lavados un día previo para evitar polvo y otros contaminantes en la dosificación.

Para los moldes se utilizaron maderas de 6 cm de altura para hacer marcos de 80 cm de ancho y 80 cm de largo.

Estos moldes se los construyó con reglas de madera y metálicas, se verificó que todas las reglas fueran rectas para evitar deformaciones en los bordes de las losas.

**Figura N° 42 Moldes para losas 80x80cm.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Se aseguraron las reglas de tal forma que sean inamovibles a la hora del vaciado del hormigón, para asegurar las reglas se usó un amarre de alambre en todas las intersecciones de las reglas.

Para evitar adherencia del mortero al molde se aceitó las superficies de contacto de las reglas con el cemento, para la base se colocó una lona plástica para evitar la adherencia.

Para todas las losas se verifico que el ángulo formado entre las reglas sea de 90° en todas las esquinas del molde de las losas.

El transporte del hormigón desde la mezcladora hasta los moldes, se lo realizó con carretilla de manera apresurada para no perder la humedad presente en la mezcla.

El vaciado se lo realizó de manera ordenada evitando dejar vacíos o burbujas de aire dentro de la mezcla, se varillo el mortero para eliminar el aire y como proceso de compactado de la mezcla, cuando se llenó por completo el molde sin espacios vacíos se procede a enrasar y dar un acabado liso a la losa.

**Figura N° 43 Vaciado de hormigón fresco.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El hormigón fresco fue alisado de manera rápida con una plancha de madera.

Con el hormigón fresco se procedió a texturizar las losas con arrastre de diferentes materiales.

**Figura N° 44 Texturizado con césped sintético.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El texturizado se lo realizó con una sola pasada del material de manera uniforme en toda la superficie.

Para el curado de las losas se cubrieron las losas con lonas de plástico para que no pierdan humedad, se evitó dañar el dibujo de las losas al momento de regar las losas.

El criterio del texturizado como las características del material utilizado es descrito en el siguiente punto.

### **3.9 CARACTERIZACIÓN MATERIALES DE TEXTURIZADO**

Se utilizaron 5 métodos para las distintas losas cada método con un proceso y equipo diferenciado, los materiales usados para dar el acabado a la losa fueron:

#### **Losa tipo 1 texturizada con cepillo.**

El método consiste en pasar un cepillo plástico sobre la superficie del hormigón fresco, este método es empleado mayormente por su costo reducido y que se puede aplicar sin el uso de maquinaria.

**Figura N° 45 Texturizado con cepillo plástico.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Es un método manual dependiendo de la consistencia del hormigón puede ser por arrastre de su peso propio o bien aplicando esfuerzo por parte del encargado del texturizado.

Las especificaciones para este método son generales es decir que no se establece parámetros definidos en las características del cepillo a utilizar además de establecer que debe ser un cepillo plástico descartable.

El cepillo utilizado para este método es un cepillo normal de plástico de un largo de pelo de 8,5cm y un peso de 350 gramos.

Para el texturizado se dejó pasar el cepillo sólo con su peso propio sin aplicar ninguna fuerza debido a que el hormigón estaba fresco.

Es un método simple se lo puede aplicar de manera manual, no es necesario operadores experimentados, es económico.

Se debe seguir una sola dirección y realizar el texturizado de una sola pasada, dependiendo del tipo de cepillos que se utilizan, el largo y agarre, puede ser un método lento en obras de gran magnitud.

El texturizado en este tipo de método depende del material del cepillo, puede ser plástico, metálico u otro material, de la cantidad de pelos en el cepillo, en el largo de los pelos del cepillo y de la fuerza del cepillo que ejerce contra el hormigón.

Es uno de los métodos más empleados en obras pequeñas y medianas, se lo puede aplicar de manera longitudinal y transversal, no requiere un ángulo específico de aplicación sobre la superficie.

### **Losa tipo 2 texturizada con tela tipo arpillera.**

La arpillera es una tela gruesa y áspera, es conocida también como tela de yute, es un método de arrastre es decir que se pasa la tela sobre la losa de hormigón fresco en una dirección.

**Figura N° 46 Tela arpillera.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Como el peso de la tela no es suficiente para texturizar el hormigón se procede a poner una carga para aumentar la presión de la tela, para el texturizado se utilizó una madera recta de peso 270 gramos.



**Figura N° 47 Texturizado con tela arpillera.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El texturizado se lo realizó de manera uniforme y con una sola pasada, es un método económico para texturizar y da un acabado uniforme con poca profundidad.

Es un método sencillo, se comenzó a usar para dar textura a pavimento flexible, el proceso de arrastre consiste en pasar la superficie de la tela de arpillera sobre el hormigón en estado fresco, refiriéndose a fresco cuando todavía se puede ver el reflejo del agua en la superficie, se lo puede hacer de manera manual o con ayuda de algún equipo, se puede aumentar el peso para una textura más profunda poniendo objetos planos con peso sobre la tela y realizar el arrastre, aunque la textura no variara mucho.

Es recomendable que la tela se encuentre mojada y que el hormigón este fresco.

La textura que genera es suave con pequeños surcos, la textura se la puede hacer en ambos sentidos longitudinal y transversal a la dirección del camino.

El largo de la tela puede variar entre 1 a 2 metros de longitud y se lo puede realizar desde una altura de 0,30m de la superficie de la losa.

**Losa tipo 3 texturizada con Césped sintético.**

El césped sintético es un material común fácil de comprar, es reutilizable y resistente, el texturizado se lo realiza por medio de arrastre del material con la única presión de su peso propio.

**Figura N° 48 Césped sintético empleado en el texturizado.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Para el texturizado se usó un metro cuadrado de césped sintético, cada pelo del césped mide 1,5 cm de longitud y tiene un ancho de 2 milímetros por su lado mayor.

El metro cuadrado de esta alfombra pesa 2976 kg, este fue el peso que se aplicó en el texturizado.

Es favorable al contar con un peso propio apropiado para texturizar hormigón fresco, debido a que su superficie posee muchos pelos genera una textura de superficie uniforme, se puede reutilizar y lavar, por lo que lo convierte en un método potencialmente más económico.

Es fácil de aplicar no requiere ningún tipo de entrenamiento para el operario, se lo puede realizar de manera manual o con ayuda de maquinaria, puede realizar texturizado en todo el ancho del carril de una sola pasada, se puede utilizar este método de manera longitudinal y perpendicular a la dirección de la carretera, es un método rápido y limpio.

**Losa tipo 4 texturizada con Peine metálico.**

Consiste en el arrastre en el sentido transversal de un implemento tipo peine metálico o plástico que genera una serie de surcos sobre la superficie del pavimento que funcionan como pequeños canales a través de los cuales el agua puede escapar más fácilmente de la huella de contacto entre el pavimento y el neumático

**Figura N° 49 Losa texturizada con peine metálico.**



**Fuente: Elaboración propia.**

El texturizado se lo hizo de manera manual, con un peine fabricado con un listón y clavos de diámetro de 3 mm sin punta, la separación en el peine fue de 2 cm siendo lo más común.

Es el método más empleado actualmente en Bolivia, se requiere cierto nivel de experiencia en el operador, se lo puede realizar de manera manual con herramientas o con maquinaria especializada en el corte de losas, los cortes se los realiza de manera perpendicular a la dirección del tráfico en la carretera.

Se debe evitar que la profundidad de los surcos creados con este método sobrepase el máximo admisible y que sean mayores al mínimo.

El peine metálico puede ser creado de manera manual, con resultados varios y dispares, comprado de manera estandarizada o puede estar incluido con la maquinaria específica para este tipo de texturizado.

**Losa tipo 5 texturizada alisado simple.**

El acabado que se dio a la última losa que servirá como referencia es un acabado liso con un badilejo de madera con superficie plana.

A diferencia del acabado con una plancha metálica este método da una superficie más rugosa y antideslizante, este método es el más utilizado en el acabado de losas de hormigón para los pisos de hormigón.

Dependiendo de las características del material de acabo de la losa, la textura varia, es un método sin propiedades antideslizantes ni de drenaje de agua, generalmente existen normas para evitar este tipo de texturizado en pavimento, pero se sigue aplicando en nuestro medio.

**3.10. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO MEDIANTE EL ENSAYO DEL PÉNDULO BRITÁNICO**

Las evaluaciones se tomaron considerando las especificaciones del Manual de carreteras V4a en el capítulo de:

**A0804. Método para determinar el coeficiente de resistencia al deslizamiento en el pavimento con péndulo británico (TRRL) (ASTM E 303 AASHTO T278-90)**

Este método describe el procedimiento que se debe seguir para la realización de medidas de resistencia al deslizamiento con el Péndulo Británico. El Péndulo Británico es un péndulo dinámico que se utiliza para medir la energía perdida cuando el borde de un patín de goma se desliza sobre una superficie.

El método tiene por objetivo obtener el Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.R.D.) que valora las características antideslizantes de la superficie de un pavimento.

Este método se aplicó con el Péndulo Británico que es parte de laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S.

**Figura N° 50 Péndulo Británico laboratorio de asfaltos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Procedimiento:**

- El péndulo utilizado en el ensayo es un péndulo móvil es decir que es necesario armarlo y regularlo antes de utilizarlo.
- Para la medición de los puntos en las losas, se dividió la losa en nueve puntos, nudos, los cuales son equidistantes entre ellos.
- Cada punto fue medido de manera perpendicular y transversal al texturizado.
- Antes de evaluar la losa se debe verificar que el péndulo se encuentre a la altura adecuada y que este nivelado.
- Su nivelación se la realiza mediante una burbuja que se encuentra en el cuerpo del péndulo.

**Figura N° 51 Nivelación del péndulo británico.**



**Fuente: Elaboración propia.**

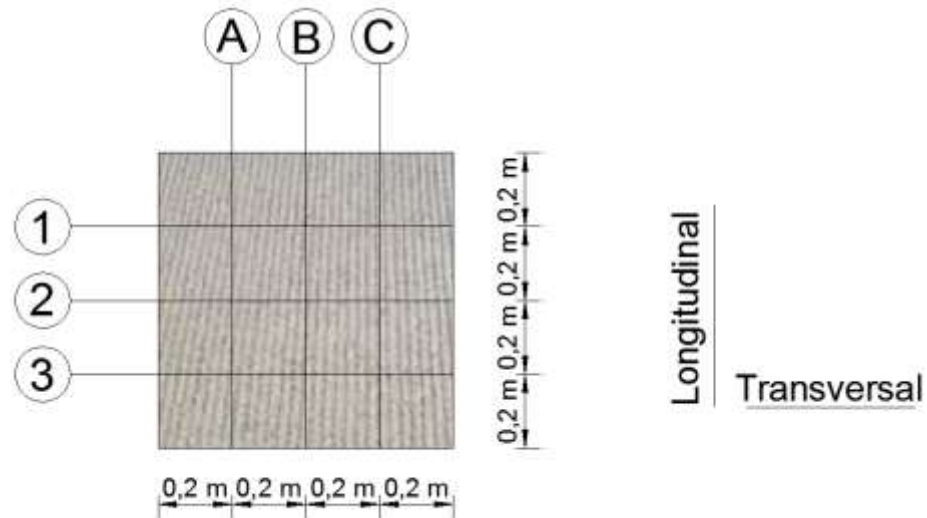
- La determinación de la altura se la hace en base a la distancia sobre la losa que el patín debe estar en contacto, esta distancia está establecida en una regla que indica la distancia de pasada estandarizada.
- El procedimiento del ensayo consiste dejar caer el patín sobre la superficie previamente mojada y medir la pérdida de energía que la rugosidad le causo.
- Se anota el valor de cada medida, para cada uno de los 9 nudos se pasó el péndulo 15 veces para sentido perpendicular y 15 veces para el sentido longitudinal, dando un total de 270 mediciones hechas para cada losa.
- Como la temperatura del agua era muy próxima a los 20°C en el ensayo, no se tomaron correcciones por ser muy pequeñas.
- El coeficiente de resistencia al deslizamiento se lo determino con la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de resistencia al deslizamiento} = \frac{\text{Lectura efectiva de BPM}}{100}$$

- Los valores de los ensayos y determinación de los ensayos se encuentran en la parte de anexos, para ejemplificar los valores del ensayo se muestra los valores

obtenidos en la primera fila de la primera losa "losa tipo texturizada con cepillo".

**Figura N° 52 Criterio de coordenadas de los nudos.**



**Fuente: Elaboración propia.**

Tomando en cuenta la figura, se midió la fricción en cada nudo para el sentido longitudinal al texturizado como en el sentido transversal al texturizado.

El texturizado se lo realizó comenzando por la línea del punto 1 hasta llegar al punto 3 siguiendo esa dirección.

Los valores obtenidos en el ensayo fueron:

**Losa tipo 1 texturizado con cepillo (transversal al texturizado).**

**Tabla N° 38 Lecturas del ensayo del péndulo británico texturizado con cepillo transversal.**

Nudos (lecturas)								
1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
75,00	81,00	85,00	80,00	78,00	80,00	74,00	84,00	85,00
76,00	82,00	86,00	81,00	79,00	81,00	75,00	85,00	85,00
77,00	83,00	85,00	82,00	80,00	81,00	76,00	84,00	83,00

79,00	83,00	84,00	80,00	81,00	81,00	74,00	84,00	84,00
78,00	82,00	85,00	81,00	79,00	82,00	75,00	83,00	86,00
79,00	83,00	84,00	81,00	79,00	82,00	74,00	82,00	86,00
78,00	84,00	85,00	81,00	78,00	82,00	75,00	83,00	85,00
77,00	82,00	85,00	82,00	78,00	81,00	76,00	81,00	84,00
78,00	83,00	85,00	80,00	77,00	81,00	74,00	83,00	85,00
77,00	83,00	84,00	81,00	81,00	82,00	75,00	84,00	86,00
77,00	84,00	85,00	82,00	80,00	81,00	74,00	84,00	85,00
78,00	84,00	85,00	82,00	80,00	81,00	76,00	85,00	84,00
78,00	83,00	84,00	80,00	81,00	82,00	75,00	83,00	85,00
77,00	83,00	85,00	82,00	79,00	82,00	74,00	85,00	85,00
78,00	84,00	85,00	81,00	78,00	82,00	75,00	83,00	85,00

**Fuente: Elaboración propia.**

La gráfica muestra las medidas realizadas con el equipo del péndulo británico para cada nudo de la losa de manera transversal al sentido del texturizado, cada punto se midió 15 veces.

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 39 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con cepillo transversal.**

<b>Nudo</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>
<b>Lecturas</b>	77,50	82,90	84,80	81,10	79,20	81,40	74,80	83,50	84,90
<b>C.R.D</b>	0,77	0,83	0,85	0,81	0,79	0,81	0,75	0,84	0,85

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.



**Tabla N° 40 Valores de fricción de la losa texturizada con cepillo transversal.**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con cepillo transversal.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,03
Valor máximo de C.D.R en los nudos	0,85
Valor mínimo de C.D.R. en los nudos	0,75
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,81</b>

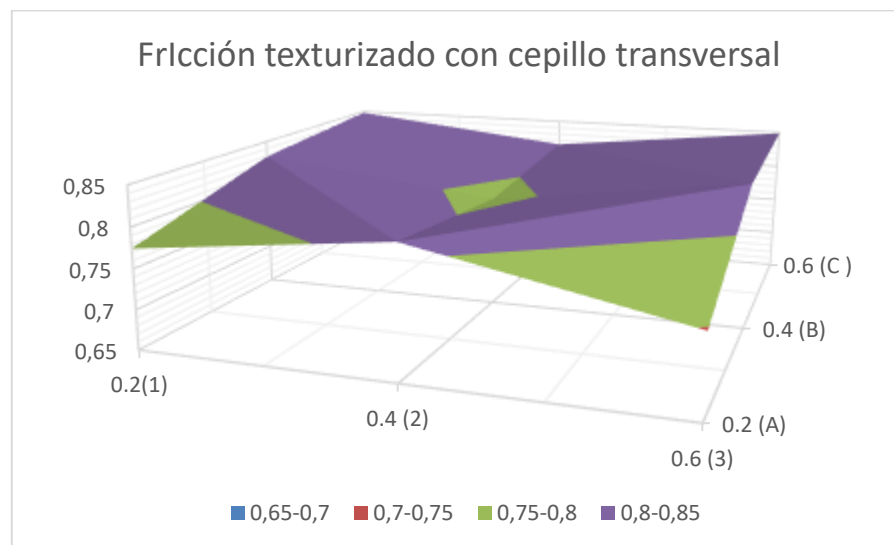
**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 41 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con cepillo transversal.**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,77	0,83	0,85
<b>0,4 (2)</b>	0,81	0,79	0,81
<b>0,6 (3)</b>	0,75	0,84	0,85

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 53 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con cepillo transversal.**

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 1 texturizado con cepillo (longitudinal al texturizado).**

**Tabla N° 42 Lecturas del ensayo del péndulo británico texturizado con cepillo longitudinal.**

Nudos (lecturas)								
1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
67,00	64,00	67,00	65,00	68,00	66,00	64,00	66,00	69,00
70,00	66,00	68,00	64,00	67,00	66,00	66,00	67,00	70,00
65,00	65,00	66,00	65,00	67,00	67,00	65,00	65,00	67,00
66,00	64,00	67,00	65,00	66,00	68,00	64,00	66,00	66,00
66,00	66,00	67,00	64,00	68,00	67,00	65,00	66,00	68,00
67,00	66,00	67,00	63,00	66,00	65,00	66,00	66,00	69,00
64,00	66,00	68,00	63,00	68,00	68,00	64,00	67,00	68,00
67,00	66,00	69,00	65,00	65,00	67,00	65,00	65,00	67,00
65,00	65,00	68,00	64,00	68,00	66,00	65,00	67,00	66,00
66,00	65,00	67,00	65,00	68,00	68,00	64,00	64,00	66,00
65,00	66,00	68,00	66,00	66,00	65,00	66,00	66,00	67,00
65,00	66,00	68,00	65,00	65,00	66,00	65,00	65,00	68,00
67,00	66,00	67,00	65,00	67,00	65,00	65,00	67,00	69,00
66,00	66,00	68,00	66,00	66,00	67,00	66,00	66,00	68,00
65,00	65,00	67,00	66,00	67,00	67,00	64,00	65,00	67,00

**Fuente: Elaboración propia.**

La gráfica muestra las medidas realizadas con el equipo del péndulo británico para cada nudo de la losa de manera longitudinal al sentido del texturizado, cada punto se midió 15 veces.

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 43 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con cepillo longitudinal.**

<b>Nudo</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>
<b>Lecturas</b>	66,10	65,50	67,50	64,70	66,80	66,50	64,90	65,90	67,70
<b>C.R.D</b>	0,66	0,66	0,68	0,65	0,67	0,66	0,65	0,66	0,68

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 44 Valores de fricción de la losa texturizada con cepillo longitudinal**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con cepillo longitudinal.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,01
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,68
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,65
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,66</b>

**Fuente Elaboración propia.**

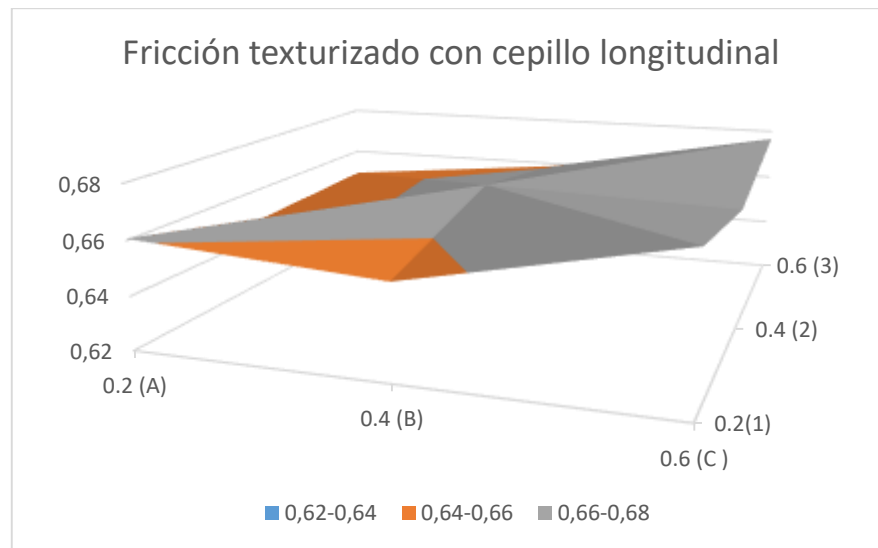
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 45 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con cepillo longitudinal.**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,66	0,65	0,65
<b>0,4 (2)</b>	0,66	0,67	0,66
<b>0,6 (3)</b>	0,67	0,66	0,68

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 54 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con cepillo transversal.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 2 texturizado con tela arpillera (longitudinal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 46 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con tela arpillera (longitudinal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	64,90	62,30	64,50	59,10	57,20	55,30	66,90	63,30	65,90
C.R.D	0,65	0,62	0,64	0,59	0,57	0,55	0,67	0,63	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 47 Valores de fricción de la losa texturizada con tela arpillera (longitudinal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con tela arpillera (longitudinal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,04
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,67
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,55
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,66</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

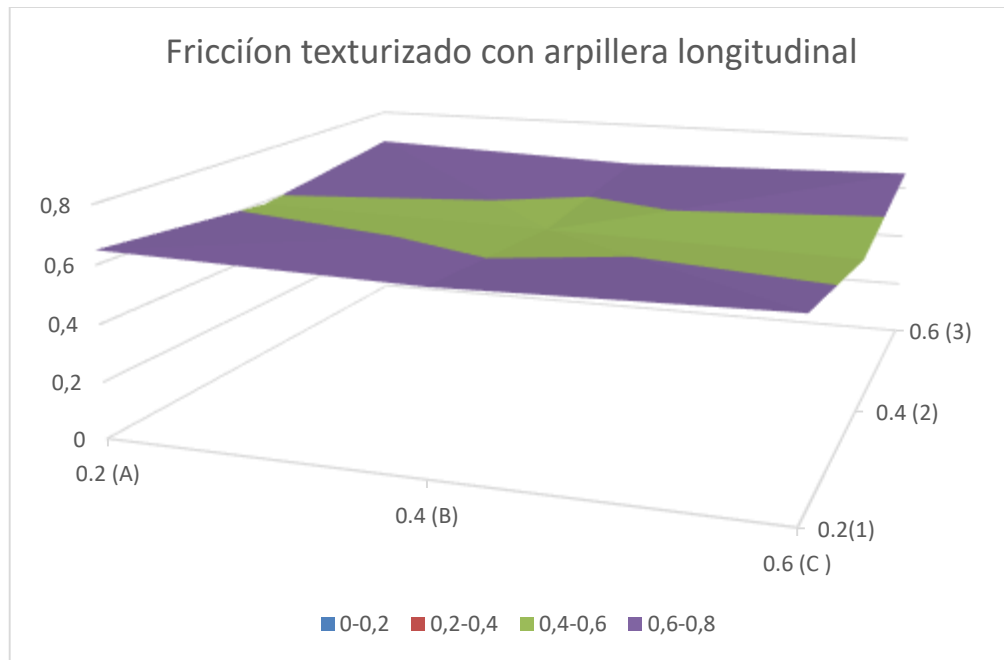
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 48 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con tela arpillera (longitudinal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,65	0,62	0,64
<b>0,4 (2)</b>	0,59	0,57	0,55
<b>0,6 (3)</b>	0,67	0,63	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 55 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con tela arpillera (longitudinal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 2 texturizado con tela arpillera (transversal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 49 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con tela arpillera (transversal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
<b>Lecturas</b>	69,30	71,20	68,40	67,90	64,30	66,40	72,50	69,30	71,50
<b>C.R.D</b>	0,69	0,71	0,68	0,68	0,64	0,66	0,72	0,69	0,72

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos

y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 50 Valores de fricción de la losa texturizada con tela arpillera (transversal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con tela arpillera (transversal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,03
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,72
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,64
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,69</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

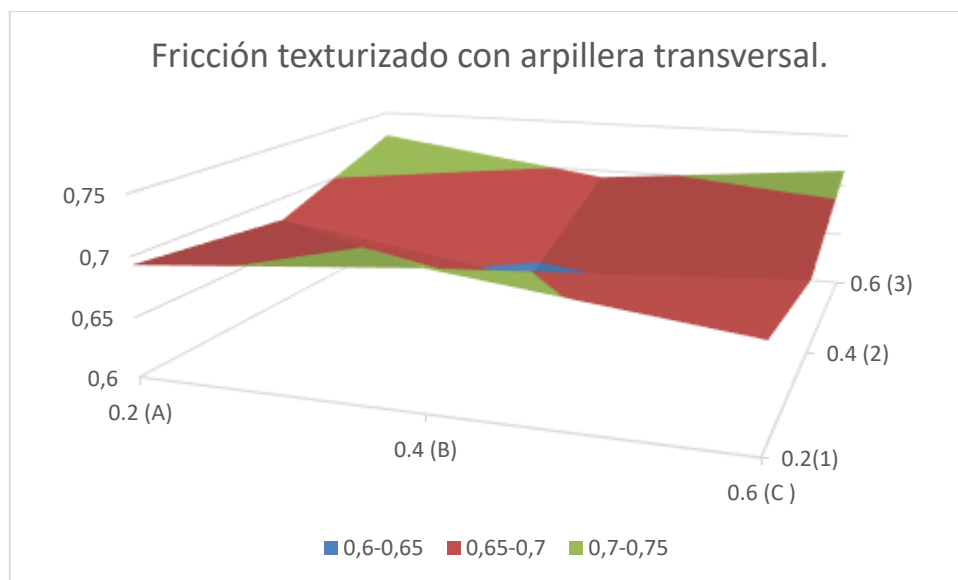
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 51 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con tela arpillera (transversal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,69	0,71	0,68
<b>0,4 (2)</b>	0,68	0,64	0,66
<b>0,6 (3)</b>	0,72	0,69	0,72

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 56 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con tela arpillera (transversal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 3 texturizado con césped sintético (longitudinal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 52 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con césped sintético (longitudinal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	63,20	67,80	64,25	64,40	65,90	65,40	66,20	67,30	63,10
C.R.D	0,63	0,68	0,64	0,64	0,66	0,65	0,66	0,67	0,63

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.



**Tabla N° 53 Valores de fricción de la losa texturizada con césped sintético (longitudinal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con césped sintético (longitudinal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,68
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,63
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,65</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

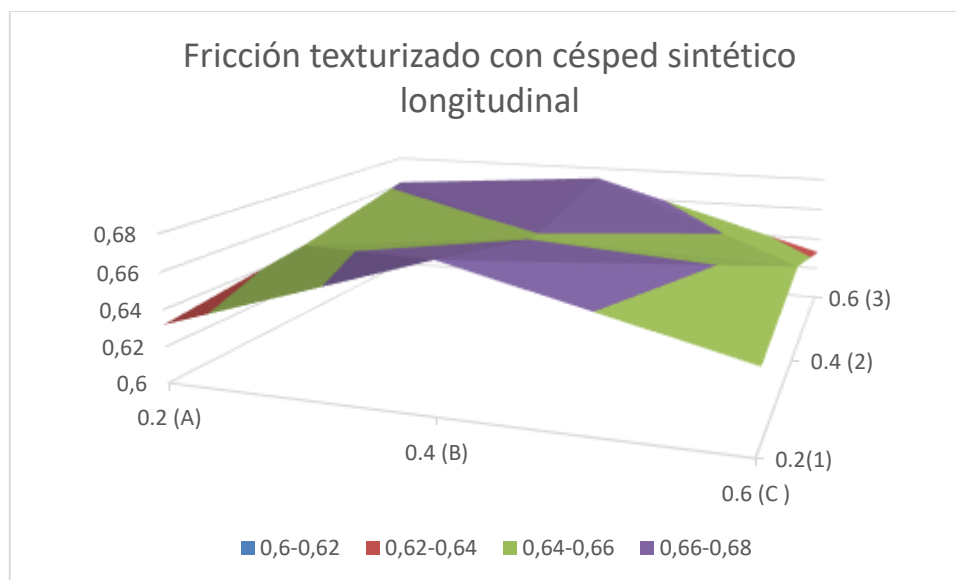
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 54 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con césped sintético (longitudinal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C )</b>
<b>0,2(1)</b>	0,63	0,68	0,64
<b>0,4 (2)</b>	0,64	0,66	0,65
<b>0,6 (3)</b>	0,66	0,67	0,63

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 57 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con césped sintético (longitudinal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 3 texturizado con césped sintético (transversal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 55 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con césped sintético (transversal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	65,10	70,20	70,50	67,30	68,10	71,90	72,10	69,20	66,70
C.R.D	0,65	0,70	0,70	0,67	0,68	0,72	0,72	0,69	0,67

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 56 Valores de fricción de la losa texturizada con césped sintético (transversal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con césped sintético (transversal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,72
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,65
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,69</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

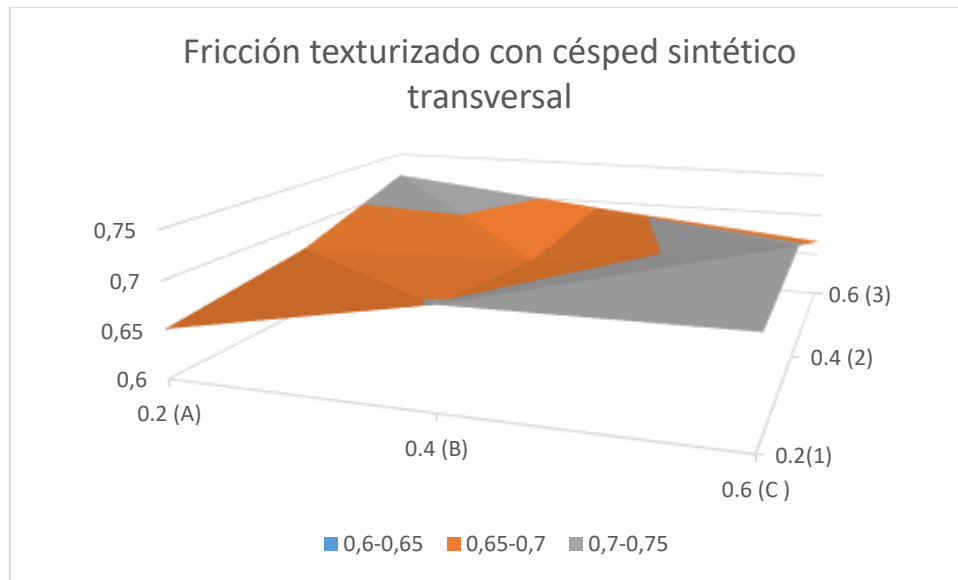
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 57 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con césped sintético (transversal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C )</b>
<b>0,2(1)</b>	0,65	0,70	0,70
<b>0,4 (2)</b>	0,67	0,68	0,72
<b>0,6 (3)</b>	0,72	0,69	0,67

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 58 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con césped sintético (transversal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 4 texturizado con peine metálico (longitudinal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 58 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
<b>Lecturas</b>	66,90	67,60	70,30	64,30	70,30	67,70	65,90	71,20	69,50
<b>C.R.D</b>	0,67	0,68	0,70	0,64	0,70	0,68	0,66	0,71	0,70

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 59 Valores de fricción de la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,71
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,64
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,68</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

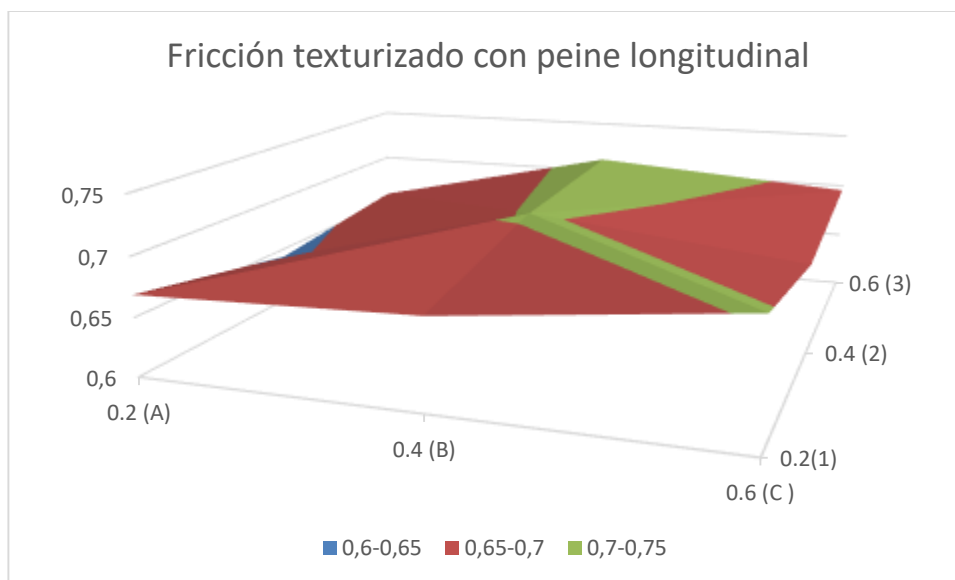
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 60 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,67	0,68	0,70
<b>0,4 (2)</b>	0,64	0,70	0,68
<b>0,6 (3)</b>	0,66	0,71	0,70

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 59 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 4 texturizado con peine metálico (transversal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 61 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con peine metálico (transversal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	71,40	71,80	72,20	71,50	73,10	75,30	74,20	75,90	74,90
C.R.D	0,71	0,72	0,72	0,72	0,73	0,75	0,74	0,76	0,75

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 62 Valores de fricción de la losa texturizada con peine metálico (longitudinal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con peine metálico (transversal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,80
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,71
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,73</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

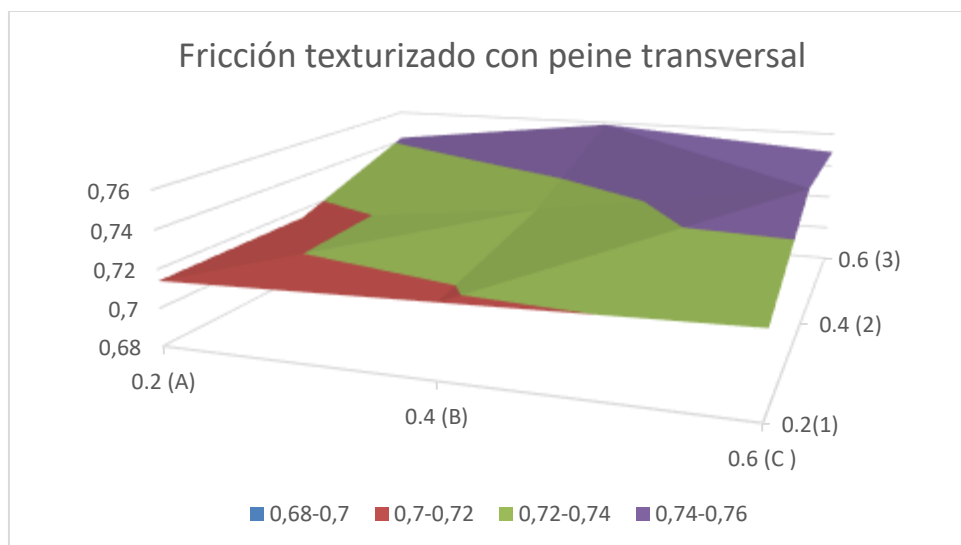
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 63 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con peine metálico (transversal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,71	0,72	0,72
<b>0,4 (2)</b>	0,72	0,73	0,75
<b>0,6 (3)</b>	0,74	0,76	0,75

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 60 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con peine metálico (transversal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 5 texturizado con plancha de madera (longitudinal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 64 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con plancha de madera (longitudinal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	76,10	71,50	71,90	73,70	72,70	74,70	72,20	76,70	75,00
C.R.D	0,76	0,72	0,72	0,74	0,73	0,75	0,72	0,77	0,75

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.



**Tabla N° 65 Valores de fricción de la losa texturizada con plancha de madera (longitudinal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con plancha de madera (longitudinal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02
Valor máximo de C.R.D. en los nudos	0,77
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,72
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,74</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

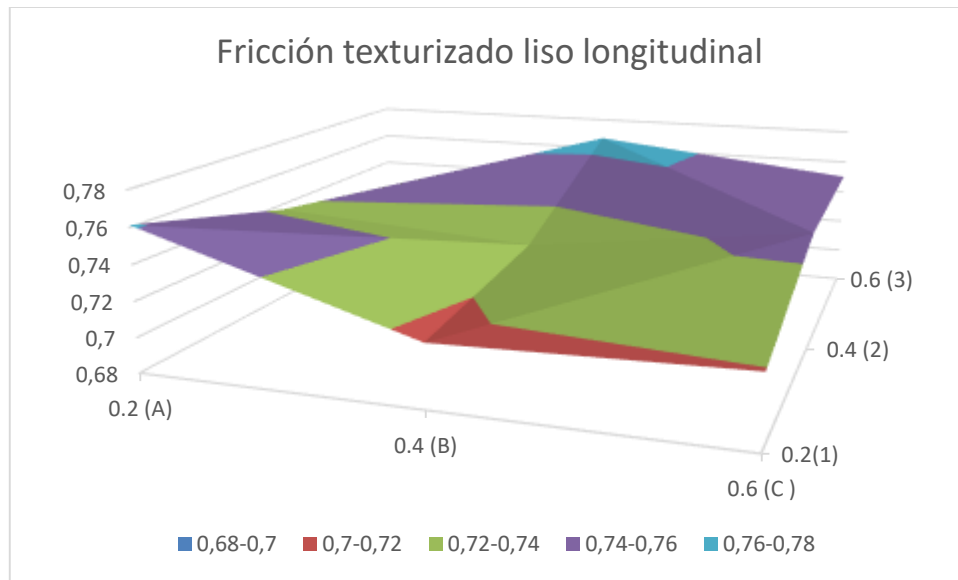
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 66 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con plancha de madera (longitudinal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,76	0,72	0,72
<b>0,4 (2)</b>	0,74	0,73	0,75
<b>0,6 (3)</b>	0,72	0,77	0,75

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 61 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con plancha de madera (longitudinal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 5 texturizado con plancha de madera (transversal al texturizado).**

Los valores de C.R.D. se obtuvieron con la fórmula descrita en este punto, se realizó el cálculo a la lectura media para cada punto.

**Tabla N° 67 Valores de C.R.D. por nudo de la losa texturizada con plancha de madera (transversal al texturizado).**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
Lecturas	74,90	72,10	72,30	73,80	73,10	74,70	73,60	75,40	75,70
C.R.D	0,75	0,72	0,72	0,74	0,73	0,75	0,74	0,75	0,76

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del C.R.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de C.R.D. en la losa y el valor medio del C.R.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 68 Valores de fricción de la losa texturizada con plancha de madera (transversal al texturizado).**

<b>Valores de fricción de la losa texturizada con plancha de madera (transversal al texturizado).</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,01
Valor máximo de C.R.D en los nudos	0,76
Valor mínimo de C.R.D. en los nudos	0,72
<b>C.R.D. medio de la losa</b>	<b>0,74</b>

**Fuente Elaboración propia.**

Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la fricción en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

En la gráfica podemos identificar distintas bandas que representan un rango de fricción próximo, y la forma en que se texturizó la losa para obtener esos resultados en la práctica.

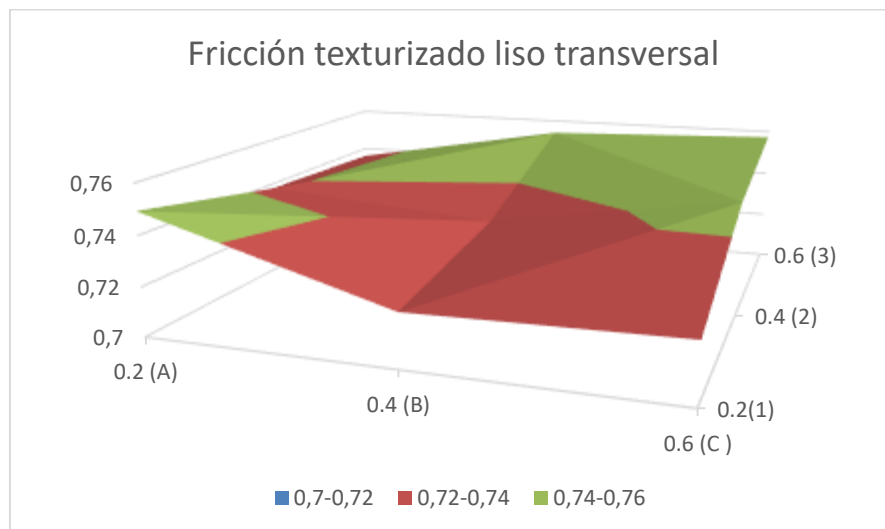
La siguiente tabla muestra el valor calculado de C.R.D. distribuido por nudo.

**Tabla N° 69 Valores de C.R.D. en la losa texturizada con plancha de madera (transversal al texturizado).**

<b>Nudos</b>	<b>0,2 (A)</b>	<b>0,4 (B)</b>	<b>0,6 (C)</b>
<b>0,2(1)</b>	0,75	0,72	0,72
<b>0,4 (2)</b>	0,74	0,73	0,75
<b>0,6 (3)</b>	0,74	0,75	0,76

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 62 Gráfica de la fricción de la losa texturizada con plancha de madera (transversal al texturizado).**



**Fuente: Elaboración propia.**

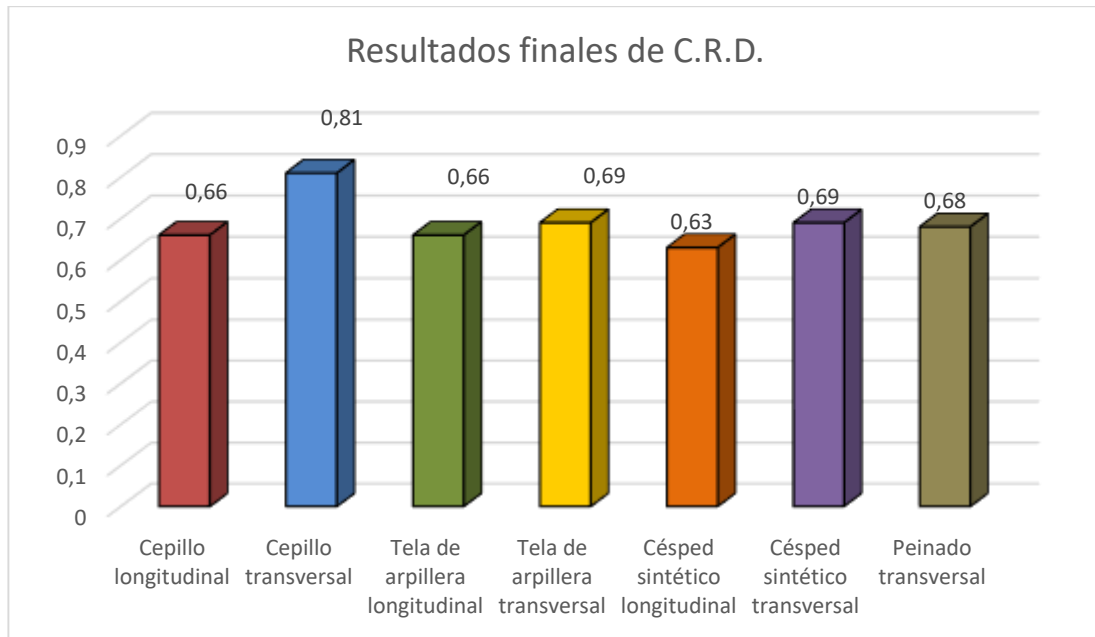
### Resultados finales.

Los resultados de la fricción media de las losas texturizadas con los diferentes métodos fueron:

**Tabla N° 70 Resultados finales ensayo del péndulo británico.**

<b>Material de texturizado.</b>	<b>Lectura del péndulo británico (media).</b>	<b>Coefficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.).</b>
<b>Cepillo longitudinal</b>	66,00	0,66
<b>Cepillo transversal</b>	81,00	0,81
<b>Tela de arpillera longitudinal</b>	66,00	0,66
<b>Tela de arpillera transversal</b>	69,00	0,69
<b>Césped sintético longitudinal</b>	63,00	0,63
<b>Césped sintético transversal</b>	69,00	0,69
<b>Peinado transversal</b>	68,00	0,68

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 63 Resultados finales C.R.D.**

**Fuente: Elaboración propia.**

### **3.11. EVALUACION DE LA TEXTURA SUPERFICIAL MEDIANTE EL ENSAYO DE LA MANCHA DE ARENA**

Las evaluaciones se tomaron considerando las especificaciones del Manual de carreteras V4a en el capítulo de:

#### **A0805. Método para determinar la textura superficial del pavimento mediante ensayo del círculo de arena (ASTM E 965)**

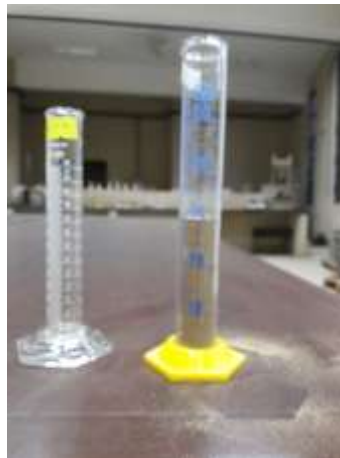
Este método, llamado también ensayo del círculo de arena, describe el procedimiento para determinar la profundidad de la macrotextura de la superficie del pavimento, mediante la aplicación de un volumen conocido de material y la subsecuente medición del área total cubierta por éste. El método está sólo pensado para obtener un valor promedio de la profundidad de textura y no se considera sensible a la microtextura de la superficie del pavimento.

Los pavimentos con importante nivel de textura superficial permitirán un contacto más eficiente (en término de área de contacto) entre neumático y pavimento.

Este procedimiento se lo realizó en el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S:

- El primer paso antes de realizar el ensayo de la mancha de arena es una limpieza a detalle de la losa, no debe existir ningún tipo de material sobre la losa, otro requerimiento es que la losa se encuentre seca al momento de realizar el ensayo.
- La arena utilizada fue lavada para eliminar impurezas, se tamizó la arena de tal forma que la utilizada fue la retenida en el tamiz N° 200 que pasaba el tamiz N°100.
- En el proceso de tamizado la mayoría de la arena se descartó en el proceso, se compró la arena más fina posible para el tamizado, para conseguir la cantidad necesaria para el ensayo aproximadamente unos 6 kg se tuvo que tamizar 2 bolsas de 15 kg de arena.
- Con un recipiente graduado pequeño se separaron muestras de  $30000 \text{ mm}^3$ .

**Figura N° 64 Medida de 30 ml de arena tamizada para el ensayo de la mancha de arena.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Como el laboratorio se encuentra cubierto y bajo techo el viento no fue un problema en este ensayo.
- Se coloca la arena graduada sobre uno de los nudos especificados en el anterior ensayo, se lo vacía como un cono evitando que la arena se quede en el recipiente.

**Figura N° 65 Depósito de arena sobre losa.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Con una superficie plana se aplasto la arena y se expandió de forma circular uniforme.
- En el punto que la arena ya no se expandía, donde todos los valles estaban cubiertos hasta el nivel de los picos del texturizado se midió con una regla el diámetro de la mancha de arena.

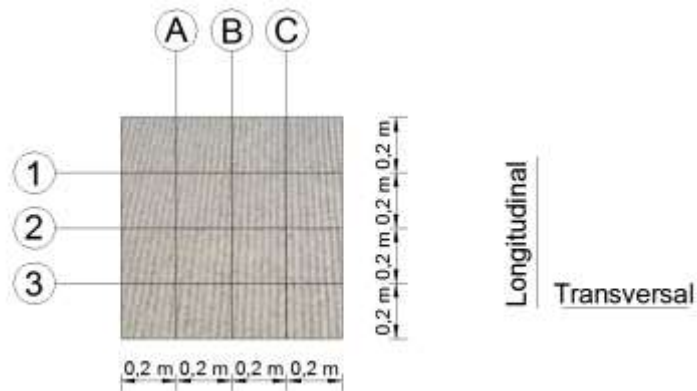
**Figura N° 66 Medición del círculo de arena.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Este ensayo se realizó 2 veces en cada nudo en todas las losas teniendo como diámetro final el promedio de ambas medidas para posteriormente calcular la profundidad media.
- Al igual que en el ensayo del péndulo británico en el punto anterior se usó el mismo sistema de coordenadas a los puntos donde se aplicó el ensayo.

**Figura N° 67 Sistema de coordenadas para la aplicación del ensayo de la mancha de arena.**



**Fuente: Elaboración propia.**



**Figura N° 68 Ensayo de la mancha de arena a diferentes nudos de la losa.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Como la profundidad media no depende de la dirección del texturizado, a diferencia del ensayo del péndulo británico, los valores obtenidos para cada nudo servirán para ambos sentidos del texturizado es decir sentido longitudinal al texturizado como en el sentido transversal al texturizado de la losa.
- El ensayo se realizó en las 5 losas que se encuentran en el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S. en cada uno de los 9 nudos de cada losa.
- Para dar la forma de círculo a la arena se debe comenzar a aplanar la arena con una superficie plana en espiral de manera uniforme, es necesario dar la forma con ayuda de una brocha para formar un círculo más uniforme.
- El valor de la profundidad media de la macrotextura se obtuvo de:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del círculo de arena.

- El valor de MTD es generalmente expresado en mm por lo que las unidades del volumen y del diámetro deberán estar en mm.

Los valores obtenidos en este ensayo fueron:

### Para la losa 1 texturizado con cepillo

El MDT para cada punto de la losa se calculó con la ecuación:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del círculo de arena.

A un volumen de 30 ml de área donde la variable es el diámetro de la arena obtenido.

**Tabla N° 71 Valores de M.T.D. por nudo de la losa texturizada con cepillo.**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
D. Arena	29,07	26,00	25,77	28,00	26,35	27,00	28,45	27,00	26,67
M.T.D.	0,45	0,56	0,58	0,49	0,55	0,52	0,47	0,52	0,54

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del M.T.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de M.T.D. en la losa y el valor medio del M.T.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 72 Valores de la profundidad media de la losa texturizada con cepillo.**

<b>Valores de la profundidad media de la losa texturizada con cepillo.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,04
Valor máximo de M.T.D en los nudos	0,58
Valor mínimo de M.T.D. en los nudos	0,45
<b>M.T.D. medio de la losa</b>	<b>0,52</b>

**Fuente Elaboración propia.**

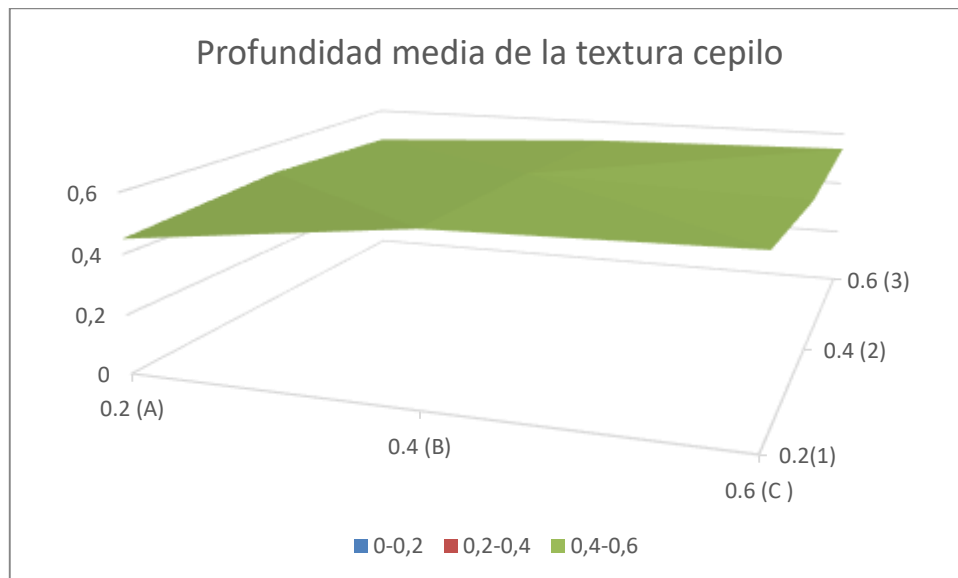
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la profundidad media del texturizado en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 73 Valores de M.T.D. en la losa texturizada con cepillo.**

Nudos	0,2 (A)	0,4 (B)	0,6 (C)
<b>0,2(1)</b>	0,45	0,56	0,58
<b>0,4 (2)</b>	0,49	0,55	0,52
<b>0,6 (3)</b>	0,47	0,52	0,54

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 69 Gráfica de la profundidad media de la textura de la losa texturizada con cepillo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### Para la losa 2 texturizado con tela arpillera

El MDT para cada punto de la losa se calculó con la ecuación:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del círculo de arena.

**Tabla N° 74 Valores de M.T.D. por nudo de la losa texturizada con tela arpillera.**

Nudo	1A	1B	1C	2A	2B	2C	3A	3B	3C
D. Arena	23,61	23,5	23,77	24,00	25,13	25,00	23,00	23,58	22,78
M.T.D.	0,68	0,69	0,68	0,66	0,60	0,61	0,72	0,69	0,74

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del M.T.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de M.T.D. en la losa y el valor medio del M.T.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 75 Valores de la profundidad media de la losa texturizada con tela arpillera.**

<b>Valores de la profundidad media de la losa texturizada con tela arpillera.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,04
Valor máximo de M.T.D en los nudos	0,74
Valor mínimo de M.T.D. en los nudos	0,60
<b>M.T.D. medio de la losa</b>	<b>0,68</b>

**Fuente Elaboración propia.**

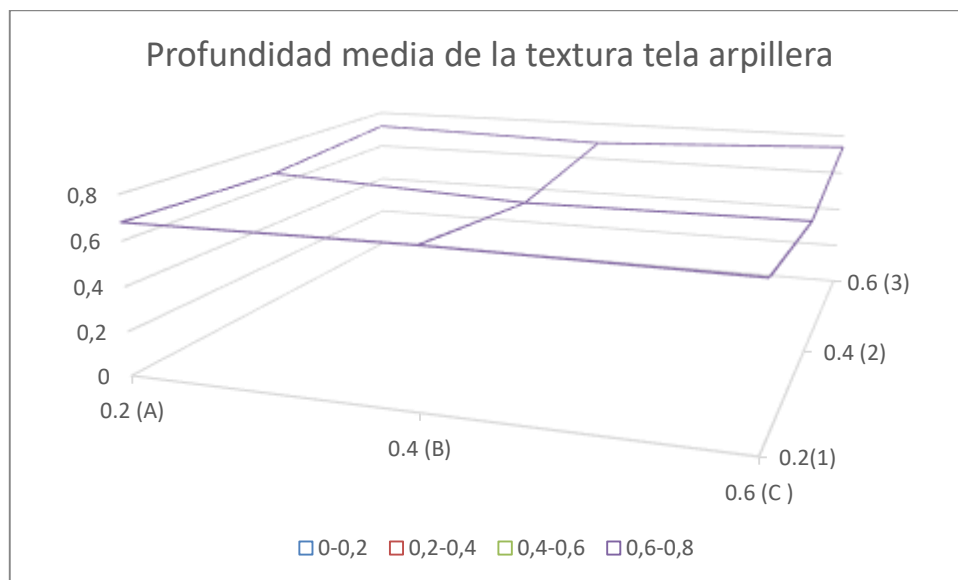
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la profundidad media del texturizado en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 76 Valores de M.T.D. en la losa texturizada con tela arpillera.**

Nudos	0,2 (A)	0,4 (B)	0,6 (C)
<b>0,2(1)</b>	0,68	0,69	0,68
<b>0,4 (2)</b>	0,66	0,60	0,61
<b>0,6 (3)</b>	0,72	0,69	0,74

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 70 Gráfica de la profundidad media de la textura de la losa texturizada con tela arpillera.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### Para la losa 3 texturizado con césped sintético

El MDT para cada punto de la losa se calculó con la ecuación:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del circulo de arena.

**Tabla N° 77 Valores de M.T.D. por nudo de la losa texturizada con césped sintético.**

<b>Nudo</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>
D. Arena	28,21	23,11	26,07	28,32	27,02	26,00	25,32	25,00	28,88
M.T.D.	0,48	0,72	0,56	0,48	0,52	0,56	0,59	0,61	0,46

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del M.T.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de M.T.D. en la losa y el valor medio del M.T.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 78 Valores de la profundidad media de la losa texturizada con césped sintético.**

<b>Valores de la profundidad media de la losa texturizada con césped sintético.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,08
Valor máximo de M.T.D en los nudos	0,72
Valor mínimo de M.T.D. en los nudos	0,46
<b>M.T.D. medio de la losa</b>	<b>0,56</b>

**Fuente Elaboración propia.**

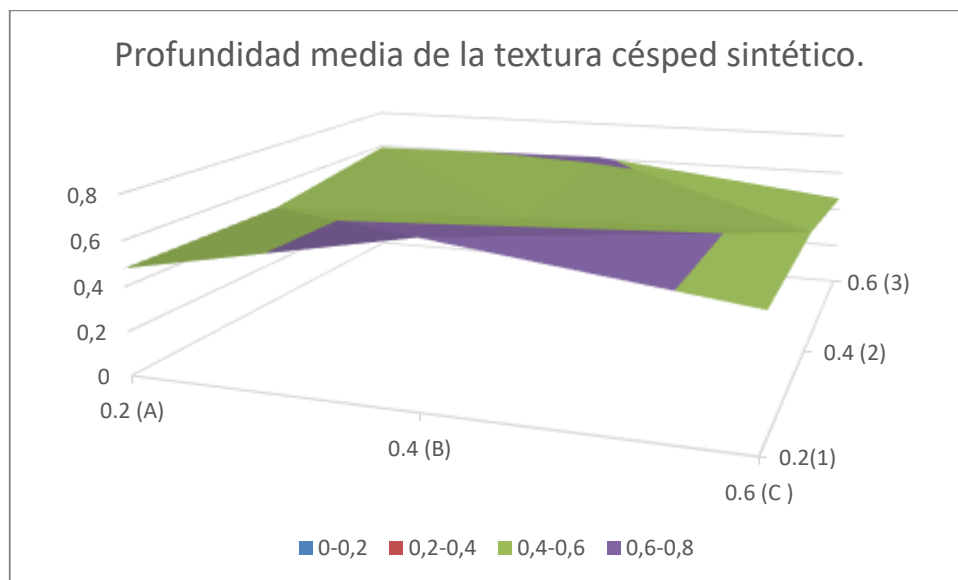
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la profundidad media del texturizado en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 79 Valores de M.T.D. en la losa texturizada con césped sintético.**

Nudos	0,2 (A)	0,4 (B)	0,6 (C)
0,2(1)	0,48	0,72	0,56
0,4 (2)	0,48	0,52	0,56
0,6 (3)	0,59	0,61	0,46

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 71 Gráfica de la profundidad media de la textura de la losa texturizada con césped sintético.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Para la losa 4 Texturizado con peine metálico.**

El MDT para cada punto de la losa se calculó con la ecuación:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del círculo de arena.

A un volumen de 30 ml de área (V) donde la variable es el diámetro de la arena obtenido para cada nudo.

**Tabla N° 80 Valores de M.T.D. por nudo de la losa texturizada con peine metálico.**

<b>Nudo</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>
D. Arena	23,16	27,21	23,15	27,13	24,64	23,00	24,68	22,12	24,07
M.T.D.	0,71	0,52	0,71	0,49	0,63	0,72	0,63	0,79	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del M.T.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de M.T.D. en la losa y el valor medio del M.T.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 81 Valores de la profundidad media de la losa texturizada con peine metálico.**

<b>Valores de la profundidad media de la losa texturizada con peine metálico.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,10



Valor máximo de M.T.D en los nudos	0,79
Valor mínimo de M.T.D. en los nudos	0,49
<b>M.T.D. medio de la losa</b>	<b>0,65</b>

**Fuente Elaboración propia.**

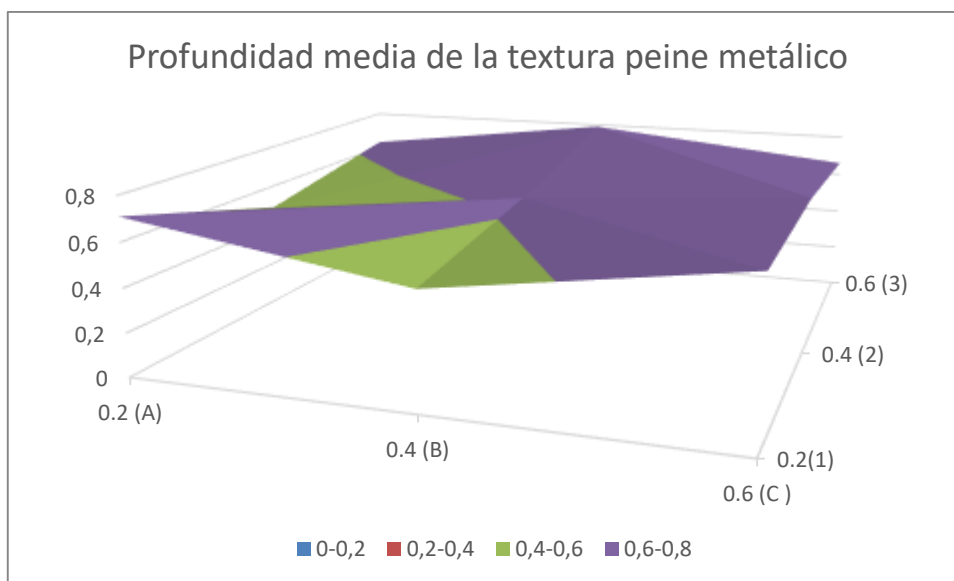
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la profundidad media del texturizado en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 82 Valores de M.T.D. en la losa texturizada con peine metálico.**

Nudos	0,2 (A)	0,4 (B)	0,6 (C)
<b>0,2(1)</b>	0,71	0,52	0,71
<b>0,4 (2)</b>	0,49	0,63	0,72
<b>0,6 (3)</b>	0,63	0,79	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 72 Gráfica de la profundidad media de la textura de la losa texturizada con peine metálico.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Para la losa 5 texturizado con madera liso.**

El MDT para cada punto de la losa se calculó con la ecuación:

$$MTD = \frac{4 * V}{\pi * D^2}$$

Donde:

MTD= Profundidad media de macrotextura.

V= Volumen de arena utilizada.

D= Diámetro del círculo de arena.

A un volumen de 30 ml de área (V) donde la variable es el diámetro de la arena obtenido para cada nudo.

**Tabla N° 83 Valores de M.T.D. por nudo de la losa texturizada madera liso.**

<b>Nudo</b>	<b>1A</b>	<b>1B</b>	<b>1C</b>	<b>2A</b>	<b>2B</b>	<b>2C</b>	<b>3A</b>	<b>3B</b>	<b>3C</b>
<b>D. Arena</b>	28,75	30,00	29,94	28,50	29,50	29,00	29,20	28,50	28,50
<b>M.T.D.</b>	0,46	0,42	0,43	0,47	0,44	0,45	0,45	0,47	0,47

**Fuente: Elaboración propia.**

Con los valores medios del M.T.D. de los nudos de la losa se determinó su relación entre sí mediante la estadística de la desviación estándar, se determinaron los máximos y mínimos valores de M.T.D. en la losa y el valor medio del M.T.D. de toda la losa mediante un promedio de los nudos.

**Tabla N° 84 Valores de la profundidad media de la losa texturizada con madera liso.**

<b>Valores de la profundidad media de la losa texturizada con madera liso.</b>	
Desviación estándar de los valores en los nudos.	0,02

Valor máximo de M.T.D en los nudos	0,47
Valor mínimo de M.T.D. en los nudos	0,42
<b>M.T.D. medio de la losa</b>	<b>0,45</b>

**Fuente Elaboración propia.**

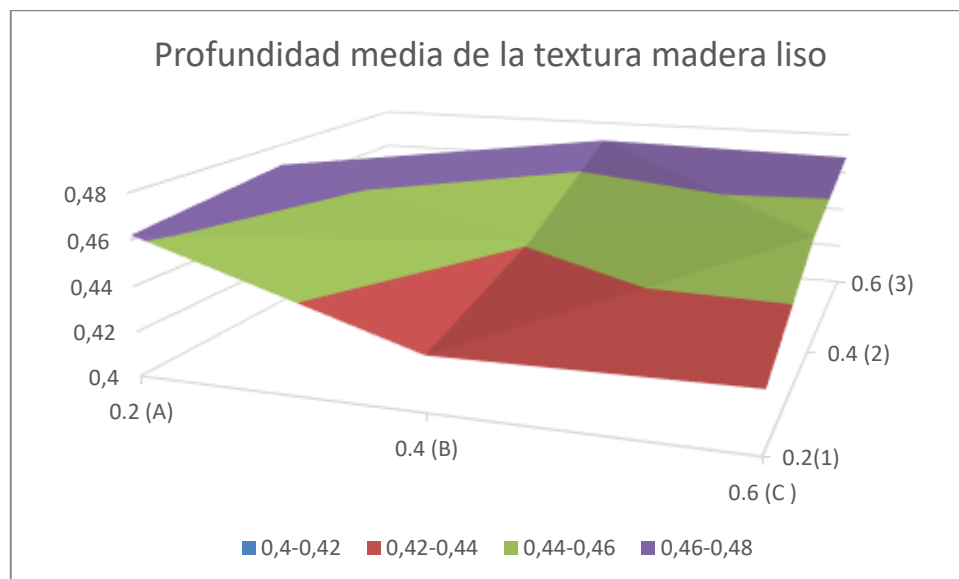
Para un mayor aprecio al aumento y disminución de la profundidad media del texturizado en la losa se puede ilustrar con una gráfica de superficie mostrando la fricción como una variable.

**Tabla N° 85 Valores de M.T.D. en la losa texturizada con madera liso.**

Nudos	0,2 (A)	0,4 (B)	0,6 (C)
<b>0,2(1)</b>	0,46	0,42	0,43
<b>0,4 (2)</b>	0,47	0,44	0,45
<b>0,6 (3)</b>	0,45	0,47	0,47

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 73 Gráfica de la profundidad media de la textura de la losa texturizada con madera liso.**



**Fuente: Elaboración propia.**

### Resultados finales.

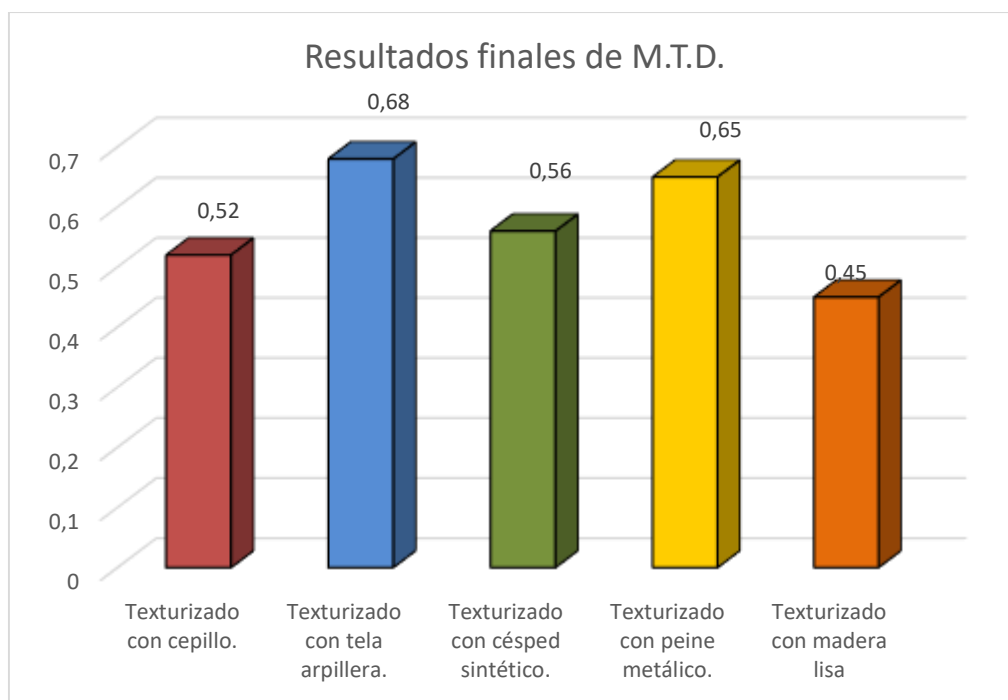
Los valores de la profundidad media de la macrotextura (M.T.D.), para cada tipo de método de texturizado fueron:

**Tabla N° 86 Resultados de la profundidad media de la textura.**

Método de texturizado	Profundidad media de la macrotextura M.T.D. (mm)
Texturizado con cepillo.	0,52
Texturizado con tela arpillera.	0,68
Texturizado con césped sintético.	0,56
Texturizado con peine metálico.	0,65
Texturizado con madera lisa	0,45

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 74 Resultado grafico ensayo de la mancha de arena.**



Fuente: Elaboración propia.

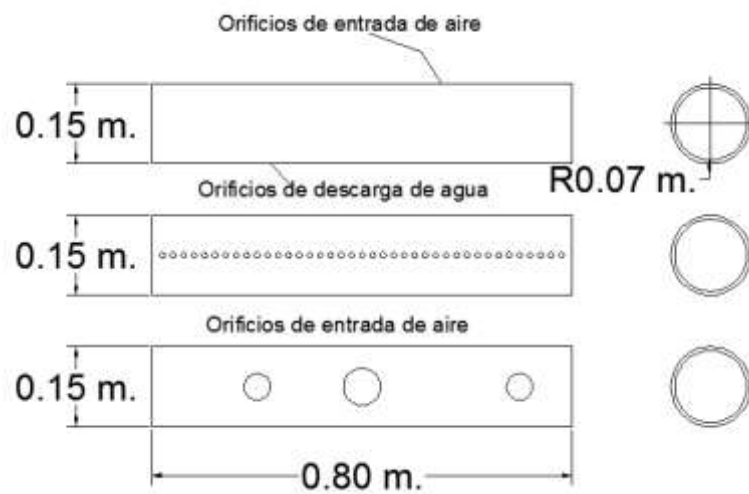
### **3.12. EVALUACIÓN DEL DRENAJE SUPERFICIAL EN LOSAS.**

Este procedimiento para determinar la velocidad de conducción del agua sobre la superficie de un pavimento a una pendiente conocida, se basa en los principios empíricos del modelado a diferentes escalas en un ambiente controlado, donde se pueden medir las características más importantes relacionadas a la calidad de servicio del pavimento en condiciones húmedas, las características determinadas en este ensayo son el tiempo máximo y mínimo que tarda una gota, que cae en la parte superior de la losa, en recorrer el largo de la losa, el volumen de agua que queda sobre la losa como una película de agua, para ello se realizara una simulación de lluvia sólo en la parte superior de la losa de manera lineal y uniforme, debido a la pendiente de la losa el agua se canalizara hasta llegar al final de la losa en un determinado tiempo, todo el agua que escurra de la losa será captado en una bandeja para posteriormente medir la cantidad de agua en la bandeja conociendo el valor de agua escurrido se puede determinar de manera clara la cantidad de agua que se encuentra en la superficie de la losa.

#### **Materiales usados en el ensayo.**

- Tubo plástico de 6 pulgadas de diámetro con perforaciones.- Las perforaciones se las realizo espaciadas uniformemente cada centímetro, el objetivo del tubo es regar la losa, también tiene orificios de 2 cm de diámetro en la parte superior para evitar una presión negativa dentro del tubo causada por el aire.

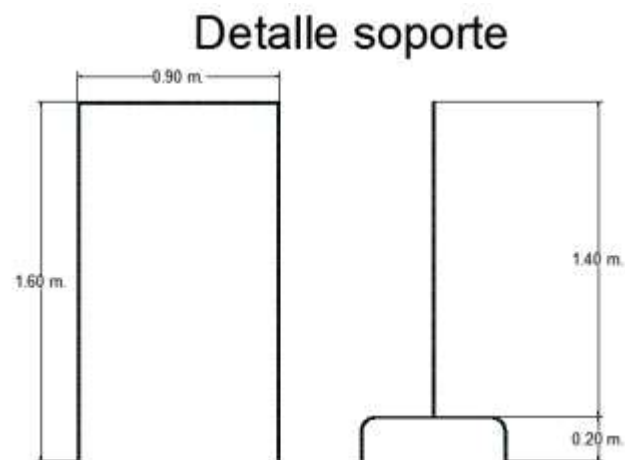
**Figura N° 75 Detalle del tubo de riego.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Soporte metálico para el tubo.- Es un soporte tipo caballete de metal de una altura de 1,6 metros de altura y unos 0,9 metros de ancho, es más ancho que la losa lo que permite suspender el tubo sobre la parte superior de la losa.

**Figura N° 76 Detalles del soporte metálico.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Ganchos de alambre.- Para colgar el tubo en el soporte metálico se usaron dos alambres doblados en forma de horquilla del diámetro del tubo.
- Tacos de madera.- listones de madera cortados de 80 centímetros de longitud y 5 centímetros de espesor.
- Bandeja metálica.- Para recolectar el agua una bandeja de 80 centímetros de longitud ubicada al final de la losa.
- Balde graduado.- Balde de 10 litros de capacidad graduado para determinar la cantidad de agua que se cargara al tubo y la cantidad de agua que escurre.
- Cronometro.- Cronómetros de precisión para medir los diferentes tiempos en el ensayo.
- Embudo.- Canalizador de agua plástico, utilizado en el cargado de agua al tubo.
- Cinta aislante.- Usado en el tubo para tapar los orificios cuando se carga el agua.
- Nivel de burbuja.- Una regla de nivel para determinar la horizontalidad de la losa.

#### **Procedimiento de la práctica.**

- Se eligió una losa para el ensayo, se procedió a darle una pendiente del 2%, para esto se usaron los tacos de madera como apoyo a la losa, al igual que en el ensayo del péndulo británico, se evaluaron las losas en el sentido longitudinal y transversal al texturizado.

**Figura N° 77 Proceso para inclinar la losa al 2%.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Se procede a colocar los dos ganchos de alambre en el soporte metálico a cada extremo de la barra superior y se coloca el tubo de 6 pulgadas de tal forma que no obstruya la salida del agua en el tubo.

**Figura N° 78 Armado del sistema del tubo.**



**Fuente: Elaboración propia.**



- Es necesario verificar que el tubo se encuentre en la parte superior de la losa para que la descarga caiga en esa área.
- Al final de la losa se instala la bandeja colectora de agua en toda la longitud.
- Con la regla de nivel se procede a verificar que la losa se encuentre recta en su dimensión que no está inclinada a 2%, también es necesario verificar la horizontalidad del tubo para que el choro que salga de cada orificio tenga un mismo caudal.

**Figura N° 79 Nivelado del tubo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Para el sistema de riego del tubo, se lo coloco con los orificios de descarga de agua en la parte inferior y los orificios de entrada de aire en la parte superior.
- En el ensayo se colocó cinta aislante en toda la longitud de los orificios de descarga de agua, para que no pierda agua cuando se esté cargando el tubo.
- El cargado del tubo se lo realizo por los orificios de entrada de aire en la parte superior del tubo con ayuda del embudo, la cantidad de agua que se cargó al tubo fue de 2 litros.

**Figura N° 80 Llenado del tubo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Con el tubo cargado se procede a alistar los cronómetros en 0, para iniciar la descarga se remueve de manera rápida la cinta aislante de los orificios del tubo, se procede a medir: el tiempo de recorrido de la primera gota que cae a la losa hasta que es evacuada de la losa, el tiempo de descarga del tubo es decir desde que sale de él la primera gota hasta que sale la última, el tiempo total de evacuado de agua es el tiempo total de que cae el primer chorro de agua hasta que la losa fue completamente evacuada.

**Figura N° 81 Descarga del tubo a la losa.**



**Fuente: Elaboración propia.**

## Cálculos.

### Determinación de la velocidad de conducción de agua en la losa

Para determinar la velocidad máxima y mínima del flujo de agua en la losa se midieron 3 tiempos en el ensayo.

Tiempo de la primera gota en caer en ser desalojada (T1).- Se comienza a medir el tiempo desde que la primera gota cae en la parte superior de la losa hasta que es drenada de la losa es decir hasta el momento que es desalojada de la losa para caer en el recipiente metálico, este parámetro se identifica como la velocidad máxima que tendrá el flujo en la losa a una pendiente de 2%.

Tiempo de vaciado del tubo (Tb).- Es el tiempo que tarda el tubo en descargar todo su contenido, 2 litros de agua sobre la losa.

Tiempo total de vaciado de la losa (Tt).- Es el tiempo total desde que el primer chorro de agua toca la losa hasta el momento en el cual el agua es totalmente evacuado de la losa.

- Como se explicó antes el tiempo más rápido de una gota es T1 mientras que el tiempo de la última gota en ser desalojada es T2 es decir el tiempo más lento.
- Para determinar el T2 se calcula la diferencia entre el tiempo de vaciado del tubo con el tiempo total de desagüe de la losa:

$$T2 = Tt - Tb$$

Donde todos los tiempos se miden en segundos

- Para determinar el caudal de descarga, teniendo un volumen conocido de agua de 2 litros, y un tiempo de vaciado se lo determinó con:

$$Q = \frac{\text{Volumen de agua}}{\text{Tiempo de vaciado}}$$

- Las velocidades medias, máximas y mínimas se la calculo directamente teniendo la longitud de desplazamiento en la losa y el tiempo.

$$\text{Velocidad} = \frac{\text{Distancia recorrida en la losa}}{\text{Tiempo}}$$

- La velocidad final en la losa se determinó como la media entre la velocidad más rápida de desalojo de agua y la más lenta.
- Los valores obtenidos en el ensayo fueron:

### **Losa tipo 1 texturizada con cepillo longitudinal**

**Tabla N° 87 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con cepillo longitudinal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	10,86	7,41	9,14
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	34,10	31,15	32,62
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	48,25	49,10	48,68
<b>Tiempo 2 (s)</b>	14,15	17,95	16,05
<b>Tiempo medio (s)</b>	12,50	12,68	125,92
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,06	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,07	0,11	0,09
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,06	0,04	0,05
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,06	0,08	0,07

**Fuente: Elaboración propia.**

### **Losa tipo 1 texturizada con cepillo transversal**

**Tabla N° 88 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con cepillo transversal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	12,82	10,28	11,55
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	31,22	30,37	30,80
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	51,74	46,96	49,35
<b>Tiempo 2 (s)</b>	20,52	16,59	18,56
<b>Tiempo medio (s)</b>	16,67	13,44	15,06
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,07	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,06	0,08	0,07
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,04	0,05	0,04
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,05	0,06	0,05

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 2 texturizada con tela arpillera longitudinal.**

**Tabla N° 89 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con tela arpillera longitudinal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	7,88	7,56	7,72
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	32,60	33,00	32,80
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	47,92	48,67	48,30
<b>Tiempo 2 (s)</b>	15,32	15,67	15,50
<b>Tiempo medio (s)</b>	11,60	11,62	11,61
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,06	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,10	0,11	0,10
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,05	0,05	0,05
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,08	0,08	0,08

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 2 texturizada con tela arpillera transversal.**

**Tabla N° 90 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con tela arpillera transversal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	8,12	9,56	8,84
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	29,87	30,81	30,34
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	50,15	52,62	51,38
<b>Tiempo 2 (s)</b>	20,28	21,81	21,04
<b>Tiempo medio (s)</b>	14,20	15,68	149,42
<b>Caudal (l/s)</b>	0,07	0,065	0,07
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,10	0,08	0,09
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,04	0,04	0,03
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,07	0,06	0,06

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 3 texturizada con césped sintético longitudinal.**

**Tabla N° 91 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con césped sintético longitudinal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	7,10	7,60	7,35
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	30,78	31,17	30,98
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	44,36	41,38	42,87
<b>Tiempo 2 (s)</b>	13,58	10,21	11,90
<b>Tiempo medio (s)</b>	10,34	8,90	96,22
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,06	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,11	0,10	0,11
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,06	0,08	0,07

<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,08	0,09	0,08
-------------------------------	------	------	------

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 3 texturizada con césped sintético transversal.**

**Tabla N° 92 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con césped sintético transversal.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	9,92	9,24	9,58
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	28,86	32,86	30,86
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	47,24	48,86	48,05
<b>Tiempo 2 (s)</b>	18,38	16,00	17,19
<b>Tiempo medio (s)</b>	14,15	12,62	13,38
<b>Caudal (l/s)</b>	0,07	0,06	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,08	0,09	0,08
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,04	0,05	0,05
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,06	0,07	0,06

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 4 texturizada con peine metálico.**

**Tabla N° 93 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con peine metálico.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	10,31	9,26	9,78
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	34,00	33,00	33,50
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	56,82	48,55	52,68
<b>Tiempo 2 (s)</b>	22,82	15,55	19,18
<b>Tiempo medio (s)</b>	16,56	12,40	14,48
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,06	0,06

<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,08	0,09	0,08
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,04	0,05	0,04
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,06	0,07	0,06

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 5 texturizada con madera lisa.**

**Tabla N° 94 Valores de la velocidad de conducción de agua de la losa texturizada con madera lisa.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Tiempo 1 (s)</b>	9,43	9,30	9,36
<b>Tiempo vaciado losa (s)</b>	30,85	33,29	32,07
<b>Tiempo vaciado total (s)</b>	43,41	51,58	47,50
<b>Tiempo 2 (s)</b>	12,56	18,29	15,42
<b>Tiempo medio (s)</b>	10,99	13,80	12,40
<b>Caudal (l/s)</b>	0,06	0,06	0,06
<b>Velocidad 1 (cm/s)</b>	0,08	0,09	0,08
<b>Velocidad 2 (cm/s)</b>	0,06	0,04	0,05
<b>Velocidad media (cm/s)</b>	0,07	0,06	0,06

**Fuente: Elaboración propia.**

**Determinación del volumen de la película de agua en la losa.**

- Conociendo el volumen que se vertió a la losa y el volumen que se desalojó de la losa se puede determinar el volumen de agua que se queda como película de agua en la losa:

$$\text{Volumen película de agua} = \text{Volumen vertido} - \text{Volumen desalojado.}$$

- Para determinar la altura de la película de agua sobre el área total de la losa se calcula con el valor del volumen de película de agua.



$$\text{Altura de la película de agua} = \frac{\text{Volumen película de agua}}{\text{Área total de la losa}}$$

**Losa tipo 1 texturizada con cepillo.**

**Tabla N° 95 Valores de la película de agua de la losa texturizada con cepillo.**

<b>Medida</b>	<b>1°</b>	<b>2°</b>	<b>3°</b>	<b>4°</b>	<b>Media</b>
<b>Volumen vertido a la losa (l).</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Volumen que fue evacuado de la losa (l).</b>	1,00	1,10	1,00	1,00	1,02
<b>Volumen que queda en la losa como película de agua (l)</b>	1,00	0,90	1,00	1,00	0,98
<b>Altura de la película de agua (mm)</b>	15,62	1,41	1,56	1,56	1,52

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 2 texturizada con tela arpillera.**

**Tabla N° 96 Valores de la película de agua de la losa texturizada con tela arpillera.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Tercer ensayo</b>	<b>Cuarto ensayo</b>	<b>Media</b>
Volumen vertido a la losa (l).	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Volumen que fue evacuado de la losa (l).	1,10	1,10	1,20	1,10	1,12
Volumen que queda en la losa como película de agua (l)	0,90	0,90	0,80	0,90	0,88
Altura de la película de agua (mm)	1,41	1,41	1,25	1,41	1,37

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 3 texturizada con césped sintético.**

**Tabla N° 97 Valores de la película de agua de la losa texturizada con césped sintético.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Tercer ensayo</b>	<b>Cuarto ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Volumen vertido a la losa (l).</b>	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>Volumen que fue evacuado de la losa (l).</b>	1,25	1,31	1,20	1,25	1,25
<b>Volumen que queda en la losa como película de agua (l)</b>	0,75	0,69	0,80	0,75	0,75
<b>Altura de la película de agua (mm)</b>	1,17	1,08	1,25	1,17	1,17

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 4 texturizada con peine metálico.**

**Tabla N° 98 Valores de la película de agua de la losa texturizada con peine metálico.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Volumen vertido a la losa (l).</b>	2,00	2,00	2,00
<b>Volumen que fue evacuado de la losa (l).</b>	1,30	1,35	1,32
<b>Volumen que queda en la losa como película de agua (l)</b>	0,70	0,65	0,68
<b>Altura de la película de agua (mm)</b>	1,09	10,16	1,06

**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 5 texturizada con madera lisa.**

**Tabla N° 99 Valores de la película de agua de la losa texturizada con madera lisa.**

<b>Medida</b>	<b>Primer ensayo</b>	<b>Segundo ensayo</b>	<b>Media</b>
<b>Volumen vertido a la losa (l).</b>	2,00	2,00	2,00
<b>Volumen que fue evacuado de la losa (l).</b>	0,90	0,70	0,80
<b>Volumen que queda en la losa como película de agua</b>	1,10	1,30	1,20
<b>Altura de la película de agua (mm)</b>	1,72	2,03	1,88

**Fuente: Elaboración propia.**

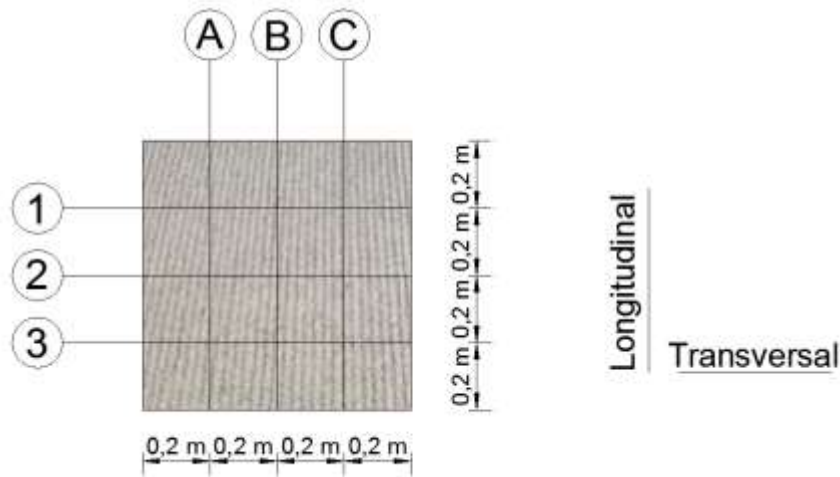
**3.13. RELACIÓN DE LOS VALORES OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS DEL PÉNDULO BRITÁNICO Y LA MANCHA DE ARENA.**

Para un mejor análisis de los resultados es necesario considerar los valores obtenidos en los tres ensayos desarrollados en los puntos previos, la relación que existe entre ellos como ser, el par de número de fricción y la profundidad media de la losa.

**Relación entre el número de fricción y profundidad media de la textura.**

Para determinar gráficamente una relación entre estos dos valores al igual que los ensayos, se tomó en cuenta nudos de la losa como se muestra en la figura así como un sentido longitudinal a la dirección del texturizado como uno transversal.

**Figura N° 82 Nudos considerados para la relación del C.R.D y el M.T.D.**



**Fuente: Elaboración propia.**

**Losa tipo 1 texturizado con cepillo.**

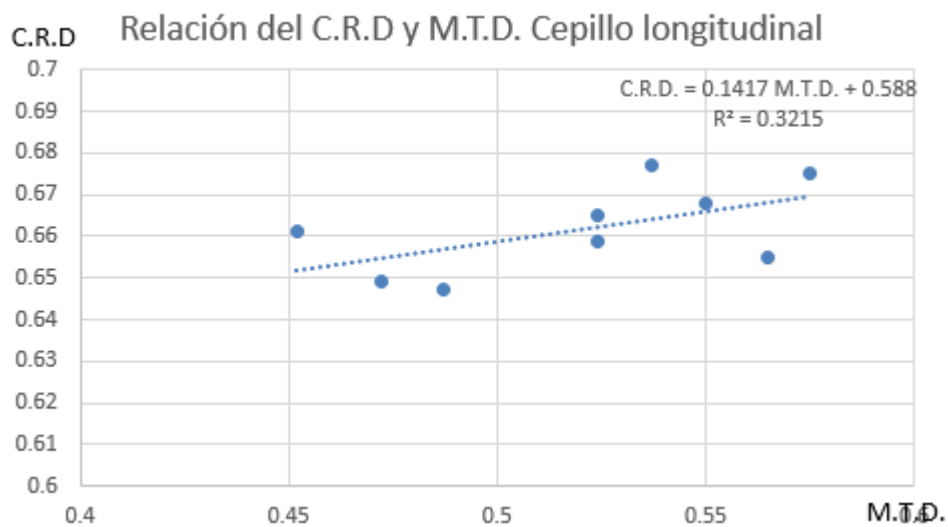
- Con los valores obtenidos medios en los puntos 3.11. y 3.12 de este documento por nudos se puede determinar una correlación en los puntos.
- Los valores medios de cada punto fueron medidos varias veces para un resultado más real de datos.
- No se eliminó ningún punto ni se corrigió debido a que cada punto fue medido varias veces como método de validación del mismo.

**Tabla N° 100 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. cepillo longitudinal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,66	0,45
1B	0,66	0,56
1C	0,68	0,58
2A	0,65	0,49
2B	0,67	0,55
2C	0,66	0,52
3A	0,65	0,47
3B	0,66	0,52
3C	0,68	0,53

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 83 Relación del C.R.D. y M.T.D. cepillo longitudinal.**



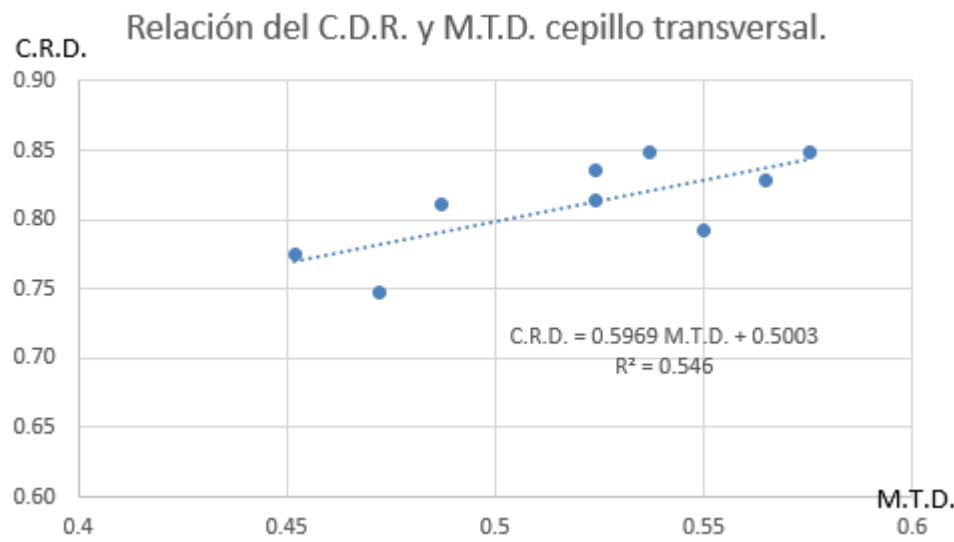
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 101 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. cepillo transversal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,78	0,45
1B	0,83	0,56
1C	0,85	0,58
2A	0,81	0,49
2B	0,79	0,55
2C	0,81	0,52
3A	0,75	0,47
3B	0,84	0,52
3C	0,85	0,54

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 84 Relación del C.R.D. y M.T.D. cepillo transversal.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Los valores no tienen una correlación entre sí, pero pueden describir una tendencia, como se muestra en la figura, aunque los valores no son tan próximos de punto en punto podemos observar una línea ascendente en “x” y “y” es decir que si la profundidad del texturizado aumenta, aumentará la fricción en el pavimento, y si es una textura suave no generará ni profundidad media de textura M.T.D. ni tendrá un valor bueno de fricción C.R.D.
- Comparando en otros estudios de evaluaciones superficiales a pavimentos la correlación de los valores es buena, es fácil identificar la tendencia de los datos.

#### **Losa tipo 2 texturizado con tela arpillera.**

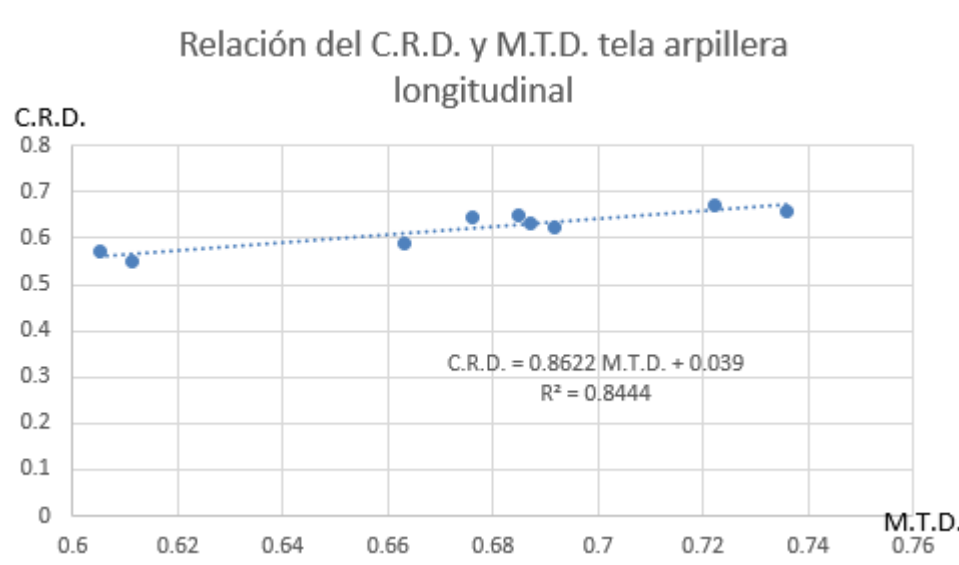
- Con los valores obtenidos medios en los puntos 3.11. y 3.12 de este documento por nudos se puede determinar una correlación en los puntos.
- Los valores medios de cada punto fueron medidos varias veces para un resultado más real de datos.
- No se eliminó ningún punto ni se corrigió debido a que cada punto fue medido varias veces como método de validación del mismo.

**Tabla N° 102 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. tela arpillera longitudinal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,65	0,68
1B	0,62	0,69
1C	0,64	0,68
2A	0,59	0,66
2B	0,57	0,60
2C	0,55	0,61
3A	0,67	0,72
3B	0,63	0,69
3C	0,66	0,74

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 85 Relación del C.R.D. y M.T.D. tela arpillera longitudinal.**



Fuente: Elaboración propia.

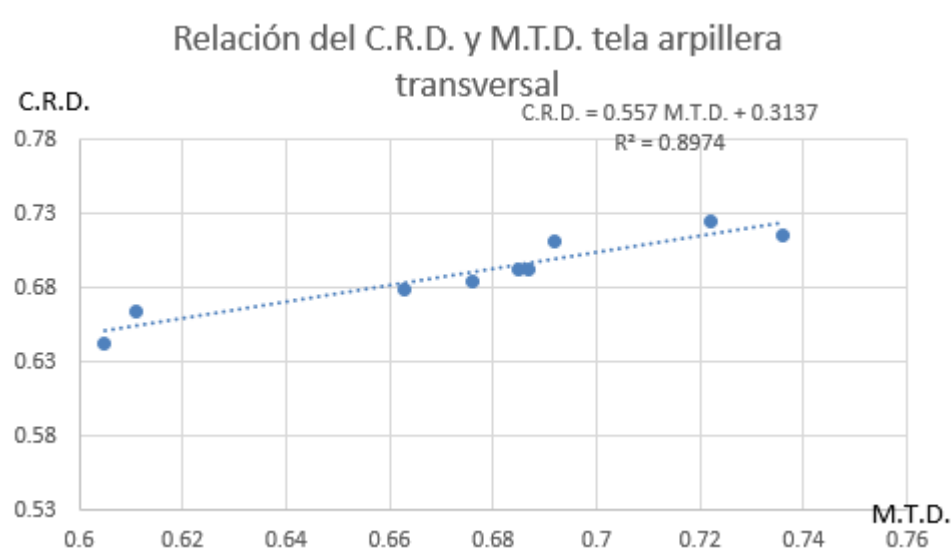
**Tabla N° 103 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. tela arpillera transversal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,69	0,68
1B	0,71	0,69
1C	0,68	0,68
2A	0,68	0,66
2B	0,64	0,60
2C	0,66	0,61
3A	0,72	0,72

<b>3B</b>	0,69	0,68
<b>3C</b>	0,72	0,74

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 86 Relación del C.R.D. y M.T.D. tela arpillera transversal.



Fuente: Elaboración propia.

- Los valores tienen una correlación entre sí, se pueden describir una tendencia, como se muestra en la figura, podemos observar una línea ascendente en “x” y “y” es decir que si la profundidad del texturizado aumenta aumentará la fricción en el pavimento, y si es una textura suave no generará ni profundidad media de textura M.T.D. ni tendrá un valor bueno de fricción C.R.D.
- En ambos casos se mostró una buena correlación entre los datos lo que valida la ecuación mostrada en la gráfica para estimar los valores de C.R.D. en base a la profundidad media del texturizado.

### Losa tipo 3 texturizado con césped sintético.

- Con los valores obtenidos medios en los puntos 3.11. y 3.12 de este documento por nudos se puede determinar una correlación en los puntos.



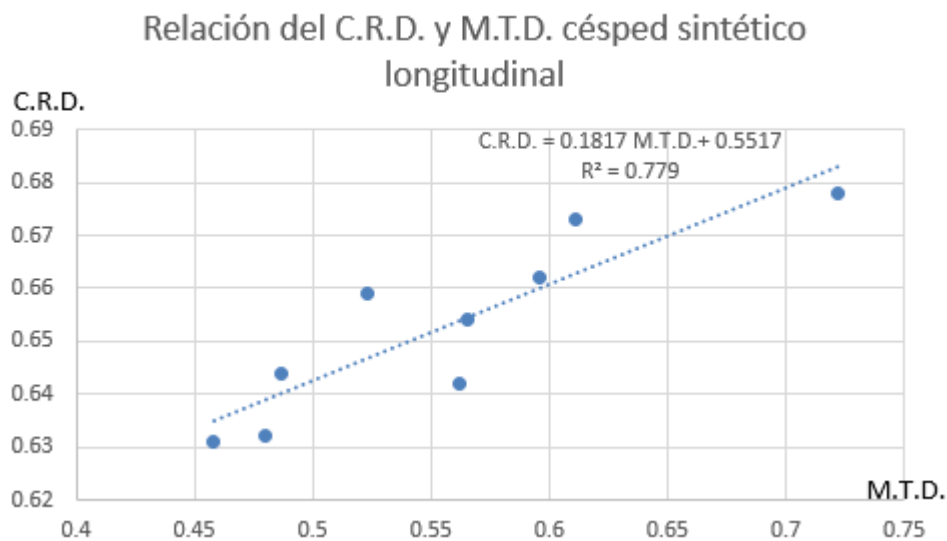
- Los valores medios de cada punto fueron medidos varias veces para un resultado más real de datos.
- No se eliminó ningún punto ni se corrigió debido a que cada punto fue medido varias veces como método de validación del mismo.

**Tabla N° 104 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. césped sintético longitudinal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,63	0,48
1B	0,68	0,72
1C	0,64	0,56
2A	0,64	0,49
2B	0,66	0,52
2C	0,65	0,56
3A	0,66	0,60
3B	0,67	0,61
3C	0,63	0,46

Fuente: Elaboración propia.

**Figura N° 87 Relación del C.R.D. y M.T.D. césped sintético longitudinal.**



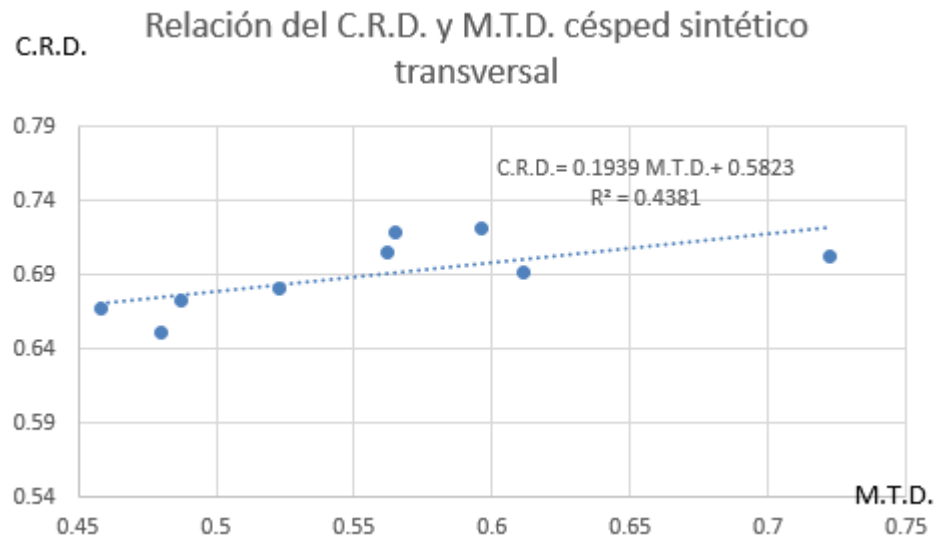
Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 105 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. césped sintético transversal.**

<b>Nudo</b>	<b>C.R.D.</b>	<b>M.T.D. (mm)</b>
<b>1A</b>	0,65	0,48
<b>1B</b>	0,70	0,72
<b>1C</b>	0,70	0,56
<b>2A</b>	0,67	0,49
<b>2B</b>	0,68	0,52
<b>2C</b>	0,72	0,56
<b>3A</b>	0,72	0,60
<b>3B</b>	0,69	0,61
<b>3C</b>	0,67	0,46

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 88 Relación del C.R.D. y M.T.D. césped sintético transversal.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Los valores no tienen una correlación entre sí, pero pueden describir una tendencia, como se muestra en la figura, aunque los valores no son tan próximos de punto en punto podemos observar una línea ascendente en “x” y “y” es decir que si la profundidad del texturizado aumenta, aumentará la fricción en el pavimento, y si es una textura suave no generará ni profundidad media de textura M.T.D. ni tendrá un valor bueno de fricción C.R.D.

- Comparando en otros estudios de evaluaciones superficiales a pavimentos la correlación de los valores es buena, es fácil identificar la tendencia de los datos.

#### **Losa tipo 4 texturizado con peine metálico.**

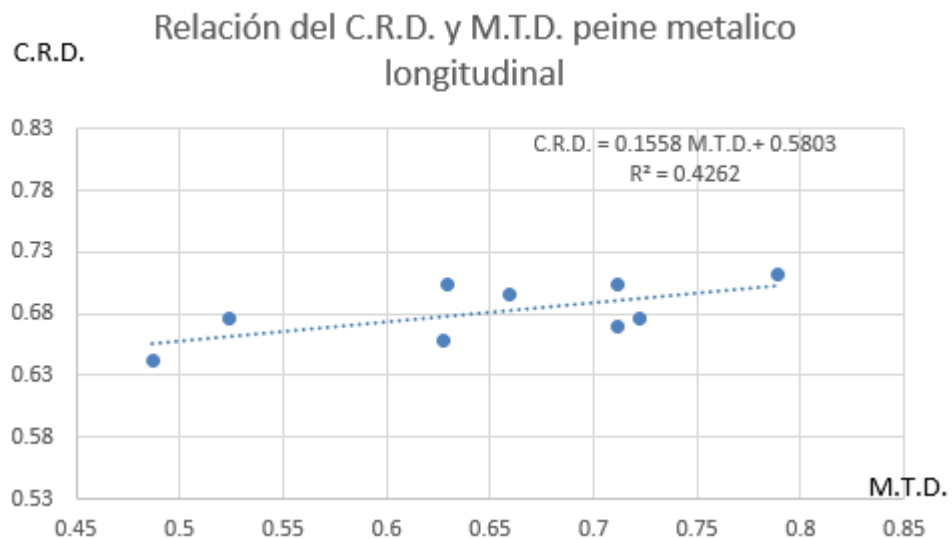
- Con los valores obtenidos medios en los puntos 3.11. y 3.12 de este documento por nudos se puede determinar una correlación en los puntos.
- Los valores medios de cada punto fueron medidos varias veces para un resultado más real de datos.
- No se eliminó ningún punto ni se corrigió debido a que cada punto fue medido varias veces como método de validación del mismo.

**Tabla N° 106 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. peine metálico longitudinal.**

<b>Nudo</b>	<b>C.R.D.</b>	<b>M.T.D. (mm)</b>
<b>1A</b>	0,67	0,71
<b>1B</b>	0,68	0,52
<b>1C</b>	0,70	0,71
<b>2A</b>	0,64	0,49
<b>2B</b>	0,70	0,63
<b>2C</b>	0,68	0,72
<b>3A</b>	0,66	0,63
<b>3B</b>	0,71	0,79
<b>3C</b>	0,70	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 89 Relación del C.R.D. y M.T.D. peine metálico longitudinal.**



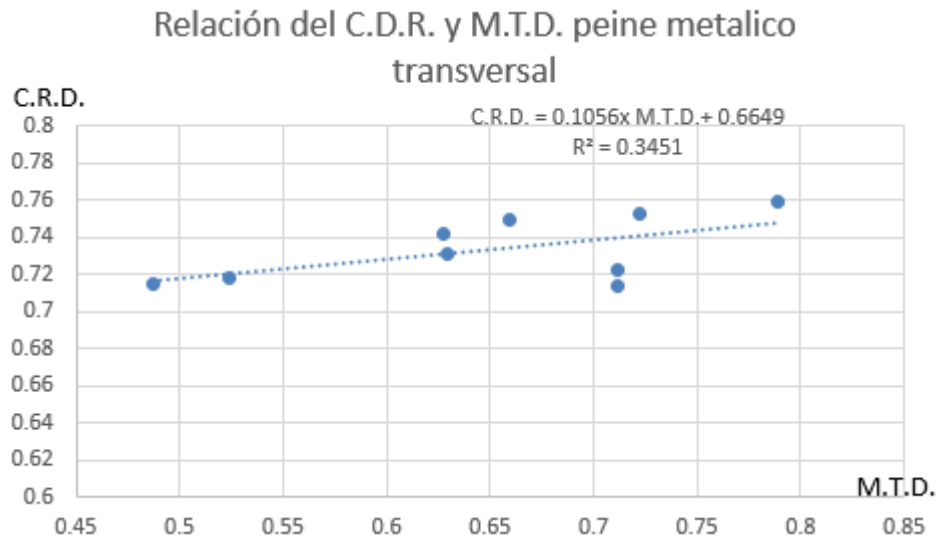
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 107 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. peine metálico transversal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
<b>1A</b>	0,71	0,71
<b>1B</b>	0,72	0,52
<b>1C</b>	0,72	0,71
<b>2A</b>	0,72	0,49
<b>2B</b>	0,73	0,63
<b>2C</b>	0,75	0,72
<b>3A</b>	0,74	0,63
<b>3B</b>	0,76	0,79
<b>3C</b>	0,75	0,66

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 90 Relación del C.R.D. y M.T.D. peine metálico transversal.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Los valores no tienen una correlación entre sí, pero pueden describir una tendencia, como se muestra en la figura, aunque los valores no son tan próximos de punto en punto podemos observar una línea ascendente en “x” y “y” es decir que si la profundidad del texturizado aumenta, aumentará la fricción en el pavimento, y si es una textura suave no generará ni profundidad media de textura M.T.D. ni tendrá un valor bueno de fricción C.R.D.
- Comparando en otros estudios de evaluaciones superficiales a pavimentos la correlación de los valores es buena, es fácil identificar la tendencia de los datos.

#### **Losa tipo 5 texturizado con madera liso.**

- Con los valores obtenidos medios en los puntos 3.11. y 3.12 de este documento por nudos se puede determinar una correlación en los puntos.
- Los valores medios de cada punto fueron medidos varias veces para un resultado más real de datos.

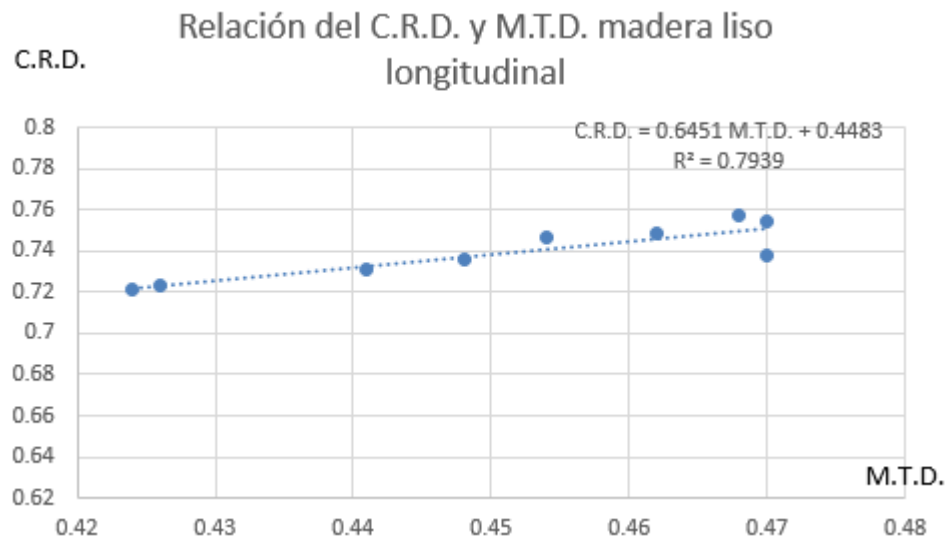
- No se eliminó ningún punto ni se corrigió debido a que cada punto fue medido varias veces como método de validación del mismo.

**Tabla N° 108 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. madera liso longitudinal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,75	0,46
1B	0,72	0,42
1C	0,72	0,42
2A	0,74	0,47
2B	0,73	0,44
2C	0,75	0,45
3A	0,74	0,45
3B	0,75	0,47
3C	0,76	0,47

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 91 Relación del C.R.D. y M.T.D. madera liso longitudinal.**



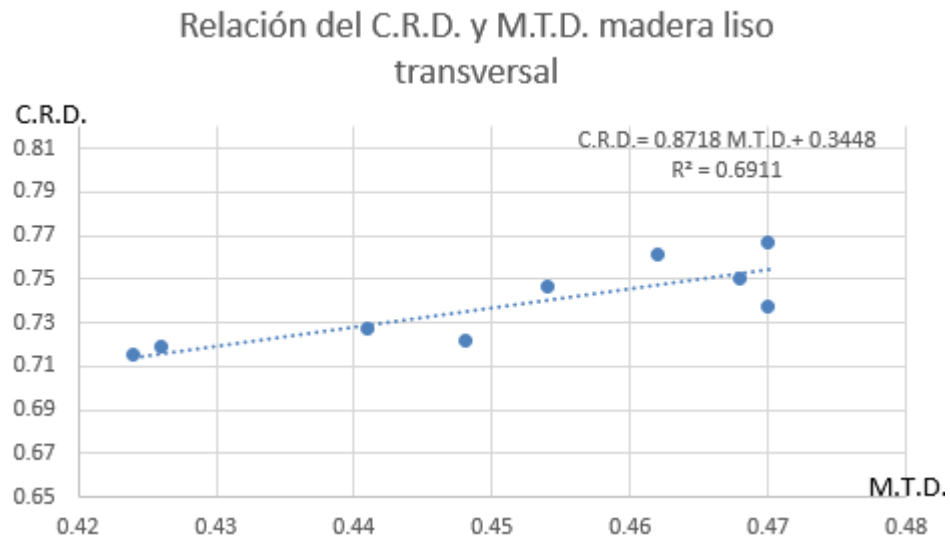
**Fuente: Elaboración propia.**

**Tabla N° 109 Valores por nudo C.R.D. Y M.T.D. madera liso transversal.**

Nudo	C.R.D.	M.T.D. (mm)
1A	0,76	0,46
1B	0,72	0,42
1C	0,72	0,43
2A	0,74	0,47
2B	0,73	0,44
2C	0,75	0,45
3A	0,72	0,45
3B	0,77	0,47
3C	0,75	0,47

**Fuente: Elaboración propia.**

**Figura N° 92 Relación del C.R.D. y M.T.D. madera liso transversal.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Los valores no tienen una correlación entre sí, pero pueden describir una tendencia, como se muestra en la figura, aunque los valores no son tan próximos de punto en punto podemos observar una línea ascendente en “x” y “y” es decir que si la profundidad del texturizado aumenta, aumentará la fricción en el pavimento, y si es una textura suave no generará ni profundidad media de textura M.T.D. ni tendrá un valor bueno de fricción C.R.D.

- Comparando en otros estudios de evaluaciones superficiales a pavimentos la correlación de los valores es buena, es fácil identificar la tendencia de los datos.

### **3.14. COMPARACIÓN CON LA NORMA Y APLICACIÓN DE LAS TEXTURAS OBTENIDAS.**

#### **3.14.1 Texturizado con cepillo plástico.**

##### **Valores obtenidos en el ensayo y comparación con la norma.**

- El texturizado con cepillo plástico puede ser aplicado en cualquiera de las direcciones de la losa es decir longitudinalmente, siguiendo el sentido del tráfico, y transversalmente al tráfico.
- Para este documento se evaluaron las dos condiciones de la losa.
- Los valores obtenidos en el ensayo de la fricción fueron un valor máximo C.R.D. de 0,677 y un valor mínimo de 0,647 con una media de 0,662 para el sentido longitudinal y un valor máximo de 0,848, un valor mínimo de 0,748, una media de 0,811 para el sentido transversal, de acuerdo a la tabla 10 de este documento la AIRPC-01-04. T-1995 presenta valores mínimos para el buen funcionamiento del pavimento rígido, el valor recomendado en las condiciones más desfavorables de tráfico es de 0,5 o mayor a este número por lo que todos los valores obtenidos en este ensayo cumplen con estas condiciones.
- Para el ensayo de la mancha de arena se determinó la profundidad media de la textura M.T.D. los valores obtenidos en este ensayo fueron: un valor máximo de 0,58, un valor mínimo de 0,45 y un valor medio de 0,521, de acuerdo a la tabla 12 que nos presenta la clasificación de texturas de acuerdo a la norma NLT-335/87 se encuentran en el rango de  $0,4 < \text{M.T.D.} < 0,8$  por lo que se clasifica a la profundidad de la textura media como: Textura media y se recomienda velocidades entre 80-120 (km/h).
- El ensayo de drenaje es un método empírico que mide directamente el tiempo que tarda un flujo en ser desalojado de la losa, los valores obtenidos pueden



servir como base para un trabajo de comparación entre métodos, los valores obtenidos fueron una velocidad media de 0,071 (m/s) en sentido longitudinal y 0,0568 (m/s) para el sentido transversal, la altura de la película de agua que se forma en la losa es de 1,523 milímetros.

### **Procedimiento del texturizado.**

- El cepillo utilizado en el texturizado es un cepillo plástico, aunque también se puede utilizar un cepillo metálico, el largo de los pelos es de 8,5 cm y una longitud.
- Es un método de arrastre es decir que se aplica pasando su superficie sobre el pavimento fresco, considerando pavimento fresco cuando aún se puede apreciar el brillo del agua sobre la superficie.
- Como se explicó en puntos anteriores este método se puede aplicar de manera longitudinal y transversal al sentido del tráfico.
- No es necesario tener experiencia en la mano de obra al aplicar este método.
- Dependiendo de la energía de aplicación de este método la profundidad y la rugosidad de la textura pueden variar.
- Puede ser aplicado de manera manual con obreros equipados con cepillos barriendo por lo largo de la losa de manera recta y uniforme o con ayuda de maquinaria o soportes metálicos que abarcan toda la dimensión de la losa, para realizar el texturizado de toda la losa con una sola pasada.

### **Recomendación de aplicación.**

#### Cepillo longitudinal

- Aplicable en zonas residenciales, genera menor ruido, crea una superficie plana y cómoda para el tránsito de vehículos.
- La fricción que genera este texturizada es adecuada para vías de velocidad moderada hasta 120 (km/h)

- Fácil de aplicar y rápido en proyectos menores, no es necesario experiencia del obrero, es un método viable, no requiere equipos pesados.
- Debido a la forma del texturizado el agua es conducida y no se genera una capa alta de agua sobre la superficie.

#### Cepillo transversal

- De aplicación manual o con equipo.
- Genera una textura alta.
- Recomendable para vías de alta velocidad, curvas y para climas de alta precipitación, drena de manera eficiente el agua en la losa, buen contacto entre la superficie del pavimento y la superficie del neumático.
- Crea una superficie plana, cómoda de circular además de áspera.
- Dependiendo de la energía del texturizado puede generar una textura profunda y rugosa.

#### **3.14.2 Texturizado con tela de arpillera.**

##### **Valores obtenidos en el ensayo y comparación con la norma.**

- El texturizado con tela de arpillera puede ser aplicado en cualquiera de las direcciones de la losa es decir longitudinalmente, siguiendo el sentido del tráfico, y transversalmente al tráfico.
- Para este documento se evaluaron las dos condiciones de la losa.
- Los valores obtenidos en el ensayo de la fricción fueron un valor máximo C.R.D. de 0,669 y un valor mínimo de 0,553 con una media de 0,661 para el sentido longitudinal y un valor máximo de 0,727, un valor mínimo de 0,643, una media de 0,690 para el sentido transversal, de acuerdo a la tabla 10 de este documento la AIRPC-01-04. T-1995 presenta valores mínimos para el buen funcionamiento del pavimento rígido, el valor recomendado en las condiciones más desfavorables de tráfico es de 0,5 o mayor a este número por lo que todos los valores obtenidos en este ensayo cumplen con estas condiciones.

- Para el ensayo de la mancha de arena se determinó la profundidad media de la textura M.T.D. los valores obtenidos en este ensayo fueron: un valor máximo de 0,74, un valor mínimo de 0,60 y un valor medio de 0,675, de acuerdo a la tabla 12 que nos presenta la clasificación de texturas de acuerdo a la norma NLT-335/87 se encuentran en el rango de  $0,4 < \text{M.T.D.} < 0,8$  por lo que se clasifica a la profundidad de la textura media como: Textura media y se recomienda velocidades entre 80-120 (km/h).
- El ensayo de drenaje es un método empírico que mide directamente el tiempo que tarda un flujo en ser desalojado de la losa, los valores obtenidos pueden servir como base para un trabajo de comparación entre métodos, los valores obtenidos fueron una velocidad media de 0,077 (m/s) en sentido longitudinal y 0,091 (m/s) para el sentido transversal, la altura de la película de agua que se forma en la losa es de 1,367 milímetros.

#### **Procedimiento del texturizado.**

- La tela de arpillera es una tela áspera y resistente, para el texturizado debe tener un peso mínimo de 500 gramos por metro cuadrado de tela, también se puede aumentar el peso de la tela colocando encima de ella algún material con peso uniformemente distribuido, dependiendo del estado del hormigón se puede utilizar arpillera mojada en caso que el hormigón no tenga la cantidad de agua necesaria.
- Es un método de arrastre es decir que se aplica pasando su superficie sobre el pavimento fresco, considerando pavimento fresco cuando aún se puede apreciar el brillo del agua sobre la superficie.
- Como se explicó en puntos anteriores este método se puede aplicar de manera longitudinal y transversal al sentido del tráfico.
- No es necesario tener experiencia en la mano de obra al aplicar este método.
- Dependiendo del peso de la tela de arpillera la profundidad y la rugosidad de la textura pueden variar.

- Puede ser aplicado de manera manual con obreros arrastrando el material sobre el hormigón por lo largo de la losa de manera recta y uniforme o con ayuda de maquinaria o soportes metálicos que abarcan toda la dimensión de la losa, para realizar el texturizado de toda la losa con una sola pasada.

### **Recomendación de aplicación.**

#### Tela de arpillera longitudinal

- Este método genera una superficie muy lisa y cómoda, cumple con los parámetros requeridos de fricción y profundidad media.
- Se puede aplicar en zonas residenciales porque disminuye el ruido del rodado de vehículos sobre la superficie del pavimento
- La fricción que genera este texturizada es adecuada para vías de velocidad moderada hasta 120 (km/h)
- Fácil de aplicar y rápido en proyectos menores, no es necesario experiencia del obrero, es un método viable, no requiere equipos pesados.
- Puede ser aplicada en proyectos donde no sea requerido un alto índice de fracción ni de drenaje o donde el factor más importante del proyecto sea el de la comodidad de los conductores.

#### Tela de arpillera transversal

- Puede ser de aplicación manual o con equipo.
- Genera una textura media que está dentro de los valores mínimos de fricción y profundidad media.
- Recomendable para vías de mediana velocidad y para climas de mediana precipitación, drena de manera eficiente el agua en la losa, buen contacto entre la superficie del pavimento y la superficie del neumático.
- Crea una superficie plana, cómoda de circular.
- Dependiendo del peso de la tela de arpillera puede generar una textura más profunda y rugosa.

### 3.14.2 Texturizado con césped sintético.

#### Valores obtenidos en el ensayo y comparación con la norma.

- El texturizado con césped sintético puede ser aplicado en cualquiera de las direcciones de la losa es decir longitudinalmente, siguiendo el sentido del tráfico, y transversalmente al tráfico.
- Para este documento se evaluaron las dos condiciones de la losa.
- Los valores obtenidos en el ensayo de la fricción fueron un valor máximo C.R.D. de 0,678 y un valor mínimo de 0,631 con una media de 0,653 para el sentido longitudinal y un valor máximo de 0,727, un valor mínimo de 0,651, una media de 0,690 para el sentido transversal, de acuerdo a la tabla 10 de este documento la AIRPC-01-04. T-1995 presenta valores mínimos para el buen funcionamiento del pavimento rígido, el valor recomendado en las condiciones más desfavorables de tráfico es de 0,5 o mayor a este número por lo que todos los valores obtenidos en este ensayo cumplen con estas condiciones.
- Para el ensayo de la mancha de arena se determinó la profundidad media de la textura M.T.D. los valores obtenidos en este ensayo fueron: un valor máximo de 0,72, un valor mínimo de 0,46 y un valor medio de 0,556, de acuerdo a la tabla 12 que nos presenta la clasificación de texturas de acuerdo a la norma NLT-335/87 se encuentran en el rango de  $0,4 < \text{M.T.D.} < 0,8$  por lo que se clasifica a la profundidad de la textura media como: Textura media y se recomienda velocidades entre 80-120 (km/h).
- El ensayo de drenaje es un método empírico que mide directamente el tiempo que tarda un flujo en ser desalojado de la losa, los valores obtenidos pueden servir como base para un trabajo de comparación entre métodos, los valores obtenidos fueron una velocidad media de 0,089 (m/s) en sentido longitudinal y 0,065 (m/s) para el sentido transversal, la altura de la película de agua que se forma en la losa es de 1,168 milímetros.

### **Procedimiento del texturizado.**

- El césped sintético es un material que consta de pequeños pelos, para el texturizado debe tener un peso mínimo de 3500 gramos por metro cuadrado de césped, cada pelo debe tener por lo menos 2 mm de grosor y 1,5 cm de largo, también se puede aumentar el peso del césped colocando encima de ella algún material con peso uniformemente distribuido aunque mayormente con el peso propio del material es suficiente para generar un buena textura.
- Es un método de arrastre es decir que se aplica pasando su superficie sobre el pavimento fresco, considerando pavimento fresco cuando aún se puede apreciar el brillo del agua sobre la superficie.
- Como se explicó en puntos anteriores este método se puede aplicar de manera longitudinal y transversal al sentido del tráfico.
- No es necesario tener experiencia en la mano de obra al aplicar este método.
- Dependiendo del peso del césped sintético la profundidad y la rugosidad de la textura pueden variar.
- Puede ser aplicado de manera manual con obreros arrastrando el material sobre el hormigón por lo largo de la losa de manera recta y uniforme o con ayuda de maquinaria o soportes metálicos que abarcan toda la dimensión de la losa, para realizar el texturizado de toda la losa con una sola pasada.

### **Recomendación de aplicación.**

#### Césped sintético longitudinal

- Este método genera una superficie rugosa pero cómoda, cumple con los parámetros requeridos de fricción y profundidad media.
- Se puede aplicar en zonas residenciales porque disminuye el ruido del rodado de vehículos sobre la superficie del pavimento
- La fricción que genera este texturizada es adecuada para vías de velocidad moderada hasta 120 (km/h)

- Fácil de aplicar y rápido en proyectos menores, no es necesario experiencia del obrero, es un método viable, no requiere equipos pesados.
- Es aplicable en proyectos que requieran un buen nivel de seguridad en la fricción y enfocado a la comodidad de los conductores

#### Césped sintético transversal

- Puede ser de aplicación manual o con equipo.
- Genera una textura rugosa que está dentro de los valores mínimos de fricción y profundidad media.
- Recomendable para vías de mediana y alta velocidad y para climas de alta precipitación, drena de manera eficiente el agua en la losa, buen contacto entre la superficie del pavimento y la superficie del neumático.
- Crea una superficie plana, cómoda de circular.
- Dependiendo del peso del césped sintético puede generar una textura más profunda y rugosa.

#### **3.14.2 Texturizado con peine metálico**

##### **Valores obtenidos en el ensayo y comparación con la norma.**

- El texturizado con peine metálico puede ser aplicado en cualquiera de las direcciones de la losa es decir longitudinalmente, siguiendo el sentido del tráfico, y transversalmente al tráfico.
- Para este documento se evaluaron las dos condiciones de la losa.
- Los valores obtenidos en el ensayo de la fricción fueron un valor máximo C.R.D. de 0,712 y un valor mínimo de 0,643 con una media de 0,682 para el sentido longitudinal y un valor máximo de 0,795, un valor mínimo de 0,714, una media de 0,734 para el sentido transversal, de acuerdo a la tabla 10 de este documento la AIRPC-01-04. T-1995 presenta valores mínimos para el buen funcionamiento del pavimento rígido, el valor recomendado en las condiciones

más desfavorables de tráfico es de 0,5 o mayor a este número por lo que todos los valores obtenidos en este ensayo cumplen con estas condiciones.

- Para el ensayo de la mancha de arena se determinó la profundidad media de la textura M.T.D. los valores obtenidos en este ensayo fueron: un valor máximo de 0,79, un valor mínimo de 0,49 y un valor medio de 0,651, de acuerdo a la tabla 12 que nos presenta la clasificación de texturas de acuerdo a la norma NLT-335/87 se encuentran en el rango de  $0,4 < \text{M.T.D.} < 0,8$  por lo que se clasifica a la profundidad de la textura media como: Textura media y se recomienda velocidades entre 80-120 (km/h).
- El ensayo de drenaje es un método empírico que mide directamente el tiempo que tarda un flujo en ser desalojado de la losa, los valores obtenidos pueden servir como base para un trabajo de comparación entre métodos, los valores obtenidos fueron una velocidad media de 0,0626 (m/s), la altura de la película de agua que se forma en la losa es de 1,055 milímetros.

#### **Procedimiento del texturizado.**

- El peine metálico es una herramienta para texturizar cada pin debe estar separado entre 10 a 75 mm, la profundidad del dibujo será de 1,5 a 3 mm.
- Es un método de corte es decir que se aplica pasando los pines sobre el pavimento fresco, considerando pavimento fresco cuando aún se puede apreciar el brillo del agua sobre la superficie.
- Como se explicó en puntos anteriores este método se puede aplicar de manera longitudinal y transversal al sentido del tráfico.
- Requiere cierta experiencia del operario al aplicar este método.
- Es un método más complicado especialmente en calcular la profundidad entre 1,5 a 3 mm que debe tener el corte.



- Puede ser aplicado de manera manual con obreros utilizando la herramienta sobre el hormigón por lo largo de la losa de manera recta y uniforme o con ayuda de maquinaria o soportes metálicos que abarcan toda la dimensión de la losa, para realizar el texturizado de toda la losa con una sola pasada.

### **Recomendación de aplicación.**

#### Peine metálico longitudinal

- Este método genera una superficie lisa con pequeños canales que sirven para la conducción de agua.
- No es recomendable utilizar el peine metálico de manera longitudinal porque pierda sus propiedades de conducción de agua.
- Este método no genera normalmente una fricción alta en el pavimento.
- Puede aplicarse otro método de texturizado para lograr alcanzar la textura necesaria.
- Ayuda a evitar el ruido en la circulación de los vehículos.

#### Peine metálico transversal

- Puede ser de aplicación manual o con equipo.
- Es un método ideal para proyectos ubicados en climas lluviosos.
- Es cómodo si se lo aplica de manera adecuada.
- Al poder ser texturizado con otro método de texturizado puede tener un aumento de la propiedad requerida en el proyecto.
- La película de agua que se genera en su superficie es mínima lo que brinda a este método seguridad.
- Crea una superficie plana, cómoda de circular.
- Es un método que requiere más tiempo y mano de obra pero es ideal para proyectos con condiciones desfavorables especialmente si se le aplica además del texturizado con peine metálico otro método de texturizado.

### 3.15. ANÁLISIS DE LOS VALORES OBTENIDOS.

Tabla N° 110 Resultados obtenidos.

Resultados obtenidos					
Pesos específicos de los agregados					
Material	P.E. suelto sin varillar (gr/cm <sup>3</sup> )	P.E. varillado (gr/cm <sup>3</sup> )	P.E. Seco (gr/cm <sup>3</sup> )	P.E. Saturado superficie seca (gr/cm <sup>3</sup> )	P.E. Aparente (gr/cm <sup>3</sup> )
Grava ¾"	1,38	1,49	2,60	2,63	2,67
Arena	1,66	1,83	2,61	2,66	2,74
Caracterización de los agregados					
Ensayo	% de caras fracturadas		Índice de alargamiento aplanamiento	Desgaste de los ángeles	
Agregado grueso	86,50%		1,85%	21,70%	
Norma	Mínimo 80%		Máximo 10%	Máximo 40%	
Dosificación					
Relación cemento-arena-grava	Ecuación resistencia (fc) edad (días)		Resistencia a los 28 días	Asentamiento	
1-2,5-3	$F_c = 0,0121 t^2 + 0,1482t + 9,59$		23,61 (mPa)	2,40 pulgadas	
Evaluación superficial					
Material de texturizado		Coefficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.)	Profundidad media de la macotextura M.T.D. (mm)	Velocidad de drenaje losa (m/s)	
Cepillo longitudinal		0,66	0,52	0,06	
Cepillo transversal		0,81		0,07	
Tela de arpillera longitudinal		0,66	0,68	0,08	
Tela de arpillera transversal		0,69		0,09	
Césped sintético longitudinal		0,63	0,56	0,06	
Césped sintético transversal		0,69		0,09	
Peinado transversal		0,68	0,65	0,06	

Fuente: Elaboración propia.

Las características superficiales obtenidas muestran valores de fricción, profundidad media y drenaje de buenas a muy buenas de acuerdo a lo establecido por norma, estos

valores se obtuvieron debido a dos puntos cruciales en el texturizado de las losas para pavimento rígido, el primer elemento esencial para obtener buenos resultados es la calidad de los materiales y la dosificación de las losas, en este proyecto se utilizaron sólo materiales provenientes del departamento de Tarija los cuales fueron evaluados y caracterizados meticulosamente mediante ensayos normados para definir sus diferentes propiedades, los agregados provenientes de la chancadora “Garzón cumplieron con todos los parámetros necesarios para su empleo en la dosificación que son: granulometrías, todas se encontraron dentro de los límites descritos por norma, este parámetro nos demuestra que los agregados tienen una buena distribución de tamaños, porcentaje de caras fracturadas, se pide un mínimo de 80% por la mejor adherencia que tiene dentro de la mezcla, al ser un producto del chancado cumple con esta propiedad, el índice de aplanamiento y alargamiento tiene como un máximo de 10% según norma, el agregado de la chancadora cumplió de manera óptima con un valor menor al 2% debido a su origen que fue un proceso de chancado, el desgaste de los ángeles es el mejor parámetro para determinar la resistencia de las partículas del agregado grueso, al igual que los otros ensayos cumplió con lo normado, esto demuestra una buena calidad de los agregados que se pueden encontrar en el departamento de Tarija, el cemento usado fue el cemento más utilizado en Tarija cemento el “Puente”, en la dosificación se tomó mucho cuidado en varios puntos para obtener un hormigón de muy buena calidad, principalmente la limpieza de los materiales, las cantidades exactas de cada material para la dosificación, una consistencia seca a la hora de dosificar de acuerdo a las recomendaciones y finalmente para el acabado final se caracterizó todos los materiales para que cumplan con lo establecido en cada método, como ser largo de pelos, peso, separación de pines entre otros, el texturizado se aplicó en el momento recomendado con el hormigón semi seco con humedad superficial, al tomar en cuenta todos estos parámetros se logró conseguir un hormigón de muy buena calidad con propiedades superficiales buenas aplicables a cualquier proyecto.

De acuerdo a los valores obtenidos en todos los ensayos que se realizaron de manera: longitudinal al texturizado, el arrastre del material de texturizado se lo realiza en el

sentido del futuro tráfico, y de manera transversal al texturizado, al arrastre del material se lo realiza de manera perpendicular al sentido del tráfico, se pudo observar que:

En sentido longitudinal al texturizado la fricción es menor que en el otro sentido, y la velocidad de drenaje también es menor, pero es una superficie más cómoda y no genera ruido de acuerdo a los valores obtenidos.

**Tabla N° 111 Aplicación de los métodos de texturizado.**

	<b>Cepillo</b>	<b>Tela de arpillera</b>	<b>Césped sintético</b>	<b>Peine metálico</b>
<b>Precipitación baja</b>		✓	✓	
<b>Precipitación media</b>			✓	
<b>Precipitación alta</b>	✓			✓
<b>Velocidad baja</b>		✓		
<b>Velocidad media</b>			✓	
<b>Velocidad alta</b>	✓		✓	✓
<b>Zona inhabitada</b>	✓			✓
<b>Zona rural</b>			✓	
<b>Zona urbana</b>		✓		

**Fuente Elaboración propia**

### **3.16. ANÁLISIS DE COSTOS**

Para una correcta toma de decisiones en la elección más adecuada de acuerdo al diseño un parámetro muy importante a considerar es la comparación de costos de los diferentes métodos de texturizado como también el tiempo estimado de su ejecución, la cantidad de obreros que será requeridos, la disponibilidad del material y su aplicación en obra.

Un análisis de costos debe estar enfocado en el precio de los materiales a utilizar como su durabilidad y su reutilización, los rendimientos de los obreros y herramientas requeridas, estos parámetros ayudaran como parámetros para estimar el costo y tiempo real que serán requeridos para el empleo de un texturizado en losas de hormigón.

Cada método como muestra diferentes características y efectos sobre el hormigón también tienen diferencia en la relación de costos especialmente a lo referido al costo de mano de obra y los materiales empleados por método como también los tiempos de ejecución del texturizado.

#### **Método de texturizado mediante cepillado.**

Este método puede generar una alta fricción y macrotextura en la superficie del pavimento rígido, para su aplicación es necesario contar con cepillos plásticos o metálicos con mangos y obreros que barran en la superficie, este método puede llegar a ser costoso debido a la constante necesidad de compra de cepillos nuevos como también por ser uno de los métodos de aplicación que necesitan más tiempo en ser aplicados lo que significa más tiempo de trabajo para obreros.

#### **Método de texturizado mediante el uso de tela arpillera**

Este método genera una textura suave superficial, la tela arpillera es un material económico que puede ser adquirido de manera fácil en cualquier medio, los métodos de arrastre no requieren mucho tiempo de ejecución ni experiencia de los obreros, como la tela arpillera es una tela económica no es durable lo que dificulta su reutilización después de varias pasadas por lo que es necesario comprar mayor cantidad.

#### **Método de texturizado mediante el uso de Césped sintético.**

Este método genera una textura media adecuada, el césped sintético como material de texturizado es un material caro pero tiene la gran ventaja de ser un material reutilizable, como todos los métodos de texturizado por arrastre no requieren mucha mano de obra y son métodos de aplicación rápida.

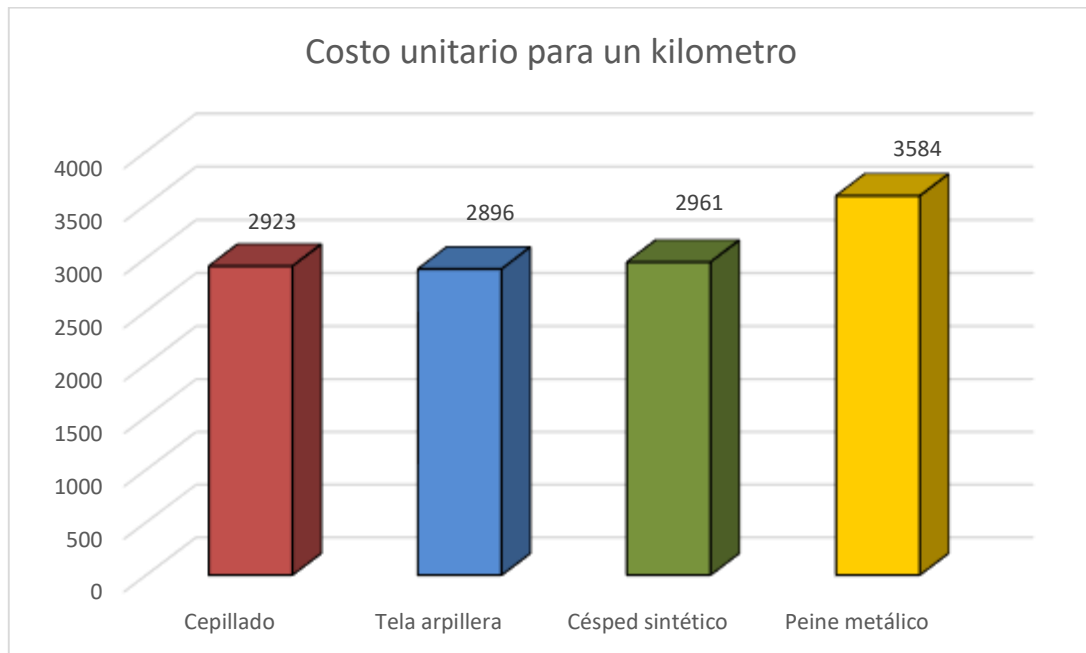
#### **Método de texturizado mediante el uso de peine metálico.**

Este método genera una buena fricción y macrotextura, mejora el drenaje, es un método más difícil de emplear es necesario personal capacitado y con experiencia en la

aplicación de textura, es necesaria más mano de obra y tiempo en relación a los otros métodos.

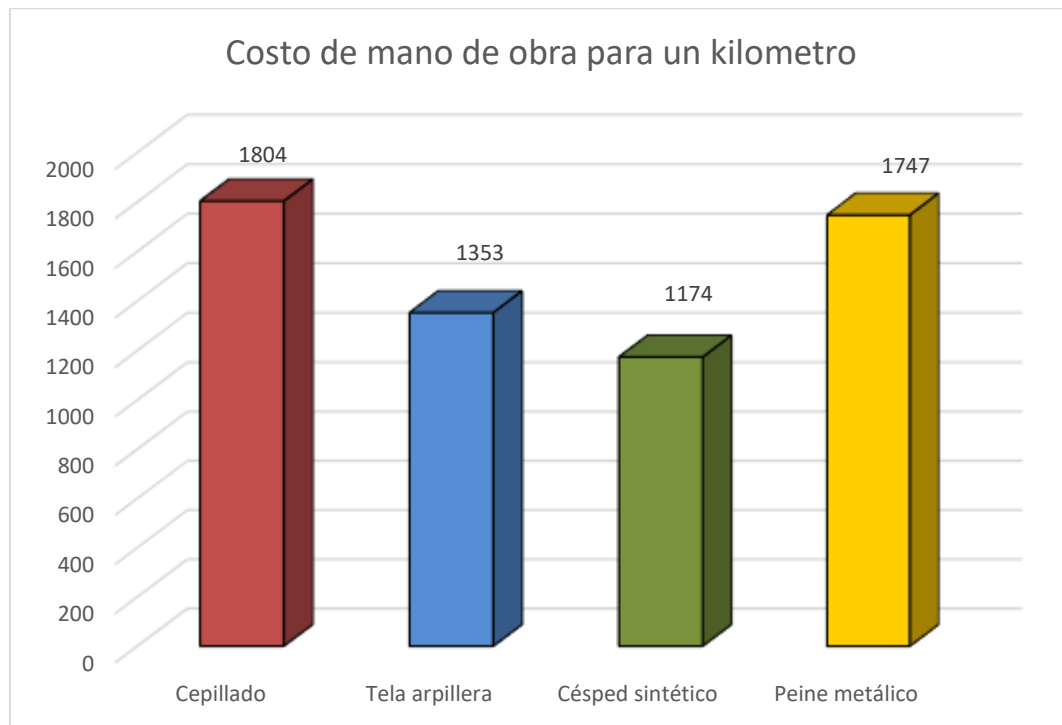
Con los valores obtenidos de los precios unitarios por km de los distintos métodos podemos analizar y comparar los precios de los diferentes métodos.

**Figura N° 93 Comparación de costos métodos de texturizado.**



**Fuente elaboración propia.**

Un factor a tomar en cuenta es la mano de obra dependiendo de la ubicación del proyecto los precios y tiempos de ejecución pueden aumentar por lo que se deber considerar métodos de texturizado que sean de aplicación más rápida y sencilla.

**Figura N° 94 Comparación de costos mano de obra.****Elaboración propia.**

Los precios de mano de obra están sujetos a variación dependiendo de cargas sociales, transporte y clima por lo que se debe considerar los precios como referenciales a condiciones de trabajo óptimas.

## CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1. CONCLUSIONES.

- El trabajo de investigación cumplió con todos los objetivos planteados.
- Se pudo aplicar los conocimientos investigados sobre las nuevas metodologías de texturizado utilizados de manera internacional.
- Los agregados utilizados son una parte fundamental en la textura final que tendrá un hormigón, todos los agregados fueron caracterizados mediante ensayos normados de acuerdo al manual de carreteras y los valores obtenidos fueron comparados con los parámetros internacionales, todos los valores obtenidos demostraron una excelente calidad de agregados de acuerdo a norma.

**Tabla N°112 Resultados obtenidos en la caracterización de agregados.**

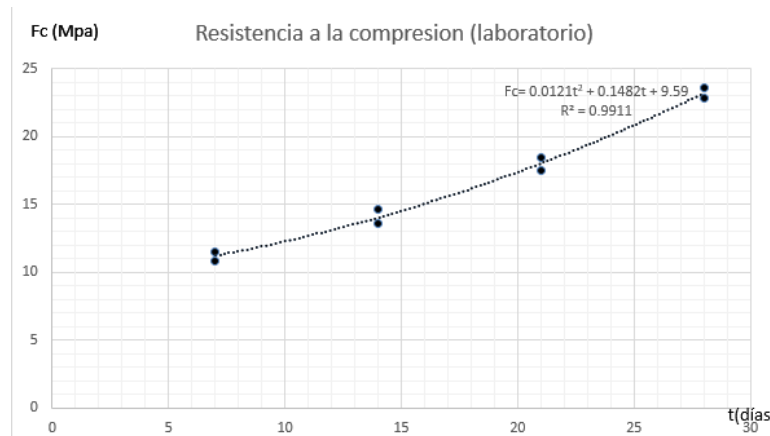
<b>Resultados obtenidos</b>					
<b>Pesos específicos de los agregados</b>					
<b>Material</b>	<b>P.E. suelto sin varillar (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P.E. varillado (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P.E. Seco (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P.E. Saturado superficie seca (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>P.E. Aparente (gr/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Grava ¾"</b>	1,38	1,49	2,60	2,63	2,67
<b>Arena</b>	1,66	1,83	2,61	2,66	2,74
<b>Caracterización de los agregados</b>					
<b>Ensayo</b>	<b>% de caras fracturadas</b>		<b>Índice de alargamiento aplanamiento</b>	<b>Desgaste de los ángeles</b>	
<b>Agregado grueso</b>	86,50%		1,85%	21,70%	
<b>Norma</b>	Mínimo 80%		Máximo 10%	Máximo 40%	

**Fuente: Elaboración propia.**

- Tanto las losas como las probetas fueron dosificadas tomando en cuenta los requerimientos normados para un hormigón que será utilizado como pavimento rígido, se obtuvo una buena resistencia a los 28 días de 23,61 (mPa), este valor se obtuvo gracias a la limpieza de los agregados, una consistencia seca en el momento de la mezcla y un buen curado del hormigón.



**Figura N° 95 Incremento de la resistencia a compresión del hormigón con el tiempo.**



**Fuente: Elaboración propia.**

- Se pudo aplicar con éxito diferentes métodos de texturizado a losas de hormigón dosificadas en laboratorio, se caracterizaron todos los materiales de texturizado para que estén dentro de lo recomendado en la teoría, se siguieron todos los pasos de manera metódica de acuerdo a las recomendaciones constructivas.
- El texturizado generado por todos los métodos fue uniforme, generó una superficie plana y recta, todas las losas fueron texturizadas mediante el arrastre del material de texturizado de manera rápida y de una sola pasada, el texturizado con estos métodos es fácil y no requiere ninguna experiencia.
- Se pudo realizar una evaluación de las propiedades superficiales generadas para cada tipo de texturizado, la fricción, profundidad media del texturizado y la velocidad de drenaje, cada losa presentó propiedades y valores diferentes de estos parámetros, todas las losas cumplieron con los valores mínimos para cada propiedad establecidos en normas.

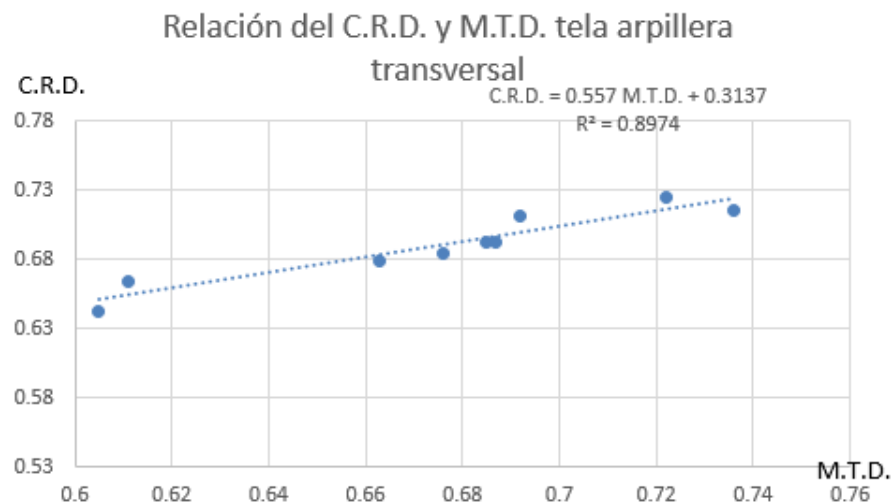
Tabla N° 113 Resultados de evaluaciones superficiales.

Evaluación superficial			
Material de texturizado	Coefficiente de resistencia al deslizamiento (C.R.D.)	Profundidad media de la macotextura M.T.D. (mm)	Velocidad de drenaje losa (m/s)
Cepillo longitudinal	0,66	0,52	0,06
Cepillo transversal	0,81		0,07
Tela de arpillera longitudinal	0,66	0,68	0,08
Tela de arpillera transversal	0,69		0,09
Césped sintético longitudinal	0,63	0,56	0,06
Césped sintético transversal	0,69		0,09
Peinado transversal	0,68	0,65	0,06

Fuente: Elaboración propia.

- Con los valores obtenidos en estos ensayos se pudo demostrar una relación entre la fricción C.R.D. y la profundidad media de la textura M.T.D. en todos los casos se demostró que al aumentar la profundidad del texturizado en las losas también aumentará los niveles de fricción de la misma así como la velocidad de drenaje y se reducirá la altura de la película de agua generada sobre la losa.

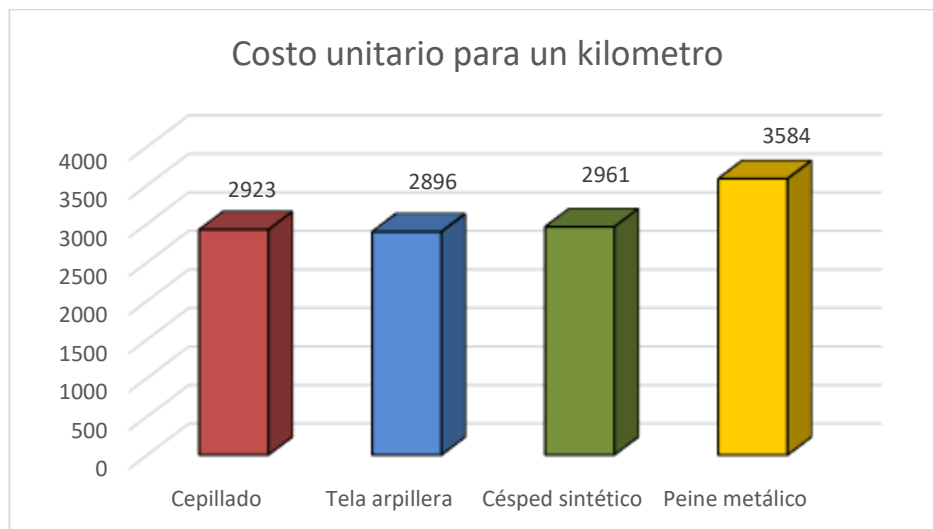
Figura N° 96 Relación entre microtextura y macrotextura.



Fuente: Elaboración propia.

- Los valores de precios unitarios muestran de forma clara la relación que existe entre los precios de los métodos de texturizado, la mano de obra y el costo de los materiales empleados por kilómetro y por metro cuadrado.

**Figura N° 97 Costo unitario de los métodos de texturizado por kilómetro.**



**Fuente: Elaboración propia. Césped sintético**

- Con todos los valores obtenidos se realizó una tabla de aplicación para cada método con respaldo científico basado en ensayos prácticos de laboratorio.

**Tabla N° 114 Aplicación de los métodos de texturizado de acuerdo a las condiciones del proyecto.**

	Cepillo	Tela de arpillera	Césped sintético	Peine metálico
<b>Precipitación baja</b>		✓	✓	
<b>Precipitación media</b>			✓	
<b>Precipitación alta</b>	✓			✓
<b>Velocidad baja</b>		✓		
<b>Velocidad media</b>			✓	
<b>Velocidad alta</b>	✓		✓	✓
<b>Zona inhabitada</b>	✓			✓

<b>Zona rural</b>			✓	
<b>Zona urbana</b>		✓		

**Fuente: Elaboración propia.**

- Cada método de texturizado fue analizado a profundidad, se obtuvieron valores reales y se realizó una comparación entre métodos.
- Conociendo todas las propiedades superficiales para cada tipo de losa texturizada, se pudo corroborar las recomendaciones técnicas investigadas en la aplicación de cada método de texturizado.

#### **4.2. RECOMENDACIONES**

- Todos los ensayos deben realizarse con materiales similares, provenientes del mismo banco de agregados, la misma marca de cemento, marcas de materiales, etc.
- Antes de dosificar las losas tipo es necesario realizar una caracterización de los componentes a detalles y compararlos con las condiciones mínimas de calidad de la norma Boliviana.
- Una buena dosificación con materiales limpios, y con características normadas es vital para conseguir una buena textura en el hormigón.
- El texturizado de las losas se debe hacer de una sola pasada para tener un texturizado próximo al obtenido en campo.
- Es necesario obtener una base de datos amplia en los ensayos de fricción para poder tener un resultado más próximo al real.
- Para poder analizar de mejor manera los datos obtenidos de los ensayos a las losas, todas las losas deben tener la misma dosificación, variando solamente el método de texturizado.
- El texturizado se debe realizar de modo homogéneo sobre toda la superficie de la losa.