

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Con el pasar del tiempo crece la importancia de las vías, la invención de nuevos y más cómodos sistemas de transporte conllevan a mejorar cada vez más las vías de comunicación terrestre sobre todo para la seguridad vial y el confort del usuario.

Desde hace varios años se ha venido utilizando el cepillado como parte de las técnicas para recuperar y mejorar la condición funcional de los pavimentos de hormigón. Por tal razón, aprovechando que es un procedimiento conocido y aceptado en el medio local, se comenzó a explorar que otras posibilidades y beneficios podían alcanzarse producto de implementar mediante el uso de esta tecnología nuevas y diferentes configuraciones de textura superficial de los pavimentos.

Para lograr este cometido se debe realizar una serie de pruebas y experiencias en pavimentos de hormigón en diferentes contextos, tendientes a evaluar e identificar los beneficios que generaría en dichos pavimentos implementar diferentes tipos de texturas superficiales, alcanzadas mediante trabajos de cepillado y ranurado aplicado de diferentes maneras bajo criterios técnicos.

El procedimiento del cepillado fue introducido en Chile alrededor del año 1994, siendo el país precursor en la implementación de esta tecnología en Latinoamérica. Desde entonces el campo principal de aplicación de esta técnica ha sido parte en los trabajos de mantenimiento que se realizan en pavimentos de hormigón que no cumplen con ciertos estándares exigidos, por escalonamiento e IRI, y encuentran en este procedimiento la respuesta más adecuada para enfrentar y solucionar este tipo de incumplimientos.

El presente trabajo básicamente describe el desarrollo y los resultados observados en lo que se refiere a rugosidad, fricción al implementar diferentes configuraciones de textura superficial. Asimismo, se presentan las evaluaciones y análisis de los resultados

de las mediciones llevadas a cabo antes y después de la aplicación de las distintas configuraciones.

El aporte del trabajo de investigación que se presenta radica en la posibilidad de identificar y dimensionar los beneficios que genera el proporcionar determinadas texturas a la superficie de pavimentos de hormigón que se encuentren en servicio, en los cuales como propósito se pretende mejorar la oferta de fricción, reducir el nivel de ruido que genera el pavimento por interacción con los neumáticos y obviamente mejorar el valor de IRI del pavimento.

1.2. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años la construcción de carreteras en todos los países y también en el nuestro han adquirido mucha importancia, la ejecución de nuevos y más tramos viales que han dado lugar a nuevas experiencias en la construcción de pavimentos de hormigón cuyo comportamiento a través de su vida útil requiere ser evaluada, para ello es necesario implementar nuevas y diferentes técnicas de texturizar la capa de rodamiento del pavimento, ya que el aspecto superficial es muy importante como el estructural, y así obtener resultados convenientes para una mejor evaluación, planificación y gestión de carreteras.

La importancia de proponer distintas configuraciones “ranurado”, a la textura superficial de pavimentos de hormigón, ya sean de manera transversal o longitudinal utilizando diferentes técnicas de aplicación, nos permitirá realizar una evaluación del comportamiento y la influencia de sus propiedades y características del mismo, para que sea lo más favorable y aplicable al medio local para mejorar condiciones de seguridad vial tales como el deslizamiento, pérdida de control del vehículo, salpicaduras y exceso de ruido cuando la superficie presenta películas de agua considerables y dar un mayor confort al usuario.

Los aspectos positivos que puedan obtenerse de este estudio de investigación, se espera que sea un aporte importante para las entidades encargadas de la planificación en las acciones viales de manera que, sea un indicador importante que permita priorizar estos

aspectos positivos en la parte superficial de los pavimentos rígidos, en algunos tramos de la ciudad con la realización de las acciones ingenieriles en pos de mejorar sus condiciones, con la reducción de la fricción y sonido en la interacción neumático-pavimento.

Significará un aporte académico importante porque permite profundizar con respecto a los conocimientos dados en las materias de la carrera de ingeniería civil lo que hace que se convierta en un documento de consulta.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

El pavimento rígido en Bolivia es bastante aplicado en obras viales, como también se implementó poco a poco en las vías urbanas de la ciudad de Tarija. Dado que la implementación de nuevas texturas a las losas de rodamiento es relativamente nueva, es ahí que surge el problema de evaluar nuevas opciones de configuración superficial a las losas de hormigón que sean más adecuadas a nuestro medio en la relación neumático-pavimento que proporcione un mayor confort a los usuarios de transporte terrestre, mejorando la seguridad vial con la reducción de la fricción e hidropneumático cuando se va a mayores velocidades para evitar deslizamientos superficiales y pérdida de control del vehículo.

Es necesario realizar la caracterización y dosificación de los agregados para la mezcla homogénea del concreto, ya que tiene una influencia directa sobre la composición de la estructura de vías en este caso de alta velocidad, por la importancia de sus propiedades mecánicas de resistencia mejora el desempeño del módulo resiliente ante la deformación por la acción de cargas para después realizar la evaluación de las losas de hormigón con texturizado diferente.

Se pretende reducir con la evaluación del efecto de la granulometría y de nuevas experiencias de diferentes configuraciones en la textura superficial de los pavimentos de hormigón, la fricción entre una losa de rodado y el neumático del vehículo que está condicionado por las siguientes características del pavimento (tipo, composición y

adherencia), la densidad del tránsito, condiciones del lugar, contaminación en la superficie (aceite, polvo, goma, etc.), grado de humedad en la superficie ya que según varíe el espesor de la película de agua en la calzada puede causar la pérdida de control del vehículo que se conoce como hidropneumático y temperatura.

En este estudio de investigación se resumen las diferentes técnicas de texturizado disponibles en la actualidad para la construcción de pavimentos rígidos, incorporándose además antecedentes de aplicación a nivel local, incluyéndose un análisis crítico de cada una de estas prácticas, evaluando sus aspectos constructivos, económicos y de desempeño.

1.3.2. Problema

¿Será que con la evaluación en laboratorio de las propiedades friccionantes y las características de textura sobre las diferentes configuraciones superficiales de las losas en estudio, pueda determinar el texturizado más adecuado y recomendado internacionalmente para nuestra región?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo General

Evaluar las propiedades friccionantes y las características de textura, de los pavimentos de hormigón con diferentes configuraciones en su textura superficial mediante ensayos en laboratorio, para así determinar el índice de fricción internacional IFI y su influencia en la interacción neumático-pavimento.

1.4.2. Objetivos específicos

- Establecer un conocimiento básico de la investigación, por medio de bibliografía referente al tema.
- Realizar la caracterización y dosificación de los agregados y el material ligante para la composición de las losas de hormigón.

- Construir losas en concreto con dimensión, resistencia y dosificación adecuada que nos sirva como muestra representativa en todo el proceso de la investigación.
- Bajo criterios técnicos de ranuración y cepillado, determinar diferentes configuraciones superficiales en el texturizado de las losas de hormigón, ya sean de manera transversal y/o longitudinal, que sean lo más favorables en la interacción neumático - pavimento.
- Realizar el ensayo del péndulo para así evaluar las propiedades superficiales mediante valores de coeficientes de resistencia al deslizamiento de las losas de concreto con diferente texturizado ya predeterminado.
- Realizar los ensayos con el círculo de arena para determinar la condición de la textura de los pavimentos en estudio.
- Realizar teoría de errores de los datos obtenidos en laboratorio con el péndulo británico y el ensayo de círculo de arena, para así desprestigiar los datos que no sean confiables estadísticamente.
- Determinar el índice de fricción internacional IFI de las losas de hormigón, a base de los parámetros medidos anteriormente, (microtextura y macrotextura).
- Establecer conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados obtenidos en el estudio de investigación.

1.5. HIPÓTESIS

Si evaluamos las propiedades friccionantes y las características de textura, de los pavimentos de hormigón con diferente configuración superficial mediante ensayos de laboratorio, entonces podemos establecer el texturizado con el índice de fricción internacional IFI más adecuado y recomendable para el medio local según experiencias internacionales.

1.6. VARIABLES

1.6.1. Variables dependientes (Y)

V1= Microtextura.

V2= Macrotextura.

V3= IFI

Tabla 1. Operacionalidad de variables dependientes.

Variables f(y)	Prueba	Muestra	Indicador	Unidad
Microtextura	Péndulo Británico de resistencia al deslizamiento	Cinco losas de hormigón	AASHTO M-261-96 (2004)	adm
Macrotextura	Circulo de arena	Cinco losas de hormigón	AASHTO M-335/87	(mm – plg)
IFI	Determinación de parámetros F60 y Sp	Cinco losas de hormigón	Modelo PIARC	(adm, km/h)

Fuente. Elaboración propia.

1.6.2. Variables independientes (X)

V1= Caracterización.

V2= Dosificación.

V3= Texturizado.

Tabla 2. Operacionalidad de variables independientes.

Variables f(x)	Prueba	Muestra	Indicador	Unidad
-----------------------	---------------	----------------	------------------	---------------

Caracterización de los agregados	Granulometría	Muestreo de agregados	ASTM C - 33	%
	Peso específico	Muestreo de agregados	AASTHO T - 100	gr/cm ³
	Peso unitario	Muestreo de agregados	AASTHO T - 19	gr/cm ³
	Desgaste mediante la máquina de los Ángeles	Muestreo de agregados pétreos	AASTHO T - 96	%
	Ensayo de caras fracturadas	Muestreo de agregados pétreos	NB 064	%
	Ensayo de laminaridad	Muestreo de agregados pétreos	NB 064	%
	Durabilidad método sulfato de sodio	Muestreo de agregados	AASTHO T - 104	%
	Límites de Atterberg	Muestreo de agregado fino	AASHTO T - 89	%
Caracterización del cemento	Finura del cemento	50 gramos de cemento	ASTM C - 430	%
	Peso específico	64 gramos de cemento	NB 064	gr/cm ³

Dosificación	Resistencia a compresión simple	Carpeta de hormigón. 9 probetas.	ACI - 211	Kg/cm ²
Texturizado	Cepillado longitudinal cerdas plásticas	Losa de hormigón	Recomendaciones internacionales	S/u
	Cepillado transversal cerdas plásticas	Losa de hormigón	Recomendaciones internacionales	S/u
	Cepillado ondular longitudinal cerdas metálicas	Losa de hormigón	Recomendaciones internacionales	S/u
	Cepillado ondular transversal cerdas metálicas	Losa de hormigón	Recomendaciones internacionales	S/u
	Liso sin cepillado	Losa de hormigón	Recomendaciones internacionales	S/u

Fuente. Elaboración propia.

1.7. DISEÑO METODOLÓGICO

1.7.1. Componentes

Unidades de estudio.-

Para el estudio de la textura superficial de los pavimentos de hormigón se tomara en cuenta como unidad de investigación los siguientes parámetros: Las propiedades friccionantes, (Microtextura), las características de textura, (Macrotextura) y el Índice de Fricción Internacional (IFI).

Población.-

Carpeta superficial de los pavimentos de hormigón.

Muestra.-

Cinco losas de hormigón con dimensiones determinadas, con textura superficial diferente.

Muestreo.-

El objetivo del muestreo es realizar una muestra adecuada y representativa para poder utilizarla la misma en todos los ensayos de la investigación.

1.7.2. Métodos y técnicas empleadas

Definición, selección y elaboración de los métodos y técnicas en función del objetivo.-

El método es la caracterización, dosificación y evaluación de las diferentes configuraciones de la textura superficial de las losas de hormigón mediante un ensayo tipo péndulo que evalúa las propiedades friccionantes de una superficie donde mediante el efecto por rozamiento entre un péndulo y la superficie mojada de una losa de hormigón se puede determinar valores de, C.R.D (coeficiente de resistencia al deslizamiento), los cuales indican valores altos o bajos de fricción de una superficie y por ultimo por medio del ensayo del circulo de arena se determina la profundidad media de textura, (P.T), que condiciona las características de textura de las diferentes configuraciones o ranuraciones.

Técnicas de muestreo.-

Las técnicas no probabilísticas empleadas en esta investigación es el de configurar (ranurar), la textura superficial de las losas de concreto con técnicas fundamentadas a criterio del investigador con elementos manuales fáciles de encontrar en el medio local.

- Recopilación, inspección visual y procesamiento de información obtenida.

Descripción de los instrumentos para la obtención de datos.-

Para la extracción de muestras del agregado se utilizaran los siguientes instrumentos:

- Picota o azadón
- Pala
- Bolsa azucarera

Para los ensayos de laboratorio se utilizaran los siguientes instrumentos:

- Juego de tamices para la granulometría.
- Materiales según el objeto a ensayar.
- Moldes de madera para las losas de hormigón.
- Cepillos con cerdas plásticas y metálicas para la ranuración del hormigón en fresco.
- Cámara fotográfica.
- Péndulo para el ensayo de la determinación de coeficientes de resistencia al deslizamiento.
- Probetas y demás para el círculo de arena.

Proceso de aplicación.-

Para la extracción del agregado, se utilizaran técnicas de muestreo no probabilísticas, ya que estas se recogerán en un proceso en el que están condicionadas por la facilidad de extracción de muestras el estudio de investigación seguirá principalmente los siguientes pasos:

- Elección de los bancos para el agregado.

- Recolección de muestras.
- Caracterización y dosificación de los agregados y el material ligante y evaluación de las losas de concreto con diferentes configuraciones del texturizado superficial.
- Obtención de valores de fricción, C.R.D (coeficiente de resistencia al deslizamiento), mediante el ensayo del péndulo.
- Obtención de la profundidad media de textura, (P.T).
- Análisis de los resultados obtenidos y planteamiento de acciones correctivas.
- Establecer conclusiones y recomendaciones.

Preparación previa para la aplicación de los instrumentos.-

Se obtendrá permisos para la utilización de los equipos de laboratorio requeridos al encargado de laboratorio.

1.7.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

1.7.3.1. Manejo estadístico

En la presente investigación se maneja el método estadístico no probabilístico, sacando valores promedios de los ensayos a realizarse en laboratorio con los equipos mencionados. Cabe mencionar que solo se saca el valor promedio de los ensayos debido a que se mide de manera directa la resistencia al deslizamiento y el espesor de la textura del pavimento, no aplicando así otros parámetros de la estadística como la desviación, moda, etc.

La media se obtiene como el promedio aritmético de todos los datos de la muestra; así para x_1, x_2, x_3, x_n , de tamaño “N” obtenida para una población, la media se determina por:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{N}$$

Dónde:

X = Expresión estadística de la media.

X_i = Datos de la muestra.

N = Tamaño total de la muestra.

Esta media, se interpreta como el valor típico y central de los datos. Si es suficiente representar con un solo número, la media resulta la mejor descripción de los valores observados.

Para sacar la media de los valores de resistencia al deslizamiento con el péndulo Británico, pueden sumarse todos y dividirlo entre el número de lecturas; o bien, eliminar el término más alto y el más bajo, y con las lecturas restantes obtener la media. Esta última operación es más recomendable para evitar que algún valor que se sale de rango afecte significativamente los resultados.

En los valores obtenidos de la macrotextura con el círculo de arena, puede tomarse el mismo criterio. Más si los valores presentan poca dispersión, puede tomarse el promedio de todos los datos.

Luego se procederá a realizar la teoría de errores para así dar confiabilidad estadística a los datos obtenidos en laboratorio.

Se recomienda que sea una sola persona la que realice los ensayos y se entrene previamente para que logre una similitud en resultados, siguiendo adecuadamente los procedimientos indicados en los manuales de los equipos.

Tratamiento de los datos.-

Con los datos obtenidos de los ensayos de péndulo y círculo de arena, se procederá a la evaluación de resultados de las diferentes configuraciones realizadas para determinar cómo influye en su comportamiento y características cuando se configura de manera diferente su capa superficial y se emplea diferentes agregados en su conformación.

1.8. ALCANCE

El presente trabajo va enfocado a determinar cómo puede influir en las propiedades y características de un pavimento de hormigón, cuando se modifica o configura su textura

superficial utilizando diferentes ranurados y cepillado bajo criterios técnicos, de tal manera se logre proponer más opciones que la manera tradicional en nuestro medio , indicando de manera teórica los ensayos que se utilizaran, en qué condiciones de losas, y el modelo estadístico para la depuración de datos a usar para así al final realizar en laboratorio los ensayos tanto del péndulo británico y como el círculo de arena y procesar los datos en gabinete.

El alcance de proyecto de grado tendrá los siguientes componentes.-

El marco teórico sobre los aspectos relacionados con los componentes, principios, características y condiciones de comportamiento de los pavimentos rígidos.

Descripción de la metodología para el desarrollo experimental, para lograr las diferentes configuraciones o ranuraciones superficiales de las losas de concreto bajo criterios técnicos del investigador.

Caracterización del agregado grueso, fino, y del material ligante (cemento), para conseguir una dosificación de la mezcla que sea homogénea para alcanzar valores admisibles en la rotura de probetas, luego realizar una evaluación de la microtextura por medio del ensayo del Péndulo Británico de resistencia al deslizamiento (Propiedades friccionantes), y evaluación de la macrotextura por medio del ensayo del círculo de arena (Condición de Textura).

Para la evaluación de la microtextura por medio del ensayo del Péndulo Británico se procede a la lectura de los valores, (C.R.D) que por sus iniciales significan, (Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento), son valores adimensionales que varían entre (0.50 – 0.91), según consideraciones internacionales para la aplicación del índice de fricción internacional IFI en carreteras de México.

Para la evaluación de la macrotextura por medio del ensayo del Círculo de Arena se determina valores de, (P.T) que es, (Profundidad de Textura), valores expresados en milímetros o pulgadas pueden variar entre (0.20 – 1.20), según recomendaciones de la “normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos”.

Con la obtención de los parámetros de micro y macrotextura de las diferentes losas se procede al cálculo del índice de fricción internacional IFI para su posterior evaluación de fricción en la superficie del pavimento.

Todo el procedimiento de los ensayos nombrados más imágenes descriptivas se encuentra remarcado en el capítulo II, del estudio de investigación.

Finalmente se establecerán las conclusiones del estudio de investigación, en función a los resultados obtenidos, si cumplimos con los objetivos y la hipótesis planteada en el capítulo I, estableciendo con que configuración es la más apta para la adherencia neumático-pavimento, en nuestro medio local y señalar las recomendaciones que indiquen la obtención con mayor aptitud del texturizado de acuerdo a la experiencia que tengamos en la presente investigación.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DE PAVIMENTOS RIGÍDOS

2.1. DEFINICIÓN DE PAVIMENTO

Pavimento es toda estructura que descansa sobre el terreno de fundación o subrasante, formada por las diferentes capas de sub-base, base y carpeta de rodadura.

Tiene el objetivo de distribuir las cargas del tránsito sobre el suelo, proporcionando una superficie de rodadura suave para los sistemas de transporte terrestre, y proteger al suelo de los efectos adversos del clima, los cuales afectan su resistencia al soporte estable del mismo.

El objetivo mínimo del diseño de un pavimento es el de calcular un mínimo espesor necesario de cada una de las capas para que cumplan con las exigencias anteriores, teniendo en cuenta los valores económicos de las mismas para lograr la solución técnico-económica más conveniente.

El pavimento soporta y distribuye la carga en una presión unitaria lo suficientemente disminuida para estar dentro de la capacidad del suelo que constituye la capa de apoyo, reduciendo la tendencia a la formación de fallas.

Los pavimentos se definen como:

- Del latín PAVIMENTUM, el pavimento es la capa o base que constituye el suelo de una construcción o de una superficie no natural.
- Revestimiento de cualquier material que va sobre el piso que no permite la formación de polvo o lodo.
- Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.

Figura 1. Ejecución de pavimentos de hormigón.



Fuente. Ingeniería de pavimentos.

Figura 2. Proceso de aplicación con terminadora de asfaltos.



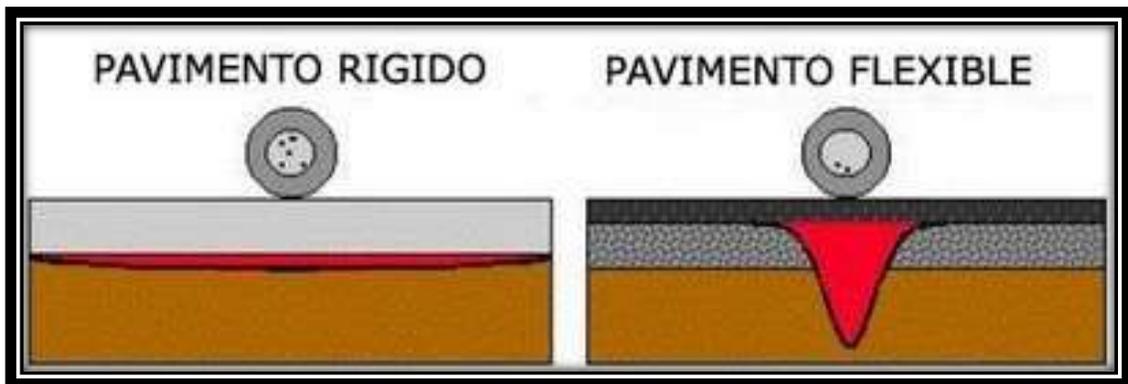
Fuente. Ingeniería de pavimentos.

2.2. PAVIMENTO RÍGIDO

Se denominan así los pavimentos constituidos por losas de hormigón hidráulico, armadas o no, que reposan generalmente sobre una base adecuadamente preparada y, a veces, sobre el propio terreno de la explanada. A causa de su rigidez distribuyen las cargas transmitidas por el tráfico sobre un área relativamente amplia de la base o de la explanada.

En el pavimento rígido, el hormigón absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, mientras que en el pavimento flexible este esfuerzo es transmitido hacia las capas inferiores.

Figura 3. Absorción de esfuerzos que se ejercen sobre los pavimentos.



Fuente. Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco.

Se compone de losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años, el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa comúnmente en las juntas de las losas.

Los Pavimento rígido tienen una capa de hormigón que asegura la fundación resistente para su mayor rigidez, Los factores que afectan el espesor de un pavimento rígido, son principalmente el nivel de carga que ha de soportar, es decir, el tipo y cantidad de vehículos que pasaron sobre él, el módulo de reacción del suelo de apoyo y las propiedades mecánicas del concreto. Por lo general el pavimento consta de dos capas que son la base que muchas veces puede ser la sub-base y la losa o superficie de rodadura de concreto hidráulico.

Figura 4. Corte esquemático con cada una de las partes de un pavimento rígido.



Fuente. Ingeniería de carreteras volumen I, Víctor Sánchez Blanco.

Como se ve en la figura 3 el pavimento rígido debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad tiende a distinguir las cargas sobre una zona relativamente amplia del suelo, por lo cual una gran parte de la capacidad estructural es proporcionada por la misma losa.

Las ventajas de un pavimento rígido radican en:

- Velocidad en su construcción.
- Mayor vida útil con alto índice de servicio
- Mantenimiento mínimo
- No se deforma ni deteriora con el tiempo
- Requiere menor estructura de soporte

2.3. COMPONENTES ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS

Los pavimentos están conformados por capas de resistencia decreciente con la profundidad.

Generalmente se componen de: carpeta de rodamiento que puede ser de asfalto o de hormigón como es el caso del tema; base y sub-base apoyado todo este conjunto sobre la subrasante. En algunos casos pueden faltar algunas de estas capas.

La función de cada una de las capas es doble:

Distribuir las tensiones provenientes de la parte superior reduciéndolas hasta valores admisibles para las capas inferiores y ser suficientemente resistentes por si mismas para soportar, sin deformaciones permanentes las cargas a las cuales están sujetas.

2.4. ELEMENTOS DE UN PAVIMENTO DE HORMIGÓN

2.4.1. Subrasante

Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Su función es servir de soporte para el pavimento después de ser estabilizada, homogenizada y compactada. Dependiendo de sus características puede soportar directamente la capa de rodadura de un pavimento rígido.

Requisitos para el material de sub-rasante:

- Valor soporte. El material debe tener un C.B.R, AASTHO T 193, mínimo del 5 %, efectuado sobre muestras saturadas a 95 % de compactación, AASTHO T 180, y deberá tener una expansión máxima del 5%.
- Graduación. El tamaño de las partículas que contenga el material de sub-rasante, no debe exceder de 7.5 centímetros.
- Plasticidad. El límite líquido, AASTHO T 89, no debe ser mayor del 50 %, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASTHO T 146. Cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente.

Como consecuencia de su rigidez, el pavimento de hormigón tiene considerable resistencia de flexión denominada de viga y alta capacidad para distribuir las cargas.

Las presiones sobre el suelo o material debajo del pavimento, son muy pequeñas por la distribución de las cargas sobre una amplia superficie. Se deduce en consecuencia que los pavimentos de hormigón no requieren subrasantes resistentes.

2.4.2. Capa sub-base

Es la capa de la estructura del pavimento, destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito proveniente de las capas superiores del pavimento, de tal manera que el suelo de sub-rasante las pueda soportar.

Normalmente es muy necesaria y casi siempre las condiciones de la sub-rasante la exigen, sus funciones son:

- Eliminar la acción de bombeo.
- Aumentar el valor soporte y proporcionar una resistencia más uniforme a los de concreto.
- Hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la sub-rasante.

La sub-base puede tener un espesor compactado variable por tramos, de acuerdo con las condiciones y características de los suelos existentes en la sub-rasante, pero en ningún caso dicho espesor debe ser menor de 100 milímetros ni mayor de 700 milímetros.

La capa de sub-base común, debe estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que llene los siguientes requisitos:

Valor soporte.-

El material debe tener un C.B.R, AASTHO T 193, mínimo de 30 %, efectuado sobre muestras saturadas a 95 % de compactación, AASTHO T 180.

Piedras grandes y exceso de finos.-

El tamaño de las piedras que contenga el material de sub-base, no debe exceder de 70 milímetros ni exceder de 1/2 espesor de la capa. El material de sub-base no debe tener más del 50 % en peso, de partículas que pasen el tamiz #40 (0.425 mm), ni más del 25 % en peso, de partículas que pasen el tamiz #200 (0.075 mm).

Plasticidad y cohesión.-

El material de sub-base debe tener las características siguientes:

- **Equivalente de arena.-** No debe ser menor de 25 %, determinado por el método AASTHO T 176.
- **Plasticidad.-** La porción que pasa el tamiz #40 (0.425 mm), no debe de tener un índice de plasticidad AASTHO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASTHO T 89, mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASTHO T 146, cuando las disposiciones especiales lo indiquen expresamente, el índice de plasticidad puede ser más alto, pero en ningún caso mayor de 8.

Impurezas.-

El material de sub-base debe estar exento de materias vegetales, basuras, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa sub-base puedan causar fallas en el pavimento.

La sub-base proporciona una plataforma estable para la construcción de las losas de concreto, mejora las condiciones de drenaje de la estructura de pavimento y en climas fríos protege a la subrasante de las heladas. Algunos tipos de sub-bases estabilizadas incluso reducen significativamente los esfuerzos y deformaciones en las losas y mejoran la transferencia de cargas a través de las juntas y fisuras.

2.4.3. Capa de rodadura

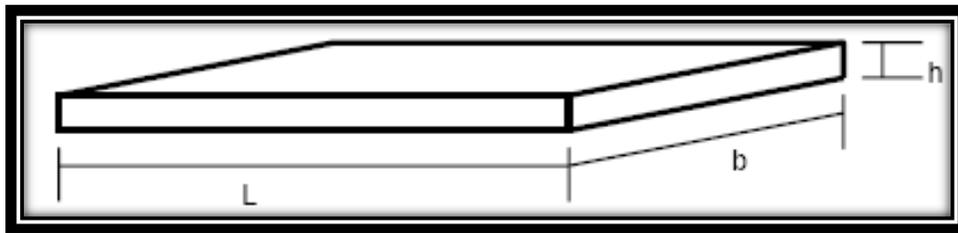
La capa de rodadura del pavimento rígido se elabora de concreto, material conformado por una mezcla homogénea de cemento, agregados, agua y en algunos casos aditivos. En la etapa más temprana de elaboración, el concreto presenta una apariencia líquida que permite el manejo, transporte, colocación y terminado del material. Después de algunos minutos el concreto empieza a endurecer, es decir adquiere características de resistencia a la compresión y en menor grado, de resistencia a la tensión. A la resistencia a la compresión se le conoce comúnmente con el símbolo de “ f_c ” y a la resistencia a flexión se le conoce como módulo e rotura o MR.

Bajo las cargas de tránsito, las losas de concreto están sometidas tanto a esfuerzos de tensión como de compresión. La relación esfuerzo-resistencia controla el desempeño del material y el número de cargas de tránsito que se podrán aplicar durante su periodo de diseño. Debido a que la resistencia a tensión del concreto es muy baja, esta se convierte en el punto crítico para el análisis de esfuerzos.

La capa de rodadura debe tener las siguientes funciones

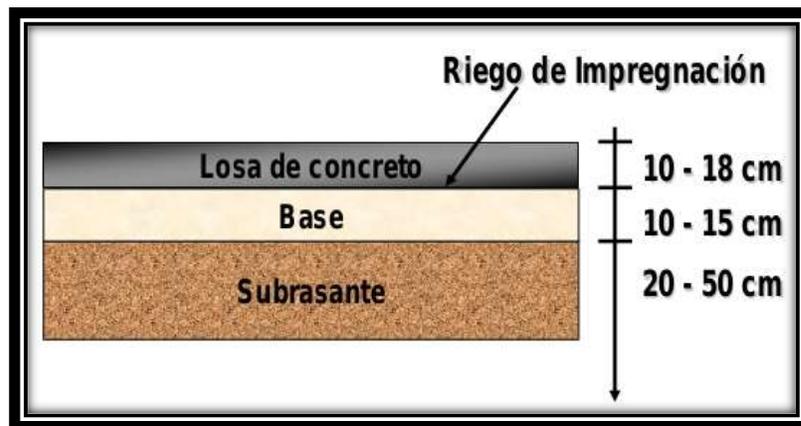
- Proveer un valor soporte elevado, para que resista muy bien las cargas concentradas que provienen del tránsito, trabajando a flexión y lo distribuye bien al material existente debajo.
- Textura superficial poco resbaladiza aun cuando se encuentre con grandes películas de agua, salvo que este cubierta con lodo, aceite u otro material deslizante.
- Proteger la superficie sobre la cual está construido el pavimento de los efectos destructivos del tránsito.
- Servir de capa impermeable para las capas inferiores.
- Buena visibilidad, por su color claro una vez ya curado que brinda una mayor seguridad al tráfico nocturno del transporte terrestre.
- Gran resistencia al desgaste, con poca producción de partículas de polvo.

Figura 5. Geometría de la losa de pavimento en concreto.



Fuente. Guía de pavimentos.

Figura 6. Sección transversal de un pavimento de hormigón.



Fuente. Guía de pavimentos.

2.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Como agregados para la construcción de hormigones pueden emplearse arenas y gravas naturales o trituradas que se reúnan igual o superior grado, las características de resistencia y durabilidad que se exijan al hormigón los principales agregados que componen un pavimento de hormigón son:

2.5.1. Grava o agregado grueso

Es aquel que es retenido en el tamiz #4 (4.75 mm), deberá ser roca chancada, grava chancada, escoria chancada de alto o anguloso natural (chancado natural), el mismo deberá cumplir con todos los requisitos establecidos por la norma.

La resistencia de la grava viene ligada a su dureza, densidad y módulo de elasticidad, se recomienda gravas mayores en densidad a 2.3 kn/m³. La granulometría de los agregados es de una importancia decisiva en la característica del hormigón.

2.5.1.1. Forma y angulosidad

La forma de las partículas del árido grueso afecta fundamentalmente al esqueleto mineral del árido. Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, cubicas, lajas y agujas. Las planas son partículas alargadas, con una dimensión muy superior a los dos restantes. Las lajas y agujas pueden romperse con facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del árido. En consecuencia, deben imponerse limitaciones en el contenido de partículas con mala forma; en términos generales, en una fracción de árido no se debe sobrepasar el orden del 30 % en peso de partículas con mala forma.

2.5.1.2. Resistencia al desgaste

La resistencia mecánica del esqueleto mineral del árido es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa firme después su puesta en servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio.

Figura 7. Material grueso (Grava triturada).



Fuente. “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel.

2.5.2. Arena o agregado fino

Es el agregado de mayor responsabilidad, a diferencia de la grava, el agua e incluso el cemento puede decirse que no es posible hacer un buen hormigón sin una buena arena. Las mejores arenas son las de río que tienen mayor resistencia y durabilidad.

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de hormigones sobre todo cuando se dosifica en volumen.

2.5.2.1. Adhesividad

Todo lo expuesto sobre este fenómeno en el caso del árido grueso es también aplicable aquí. Pero además hay que tener en cuenta que las acciones químicas o físico-químicas son más complejas en las partículas de menor tamaño. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y gran heterogeneidad en su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

Figura 8. Material fino (Arena triturada).



Fuente. “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel.

2.5.3. Cemento portland

El tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto es el cemento portland.

Producto que se obtiene por la pulverización del Clinker portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante.

Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el Clinker. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.

Con el agregado de materiales particulares al cemento (calcáreo o cal) se obtiene el cemento plástico, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable.

Este material es usado en particular para el revestimiento externo de edificios.

Normativa.-

La calidad del cemento portland deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 150.

2.5.3.1. Tipos de cemento portland

Tipo I.- Normal es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo. (Edificios, estructuras industriales, conjuntos habitacionales)

Libera más calor de hidratación que otros tipos de cemento.

Tipo II.- De moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado.(Puentes, tuberías de concreto)

Tipo III.- Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.

Tipo IV.- Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.

Tipo V.- Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos (canales, alcantarillas, obras portuarias)

Figura 9. Cemento Portland IP-30.



Fuente. “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel.

2.5.4. Aditivo

Aditivos son los productos químicos que se añaden en pequeña proporción a la mezcla de concreto durante su mezclado, para modificar algunas de las propiedades de la mezcla en estado fresco o endurecido.

Las características de los aditivos más utilizados se orientan a modificar las velocidades del tiempo de fraguado, acelerándolo o retardándolo, y a buscar mayor plasticidad en la mezcla. El mecanismo mediante el cual se logra mayor plasticidad es a través de procesos físico - químicos que permiten la reducción de parte del agua de mezclado, lo que en muchos casos acelera la ganancia de resistencia luego de producirse el fraguado inicial.

La reducción de agua se produce porque el aditivo crea fuerzas intermoleculares que facilitan tanto la reacción sobre las partículas de cemento, como su menor apelmazamiento y mayor fluidez. En igualdad de condiciones, esta nueva mezcla requiere menor cantidad de agua para obtener el mismo asentamiento. Por eso mismo

conduce a menores relaciones agua/cemento, y con ello, a mayores resistencias mecánicas, mayor compacidad y menor porosidad.¹

2.5.4.1. Tipos de aditivos

Tipo “A” Reductores de agua.- Son aquellos aditivos que reducen al menos un 5% la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

Tipo “B” Retardadores de fraguado.- Son aquellos aditivos que retardan el fraguado del concreto.

Tipo “C” Aceleradores de fraguado.- Son aquellos aditivos que aceleran el fraguado del concreto y el desarrollo de la resistencia inicial del concreto.

Tipo “D” Reductores de agua y retardadores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 5% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia que retardan el fraguado e incrementan su resistencia.

Tipo “E” Reductores de agua y aceleradores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 5% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el fraguado y el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.

Tipo “F” Reductores de agua de alto rango.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, incrementando su resistencia.

Tipo “G” Reductores de agua de alto rango y retardadores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, retardando el fraguado e incrementando su resistencia.

Tipo “H” Reductores de agua de alto rango y aceleradores.- Son aquellos aditivos que reducen al menos el 15% la cantidad de agua del mezclado requerida para producir un concreto de una consistencia igual a la mezcla de referencia, acelerando el desarrollo de la resistencia inicial y final del mismo.

Figura 10. Aditivos para la modificación de propiedades en los hormigones.



Fuente. “Materiales de Construcción” Caleb Hornbostel.

2.6. FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

Para el cálculo de los espesores de un pavimento, como para el dimensionamiento de todas las estructuras de ingeniería, es necesario hacer el análisis de la carga que va a actuar, conocer la resistencia de los materiales de que se dispone y estudiar la fundación sobre la que se va a apoyar el conjunto.

El diseño de pavimentos comprende básicamente dos aspectos:

- El diseño de las mezclas y/o materiales a emplear en el pavimento.
- El diseño estructural o dimensionamiento de los componentes del pavimento.

Ambos aspectos si bien son diferentes, deben llevarse en forma conjunta. En efecto, en el caso del dimensionamiento de un pavimento el cálculo de espesores dependerá de la resistencia de las diversas capas estructurales, la que se relaciona directamente con las características de los materiales y de las mezclas a emplear en la construcción de las

mismas. Asimismo, algunas de estas propiedades condicionan los procesos constructivos, como por ejemplo, la compactación.

2.7. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL CÁLCULO DE ESPESORES

Los pavimentos son diseñados para obtener en forma económica un buen comportamiento durante una larga vida de servicio. Diversos factores deben analizarse para obtener el diseño del más bajo costo anual. Estos factores son:

- Tránsito considerando las cargas por eje o rueda y su frecuencia.
- Resistencia de los materiales.
- Subrasante.
- Drenaje.
- Acción de las heladas.
- Vida útil para el diseño.

2.8. CALIDAD DEL HORMIGÓN

La elección de materiales y su dosificación para elaborar hormigones tiene por fin obtener:

- Durabilidad satisfactoria para las condiciones de servicio previstas.
- Resistencia a la flexión deseada.

Considerando que las tensiones críticas en el pavimento de hormigón son las de flexión, se utiliza para su diseño este tipo de resistencia, expresada por su módulo de rotura.

Para condiciones promedio, el hormigón que posee un módulo de rotura (método de ensayo IRAM 1547 – ASTM C78) comprendido entre 45 y 55 kg/cm² a los 28 días, resulta económicamente más conveniente.

La cantidad de agua de la mezcla y su consolidación tiene una influencia crítica sobre la durabilidad del hormigón endurecido. Para un determinado y adecuado contenido de cemento, la menor cantidad de agua que produzca un hormigón plástico, trabajable y fácilmente consolidable, permitirá obtener la mayor durabilidad del hormigón endurecido.

2.9. PROPIEDADES DE LOS HORMIGONES

Las propiedades que presenta el hormigón, en estado fresco y endurecido difieren una de otra, de igual forma los fenómenos como la retracción, la temperatura, características mecánicas, reológicas y durabilidad del hormigón; es por esta razón que vamos a indicar y detallar las mismas de forma general (por no ser el centro de nuestro estudio) puesto que son de suma importancia en el momento de producir dicho material, y así no incurramos en errores que a la larga o corto plazo serían perjudiciales para la función específica que cumplirá.

2.9.1. Propiedades del hormigón fresco

El hormigón fresco es un material esencialmente heterogéneo, puesto que en él coexisten tres fases. La sólida (áridos y cemento), la líquida (agua) y la gaseosa (aire ocluido).

A su vez, la fase sólida es heterogénea entre sí, ya que sus granos son de naturaleza y dimensión variables.

Entre las propiedades del hormigón fresco podemos citar, como más importantes, la consistencia, la docilidad, la homogeneidad y el peso específico.

2.9.1.1 . Trabajabilidad y consistencia

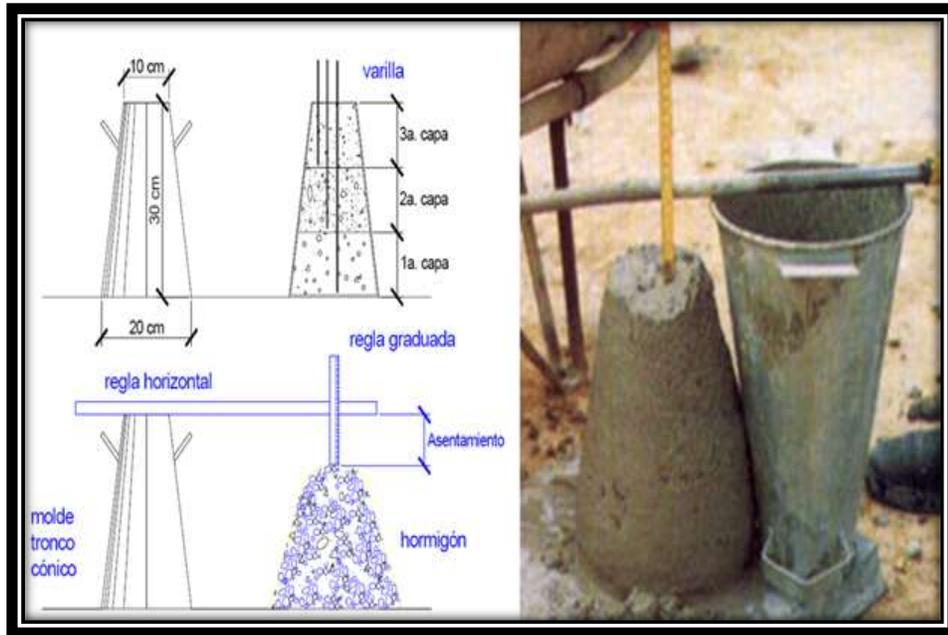
Es la menor o mayor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse. Varía por varios factores: Cantidad de agua de amasado, tamaño máximo, granulometría y forma de los áridos; el que más influye es la cantidad de agua de amasado.

Existen varios procedimientos para determinar la consistencia, siendo el cono de Abrams uno de los más usados y prácticos:

Cono de Abrams.-

Es un molde troncocónico de 30 cm. de altura que se rellena con el hormigón a ensayar. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Figura 11. Prueba de asentamiento con el cono de Abrams.



Fuente. Guía de pavimentos.

En ningún procedimiento para determinación de la consistencia del hormigón deben usarse tamaños de árido superiores a 40 mm. En cuyo caso es necesario cribar previamente por el cedazo de dicha abertura y prescindir del material retenido.

2.9.1.2 . Segregación del hormigón

La segregación de una mezcla de concreto se define como la separación de sus constituyentes por falta de cohesividad, de manera que su distribución deja de ser uniforme.

Las principales causas de segregación en el concreto son la diferencia en tamaño de las partículas, la densidad de los constituyentes de la mezcla y una mala gradación de los agregados. Así mismo, pueden influir otros factores como un mal mezclado, un

inadecuado sistema de transporte, una colocación deficiente y un exceso de vibración en la compactación.

2.9.1.3 . Exudación o sangrado del hormigón

La exudación se considera como una forma de segregación en la que una parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado.

Esto es debido a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asientan durante el proceso de fraguado.

La exudación de la mezcla trae consecuencias nocivas. Por un lado, la parte superior de una porción del concreto se vuelve demasiado fluida lo que conlleva a estructuras porosas, débiles y poco durables. Por otra parte, si la evaporación del agua en la superficie del concreto es más rápida que la velocidad de la exudación, se producen grietas plásticas de contracción.

Otro problema que se crea con la elevación del agua es que puede quedar atrapada debajo de las partículas gruesas de agregado o del acero de refuerzo, lo que genera zonas de baja adherencia y por lo tanto una eventual disminución en la resistencia. Adicionalmente el agua deja tras de sí conductos capilares que incrementan la permeabilidad de la masa de concreto.

2.9.1.4 . Docilidad

La docilidad, concepto de difícil definición, puede considerarse como la aptitud de un hormigón para ser puesto en obra con los medios de compactación de que se dispone. Esta trabajabilidad del hormigón está relacionada con su deformabilidad (consistencia), con su homogeneidad, con la trabazón de sus distintos componentes y con la mayor o menor facilidad de la masa para eliminar los huecos de la misma (aire ocluido), alcanzando una compacidad máxima.

La docilidad depende, entre otros factores, de los siguientes:

- De la cantidad de agua de amasado; cuanto mayor sea ésta, mayor será la docilidad.
- Granulometría de los áridos, siendo más dóciles los hormigones cuyo contenido en arena es mayor, Pero por otra parte, a mayor cantidad de árido fino corresponde mayor agua de amasado necesaria y, por tanto, menor resistencia. Por ello las relaciones que indicamos no pueden extrapolarse más allá de ciertos límites.
- La docilidad es mayor con áridos redondeados que con áridos procedentes de machaqueo.
- La docilidad aumenta con el contenido de cemento y con la finura de éste.
- El empleo de un plastificante aumenta la docilidad del hormigón, a igualdad de las restantes características.

2.9.1.5 . Homogeneidad

Es la característica por la cual los diferentes componentes del hormigón aparecen regularmente distribuidos en toda la masa, de manera tal que dos muestras tomadas de distintos lugares de la misma resulten prácticamente iguales. La homogeneidad se consigue con un buen amasado y, para mantenerse, requiere un transporte cuidadoso y una colocación adecuada.

La homogeneidad puede perderse por segregación (separación de los gruesos por una parte y los finos por otra) o por decantación (los granos gruesos caen al fondo y el mortero queda en la superficie, cuando la mezcla es muy líquida).

Ambos fenómenos aumentan con el contenido de agua, con el tamaño máximo del árido, con las vibraciones o sacudidas durante el transporte y con la puesta en obra en caída libre.

2.9.1.6 . Peso específico

Un dato de gran interés como índice de la uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra, es el peso específico del hormigón fresco, sea sin compactar, sea compactado. La variación de cualquiera de ambos repercute en la consistencia, indica una alteración de la granulometría de los áridos, del contenido en cemento o del agua de amasado, por lo que debe dar origen a las correcciones oportunas.

2.9.2. Proceso de fraguado y endurecimiento

En general, el concreto fresco debe permanecer lo suficientemente plástico durante un tiempo, preferentemente una hora o por lo menos media hora, para que pueda ser manejado y consolidado convenientemente. Después de ese tiempo, y dejada la mezcla en reposo, comienza el proceso de endurecimiento normal hasta que se dice que "ha fraguado".

Sin embargo, bajo condiciones normales y pasadas varias horas del primer mezclado, el concreto que ha endurecido considerablemente puede ser replastificado y consolidado por vibración o remezclado.

De aquí que es conveniente definir el punto en el cual el concreto fragua o pasa de estado plástico a estado endurecido.

La Norma Americana ASTM C-403 adoptó el de la resistencia a la penetración. Esta prueba es similar a la efectuada con la aguja vicat, y consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado a través de la malla de 4,76 mm. (Nº 4) de una porción de concreto fresco. Se somete a penetración durante un período de varias horas a una profundidad de 25mm con agujas de punta plana cuyas áreas varían entre 16 y 645 mm². Con la fuerza de penetración, el área de la aguja y el tiempo en el que se hace la medición y se dibuja una curva.

2.9.3. Propiedades del hormigón endurecido

Estudiaremos en este apartado, el peso específico, la compacidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste.

2.9.3.1. Peso específico

El peso específico del hormigón endurecido depende de muchos factores, principalmente de la naturaleza de los áridos, de su granulometría y del método de compactación empleado.

El peso específico del hormigón será tanto mayor cuanto mayor sea el de los áridos utilizados y la mayor cantidad de árido grueso contenga, bien clasificado; y tanto mayor cuanto mejor compactado esté.

De todas formas, las variaciones de peso específico del hormigón son pequeñas, pudiendo tomarse en los cálculos el valor $2,3 \text{ t/m}^3$ para los hormigones en masa y $2,5 \text{ t/m}^3$ para los armados.

Los valores indicados corresponden a hormigones normales. Los hormigones pesados, fabricados con áridos de barita o metálicos, tienen densidades de $3,0$ a $3,5 \text{ t/m}^3$ y aún mayores, empleándose en protecciones contra radiación.

Los hormigones ligeros, fabricados con piedra pómez u otros áridos de pequeño peso específico, tienen densidades del orden de $1,3 \text{ t/m}^3$ incluso inferiores a la unidad.

2.9.3.2. Compacidad

La compacidad, íntimamente ligada al peso específico, depende de los mismos factores que éste, sobre todo del método de consolidación empleado. Estos métodos de consolidación tienen por objeto introducir, en un volumen determinado, la mayor cantidad posible de áridos y al mismo tiempo, que los huecos dejados por éstos se rellenen con la pasta de cemento, eliminando por completo las burbujas de aire.

Es evidente, pues, la relación directa que existe entre la compacidad de un hormigón y sus resistencias mecánicas, por cuanto dicha compacidad aumenta con el volumen de materias sólidas que componen el hormigón, en relación con los volúmenes ocupados por el agua y el aire.

Una buena compacidad no sólo proporciona una mayor resistencia mecánica (frente a esfuerzos, impactos, desgaste, vibraciones, etc.), sino también una mayor resistencia física (efecto de la helada) y química frente a las acciones agresivas, ya que, al contener una cantidad mínima de huecos o porosidades, las vías de penetración de los agentes exteriores son también mínimas.

2.9.3.3. Permeabilidad

Los factores que influyen en la permeabilidad son las formas que el agua puede entrar al hormigón ya sea por presión y por capilaridad. El más influyente es, sin duda, la relación agua/cemento. Al disminuir ésta, disminuye la permeabilidad; mientras que para una relación agua/cemento igual a 0,5 el factor de permeabilidad es aproximadamente 15, para 0,8 es alrededor de 450, o sea, treinta veces mayor.

Medir la permeabilidad en un hormigón es un problema difícil, que no se encuentra resuelto satisfactoriamente. Existen diversos métodos, unos dedicados a la permeabilidad bajo presión y otros a la permeabilidad por succión (absorción)

Las medidas se efectúan por diferencia de pesada, o por el tiempo requerido para que el agua atraviese de una cara a otra, o por medición de superficie de mancha en una sección obtenida por corte, etc. Pero ningún método proporciona garantía completa, siendo incierta la concordancia entre medidas realizadas según distintos métodos sobre un mismo hormigón. Por otra parte, los ensayos sólo pueden efectuarse sobre probetas obtenidas in situ del hormigón endurecido, no sirviendo de nada utilizar probetas enmoldadas, que nunca son representativas desde el punto de vista de la permeabilidad. Existen distintos procedimientos para aumentar la impermeabilidad de un hormigón. En todos ellos es imprescindible partir de un hormigón muy compacto. Aparte del

empleo de impermeabilizantes de masa o de superficie, cabe aplicar recubrimientos a base de chapas metálicas, filtro asfaltado, etc., o simplemente, enlucir la superficie con un buen mortero de cemento, de 10 a 20 mm de espesor.

Todo lo dicho, que se refiere a la permeabilidad al agua, puede aplicarse igualmente a la permeabilidad al aire, característica que interesa en hormigones para protección contra radiaciones nucleares.

2.9.3.4. Resistencia al desgaste

En ciertos casos, como sucede en los pavimentos de carretera o interiores de construcciones industriales, interesa que el hormigón presente una gran resistencia al desgaste. Para conseguirlo, la primera condición es emplear un hormigón seco, ya que la lechada superficial es un elemento débil, fácilmente desgastarse y productor de polvo.

Es también imprescindible emplear arena sílice y no caliza, al menos en una proporción no inferior al 30 por 100 de la arena total.

Mayores garantías se obtienen aplicando un revestimiento delgado de alta resistencia al desgaste, que puede ser un mortero de cemento con árido fino especial (carborundo, corindón, sílice molida, granalla de hierro inoxidable, etc.) o un mortero especial de materias plásticas, resina epoxi, etc.

Pueden aplicarse también tratamientos superficiales endurecedores como impregnación por fluosilicatos, silicatación, ocratación o carbonatación.

2.9.4. Retracción del hormigón

2.9.4.1. Fenómeno de fraguado

Durante el proceso de fraguado y endurecimiento, el hormigón contrae su volumen cuando tal proceso se verifica en el aire; y se entumece si se verifica en el agua. Al primer fenómeno se denomina retracción. La retracción puede explicarse por la pérdida paulatina de agua en el hormigón. Aunque el fenómeno es complejo, de una forma simplificada se podría decir que el hormigón contiene agua en cinco estados distintos:

- Químicamente o de cristalización.
- Gel.
- Agua zeolítica o intercrystalina.
- Agua absorbida, que rodea los granos de árido y pasta, estando adherida a ellos formando meniscos.
- Capilar o libre.

De estos estados, el agua capilar y parte de la adsorbida pueden evaporarse a la temperatura ordinaria. El agua correspondiente a los otros tres estados puede perderse por calentamiento a temperatura cada vez más elevada, a medida que se asciende en la lista. Si el hormigón no está en un ambiente permanentemente húmedo, va perdiendo el agua capilar, lo que no produce cambios de volumen, y parte del agua adsorbida (e incluso, según algunos autores, de la zeolítica), lo cual origina una contracción de meniscos, que es la causa de la retracción.

2.10. COMPONENTES DE UN PAVIMENTO RÍGIDO

2.10.1. Juntas

Las juntas tienen por fin mantener las tensiones que soporta el pavimento de hormigón, dentro de los límites admisibles, previniendo la deformación de fisuras y grietas irregulares los tipos de juntas son:

2.10.1.1. Juntas longitudinales

Se instalan para controlar el agrietamiento longitudinal, espaciándose a intervalos de 2.5 a 4.0 m, coincidiendo generalmente con las líneas divisorias de trochas de tránsito. No es aconsejable superar el intervalo de 4.0 m, a menos que la experiencia local indique que el pavimento con esas condiciones ha observado comportamiento satisfactorio.

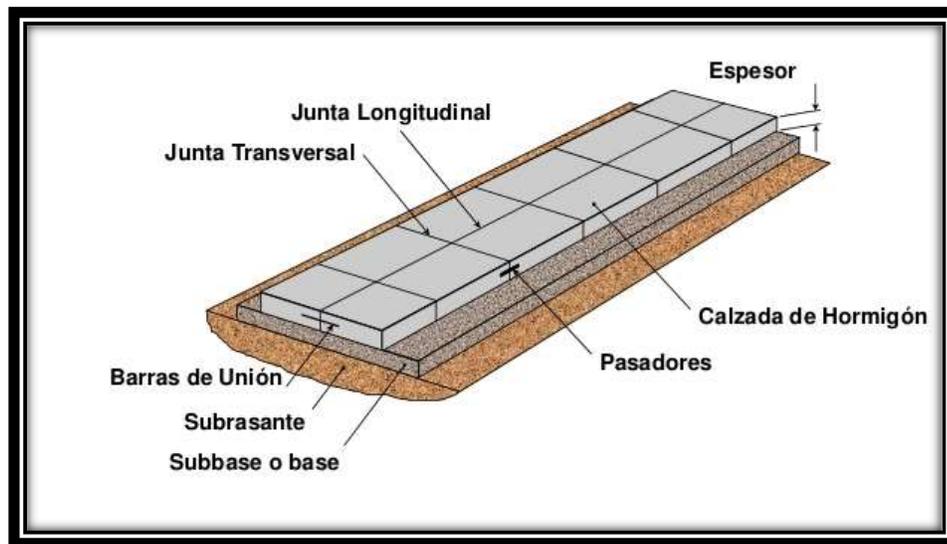
La profundidad de la ranura superior de estas juntas no debe ser inferior al cuarto del espesor del pavimento. Estas juntas llevan normalmente barras de unión que impiden la separación de sus bordes. Para más de cuatro trochas es conveniente intercalar una junta longitudinal machihembrada o ensamblada de bordes libres.

2.10.1.2. Juntas transversales

Estas juntas denominadas de contracción, controlan el agrietamiento transversal al disminuir:

- Las tensiones de tracción que se originan cuando la losa se contrae.
- Las tensiones que causa el alabeo producido por diferenciales de temperatura y de contenido de humedad en el espesor de la losa.

Figura 12. Componentes principales del sistema.



Fuente. Instituto del cemento Portland argentino (ICPA).

2.10.1.3. Juntas de expansión

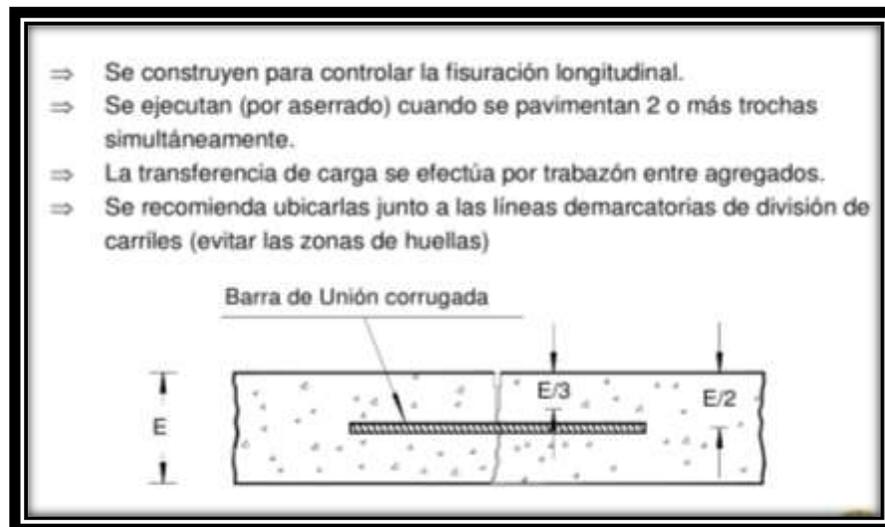
Su objeto es disminuir las tensiones de compresión, proveyendo un espacio entre losas, que permita el movimiento del pavimento cuando se expande.

Cuando las juntas de contracción están adecuadamente separadas, la necesidad de las juntas de expansión depende, en gran medida de la temperatura ambiente predominante durante la construcción y de las características de expansión del agregado grueso empleado.

Los estudios teóricos, el comportamiento de pavimentos en servicio y los resultados de tramos experimentales, muestran que las juntas de expansión no son necesarias en los pavimentos de hormigón, si:

- Los agregados empleados tienen características normales de expansión.
- La construcción tiene lugar con temperaturas normales.
- Las juntas de contracción se ubican a intervalos que controlen el agrietamiento transversal.

Figura 13. Juntas longitudinales de expansión.

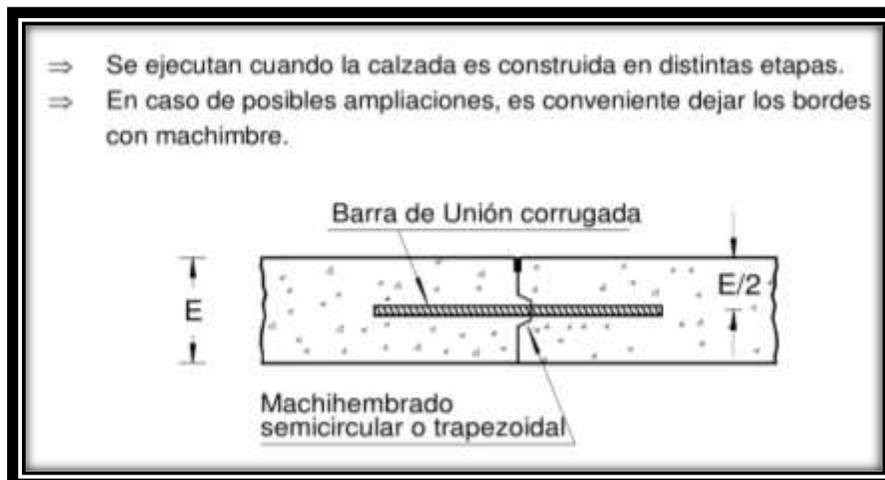


Fuente. Instituto del cemento Portland argentino (ICPA).

2.10.1.4. Juntas de construcción

Normalmente coinciden con cualquiera de las anteriores, pero en caso de emergencia que implique una suspensión de la construcción de las losas de pavimento se debe tener especial cuidado de hacer el corte en el tercio central de la losa.

Figura 14. Juntas longitudinales de construcción.



Fuente. Instituto del cemento Portland argentino (ICPA).

2.11. TEXTURA SUPERFICIAL EN PAVIMENTOS

La textura influye directamente en la capacidad del pavimento para evacuar el agua de la interface neumático-pavimento, evitando el fenómeno de hidroplaneo y, de forma indirecta, en el valor del coeficiente de rozamiento del pavimento, de gran importancia para la adecuada adherencia entre neumático y pavimento.

Además, la textura es la característica determinante en el nivel de ruido del tráfico. En el aspecto económico, la textura del pavimento influye en el consumo de gasolina y en el deterioro de los vehículos.

Ahora bien, para su medición, la textura es la geometría más fina del perfil longitudinal de la carretera, que se define como la desviación de la superficie del firme, respecto a una superficie plana menor o igual que 0.5 metros. Estudios realizados han demostrado que, para interpretar mejor los fenómenos que suceden en el contacto neumático-pavimento, asociados a situaciones de riesgo durante las operaciones de frenado en pavimento mojado, es conveniente subdividir la textura en dos clases: Microtextura y Macrotextura.

Figura 15. Textura superficial en pavimentos.



Fuente. Instituto del cemento Portland Argentino (ICPA).

2.11.1. División de la textura superficial

En función de su longitud (separación horizontal), (λ) y/o amplitud (profundidad vertical), de onda (A), según se resume a continuación:

2.11.1.1. Microtextura ($\lambda < 0.5$ mm; $A < 0.2$ mm)

La Microtextura corresponde a la textura superficial propia de la superficie de los agregados pétreos, las cuales pueden presentar características de tipo áspero o pulida. En general, los áridos utilizados por su mayor dureza presentan un menor desgaste o pulimiento. La microtextura es importante para la adherencia entre el neumático y el pavimento y, por tanto, para la resistencia al derrapamiento, por lo que la microtextura influye en el riesgo de accidentes, independientemente de la velocidad de operación. En todo caso, las irregularidades de este tipo están presentes y en ciertas condiciones es necesaria su existencia.

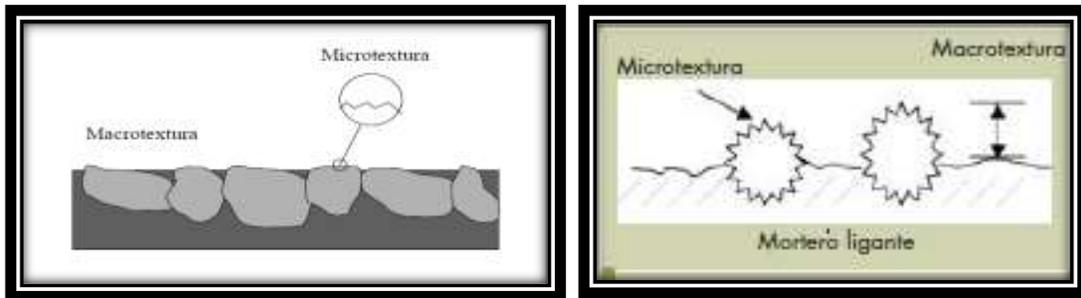
Así por ejemplo, un árido determinado, ubicado en la superficie de rodamiento, que tenga un alto grado de pulimento producirá valores bajos de microtextura, ya que, ésta se considera particularmente importante en la valoración de la resistencia al deslizamiento (fricción) de la superficie. Una forma indirecta de medir la microtextura consiste en determinar el coeficiente de fricción o rozamiento. Cabe mencionar que la microtextura mide la fricción a velocidades menores a 60 km/hr.

2.11.1.2. Macrotextura (0.5 mm $< \lambda < 50$ mm; 0.1 mm $< A < 20$ 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 en 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 hidropneumático. Esta característica superficial tiene impacto significativo en el ruido pavimento-neumático, el spray y las salpicaduras.

Figura 16. Diferencia entre microtextura y macrotextura.



Fuente. “Péndulo Británico y resistencia al deslizamiento”.

Figura 17. Dimensiones de las bandas de la textura superficial.

TEXTURAS	LONGITUD DE ONDA (mm)	AMPLITUD (mm)
Microtextura	0 - 0.5	0.001 - 0.5
Macrotextura	0.5 - 50	0.01 - 20

Fuente. “Péndulo Británico y resistencia al deslizamiento”.

2.11.1.3. Megatextura

La misma se encuentra relacionada con pequeños defectos como resultado de pobres prácticas constructivas o defectos en la superficie del pavimento. La misma puede causar vibraciones, afecta la calidad de circulación y puede provocar un mayor desgaste en el sistema de suspensión del vehículo.

2.11.1.4. Rugosidad

Estas irregularidades superficiales impactan en la dinámica de vehículo, provocando un mayor desgaste y afectando el confort de circulación.

2.12. ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL (IFI)

El modelo PIARC que se describirá es la base de la definición del Índice de fricción internacional, IFI, a través de los parámetros F60 y Sp. Así entonces, el IFI de un pavimento se expresa por el par de valores (F60, Sp) expresados entre paréntesis y separados por una coma; el primer valor representa la fricción y el segundo la macrotextura.

El primero es un número adimensional y el segundo es un número positivo sin límites determinados y con unidades de velocidad (km/h). El valor cero de fricción indica deslizamiento perfecto y el valor uno, adherencia. No es posible, por el momento, describir con una relación sencilla el segundo número que compone el IFI.

2.12.1. Determinación del parámetro (SP)

Durante la elaboración del modelo, y a partir de los datos del experimento PIARC, se ha comprobado que la constante de velocidad **Sp** puede ser determinada mediante una regresión lineal en función de la medida en campo de la Macrotextura (T_x) tal que:

$$S_p = a + (b + T_x)$$

Dónde:

a y b = Constantes para la velocidad.

T_x = Medida de la macrotextura, (mm).

Donde los valores de las constantes a y b para cada uno de los equipos que participaron en el experimento se presentan en la Tabla.

Tabla 3. Valores de a y b para la estimación de la constante de velocidad.

Prueba	a	b
MPD por ASTM E 1845	14.2	89.7
MTD por ASTM E 965	-11.6	113.6

Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

MPD = Profundidad media del perfil.

MTD = Medida volumétrica de la profundidad media de la textura, (Circulo de arena).

2.12.2. Determinación del parámetro (F60)

Se determina el valor de la constante FR60 usando el valor de la fricción FRS obtenida en campo con algún equipo a la velocidad de deslizamiento S a partir de una ecuación , de donde despejando FR60 se obtiene:

$$FR60 = FRS * e^{\frac{S-60}{Sp}}$$

Dónde:

FRS = Fricción medida por un equipo a la velocidad de deslizamiento S.

S = Velocidad de deslizamiento.

Sp = Constante que representa la influencia de la velocidad en la curva de referencia estimada.

Finalmente se obtiene el valor buscado de F60 a través de la siguiente correlación con FR60 establecida por el experimento PIARC:

$$F60 = A + (B * FR60)$$

Dónde:

F60 = Valor de la fricción en la curva de referencia estimada, a la velocidad de deslizamiento 60 Km/h.

A y B = Constantes según el equipo utilizado para medir la fricción.

Donde A y B son constantes según el equipo utilizado para medir la Fricción y sus valores se muestran en la Tabla.

Tabla 4. Lista de equipos que fueron calibrados para definir el F60.

Llantas lisas		Clave	S Km/hr	A Cte.	B Cte.	C Cte.
Características	Equipo					
Rueda bloqueada	ASTM E 274 (USA)	B6	65	0.045	0.925	0
	LCPS Skid trailer (F)	D6	60	0.002	1.008	0
Rueda Parcialmente Bloqueada	OSCAR A 86% (N)	B4E	52	-0.03	0.864	0
	OSCAR A 20% (N)	B4E	12	0.119	0.643	0
	Komatsu Skid Trailer (J)	C5	10	0.042	0.849	0
	DWW Trailer (NL)	C6E	43	0.019	0.868	0
	Griptester (UK)	D8	9.4	0.082	0.91	0
Rueda oblicua	Stradograph	C9	12.5	0.054	0.770	0
	Odoliograph Wallon (B)	D10	12.9	0.113	0.729	0
	Odoliograph CRR (B)	D1E	20.5	0.113	0.746	0
	SCRIM Flemish (B)	C3B	20.5	0.049	0.967	0
	SCRIM CEDEX	C4	20.5	0.019	0.813	0
	SCRIM MOPT	C8	20.5	0.032	0.873	0
	SCRIM SRM (D)	D2	20.5	0.017	0.850	0
	SCRIM GEOCISA	D3	20.5	0.021	0.928	0
	SCRIM (F)	D4	20.5	-0.006	0.862	0
	SUMSS (I)		20.5	0.002	0.987	0
	SCRIMTEX (UK)	D5	17.1	0.033	0.872	0
Equipos con neumáticos grabados						
Rueda bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser	B1	60	0.022	0.05	0.082
	Skiddometer (CH)	B2	60	0.026	0.504	0.099
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	60	-0.072	0.767	0.086
	ASTM E 274 (USA)	B6	65	-0.023	0.607	0.098
	Equipo de fricción (PL)	C1	60	-0.025	0.807	0.068
Rueda Parcialmente Bloqueada	Stuttgarter Reibungsmesser	B1	12	0.141	0.323	0.074
	Skiddometer	B2	12	0.03	0.918	-0.014
	BV - 11S	B3	12	0.04	0.856	-0.016
	Stuttgarter Reibungsmesser (A)	B5	12	0.02	0.867	-0.006
Equipos con zapata						
Estáticos	DF Tester at 60 km/hr (J)	A13	60	-0.034	0.771	0
	DF Tester at 20 km/hr (J)	A13	20	0.081	0.723	0
	Péndulo de fricción BPT (USA)	A14	10	0.056	0.008	0
	Péndulo de fricción SRT (CH)	B7	10	0.078	0.01	0

Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.12.3. Implementación del IFI

Determinados los parámetros mencionados anteriormente se dice entonces que el tramo de pavimento en estudio tiene un valor del índice de fricción internacional que se expresa como IFI (F_{60} , S_p). El conocimiento de esos parámetros permite además conocer la curva de referencia estimada de fricción en función de la velocidad de deslizamiento con una ecuación análoga que se expresa como:

$$FRS = F_{60} * e^{\frac{60-S}{S_p}}$$

Dónde:

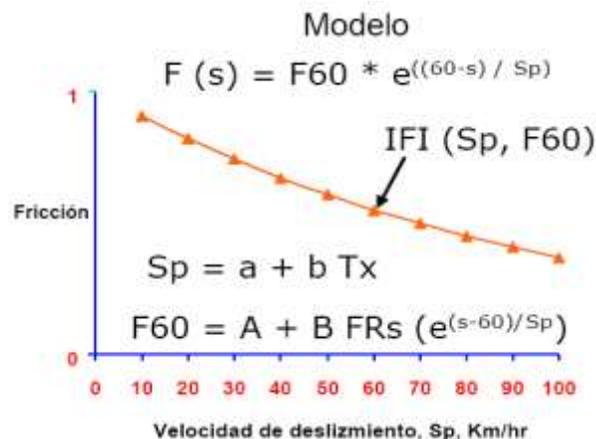
FRS = Fricción medida por un equipo a la velocidad de deslizamiento S.

S = Velocidad de deslizamiento.

S_p = Constante que representa la influencia de la velocidad en la curva de referencia estimada.

Se sustituyen los valores de S_p y F_{60} representativos para cada tramo y se trazan las curvas de comportamiento de la superficie de pavimento, tal como se muestra en la figura.

Figura 18. Modelo del índice de fricción internacional, según documento PIARC.



Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.13. GRAFICAS DE ACEPTACIÓN O RECHAZO

El modelo PIARC puede ser utilizado en la administración de pavimentos estableciendo niveles de intervención del IFI, considerando ciertos valores o niveles mínimos de fricción y textura, según las condiciones prevalecientes y las necesidades requeridas en cada país o zona. Para ello se trabaja con un gráfico que indica la relación entre los valores de fricción, FR, y los valores de textura, Tx, como se ilustra en la figura.

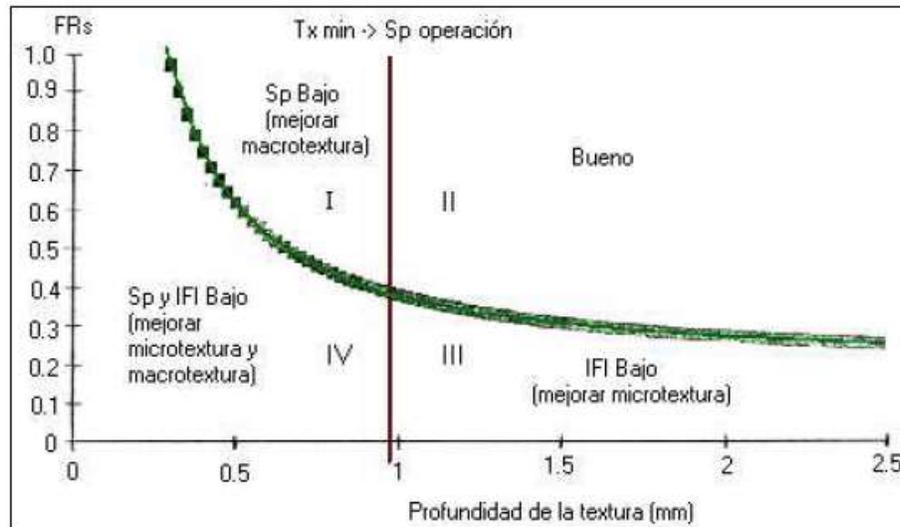
Esta gráfica puede servirnos para dos casos:

- El primer caso como apoyo para proyectar la superficie de rodamiento, es decir, que tipo de textura nos dará la velocidad de operación, tal que para condiciones críticas, (pavimento mojado), los vehículos operen con seguridad.
- El segundo, como evaluador de una carretera, estableciendo si requiere o no de mejorar, la micro o macrotextura.

La gráfica se divide en cuatro cuadrantes podríamos apreciar lo siguiente:

- I. En el primer cuadrante encontramos que la superficie de pavimento requiere mejorar la macrotextura, esto podrá ser posible mejorando con la colocación de un riego de sello o una micro carpeta con el diseño adecuado que permita desalojar el volumen de agua que se presente por la precipitación específica de ese lugar.
- II. En el segundo cuadrante, (siguiendo las manecillas del reloj), entramos que según nuestros límites de F60 y Sp, encontraremos los puntos que cumplen con una adecuada micro y macrotextura para las necesidades de nuestra carretera.
- III. En el tercer cuadrante, encontramos que se requiere mejorar la microtextura, que esto podrá ser si mejora la calidad del material pétreo de la carpeta, (o si se utiliza concreto).
- IV. En el cuarto cuadrante, se presenta la situación más crítica del pavimento, ya que se requiere mejorar ambas, micro y macrotextura.

Figura 19. Interpretación de las zonas del diagrama de fricción vs. Macrotextura.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Para el caso particular de utilizar el círculo de arena, (en la medición de la textura y el péndulo británico para la fricción, las constantes tienen los siguientes valores:

$$a = -11.60 \quad b = 113.63 \quad A = 0.078 \quad B = 0.01071$$

Una vez definidos los valores del IFI se procede de la siguiente forma para determinar la curva F y la línea T.

Primeramente elija su dispositivo para la medición de textura, Tx, y aplique las constantes a y b de la tabla 3, según corresponda dado que conocemos Sp, entonces la línea T se define con la ecuación:

$$Tx_{min} = \frac{(Sp * -a)}{b}$$

Dónde:

a y b = Constantes para la velocidad.

Sp = Constante que representa la influencia de la velocidad en la curva de referencia estimada.

Para la definición de la forma matemática de la curva F, se define con la ecuación:

$$FR_{min} = [(F60 - A) / B] e^{\frac{60-S}{a+bTx}}$$

Dónde:

F60 = Valor de la fricción en la curva de referencia estimada, a la velocidad de deslizamiento 60 Km/h.

A y B = Constantes según el equipo utilizado para medir la fricción.

Tx = Medida de la macrotextura, (mm).

2.14. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DEL INDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL

Los métodos y sistemas usados a través del mundo para medición de textura y resistencia al deslizamiento varían significativamente; es por esta razón que el comité técnico de la Asociación Internacional Permanente de Congresos de Carreteras (PIARC) en Caracterización Superficial, en 1992, decidió emprender un experimento internacional para comparar y armonizar mediciones de textura y resistencia al deslizamiento.

El coeficiente de fricción depende del número de puntos de contacto entre el neumático y los pétreos del pavimento; es por ello que la calidad del pétreo juega un papel importante debido a que entre más áspero y anguloso sea mayor fricción existirá. La capacidad drenante en la superficie (macrotextura) juega, a su vez, un papel importante al permitir con mayor rapidez la salida del agua de lluvia y reducir entonces los riesgos de hidroplaneo.

2.14.1. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos

Macrotextura.-

Dentro de los equipos de medición puntual se encuentra el ensayo de la mancha de arena, mecanismo que permite evaluar la textura superficial del pavimento. Se aplica a pavimentos asfálticos y de hormigón.

Tabla 5. Clasificación de la textura según el valor de altura equivalente “Heq”.

Rango “Heq” (mm)	Textura
$Heq < 0.2$	Muy lisa
$0.2 \leq Heq \leq 0.4$	lisa
$0.4 \leq Heq \leq 0.8$	Media
$0.8 \leq Heq \leq 1.2$	Profunda
$1.2 < Heq$	Muy profunda

Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Microtextura.-

Después de diversas mediciones realizadas en distintos tipos de superficies, nace la siguiente sugerencia, la cual puede estar sujeta a cambios, según se incremente la experiencia. Para valores de fricción con péndulo británico en pavimento mojado (condición crítica) es propuesto lo siguiente:

Tabla 6. Criterio para evaluar los valores de fricción en pavimentos.

Fricción, valor de “CRD” adimensional	Calificación
< 0.50	Malo (derrapamiento del vehículo)
0.51 - 0.60	De regular a bueno
0.61 - 0.80	Bueno
0.81 - 0.90	De bueno a regular
> 0.91	Malo (desgaste de neumáticos)

Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.15. MÉTODOS DE TEXTURIZADO EN PAVIMENTOS DE HORMIGÓN

Para el caso específico de pavimentos de hormigón, durante la ejecución de las tareas de acabado 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 brindara una macrotextura apropiada, que permitirá alcanzar los niveles de seguridad en el transito acorde con el uso y categoría de la vía. Esta operación se realiza una vez finalizadas las tareas de acabado 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 de forma inmediata a la ejecución del curado.

Según se ha expresado anteriormente, el objetivo del texturizado 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 pueden utilizarse en pavimentos de 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 que se aplique en forma homogénea para producir condiciones de fricción y circulación uniformes. Los factores que más influyen sobre la textura del pavimento cuando esta se aplica en estado fresco, para cualquier método o herramienta usados, son la consistencia y características del hormigón, el momento o tiempo en la 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.

Figura 20. Ejemplos de configuraciones superficiales.



Fuente. Congreso internacional PROVIAL, Valparaíso 2016.

A continuación mencionaremos algunos métodos más comunes a nivel Latinoamérica y en nuestro país:

2.15.1. Texturizado con 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 de 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. El césped sintético deberá verificar las siguientes condiciones:

- Largo de pelo: 15 – 20 mm.
- Cantidad de pelos por metro cuadrado: 77.500
- Peso mayor a 2.350 kg/m²

Cuando no se llega al peso indicado del último requisito resulta en general necesario incorporar agregados u otros elementos para incrementar el peso de la carpeta sobre el hormigón fresco.

Figura 21. Texturizado por arrastre de césped sintético.



Fuente. Congreso internacional PROVIAL, Valparaíso 2016.

2.15.2. Texturizado con cepillo metálico de manera transversal y 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 trasversal puede generar un incremento significativo de la sonoridad en la interface neumático-pavimento.

Figuras 22. Texturizado con cepillo sentido transversal (manual y automatizada).



Fuente. Congreso internacional PROVIAL, Valparaíso 2016.

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 fácil de la huella de contacto entre el neumático y el pavimento, reduciendo de esta manera el potencial de hidropneumático, el spray y las salpicaduras.

Figura 23. Texturizado con peine metálico transversal.



Fuente. Congreso internacional PROVIAL, Valparaíso 2016.

Sin embargo a partir de los antecedentes de aplicación de esta técnica, surgió la necesidad de controlar el ruido generado en la interface neumático-pavimento, 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 7. Recomendaciones de texturizado con peine metálico transversal.

Espaciamiento de peines	-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).
Profundidad del dibujo	-De 1.5 a 3 mm
Ancho de canales	-3 mm
Orientación del patrón	-Esviado 1:6 con dirección de esviado opuesta al esviado de las juntas.
Texturizado adicional	-Arpillería o césped sintético con anterioridad a la aplicación del peine.

Fuente. Congreso internacional PROVIAL, Valparaíso 2016.

Peine longitudinal.-

Esta metodología es similar a la anterior, diferenciándose únicamente que en 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 resulta algo menores. 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 de los mismos.

2.16. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DEL PÉNDULO BRITÁNICO

Este método consiste en el uso de un equipo de ensayo tipo péndulo, provisto en su extremo de una zapata deslizante de caucho para medir las propiedades friccionantes de la superficie de ensayo.

La superficie de ensayo debe estar limpia y completamente mojada antes de efectuar el ensayo.

Antes de realizar la prueba, la zapata del péndulo se debe fijar de tal manera que apenas se establezca contacto con la superficie que se va a ensayar. El péndulo se levanta a su posición inicial y se asegura allí, luego se suelta permitiendo el contacto entre la zapata y la superficie de ensayo.

Un Indicador o aguja indicadora, mostrará el valor C.R.D. A mayor fricción entre la zapata deslizante y la superficie de ensayo más se retarda el movimiento del indicador

y se obtiene una lectura más grande de C.R.D. Se deben hacer cuatro movimientos pendulares sobre cada superficie a ensayar cuando se utiliza un caucho natural en la zapata.

2.16.1. Uso y significado del ensayo

Este método entrega una medida de las propiedades friccionantes y de la microtextura de superficies, ya sea en el campo o en el laboratorio.

Este método puede ser utilizado para determinar el efecto relativo de varias pruebas de pulimento en materiales o combinación de materiales.

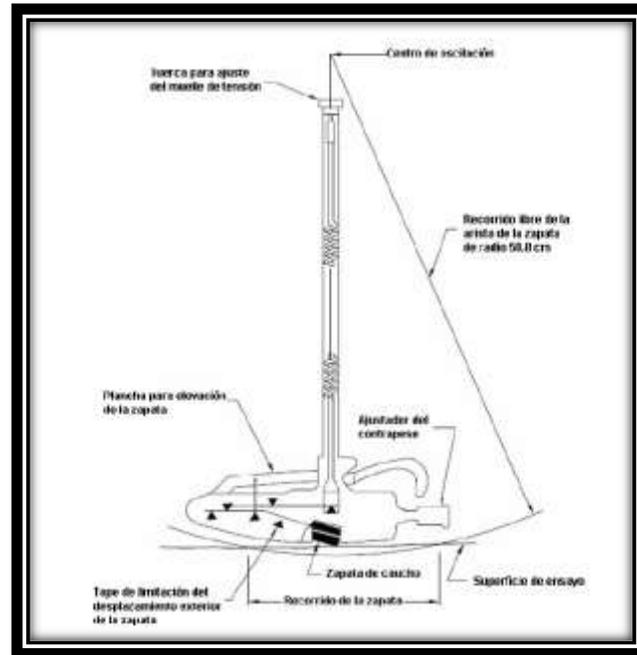
Cabe mencionar que los valores de C.R.D. y valores de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie. Correcciones teóricas de los valores de pulimento con el fin de obtener una igualdad numérica, ya sea matemáticamente o con el uso de una escala de medición especial no son recomendables.

2.16.2. Partes del equipo

Péndulo británico.-

El Péndulo con la zapata deslizante y el montaje de la zapata, debe pesar 1500 ± 30 g. Su centro de gravedad estará situado en el eje del brazo a una distancia de 411 ± 5 mm del centro de oscilación. La zapata debe tener un ajuste vertical capaz de permitir un contacto de la zapata con la superficie en una longitud entre 124 y 127 mm, para pruebas sobre superficies planas y entre 75 y 78 mm para pruebas en muestras sometidas a pulimento con llanta. El arreglo compuesto por el resorte y el elevador como se muestra en la Figura debe permitir que la zapata de 76 mm de ancho ejerza sobre la superficie una fuerza igual a 2500 ± 100 g.

Figura 24. Detalle del brazo del péndulo.

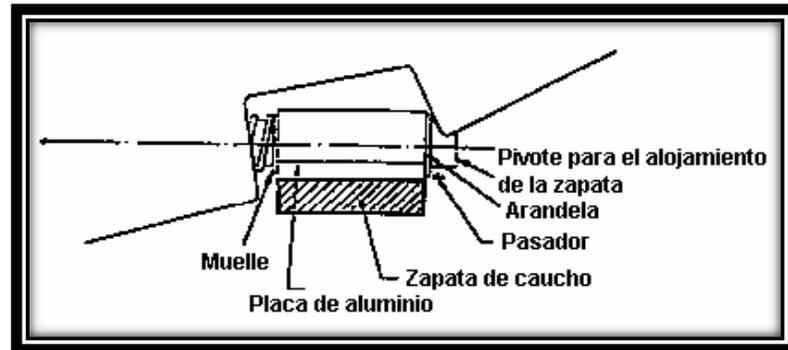


Fuente. Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico” I.N.V.E – 792 – 07.

La zapata de Caucho.-

La zapata va pegada sobre una placa de aluminio con orificio circular para su fijación al pivote (F) del brazo del péndulo, formando un ángulo de 70° con el eje de este brazo y de manera tal, que solamente la arista posterior de la zapata quede en contacto con la superficie a medir, pudiendo girar alrededor del pivote (F), recorriendo las desigualdades de la superficie de ensayo, manteniéndose en un plano normal al de oscilación del péndulo. Las dimensiones de las zapatas de caucho a emplear en medidas de resistencia al deslizamiento serán de 76.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar superficies planas, y de 32.0 por 25.0 por 6.0 mm de espesor para ensayar muestras curvas para pulimento con llanta. El material de la zapata será de caucho natural que cumpla con los requisitos del Road Research Laboratory o caucho.

Figura 25. Detalle de la disposición de la Zapata de caucho.



Fuente. Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico” I.N.V.E – 792 – 07.

Las zapatas nuevas se deben acondicionar antes de ser usadas, haciendo 10 giros oscilatorios sobre un paño de carburo de silicona grado No.60 o equivalente en condiciones secas. Los giros se deben hacer con el dispositivo ajustado.

El desgaste del borde de la zapata de caucho (superficie rozada) no debe exceder 3.2 mm en el plano de la zapata (ancho) ó 1.6 mm en la dirección vertical a ésta (alto), Si el desgaste alcanza esta magnitud la zapata se debe cambiar.

Accesorios.-

Medidor de la longitud de contacto, el cual consiste en una Reglilla graduada capaz de medir la longitud de rozamiento entre zapata y superficie de ensayo en una longitud entre 124 y 127 mm o entre 75 y 78 mm como se requiera para un ensayo en particular.

Equipo auxiliar como recipientes para agua, termómetro para superficie de ensayo y cepillo, es recomendado.

2.16.3. Muestras de ensayo

En el campo.-

La superficie de ensayo en el campo debe estar libre de partículas sueltas y se limpiará con un chorro de agua limpia a presión. La superficie de ensayo no tiene que ser

horizontal ya que el instrumento puede ser nivelado en la posición de trabajo, utilizando únicamente los tornillos de nivelación y la cabeza del péndulo despejará la superficie.

En el laboratorio.-

Las muestras de laboratorio deben estar limpias de partículas sueltas y se deben sostener firmemente de tal forma que no se muevan con la fuerza del péndulo.

Las Muestras de laboratorio planas deben tener una superficie de ensayo de al menos 89 x 152 mm.

Las Muestras de laboratorio para la prueba de pulimento acelerado con llanta, deben tener una superficie de ensayo de, al menos, 45 x 90 mm y deben ser curvas en un arco de círculo de 406 mm de diámetro.

2.16.4. Procedimiento

Nivelación.-

Se nivela el instrumento correctamente girando los tornillos de nivelación hasta que la burbuja está centrada en el nivel.

Ajuste de ceros.-

Se debe levantar el mecanismo del péndulo soltando los tornillos de seguridad (ubicados directamente detrás del pivote del péndulo) y gire cualquier de los pares de tornillos de la cabeza móvil ubicados en el centro del instrumento, para permitir que la zapata realice libremente el movimiento oscilatorio en la superficie de ensayo. Se aprietan firmemente los tornillos de seguridad. Se coloca el péndulo en la posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que llegue a la posición de reposo contra el tornillo de ajuste en el brazo del péndulo. Se suelta el péndulo y anota la lectura de la aguja indicadora. Si la lectura no es cero, se afloja el anillo del seguro y se gira suavemente el anillo de fricción en el eje de soporte y se asegura nuevamente. Se repite la prueba y se ajusta el anillo de fricción hasta que el movimiento oscilatorio del péndulo lleve la aguja a cero.

Ajuste de la longitud de rozamiento de la zapata: Con el brazo del péndulo colgando libremente, se coloca el espaciador debajo del tornillo de ajuste de la palanca de elevación de la zapata de caucho. Se bajará entonces el péndulo de tal manera que el borde de la zapata justamente toque la superficie a medir. Se asegura la cabeza del péndulo firmemente, se levanta la palanca de elevación y se remueve el espaciador.

Lentamente hacia la izquierda hasta que el borde de la zapata toque la superficie de ensayo. Para verificar la longitud de contacto o rozamiento, se fija el medidor de la longitud de contacto a un lado de la zapata y paralelo a la dirección del movimiento oscilatorio. Se levanta la zapata usando la palanca de elevación y se mueve el péndulo a la izquierda y luego lentamente se baja hasta que el borde de la zapata vuelva nuevamente a reposo en la superficie. Si la longitud de contacto no está entre 124 y 127 mm en muestras de superficie plana y entre 75 y 78 mm en muestras curvas de pulimento con llanta, medido entre los sitios de contacto de los bordes de la zapata de caucho en su recorrido, se ajusta levantando o bajando el aparato con el tornillo frontal de nivelación. La longitud de deslizamiento puede también ser ajustada por medio de los tornillos de control de la altura vertical. Se ajusta nuevamente el nivel del aparato, si es necesario. Se coloca el péndulo en posición horizontal y se rota la aguja indicadora en el sentido de las manecillas del reloj hasta que ésta se detenga contra el tornillo de ajuste del brazo del péndulo.

Se debe aplicar suficiente agua para cubrir el área totalmente. Se ejecutan varios movimientos oscilatorios hasta obtener resultados consistentes, pero no se registran las lecturas.

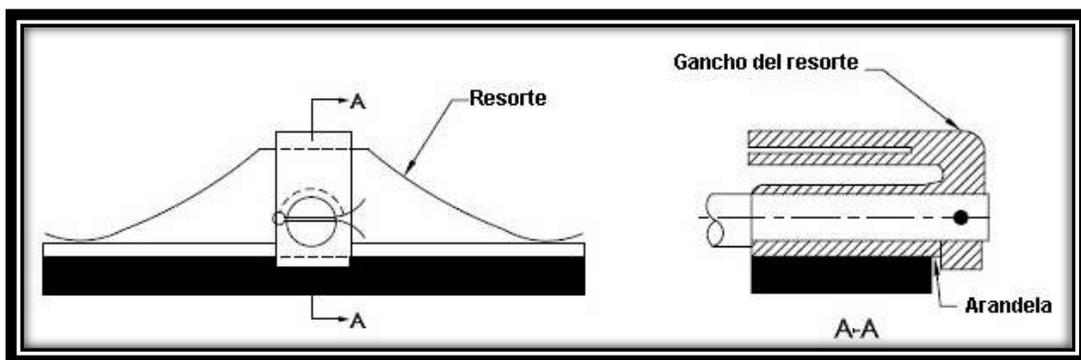
Siempre se debe sostener el péndulo durante la parte inicial de su recorrido de regreso, antes que pase por la posición vertical. Mientras que el péndulo se devuelve a su posición inicial, se levanta la zapata con su palanca de elevación para prevenir el contacto de la zapata con la superficie de contacto. Con anterioridad a cada movimiento oscilatorio, la aguja indicadora debe ser devuelta a su posición de descanso contra el tornillo de ajuste.

Se vuelve a mojar la superficie de ensayo y sin demora se realizan cuatro nuevos movimientos oscilatorios remojando la zona de ensayo antes de cada disparo y se registran los resultados.

Se deben utilizar cuatro movimientos oscilatorios cuando la zapata tenga caucho natural y cinco si tiene el tipo de caucho recomendado por la AASHTO M 261

Se debe tener cuidado de que la zapata permanezca paralela a la superficie durante el movimiento oscilatorio y no rote, de tal manera que una punta haga el contacto inicial y no todo el borde. Se dispone de información que demuestra que los giros de la zapata pueden dar origen a lecturas erradas. La instalación de un pequeño resorte plano puede atenuar el problema. Este resorte se puede insertarse en una ranura del gancho de resorte e y asegurarse con un pasador como se muestra en la Figura. EL borde libre del resorte se puede apoyar sobre la platina posterior de la zapata de tal manera que le impida girar. Se debe revisar nuevamente la longitud de contacto de la zapata y se debe revisar nuevamente el ajuste del cero.

Figura 26. Gancho del resorte para impedir la rotación de la zapata.



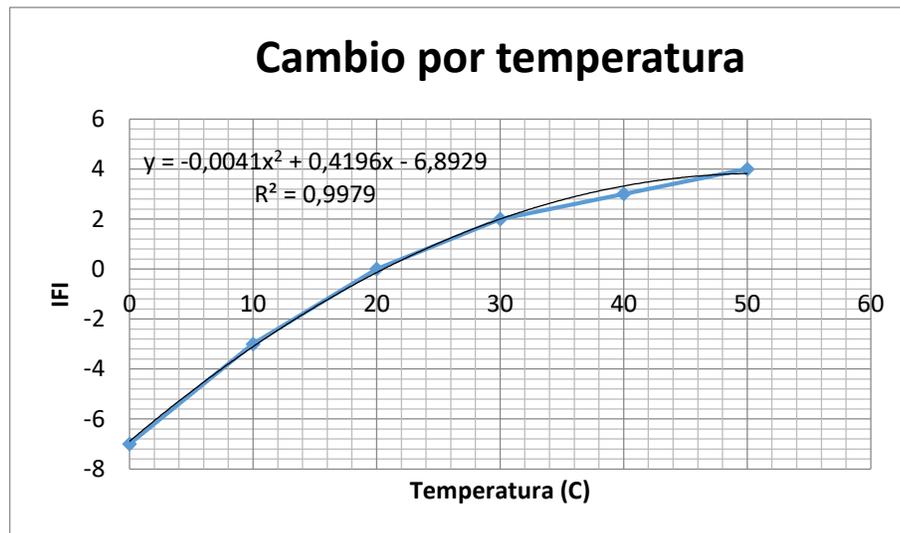
Fuente. Coeficiente de resistencia al deslizamiento usando el péndulo británico” I.N.V.E – 792 – 07.

Como mencionamos anteriormente se realizara cuatro mediciones en campo para cada muestra en la que se analizara la fricción, para así sacar valores promedios de las cuatro

mediciones que se realizaran tomando en cuenta si los valores se encuentran dentro de los rangos permitidos, habiendo la posibilidad de descartar un valor extremo en el promedio.

Las medidas efectuadas sobre el pavimento están siempre afectadas por las variaciones de temperatura de la zapata y de la superficie ensayada; es por esto, que al valor obtenido del péndulo se le adiciona un factor a la lectura efectiva.

Figura 27. Factor de corrección por temperatura.



Fuente. Consideraciones para la aplicación del índice de fricción internacional en carreteras de México.

2.17. ENSAYO DEL CIRCULO DE ARENA

El ensayo del círculo de arena en general, el ensayo es aplicable a cualquier tipo de pavimento, tanto asfáltico como de hormigón, y consiste en extender sobre su superficie un volumen de arena fina, distribuyéndola y enrasándola posteriormente mediante un dispositivo adecuado.

A partir del volumen de arena utilizado y del área cubierta por la misma sobre el pavimento, se calcula una profundidad media de los vacíos superficiales rellenos por la arena

Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como la norma.

Esta norma no pretende dar directrices sobre aspectos de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad de quien la emplee, establecer las medidas de seguridad y salubridad apropiadas y determinar la aplicación de las limitaciones regulatorias antes de su empleo.

2.17.1. Descripción del método ensayo del círculo de arena

Este método de prueba es adecuado para pruebas de laboratorio el cual determina el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

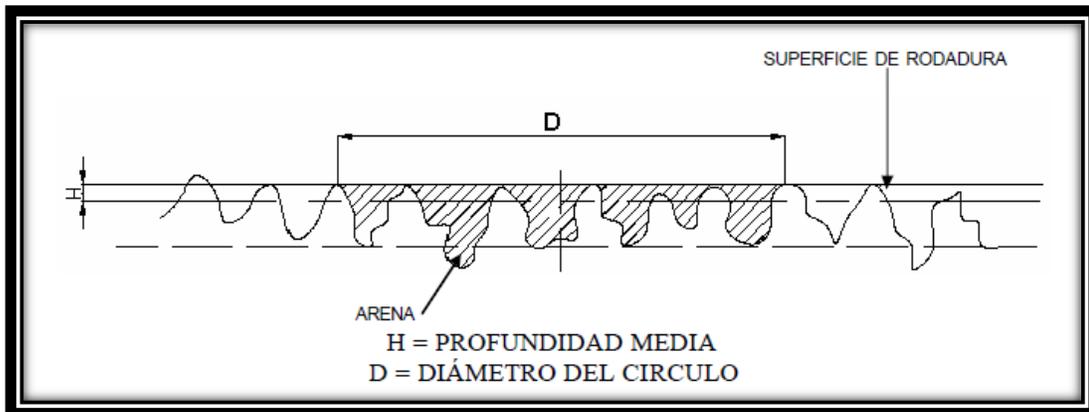
Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macrotextura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado. Cuando se utiliza con otras pruebas, se debe tener cuidado de que todas ellas se apliquen al mismo lugar. Se pueden obtener mejoras en la evaluación del acabado de pavimentos y planes de mantenimiento del uso de este método.

Las mediciones del espesor de la textura producida utilizando este método de prueba se ve influenciada por las características de la macrotextura de la superficie. La forma de la partícula del agregado, tamaño y distribución son características de la textura superficial no tomada en cuenta en este procedimiento. Este método de prueba no intenta proporcionar una calificación completa de las características de la textura superficial.

Los valores del espesor de la macrotextura superficial en el pavimento determinados por este método, con el material y procedimientos establecidos aquí, no necesariamente concuerdan o se correlaciona directamente con otras técnicas de medición de textura superficial. Este método también es adecuado para propósitos de investigación y desarrollo, en donde se realizan comparaciones entre superficies de pavimento en la misma evaluación.

La superficie del pavimento a ser muestreado utilizando este método de prueba debe estar seca y libre de cualquier residuo de construcción, escombros superficiales, y partículas agregados sueltos que se pudieran remover o desplazar durante condiciones ambientales y de servicio normales.

Figura 28. Medición de diámetro y profundidad media.



Fuente. Textura superficial método del círculo de arena.

2.17.2. Procedimiento

El procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido de material sobre una superficie de pavimento limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macrotextura.

En la dispersión del material especificado en este método, la superficie de los vacíos está completamente llena hasta los picos de las partículas circundantes.

Este método de prueba no se considera conveniente para utilizarse en superficies estriados o pavimentos con vacíos grandes (≥ 1.0 plg (25mm)).

Superficie de prueba.-

Inspeccione la superficie del pavimento por ser evaluada y seleccione un área seca y homogénea que no contenga características únicas o localizadas tales como grietas y juntas. Debe estar completamente limpia utilizando primeramente la brocha de alambre

y posteriormente la brocha de cerdas suaves para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie. Colocar la pantalla contra viento alrededor de la superficie por ensayar.

Material de prueba.-

Llene con material hasta la parte superior del cilindro y nivele con una regleta. Si se dispone de una balanza, determine la masa del material en el cilindro y utilice esta misma masa de material de prueba en cada determinación.

Medición del ensayo.-

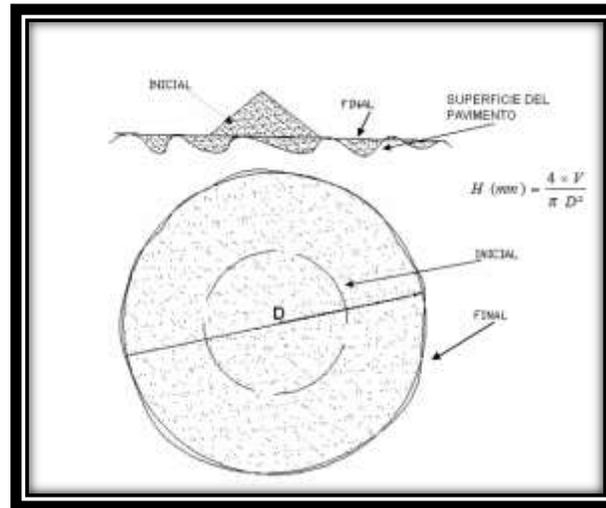
Vierta el volumen del material en la superficie limpia dentro del área protegida por la pantalla contra viento. Disperse cuidadosamente el material en el parche circular con la herramienta de disco, con la parte cubierta con hule hacia abajo, llenando los vacíos superficiales hasta los picos de las partículas de agregados, también puede realizarse con una regleta.

Mida y registre el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra. Calcule y registre el diámetro promedio.

Número de mediciones de prueba.-

El mismo operador deberá desarrollar al menos cuatro mediciones del espesor de la macrotextura, espaciadas aleatoriamente sobre un tipo de superficie de pavimento ensayado. El promedio aritmético de los valores de espesor de la macrotextura se deben considerar como el promedio del espesor de la macrotextura de la superficie del pavimento bajo estudio.

Figura 29. Esquema del ensayo del círculo de arena.



Fuente. Textura superficial método del círculo de arena.

2.17.3. Partes del equipo

Material Esferas de vidrio.-

Sólido con 90% de redondez de acuerdo con el método de prueba ASTM D 1155 o podría utilizarse arena graduada de tal manera que tengan un mínimo de 90% en peso que pase la malla No. 60 y se retenga en una No. 80.

Recipiente de prueba.-

Se puede utilizar un recipiente cilíndrico metálico o de vidrio, con volumen interno predeterminado de al menos 1.5 pulgadas cúbicas (25,000 mm³), el cual se utilizará para determinar el volumen de arena dispersa.

Herramienta de dispersión.-

Se deberá utilizar un disco plano duro de aproximadamente 1 pulgada (25 mm) de espesor y 2.5 a 3 pulgadas (60 a 75 mm) de diámetro para dispersar la arena. La parte inferior del disco deberá estar cubierto con un material de hule duro y se puede acoplar un asa conveniente a la parte superior del disco. O si no se cuenta con esta herramienta, puede ser remplazada por una regleta, lo suficientemente larga para abarcar el diámetro formado por la arena dispersa.

Brochas.-

Se deberán utilizar una brocha de alambre y una de cerdas suaves se deberá utilizar para limpiar completamente a la superficie del pavimento.

Pantalla contra viento.-

Se utiliza para proteger al material del viento y la turbulencia creada por el tráfico.

Escala.-

Se deberá utilizar una escala estándar (regla o cinta métrica) de 12 plg. (305 mm) o de longitud mayor que contenga divisiones de 0.1 plg. (2.5mm) o 1 mm (0.04 plg.).

2.17.4. Procedimiento de cálculo**Volumen del cilindro.-**

Calcule el volumen interno del cilindro de prueba como sigue:

$$V = \frac{\pi * d^2}{4} * H$$

Dónde:

V = volumen interno del cilindro, (plg³ - mm³).

d = diámetro del cilindro de prueba, (plg - mm).

H = altura del cilindro, (plg - mm).

Espesor promedio de la macrotextura del pavimento.-

Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

Dónde:

H = promedio del espesor de la macrotextura de la superficie, (plg - mm).

V = volumen de la muestra, (plg³ - mm³).

d = diámetro promedio del área cubierta por el material (plg - mm).

CAPÍTULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA SOBRE LA EVALUACIÓN DE TEXTURIZADO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

3.1. ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

Los progresos científico - tecnológicos asociados con las construcciones del pavimento rígido muestran un avance significativo en los últimos años, con el desarrollo de nuevas tipologías de pavimentación. El desarrollo de nuevas configuraciones en la textura superficial de los pavimentos de hormigón, acompañan estos nuevos desarrollos permiten obtener nuevas alternativas, capaces de satisfacer los requisitos más ambiciosos.

Sin embargo, aún no se implementan nuevas prácticas constructivas en condiciones reales de obra. Las condiciones de costo y desempeño de las estructuras de concreto pueden afectar negativamente a la calidad del producto final.

Las condiciones superficiales y la composición de hormigones influyen de manera directa en las características del concreto para cualquier etapa del mismo. Ello constituye una preocupación tanto para los fabricantes como para los usuarios de dichos hormigones por las evidentes consecuencias técnicas y económicas que se generan y en mayor factor la seguridad vial.

Es en este entendido es que buscamos indagar en el área vial, analizando uno de sus campos que son los pavimentos, adentrándonos en lo que es el tema de la influencia experimental de diferentes configuraciones en la conformación de la textura superficial a través de evaluaciones de laboratorio que sostengan la idea que se desarrolla con esta investigación.

Los agregados triturados que se emplearon para la investigación son de la región; El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “**ERIKA S.R.L**”), San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “**GARZÓN**”) y de la localidad de Charaja, Río Camacho (Chancadora del “**SEDECA**”), con los cuáles se obtendrán:

- Caracterización de cada banco de agregado.

- Dosificación de las mezclas de acuerdo al método ACI-211, con el objeto de adquirir sus resistencias a los 28 días, tomando en cuenta todas las características de los agregados, para realizar una comparación entre resistencias adquiridas.

Con la finalidad de obtener los objetivos de la investigación se busca determinar posibles configuraciones de textura superficial mediante técnicas de ranuración, para ello se desarrollará las siguientes evaluaciones a las losas de concreto:

- Péndulo británico para medir coeficientes de resistencia al deslizamiento (C.R.D).

Este método entrega una medida de las propiedades friccionantes y de la microtextura de superficies, ya sea en el campo o en el laboratorio.

Cabe mencionar que los valores de, (C.R.D), y valores de pulimento obtenidos en superficies similares no son numéricamente iguales, principalmente por las diferencias en la longitud de rozamiento y por la forma de la superficie.

3.2. OBTENCIÓN DE MATERIALES DE LA REGIÓN

Los agregados empleados para la investigación se seleccionaron tomando en cuenta los más usuales para la construcción de pavimentos de hormigón y tratando de abarcar diferentes chancadoras más cercanas a la ciudad de Tarija, los materiales cumplen las especificaciones de las Normas ASTM y AASHTO.

La segunda etapa es realizada en Laboratorio de Hormigones y resistencia de materiales en los ambientes de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, de la Ciudad de Tarija, donde se realizarán todas las pruebas necesarias con los materiales y equipos adecuados, para un posterior procesamiento de datos.

3.2.1. Descripción de los bancos de los agregados

3.2.1.1. El Rancho

El banco del Rancho se encuentra ubicada al norte de la ciudad de Tarija aproximadamente a 10 Km entre 21°28´ latitud sur y 64°45´ latitud oeste, los agregados provienen del río Guadalquivir al cual aportan los ríos de Sella, Corana, Carachimayo, Canasmoro, San Lorenzo, P`ajchanis y Calama.

En cuanto a las características a simple vista se puede notar que algunas piedras tienen formas lajosas y por la cercanía a la ciudad son muy empleados.

De acuerdo a la formación geológica existe un material semi-consolidado de cantos rodados, gravas, arenas, limos y arcillas de edad cuaternaria producto de la descomposición de las rocas.

3.2.1.2. Charaja

La extracción de los agregados del Río Camacho se efectuó a 30 Km aproximadamente de la ciudad de Tarija, en el valle de la Concepción, entre 21°42´ latitud sur y 64°38´ latitud oeste, a este contribuyen los ríos de Chaguaya, Juntas, y Barrancas. Los áridos de este río son de canto rodado y es un material aprovechable por su buena consistencia y homogeneidad.

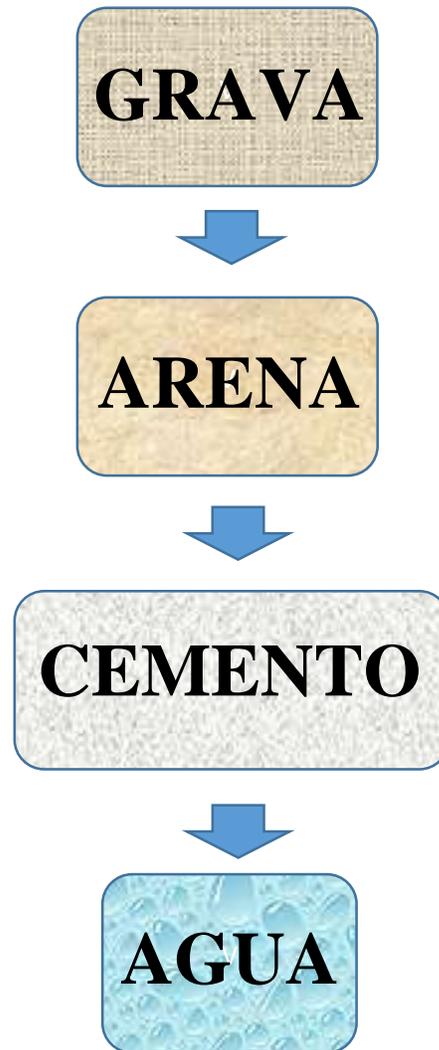
En cuanto a la formación geológica son depósitos de origen fluvial y aluvial, formado por gravas de edad precámbrica.

3.2.1.3. San Mateo

El tercer banco para la extracción de materiales fue de la chancadora “Garzón”, ubicada en la comunidad de san mateo aproximadamente a 12 km, de la ciudad de Tarija, entre 21°33´ latitud sur y 64°28´ latitud oeste, los agregados provienen del río San Mateo.

En cuanto a la formación geológica perteneciente a la formación rejara compuesta de metagranudiorita, rocas cuarcitas y lutitas de edad ordovícica.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES



3.3.1. Caracterización del agregado grueso para hormigón

El agregado grueso o grava, estará formado por canto rodado o canto rodado triturado; deberá ser muy limpia. Sin la presencia de limo recubriendo su superficie y/o que

contenga material pétreo descompuesto. Las partículas individuales de grava serán sólidas y resistentes de un peso específico igual o mayor a 2.600 Kg/M³, evitando el uso de formas laminares.

El tamaño de la grava deberá tener una buena graduación desde el tamaño máximo especificado, hasta el tamiz N° 4 donde deberá quedar retenido el 100%.

Tabla 8. Especificaciones del agregado grueso según CBH 87.

Tamiz N°	% que pasa mínimo	% que pasa máximo
2½"	100	100
2"	95	100
1½"	-	-
1"	35	100
¾"	-	-
½"	10	30
3/8"	-	-
N° 4	3	5

Fuente. Especificaciones CBH 87.

3.3.1.1. Granulometría del agregado grueso

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño

graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

3.3.1.1.1. Desarrollo de la práctica

La muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Objetivo.- Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de los tamaños de las partículas del agregado grueso.

Equipo.-

- Balanza sensible precisión 0,1 gramos.
- Juego de tamices (2 ½", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", 3/8", N° 4).
- Horno de temperatura constante (105°C).
- Brocha para limpiar los tamices.
- Vibrador mecánico para tamices (Rop-Tap).

Preparación de la muestra.-

La muestra debe estar seca, ser representativa y obtenida por cuarteo.

Si se trata de grava se utiliza el juego de tamices desde 3 ½" hasta N°4.

Procedimiento.-

- Se introduce una muestra representativa de grava triturada que fue alrededor de 5000 grs, al juego de tamices.
- Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado por lo general es de 15 minutos.
- Para el agitado de las mallas es muy conveniente el uso de un aparato mecánico de agitado Rop-Tap.

- Si no se dispone del agitador mecánico se realiza el proceso de tamizado de forma manual no menos de 15 minutos.
- Se quita la tapa y se separa los tamices, vaciando las fracciones de muestra que quedaron retenidos en cada una uno de ellos, incluyendo en la base.
- El material que ha quedado atrapado entre los hilos de la malla no se los debe forzar a pasar a través de ella, inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo metálico despréndase y agréguese a la fracción anterior.
- Se pesa cuidadosamente cada fracción de muestra obtenida.

Figura 30. Juego de tamices.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 31. Tamizado manual.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.1.2 Resultados obtenidos

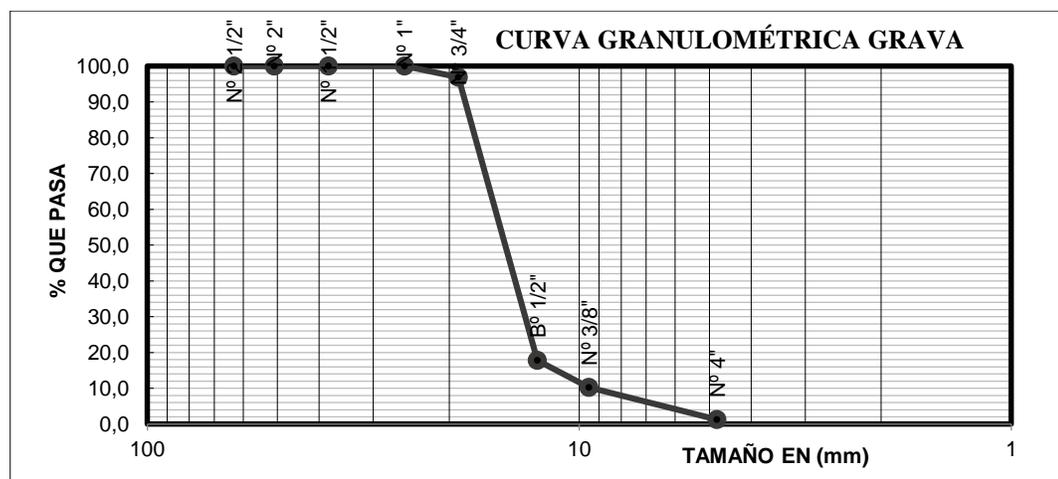
Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 9. Análisis granulométrico-agregado grueso ERIKA.

Peso Seco (gr.) =		4620					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especificaciones. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63.00	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
2	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100
1 1/2	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	95	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00		
3/4	19.05	143.20	143.20	3.10	96.90	35	70
1/2	12.50	3653.20	3796.40	82.17	17.80		
3/8	9.50	350.20	4146.60	89.75	10.20	10	30
Nº4	4.80	417.10	4563.70	98.78	1.20	0	5
BASE	0	53.20	4616.90	99.93	0.00		
SUMA =		4616.90					
PÉRDIDAS =		3.10					
MF =		6.92					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 32. Curva granulométrica - agregado grueso (Grava) ERIKA.



Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO I

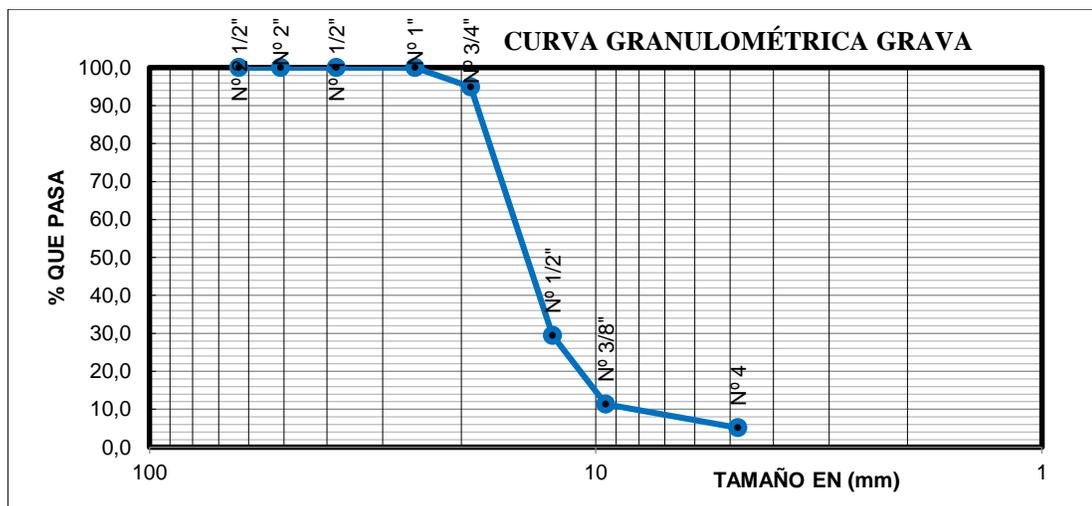
Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 10. Análisis granulométrico - agregado grueso (Grava) POSTA.

Peso Seco (gr.) =		3900					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especificaciones. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
2	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
1 1/2	38.10	0.00	0.00	0.00	100.0	95	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.0		
3/4	19.05	198.00	198.00	5.08	94.90	35	70
1/2	12.50	2554.40	2752.40	70.57	29.40		
3/8	9.50	706.00	3458.40	88.68	11.30	10	30
Nº4	4.80	242.80	3701.20	94.90	5.10	0	5
BASE	0	3.20	3704.40	94.98	0.00		
SUMA =		3704.40					
PÉRDIDAS =		195.60					
MF =		6.89					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 33. Curva granulométrica - agregado grueso (Grava) POSTA.



Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO I

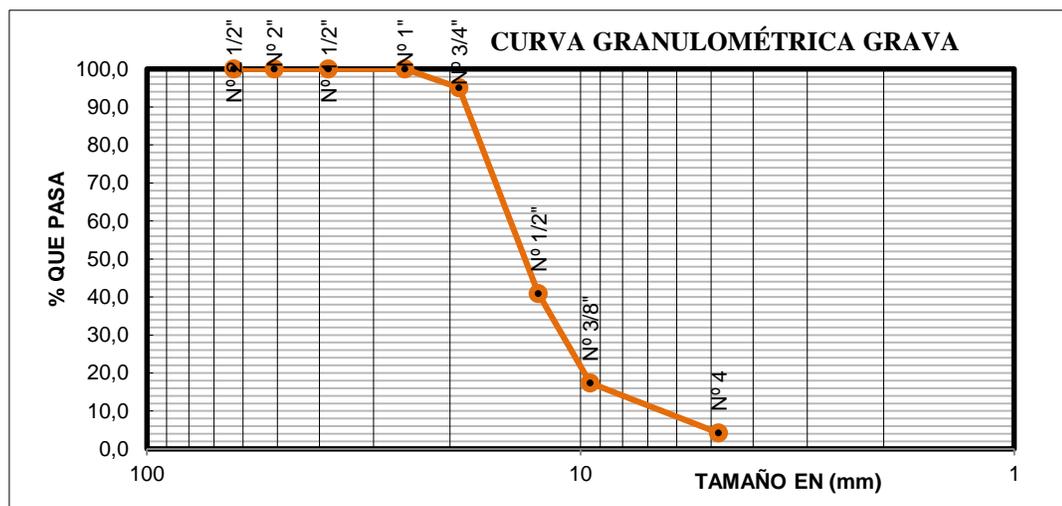
Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 11. Análisis granulométrico - agregado grueso (Grava) CHARAJA.

Peso Seco (gr.) =		4000					
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especificaciones. ASTM	
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
2	50.8	0.00	0.00	0.00	100.0	100	100
1 1/2	38.10	0.00	0.00	0.00	100.0	95	100
1	25.40	0.00	0.00	0.00	100.0		
3/4	19.05	196.70	196.70	4.92	95.10	35	70
1/2	12.50	2169.00	2365.70	59.14	40.90		
3/8	9.50	940.30	3306.00	82.65	17.40	10	30
Nº4	4.80	526.20	3832.20	95.81	4.20	0	5
BASE	0	3.20	3835.40	95.89	0.00		
SUMA =		3835.40					
PÉRDIDAS =		164.60					
MF =		6.83					

Fuente. Elaboración propia.

Figura 34. Curva granulométrica - agregado grueso (Grava) CHARAJA.



Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO I

3.3.1.2. Peso específico y absorción del agregado grueso

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

3.3.1.2.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado grueso cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

Equipo.-

- Una balanza que tenga 5kg. De capacidad o más sensibilidad de 0,5gr.
- Cesto cilíndrico de tela metálica (la cesta deberá ser hecha de malla metálica N° 4) de 20cm de diámetro y de 20 cm de altura.
- Un recipiente en el que se puede sumergir la cesta de alambre y un aparato para suspender la cesta cuando se sumerge, con el fin de obtener el peso de la muestra sumergida.

Preparación de la muestra.- La muestra consistió aproximadamente de 6kg donde 4kg son de grava y 2kg de gravilla, de material retenido sobre la malla N°4 (4.75 mm).

Procedimiento.-

- Se lava el material a fin de remover el polvo o cualquier impureza que cubra la superficie de las partículas, luego se sumerge la muestra con agua por un periodo de 24 horas.
- Se saca la muestra del agua y se secan las partículas con una toalla hasta que la película de agua haya desaparecido de la superficie. Se deberá evitar la evaporación durante esta operación.
- Se obtiene después el peso de la muestra con sus partículas saturadas.
- La muestra se vuelve a sumergir después de ser pesada y se determina el peso de la muestra así sumergida.

- Se seca la muestra en un horno a temperatura constante (105°C) y luego se deja enfriar y se pesa.

Figura 35. Muestra saturada (Grava).



Fuente. Elaboración propia.

Figura 36. Secado superficial de la muestra saturada 24 hrs antes



Fuente. Elaboración propia.

Figura 37. Peso de muestra sumergida en agua.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 38. Muestra totalmente sumergida en agua a una temperatura de 25 C°.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.2.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 12. Pesos específicos del agregado grueso “ERIKA”.

Muestra	P. muestra	Peso muestra	Peso muestra	P.e.	P.e.	P.e.	%
Nº	Secada "A" (gr)	Saturada con Sup. seca "B" (gr)	Saturada dentro del agua "C" (gr)	A granel (gr/cm ³)	Sat. con Sup. seca (gr/cm ³)	Aparente (gr/cm ³)	de Abs.
1	2758.00	2805.00	1743.00	2.59	2.64	2.71	1.70
2	2741.00	2800.00	1728.00	2.55	2.61	2.70	2.15
PROMEDIO				2.57	2.62	2.71	1.92

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia.- San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 13. Pesos específicos del agregado grueso “POSTA”.

Muestra	P. muestra	Peso muestra	Peso muestra	P.e.	P.e.	P.e.	%
Nº	Secada "A" (gr)	Saturada con Sup. seca "B" (gr)	Saturada dentro del agua "C" (gr)	A granel (gr/cm ³)	Sat. con Sup. seca (gr/cm ³)	Aparente (gr/cm ³)	de Abs.
1	2955.00	3016.00	1868.00	2.57	2.62	2.71	2.06
2	2728.00	2773.00	1718.00	2.58	2.62	2.70	1.65
PROMEDIO				2.58	2.62	2.71	1.85

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 14. Pesos específicos del agregado grueso “CHARAJA”.

Muestra	P. muestra	Peso muestra	Peso muestra	P.e.	P.e.	P.e.	%
Nº	Secada "A" (gr)	Saturada con Sup. seca "B" (gr)	Saturada dentro del agua "C" (gr)	A granel (gr/cm ³)	Sat. con Sup. seca (gr/cm ³)	Aparente (gr/cm ³)	de Abs.
1	2205.00	2248.00	1399.00	2.59	2.64	2.73	1.95
2	2197.00	2244.00	1394.00	2.58	2.64	2.73	2.13
PROMEDIO				2.59	2.64	2.73	2.04

Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.3. Peso unitario del agregado grueso

3.3.1.3.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Equipo.-

- Balanza sensible al 0.5% del peso de la muestra.
- Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm de largo.
- Un juego de recipientes cilíndricos. El tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas. Se usó un molde cilíndrico de 10000 cm³ de volumen.

Calibración de los moldes.- Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

Preparación de la muestra.- Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno.

Procedimiento.-

a) Peso unitario suelto:

- Se pesa en la balanza el molde antes de llenar la grava.
- Se llena el molde con la grava y se nivela sin que sea compactada
- Se vuelve a pesar el molde más la grava, para encontrar el peso de la muestra suelta.

b) Peso unitario compactado:

- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.
- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se debe enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde
- Se pesa el molde junto con el agregado.

Figura 39. Molde cilíndrico de 10 Lts. de volumen.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 40. Peso de la muestra suelta y compacta.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.3.2 Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 15. Peso unitario suelto del agregado grueso “ERIKA”.

Peso unitario suelto					
muestra N°	peso recipiente (gr)	volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	peso muestra suelta (gr)	peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5650.00	10000.00	20982.80	15332.80	1.53
2	5650.00	10000.00	20992.50	15342.50	1.53
3	5650.00	10000.00	20954.80	15304.80	1.53
PROMEDIO					1.53

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 16. Peso unitario compactado del agregado grueso “ERIKA”.

Peso unitario compactado					
muestra N°	peso recipiente (gr)	volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	peso muestra compactada (gr)	peso unitario suelto (gr/cm³)
1	5650.00	10000.00	21688.60	16038.60	1.60
2	5650.00	10000.00	21684.50	16034.50	1.60
3	5650.00	10000.00	21643.80	15993.80	1.59
PROMEDIO					1.60

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 17. Peso unitario suelto del agregado grueso “POSTA”.

Peso unitario suelto					
muestra N°	peso recipiente (gr)	volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	peso muestra suelta (gr)	peso unitario suelto (gr/cm³)
1	5650.00	10000.00	19980.25	14330.25	1.43
2	5650.00	10000.00	19960.60	14310.60	1.43
3	5650.00	10000.00	19975.45	14325.45	1.43
PROMEDIO					1.43

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 18. Peso unitario compactado del agregado grueso “POSTA”.

Peso unitario compactado

muestra n°	peso recipiente (gr)	volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	peso muestra compactada (gr)	peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5650.00	10000.00	21485.40	15835.40	1.58
2	5650.00	10000.00	21365.05	15715.05	1.57
3	5650.00	10000.00	21580.00	15930.00	1.59
PROMEDIO					1.58

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 19. Peso unitario suelto del agregado grueso “CHARAJA”.

Peso unitario suelto					
muestra n°	peso recipiente (gr)	volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	peso muestra suelta (gr)	peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	5650.00	10000.00	20467.75	14817.75	1.48
2	5650.00	10000.00	20419.35	14769.35	1.47
3	5650.00	10000.00	20405.45	14755.45	1.47
PROMEDIO					1.47

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 20. Peso unitario compactado del agregado grueso “CHARAJA”.

Peso unitario compactado					
muestra	peso	volumen	Peso recipiente	peso	peso

n°	recipiente (gr)	recipiente (cm ³)	+ muestra suelta (gr)	muestra compactada (gr)	unitario suelto (gr/cm ³)
1	5650.00	10000.00	21819.10	16169.10	1.61
2	5650.00	10000.00	21971.45	16321.45	1.63
3	5650.00	10000.00	21857.20	16207.20	1.62
PROMEDIO					1.62

Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.4. Determinación del desgaste del agregado grueso máquina de los ángeles

Los agregados deben ser capaces de resistir el desgaste irreversible y degradación durante la producción, colocación y compactación de las obras de pavimentación, y sobre todo durante la vida de servicio del pavimento.

3.3.1.4.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este método abarca el procedimiento de ensayo para determinar el porcentaje de desgaste de piedra y grava triturada y agregado grueso natural, (grava no triturada) por medio de la máquina de los ángeles.

Equipo.-

- Máquina de desgaste de los Ángeles que consiste de un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones interiores: 70cm. (28") de diámetro y 50cm (20") de largo. El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplada a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto.
- Un juego de tamices de abertura cuadrada de la serie estándar de los siguientes tamaños: 3", 2 ½", 2", 1½", 3/4", 3/8" y números 4, 8 y 12.
- Horno de temperatura constante a 105 C°.
- Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.

Carga de desgaste.- La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los Ángeles consistirá de bolas o esferas de acero de 1 7/8" de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr. El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo y será como sigue:

Tabla 21. Carga para la prueba del desgaste de los Ángeles.

Gradación	Nº de esferas	Peso de la carga
A	12	5000±25
B	11	4584±25
C	8	3330±20
D	6	2500±15
E	12	5000±25
F	12	5000±25
G	12	5000±25

Fuente. Elaboración propia.

Muestra del ensayo.- La muestra de ensayo consistirá de agregado limpio que ha sido secado en un horno a 105 C° hasta peso constante y tendrá una de las gradaciones que indica la tabla siguiente. La gradación que se usa será la que más se aproxima a la del agregado bajo ensayo.

Tabla 22. Gradación para la prueba del desgaste de los Ángeles.

Tamaño del tamiz		Gradación y peso de la muestra de ensayo (grs)						
Pasa	Retenido sobre	A	B	C	D	E	F	G
3"	2 1/2"	-		-	-	2500	-	-
2 1/2"	2"	-		-	-	2500	-	-
2"	1 1/2"	-		-	-	5000	5000	-

1 1/2"	1"	1250		-	-	-	5000	-
1"	3/4"	1250		-	-	-	-	-
3/4"	1/2"	1250	2500	-	-	-	-	5000
1/2"	3/8"	1250	2500	-	-	-	-	5000
3/8"	1/4"	-	-	2500	-	-	-	-
1/4"	N° 4	-	-	2500	-	-	-	-
N° 4	N° 8	-	-	-	5000	-	-	-

Fuente. Elaboración propia.

Procedimiento.-

- La muestra de ensayo y la carga se colocara en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina a una velocidad de 30 a 33 revoluciones por minuto. Para la gradaciones A, B, C la maquina se hará girar 500 revoluciones, para las gradaciones E, F y G se hará girar durante 1000 revoluciones. Al final del ensayo el material será descargado de la máquina y se hará una separación preliminar en un tamiz más grueso que el N° 12; la porción más fina se tamizara luego sobre el tamiz N° 12.
- En el presente ensayo se utilizó la gradación B con una carga de 11 esferas para la grava con una muestra de 5.00 kg de los retenidos en los tamices 3/4", 1/2" y 3/8" y una la gradación C con una carga de 8 esferas para la gravilla con una muestra de 5.00 kg de los retenidos en los tamices 3/8", 1/4" y N°4.
- Al finalizar el ciclo de revoluciones de la maquina se retiró el material y se lo debe tamizar en el tamiz de corte N°12 y lo que retenga en el tamiz, deberá lavarse, secarse hasta peso constante en un horno de 105 a 110 C° y pesarse con una aproximación al gramo.
- La diferencia entre el peso original (P) y el peso final (Pf) de la muestra de ensayo será expresado como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo. Este valor será consignado como porcentaje de desgaste.

$$\text{Porcentaje de Desgaste (\%)} = \frac{P - P_f}{P} * 100$$

Dónde:

P = Peso original de la muestra, (Gr – Kg).

Pf = Peso final de la muestra, (Gr – Kg).

(%) = Porcentaje de desgaste, (%).

Figura 41. Máquina de desgaste de los ángeles.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 42. Muestra después del ensayo en la máquina de los Ángeles.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.4.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 23. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Grava).

Gradación B (carga 11 esferas)		
Pasa	Retenido	Peso de muestra tomada
1 1/2"	1"	-
1"	3/4"	-
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3745
DIFERENCIA		1255
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		25.10

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 24. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Gravilla).

Gradación C (carga 8 esferas)

Pasa	Retenido	Peso de muestra tomada
1/2"	3/8"	-
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N° 4	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3660
DIFERENCIA		1340
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		26.80

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 25. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Grava).

Gradación B (carga 11 esferas)		
Pasa	Pasa	Pasa
1 1/2"	1"	-
1"	3/4"	-
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3630
DIFERENCIA		1370
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		27.40

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 26. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Gravilla).

Gradación C (carga 8 esferas)		
Pasa	Retenido	Peso de muestra tomada

1/2"	3/8"	-
3/8"	1/4"	2500
1/4"	N° 4	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3580
DIFERENCIA		1420
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		28.42

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del "SEDECA").

Tabla 27. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Grava).

Gradación B (carga 11 esferas)		
Pasa	Retenido	Peso de muestra tomada
1 1/2"	1"	-
1"	3/4"	-
3/4"	1/2"	2500
1/2"	3/8"	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3795
DIFERENCIA		1205
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		24.11

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 28. Porcentaje de desgaste en el agregado grueso (Gravilla).

Gradación C (carga 8 esferas)		
Pasa	Retenido	Peso de muestra tomada
1/2"	3/8"	-

3/8"	1/4"	2500
1/4"	N° 4	2500
TOTAL:		5000
RETENIDO TAMIZ DE CORTE N° 12 (1.7 mm):		3650
DIFERENCIA		1350
DESGASTE (%) ESP 35% MAX		27.00

Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.5. Ensayo de caras fracturadas

3.3.1.5.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este ensayo de caras fracturadas tiene por objeto la determinación de la relación de partículas del agregado grueso que tienen una o más caras fracturadas con relación al agregado total.

Equipo.-

- Horno de temperatura constante a 105 C°.
- Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.
- Tamices 3/4" y 3/8".
- Brocha o cepillo para limpiar los tamices.

Preparación de la muestra.- Se usa una muestra representativa del agregado grueso lavado para una mejor apreciación de caras fracturadas.

Procedimiento.-

- Se tamizó el agregado y se trabajó utilizando un tamaño máximo de partícula de 3/4" para la grava y de 3/8" para la gravilla.
- Se lavó el material para apreciar mejor las caras fracturadas.
- Se secó el material para pesar la totalidad de la muestra.
- Se separó el agregado que tiene caras fracturadas del canto rodado y se pesan los materiales separados, el porcentaje de material fracturado no debe ser menor al 75% del porcentaje total de la muestra.

Figura 43. Proceso de separación del agregado natural del material fracturado.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 44. Material natural de canto rodado que no presento fracturas.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.5.2. Resultados obtenidos

Procedencia.- El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 29. Caras fracturadas material 3/4”.

Material 3/4"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	865.70	134.30	13.43	86.57	> 75

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 30. Caras fracturadas material 3/8".

Material 3/8"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	849.92	150.08	15.01	84.99	> 75

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora "GARZÓN").

Tabla 31. Caras fracturadas material 3/4".

Material 3/4"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	880.70	119.30	11.93	88.07	> 75

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 32. Caras fracturadas material 3/8".

Material 3/8"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de	Peso de	Peso de	Peso de	Peso de	Peso de

| la muestra (gr) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1000 | 914.10 | 85.90 | 8.59 | 91.41 | > 75 |

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 33. Caras fracturadas material 3/4”.

Material 3/4"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	942.90	57.10	5.71	94.29	> 75

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 34. Caras fracturadas material 3/8”.

Material 3/8"					
Ensayo de caras fracturadas					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	952.60	47.40	4.74	95.26	> 75

Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.6. Ensayo de laminaridad

3.3.1.6.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este ensayo de laminaridad tiene por objeto la determinación de la relación de partículas del agregado grueso que tienen forma laminar y alargado con relación al agregado total.

Equipo.-

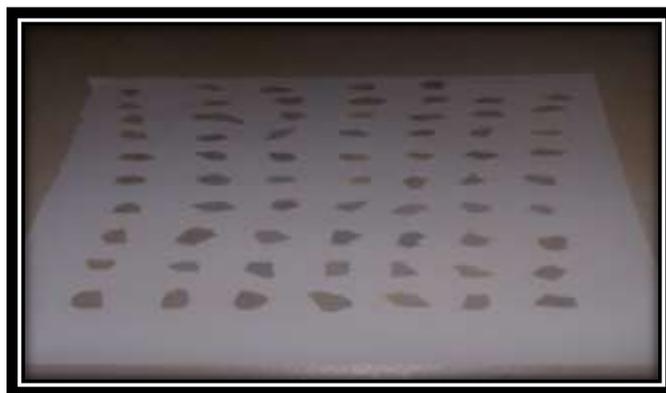
- Horno de temperatura constante a 105 C°.
- Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.
- Tamices 3/4" y 3/8".
- Brocha o cepillo para limpiar los tamices.

Preparación de la muestra.- Se usa una muestra representativa del agregado grueso lavado para una mejor apreciación del material laminar.

Procedimiento.-

- Se tamizo el agregado y se trabajó utilizando un tamaño máximo de partícula de 3/4" para la grava y de 3/8" para la gravilla.
- Se lavó el material para apreciar mejor el material laminar.
- Se secó el material para pesar la totalidad de la muestra.
- Se separó el material laminar del canto rodado y el fracturado y se pesan los materiales separados, el porcentaje de material laminar no debe ser mayor al 10% del porcentaje total de la muestra.

Figura 45. Material laminar separado del total de la muestra del agregado.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.6.2. Resultados obtenidos

Procedencia.- El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 35. Material laminar 3/4”.

Material 3/4"					
Ensayo de laminaridad					
Peso de la muestra (gr)	Peso de material no laminar (gr)	Peso de material laminar (gr)	% de material no laminar (%)	% de material laminar (%)	Esp. máximo (%)
1000	969.30	30.70	96.93	3.07	< 10

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 36. Material laminar 3/8”.

Material 3/8"					
Ensayo de laminaridad					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	977.80	22.20	97.78	2.22	< 10

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 37. Material laminar 3/4”.

Material 3/4"					
Ensayo de laminaridad					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	978.00	22.00	97.80	2.20	< 10

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 38. Material laminar 3/8".

Material 3/8"					
Ensayo de laminaridad					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	974.70	25.30	97.47	2.53	< 10

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del "SEDECA").

Tabla 39. Material laminar 3/4".

Material 3/4"					
Ensayo de laminaridad					
Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)	Peso de la muestra (gr)
1000	973.20	26.80	97.32	2.68	< 10

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 40. Material laminar 3/8".

Material 3/8"					
Ensayo de laminaridad					

| Peso de la muestra (gr) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1000 | 983.90 | 16.10 | 98.39 | 1.61 | < 10 |

Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.7. Durabilidad del agregado grueso método del sulfato de sodio

3.3.1.7.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolver cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfato de sodio, seguidas por secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

Equipo.-

- Juego de tamices para el agregado grueso de la serie estándar de los siguientes tamaños 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4.
- Recipientes para sumergir las muestras en la solución (platos).
- Horno de temperatura constante a 105 C°.
- Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.
- Probeta graduada para encontrar la densidad de la solución.

Soluciones requeridas (Sulfato de Sodio).- El volumen de la solución debe ser de por lo menos 5 veces el volumen de los sólidos de toda muestra inmersa al mismo tiempo. Para prevenir la contaminación de la solución con agentes externos y para reducir la evaporación, cuidar que la solución este todo el tiempo cubierta.

Previo a cada uso disolver el bollo de sal que hubiere en el contenedor y determinar la densidad que debe estar entre **1,151 y 1,174**.

Muestras.-**Agregado Grueso.-**

El material más fino que el tamiz N° 4, no es tomado en cuenta.

Tabla 41. Cantidad de muestra requerida según la serie de tamices.

Serie de tamices	Cantidad requerida
3/8"-N°4	300±5
3/4"-3/8"	1000±10
3/4"-1/2"	670±10
1/2"-3/8"	330±5
1 1/2"- 3/4"	1500±50
1 1/2"-1"	1000±50
1"-3/4"	500±30
2 1/2"- 1 1/2"	5000±300
2 1/2"-2"	3000±300
2"- 1 1/2"	2000±200
>2 1/2" aumentar 1 Y en cada fracción	7000±1000

Fuente. Guía de ensayos de laboratorio.

Si las muestras contienen menos de un 5% de cualquiera de los tamaños específicos anteriormente, ese tamaño no debe ensayarse, pero debe considerarse que ese tamaño inferior próximo; o si uno de estos tamaños está ausente, deben considerarse que ese tamaño tiene la misma pérdida que el tamaño inferior próximo o uno superior próximo cualquiera que esté presente.

Procedimiento.-

Agregado grueso.-

- Lavar completamente y secar la muestra de agregado grueso a peso constante $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ y separarlos en diferentes tamaños por tamices. Pesarse cantidades diferentes tamaños, combinarlos hasta la designación total de peso.
- La muestra se lava y se seca completamente y sus respectivas fracciones.

Almacenaje de la muestra en la solución.-

- Primeramente sumergir la muestra en la solución preparada de sulfato de sodio por lo menos de 16 hrs ni más de 18 hrs de manera que tal la solución la cubra con por lo menos $\frac{1}{2}$ " a la muestra.
- Cubrir el contenedor para reducir la evaporación y prevenir adiciones accidentales a las muestras.
- Mantener la muestra inmersa en la solución a temperatura 25°C .

Secado de la muestra después de la inmersión.-

- Después del periodo de inmersión sacar las muestras de la solución, permitiendo el drenaje por lo menos 15 minutos y colocar en el horno del secado.
- Secar las muestras hasta que lleguen el peso constante. Establecer el peso requerido a peso constante como sigue:
- Verificar el peso de las pérdidas, sacando y pesando las muestras del horno sin hacer enfriar en intervalos de 2 a 4 hrs.
- Generalmente las arenas tienen un tiempo de secado mayor que las gravas.

- Después que la muestra seque, sacarlas del horno y enfriarlas, entonces la muestra será nuevamente sumergida en la solución preparada.
- Repetir el número de ciclos que se requieran en este caso fueron cinco ciclos.
- Después de complementar el último ciclo y después que la muestra ha sido enfriada, lavar la muestra para liberarla del sulfato de sodio. La muestra deberá permanecer en sus contenedores.
- El sulfato de sodio es secado, y secar después cada fracción de la muestra a temperatura constante 105°C.
- Tamizar el agregado grueso sobre el mismo tamiz sobre el cual fue retenido antes del ensayo. Para los agregados gruesos el tamizado lo hará con la mano y una agitación necesaria para que pasen las partículas que redujeron su tamaño
- Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar cada cantidad. La diferencia entre cada una de esta sumas y el peso de la fricción inicial de cada tamiz es la pérdida en el ensayo y esta expresada en porcentaje del peso inicial.

Figura 46. Solución de sulfato de sodio.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 47. Porciones de muestra antes de la inmersión.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 48. Meteorización del agregado producto de la inmersión en sulfato de sodio.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.1.7.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 42. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado grueso).

Agregado grueso									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por	%	%	% Pérdida
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Total	Antes	Después	Diferencia (grs)	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	Respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
1"	1"	3/4"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	3/4"	1/2"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00
1/2"	1/2"	3/8"	99.50	300.00	294.15	5.85	17.60	1.95	0.34
3/8"	3/8"	N° 4	81.90	200.00	193.90	6.10	27.20	3.05	0.83
N° 4	N° 4		54.70	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.17
MAXIMO=									12.00

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora "GARZÓN").

Tabla 43. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado grueso).

Agregado grueso									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por	%	%	% Pérdida
Tamiz N°	Tamiz Pasa	Tamiz Ret.	Total	Antes	Después	Diferencia (grs)	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	Respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
1"	1"	3/4"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	3/4"	1/2"	100.00	0.00	0.00	0.00	1.30	0.00	0.00
1/2"	1/2"	3/8"	98.70	300.00	283.60	16.40	19.38	5.47	1.06
3/8"	3/8"	N° 4	79.32	200.00	195.20	4.80	28.27	2.40	0.68
N° 4	N° 4		51.05	0.00	0.00	0.00	16.75	0.00	0.00
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.74
MAXIMO=									12.00
CINCO CICLOS									

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del "SEDECA").

Tabla 44. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado grueso).

Agregado grueso									
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Granulometría				Peso materiales		Perdida por	%	%	% Pérdida
Tamiz N°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Total	Antes	Después	diferencia (grs)	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	Respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
1"	1"	3/4"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/4"	3/4"	1/2"	100.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00
1/2"	1/2"	3/8"	99.10	300.00	283.60	16.40	18.49	5.47	1.01
3/8"	3/8"	N° 4	80.61	200.00	197.00	3.00	27.74	1.50	0.42
N° 4	N° 4		52.87	0.00	0.00	0.00	15.87	0.00	0.00
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.43
MAXIMO=									12.00
CINCO CICLOS									

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2. Caracterización del agregado fino para hormigón

Se entiende por “árido fino”, el árido o fracción del mismo que pasa por el tamiz N°4.

La arena será limpia, de buena calidad y sin materiales extraños como pizarras, arcilla,

barros, hojas, yesos u otras materias deletéreas. El módulo de fineza debe estar comprendido entre 2.50 y 3.00.

Tabla 45. Especificaciones del agregado grueso según CBH 87.

Tamiz	% que pasa	% que pasa
N°	Mínimo	Máximo
100	3	7
50	5	26
30	30	62
16	55	85
8	75	95
4	95	100

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.1. Granulometría del agregado fino

Dentro del análisis de los suelos, se encuentra el de la granulometría, que no es más que obtener la distribución porcentual de los tamaños de partículas que conforman el suelo. Esto se realiza con la ayuda de un juego de mallas, que tienen un tamaño graduado establecido por las normas ASTM y AASHTO, en donde se obtienen los pesos que se retienen en la malla, referido al peso total que se utiliza en el ensayo.

3.3.2.1.1. Desarrollo de la práctica

En primer lugar la muestra debe ser representativa, por lo que se tiene que usar el cuarteador mecánico, este proceso se repite hasta obtener la cantidad necesaria para la realización del ensayo.

Objetivo.- Este método de ensayo abarca el procedimiento para la determinación de los tamaños de las partículas del agregado fino.

Equipo.-

- Balanza sensible precisión 0,1 gramos.
- Juego de tamices (N°4, N°8, N°16, N°30, N°40, N°50, N°100 y N°200).
- Horno de temperatura constante (105°C).
- Brocha para limpiar los tamices.
- Vibrador mecánico para tamices (Rop-Tap).

Preparación de la muestra.-

La muestra debe estar seca y ser representativa la muestra fue de alrededor de 1000 gramos.

Si se trata de agregado fino (arena) se utiliza el juego de tamices desde N°4, hasta N°200.

Procedimiento.-

- Se introduce una muestra representativa de grava triturada que fue alrededor de 1000 grs, al juego de tamices.
- Se agita todo el juego de mallas, horizontalmente con movimientos de rotación y verticalmente con golpes de vez en cuando. El tiempo de agitado por lo general es de 15 minutos.
- Para el agitado de las mallas es muy conveniente el uso de un aparato mecánico de agitado Rop-Tap.
- Si no se dispone del agitador mecánico se realiza el proceso de tamizado de forma manual no menos de 15 minutos.
- Se quita la tapa y se separa los tamices, vaciando las fracciones de muestra que quedaron retenidos en cada uno de ellos, incluyendo en la base.

- El material que ha quedado atrapado entre los hilos de la malla no se los debe forzar a pasar a través de ella, inviértase el tamiz y con ayuda de una brocha o un cepillo metálico despréndase y agréguese a la fracción anterior.
- Se pesa cuidadosamente cada fracción de muestra obtenida.

Figura 49. Secado de la muestra.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.1.2. Resultados obtenidos

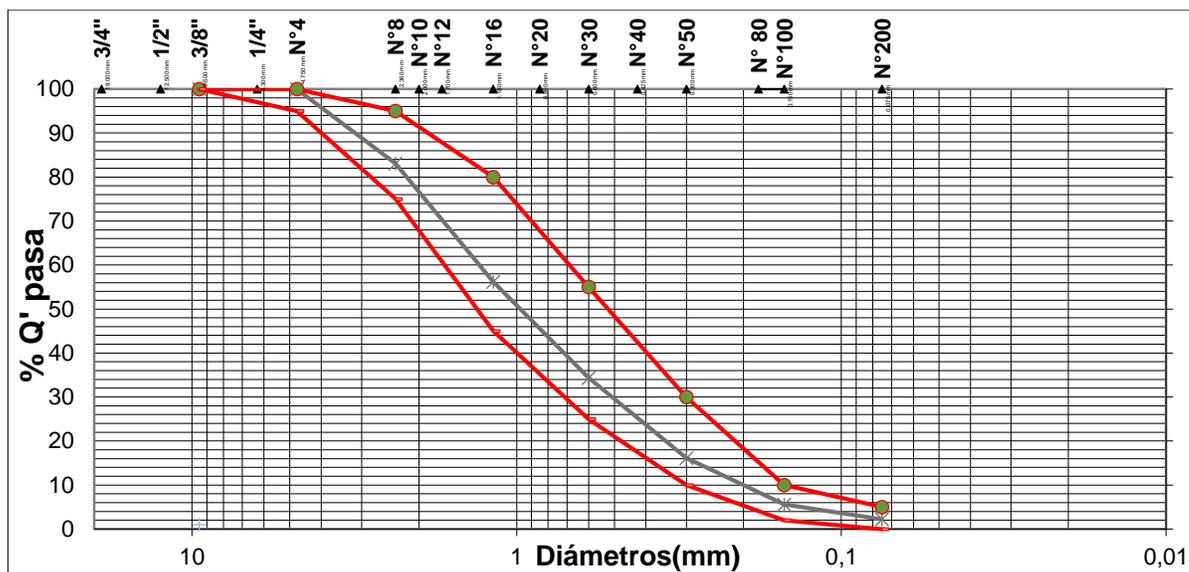
Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 46. Análisis granulométrico-agregado fino “ERIKA”.

M. Total Seca:	700.00 gr						
Granulometría agregado fino					ESP. ASTM C-33		
TAMIZ	Peso Ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total	Limite Inferior	Limite Superior
		grs	%				
3/8"	0.00	0.00	0.00	9.50	100.00	100	100
Nº 4	0.00	0.00	0.00	4.75	100.00	95	100
Nº 8	118.60	118.60	16.90	2.36	83.10	75	95
Nº 16	188.20	306.80	43.80	1.18	56.20	45	80
Nº 30	152.70	459.50	65.60	0.60	34.40	25	55
Nº 50	127.40	586.90	83.80	0.30	16.20	10	30
Nº 100	74.00	660.90	94.40	0.15	5.60	2	10
Nº 200	23.60	684.50	97.80	0.075	2.20	0	5
BASE	13.80	698.30	99.80	0.00	0.20	0	0
SUMA=	698.30						
PERDIDAS=	1.70 gr						
MF=	3.05						

Fuente. Elaboración propia.

Figura 50. Curva granulométrica – Material fino (Arena) ERIKA.



Fuente. Elaboración propia. Ver planillas en ANEXO I

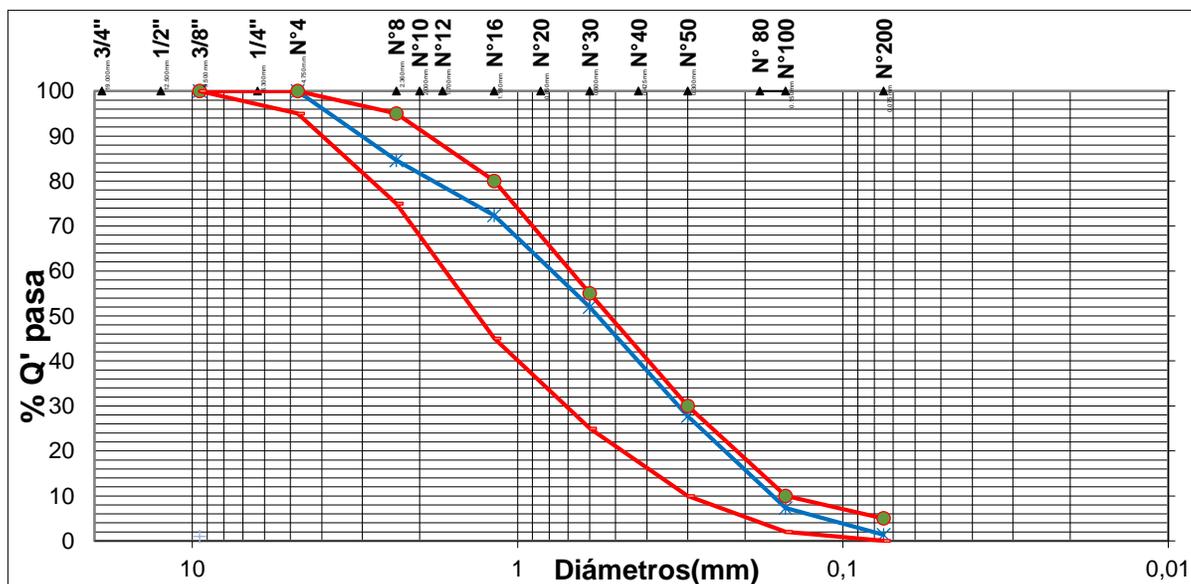
Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 47. Análisis granulométrico-agregado fino “POSTA”.

M. Total Seca:	770.00 gr						
Granulometría agregado fino						ESP. ASTM C-33	
TAMIZ	Peso Ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total	Limite Inferior	Limite Superior
		grs	%				
3/8"	0.00	0.00	0.00	9.50	100.00	100	100
Nº 4	16.30	0.00	0.00	4.75	100.00	95	100
Nº 8	91.40	118.60	15.40	2.36	84.60	75	95
Nº 16	94.50	213.10	27.70	1.18	72.30	45	80
Nº 30	156.70	369.80	48.00	0.60	52.00	25	55
Nº 50	186.70	556.50	72.30	0.30	27.70	10	30
Nº 100	157.30	713.80	92.70	0.15	7.30	2	10
Nº 200	45.70	759.50	98.60	0.075	1.40	0	5
BASE	10.40	769.90	100.00	0.000	0.00	0	0
SUMA=	759.00						
PERDIDAS=	11.00 gr						
MF=	2.56						

Fuente. Elaboración propia.

Figura 51. Curva granulométrica – Material fino (Arena) POSTA.



Fuente. Elaboración propia. Ver planillas en ANEXO I

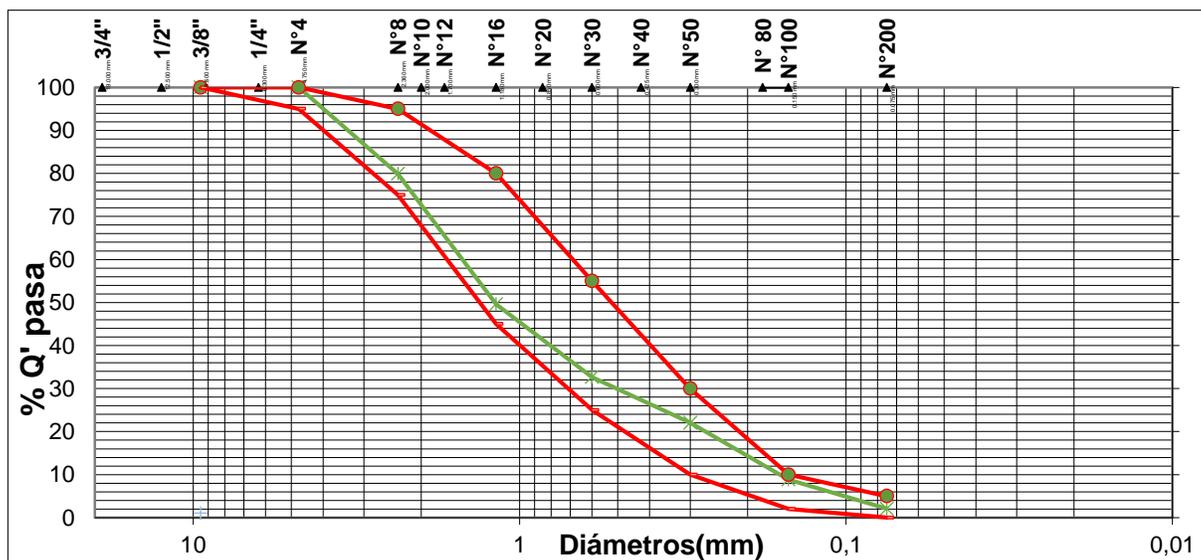
Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 48. Análisis granulométrico-agregado fino “CHARAJA”.

M. Total Seca:		590.00 gr		Granulometría agregado fino			ESP. ASTM C-33	
TAMIZ	Peso ret. en (gr)	Retenido Acumulado		Tamaño mm.	% que pasa del total	Limite Inferior	Limite Superior	
		grs	%					
3/8"	0.00	0.00	0.00	9.50	100.00	100	100	
Nº 4	8.60	0.00	0.00	4.75	100.00	95	100	
Nº 8	115.20	118.60	20.10	2.36	79.90	75	95	
Nº 16	178.70	297.30	50.40	1.18	49.60	45	80	
Nº 30	100.00	397.30	67.30	0.60	32.70	25	55	
Nº 50	62.70	460.00	78.00	0.30	22.00	10	30	
Nº 100	77.80	537.80	91.20	0.15	8.80	2	10	
Nº 200	39.90	577.70	97.90	0.075	2.10	0	5	
BASE	5.150	582.85	98.80	0.000	1.20	0	0	
SUMA=	588.05							
PERDIDAS=	2.00 gr							
MF=	3.07							

Fuente. Elaboración propia.

Figura 52. Curva granulométrica – Material fino (Arena) CHARAJA.



Fuente. Elaboración propia. Ver planillas en ANEXO I

3.3.2.2. Peso específico y absorción del agregado fino

3.3.2.2.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- El ensayo que a continuación se describe tiene por objeto la determinación del peso específico aparente y del peso específico a granel, lo mismo que la cantidad de agua expresada como porcentaje que absorbe el agregado fino cuando se sumerge en agua por un periodo de 24 horas.

Equipo.-

- Balanza con capacidad de 1kg. y sensibilidad de 0,1 gr.
- Matraz de 500 ml de capacidad (se usa el mismo que se requiere para las pruebas de suelos).
- Molde cónico y una varilla.

Muestra.- Se selecciona una muestra de 1000 gramos. Que puede ser obtenida por cuarteo, luego se coloca la muestra dentro de un recipiente lleno de agua y se deja allí por un periodo de 24 horas.

Procedimiento.-

- Se saca la muestra del recipiente y se seca de manera uniforme con ayuda de un secador de cabello.
- Con el fin de inspeccionar que tan seca esta la muestra, se coloca primero en el molde cónico y luego se retira este. Si la muestra tiene todavía alguna humedad en la superficie, conservara la forma cónica y si por el contrario la humedad de la superficie ha sido eliminada, la arena rodara libremente cuando se levante el cono.
- Por lo general si la arena rueda libremente la primera vez que se coloca el cono, esto es indicación de que la muestra ha sido secada más de lo necesario y que ha perdido su condición de saturada; por consiguiente, se deberá rociar con agua y dejarla reposar por 30 minutos antes de volver a colocar en el cono.
- Se coloca 500grs. De la muestra en el matraz y luego se llena este con agua hasta el tope, con el fin de eliminar burbujas de aire presentes en el matraz, se rueda el matraz sobre sí mismo y luego se coloca en un baño a temperatura

constante de 20°C, se deberán hacer las correcciones del caso siguiendo la curva de calibración. Luego se obtiene el peso del matraz lleno.

- Se vacía el contenido del matraz en un recipiente y se pone a secar en el horno de temperatura constante (105°C) y se pesará.

Figura 53. Secado del material fino (Arena).



Fuente. Elaboración propia.

Figura 54. Control de la temperatura del baño María.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 55. Peso de la arena más agua y matraz.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.2.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 49. Pesos específicos del agregado fino “ERIKA”.

Mtra N°	Peso mtra (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "w" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "a" (gr)	Volumen del matraz "v" (ml)	P.e. a granel (gr/cm ³)	P.e. saturado con s.s. (gr/cm ³)	P.e. aparente (gr/cm ³)	% de Abs.
1	500.00	988.35	312.05	486.95	500.00	2.59	2.66	2.78	2.68
2	500.00	987.65	311.35	487.42	500.00	2.58	2.65	2.76	2.58
PROMEDIO						2.58	2.65	2.77	2.63

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 50. Pesos específicos del agregado fino “POSTA”.

Mtra N°	Peso mtra (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "w" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "a" (gr)	Volumen del matraz "v" (ml)	P.e. a granel (gr/cm ³)	P.e. saturado con s.s. (gr/cm ³)	P.e. aparente (gr/cm ³)	% de Abs.
1	500.00	985.86	309.56	489.57	500.00	2.57	2.62	2.72	2.13
2	500.00	982.53	306.23	489.08	500.00	2.52	2.58	2.67	2.23
PROMEDIO						2.54	2.60	2.69	2.18

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 51. Pesos específicos del agregado fino “CHARAJA”.

Mtra N°	Peso mtra (gr)	Muestra + matraz + agua (gr)	Peso del agua agregado al matraz "w" (ml) ó (gr)	Peso muestra secada "a" (gr)	Volumen del matraz "v" (ml)	P.e. a granel (gr/cm ³)	P.e. saturado con s.s. (gr/cm ³)	P.e. aparente (gr/cm ³)	% de Abs.
1	500.00	982.66	306.36	488.03	500.00	2.52	2.58	2.68	2.45
2	500.00	981.33	305.03	488.84	500.00	2.50	2.56	2.65	2.28
PROMEDIO						2.51	2.57	2.67	2.36

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.3. Peso unitario del agregado fino

3.3.2.3.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este ensayo tiene como objeto describir cómo se puede obtener el peso unitario de los agregados y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente.

Equipo.-

- Balanza sensible al 0.5% del peso de la muestra
- Una varilla de 5/8" de diámetro y unos 60 cm de largo
- Un juego de recipientes cilíndricos. El tamaño del molde cilíndrico que se debe usar depende del tamaño máximo de las partículas. Se usó un molde cilíndrico de 3000 cm³ de volumen.

Para agregados cuya partículas tengan un diámetro máximo de 1/2" o menor se usa un molde de 1/10 de pie cubico.

Calibración de los moldes.- Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16,7°C requerido para llenarlos. El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura.

Preparación de la muestra.- Se usa una muestra representativa del agregado a la humedad ambiente. Por ningún motivo debe secarse dicha muestra en el horno.

Procedimiento.-

a) Peso Unitario Suelto:

- Se pesa en la balanza el molde antes de llenar la arena.
- Se llena el molde con la arena y se nivela sin que sea compactada
- Se vuelve a pesar el molde más la arena, para encontrar el peso de la muestra suelta.

b) Peso Unitario Compactado:

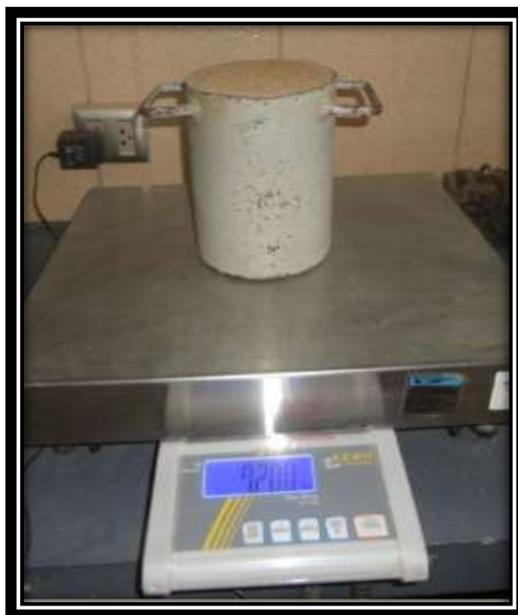
- Se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de la varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde.
- Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se debe enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde.
- Se pesa el molde junto con el agregado.

Figura 56. Molde cilíndrico con muestra de arena compactado.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 57. Peso del molde con la arena.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.3.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 52. Peso unitario suelto del agregado fino “ERIKA”.

Peso unitario suelto					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm ³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm ³)
1	2698.00	3000.00	7395.00	4697.00	1.56
2	2698.00	3000.00	7425.00	4727.00	1.57
3	2698.00	3000.00	7410.00	4712.00	1.57
PROMEDIO					1.57

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 53. Peso unitario compacto del agregado fino “ERIKA”.

Peso unitario compactado					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2698.00	3000.00	7755.00	5057.00	1.68
2	2698.00	3000.00	7780.00	5082.00	1.69
3	2698.00	3000.00	7770.00	5072.00	1.69
PROMEDIO					1.69

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 54. Peso Unitario Suelto del agregado fino “POSTA”.

Peso unitario suelto					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2698.00	3000.00	7255.00	4557.00	1.51
2	2698.00	3000.00	7280.00	4582.00	1.52
3	2698.00	3000.00	7265.00	4567.00	1.52
PROMEDIO					1.52

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 55. Peso unitario compacto del agregado fino “POSTA”.

Peso unitario compactado					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2698.00	3000.00	7645.00	4947.00	1.64
2	2698.00	3000.00	7640.00	4942.00	1.64
3	2698.00	3000.00	7670.00	4972.00	1.65
PROMEDIO					1.65

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 56. Peso unitario suelto del agregado fino “CHARAJA”.

Peso unitario suelto					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra suelta (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2698.00	3000.00	7715.00	5017.00	1.67
2	2698.00	3000.00	7695.00	4997.00	1.66
3	2698.00	3000.00	7705.00	5007.00	1.66
PROMEDIO					1.66

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 57. Peso unitario compacto del agregado fino “CHARAJA”.

Peso unitario compactado					
Muestra N°	Peso recipiente (gr)	Volumen recipiente (cm³)	Peso recipiente + muestra suelta (gr)	Peso muestra compactada (gr)	Peso unitario suelto (gr/cm³)
1	2698.00	3000.00	7935.00	5237.00	1.746
2	2698.00	3000.00	7915.00	5217.00	1.739
3	2698.00	3000.00	7885.00	5187.00	1.729
PROMEDIO					1.738

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.4. Durabilidad del agregado fino método del sulfato de sodio

3.3.2.4.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este método de ensayo estima la capacidad de los agregados de disolver cuando están sujetos a las acciones climáticas en concretos y otras aplicaciones. Esto es conseguido por repetidas inmersiones en solución saturada de sulfato de sodio, seguidas por secado al horno hasta una deshidratación parcial o completa, en donde la sal se precipita en los espacios porosos permeables.

Equipo.-

- Juego de tamices para el agregado fino de la serie estándar de los siguientes tamaños 3/8", N°4, N°8, N°16, N°40 y N°100.
- Recipientes para sumergir las muestras en la solución (platos).
- Horno de temperatura constante a 105 C°.
- Balanza de 5 kg de capacidad y sensible de 0,1 gr.
- Probeta graduada para encontrar la densidad de la solución.

Soluciones requeridas (Sulfato de sodio).- El volumen de la solución debe ser de por lo menos 5 veces el volumen de los sólidos de toda muestra inmersa al mismo tiempo.

Para prevenir la contaminación de la solución con agentes externos y para reducir la evaporación, cuidar que la solución este todo el tiempo cubierta cuando su acceso no sea necesario. Se permite que la solución enfrié hasta una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$.

Volver a menear y permitir a la solución permanecer en la temperatura designada por lo menos 48 horas antes de usarla.

Previo a cada uso disolver el bollo de sal que hubiere en el contenedor y determinar la densidad que debe estar entre **1,151 y 1,174**.

Muestras.-

Agregado Fino.-

El agregado fino debe pasar el tamiz 3/8". La muestra no debe ser menor a 100 gr en cada uno de los siguientes tamices.

Tabla 58. Cantidad de muestra requerida según la serie de tamices.

Serie de tamices	Cantidad requerida
3/8"-N°4	200±5
N°4-N°8	200±10
N°8-N°16	100±10
N°16-N°40	100±5
N°40- N°100	100±5
N°100	100+5

Fuente. Guía de ensayos de laboratorio.

Si las muestras contienen menos de un 5% de cualquiera de los tamaños específicos anteriormente, ese tamaño no debe ensayarse, pero debe considerarse que ese tamaño inferior próximo; o si uno de estos tamaños está ausente, deben considerarse que ese tamaño tiene la misma pérdida que el tamaño inferior próximo o uno superior próximo cualquiera que esté presente.

Procedimiento.-

Agregado fino.-

- Lavar completamente la muestra sobre el tamiz N°50, secar a temperatura constante $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, y separar en los diferentes tamaños, de la siguiente manera:
- Hacer una separación rápida de las muestras gradadas según lo necesitado y especificado.
- De las fracciones obtenidas de esta manera, seleccionar muestras que produzcan 100 gr después del final del tamizado. No usar agregado fino que se adherencia a la malla del tamiz en la preparación de la muestra.
- Pesar las muestras de cada fracción retenida.

Almacenaje de la muestra en la solución.-

- Primeramente sumergir la muestra en la solución preparada de sulfato de sodio por lo menos de 16 hrs ni más de 18 hrs de manera que tal la solución la cubra con por lo menos $\frac{1}{2}$ " a la muestra.
- Mantener la muestra inmersa en la solución a temperatura 25°C .

Secado de la muestra después de la inmersión.-

- Después del periodo de inmersión sacar las muestras de la solución, permitiendo el drenaje por lo menos 15 minutos y colocar en el horno del secado.
- Secar las muestras hasta que lleguen el peso constante. Establecer el peso requerido a peso constante como sigue:

- Verificar el peso de las pérdidas, sacando y pesando las muestras del horno sin hacer enfriar en intervalos de 2 a 4 hrs.
- Después que la muestra seque, sacarlas del horno y enfriarlas, entonces la muestra será nuevamente sumergida en la solución preparada.
- Repetir el número de ciclos que se requieran en este caso fueron cinco ciclos.
- Después de complementar el último ciclo y después que la muestra ha sido enfriada, lavar la muestra para liberarla del sulfato de sodio. La muestra deberá permanecer en sus contenedores.
- El sulfato de sodio es secado, y secar después cada fracción de la muestra a temperatura constante 105°C .
- Tamizar el agregado fino sobre el mismo tamiz sobre el cual fue retenido antes del ensayo. Para los agregados finos, el método y a la duración es la misma que para la preparación de las muestras.
- Pesar el material retenido en cada tamiz y registrar cada cantidad. La diferencia entre cada una de esta sumas y el peso de la fricción inicial de cada tamiz es la pérdida en el ensayo y esta expresada en porcentaje del peso inicial.

Figura 58. Agregado sumergido en solución de sulfato de sodio.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.4.2. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 59. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado fino).

Agregado fino									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por	%	%	%
Tamiz n°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Muestra	Antes	Después	Diferencia	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	% Pérdida Respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	54.70	200.00	193.50	6.50	15.00	3.25	0.49
N° 8	N° 8	N° 16	39.70	100.00	94.80	5.20	21.10	5.20	1.10
N° 16	N° 16	N° 40	18.60	100.00	98.20	1.80	2.00	1.80	0.04
N° 40	N° 40	N° 100	16.60	100.00	99.60	0.40	6.50	0.40	0.03
N° 100	N° 100		10.10	100.00	98.50	1.50	10.10	1.50	0.15
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.80
MAXIMO=									12.00

Fuente. Elaboración propia.

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 60. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado fino).

Agregado fino									
Granulometría				Peso materiales		Pérdida por	%	%	%
Tamiz n°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Muestra	Antes	Después	Diferencia	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	% Pérdida Respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	51.05	200.00	197.70	2.30	16.75	1.15	0.19
N° 8	N° 8	N° 16	34.30	100.00	93.60	6.40	18.20	6.40	1.16
N° 16	N° 16	N° 40	16.10	100.00	91.70	8.30	1.82	8.30	0.15
N° 40	N° 40	N° 100	14.28	100.00	96.70	3.30	4.48	3.30	0.15
N° 100	N° 100		9.80	100.00	97.80	2.20	9.80	2.20	0.22
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.87
MAXIMO=									12.00

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 61. Durabilidad método de los sulfatos (Agregado fino).

Agregado fino									
Granulometría				peso materiales		Pérdida por	%	%	%
Tamiz n°	Tamiz pasa	Tamiz Ret.	Material	Antes	Después	diferencia	Pasa al tamiz mas fino	Pérdida respecto tamiz	% Pérdida respecto muestra total
				(grs)	(grs)				
3/8"	3/8"	N° 4							
N° 4	N° 4	N° 8	52.87	200.00	195.60	4.40	15.87	2.20	0.35
N° 8	N° 8	N° 16	37.00	100.00	97.30	2.70	19.65	2.70	0.53
N° 16	N° 16	N° 40	17.35	100.00	95.60	4.40	1.91	4.40	0.08
N° 40	N° 40	N° 100	15.44	100.00	98.40	1.60	5.49	1.60	0.09
N° 100	N° 100		9.95	100.00	97.60	2.40	9.95	2.40	0.24
TOTAL % PERDIDA DE PESO=									1.29
MAXIMO=									12.00
CINCO CICLOS									

Fuente. Elaboración propia.

3.3.2.5. Límites de Atteberg

3.3.2.5.1. Límite líquido

La definición de limite liquido dada por la sociedad estadounidense de ingenieros civiles (American Society of Civil Engineers), es la siguiente: “limite liquido es el contenido de humedad que corresponde al límite arbitrario entre los estados de consistencia líquido y plástico de un suelo”.

Figura 59. Aparato de casa grande.



Fuente. Elaboración propia.

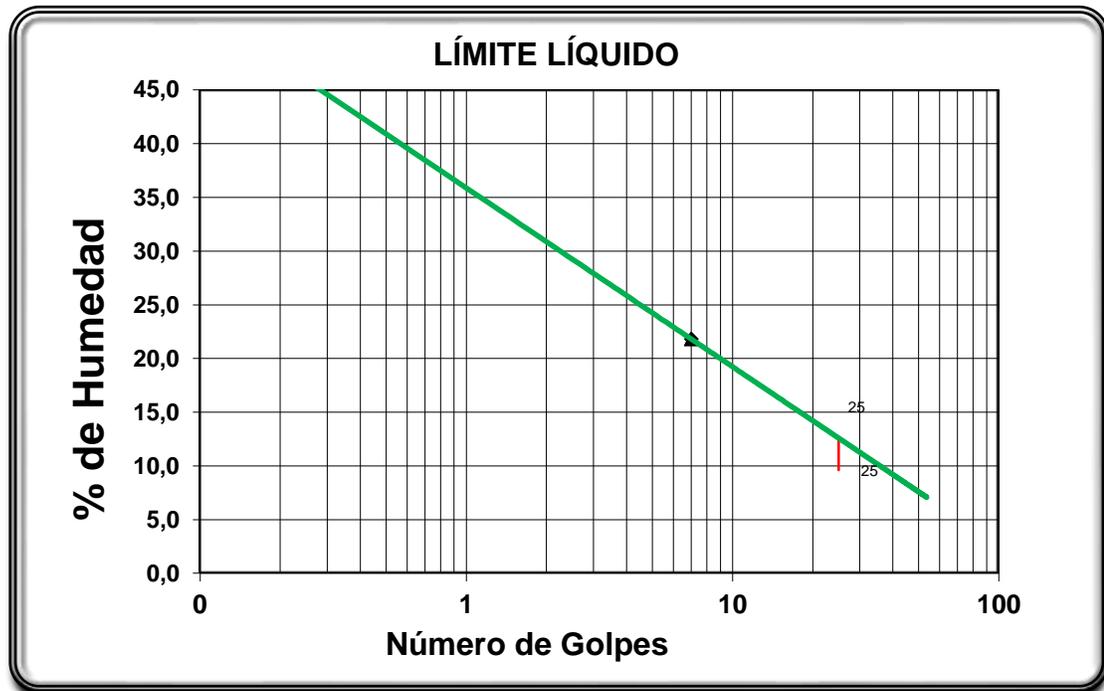
3.3.2.5.2. Resultados obtenidos

Tabla 62. Limite líquido.

Nº tara	Peso suelo húmedo + tara	Peso suelo seco + tara	Peso agua	Peso tara	Peso suelo seco	% de húmedo.	Nº de golpes
1	40.50	36.50	4.00	20.00	16.50	24.24	5.00
2	41.50	37.40	4.10	18.60	18.80	21.81	7.00

Fuente. Elaboración propia.

Figura 60. Limite líquido.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.3. Caracterización del cemento

El material ligante a utilizar será **Cemento Portland Normal (IP – 30)** “EL PUENTE”, de industria SOBOCE, de marca aprobada que reúna estrictamente las condiciones exigidas por las Normas correspondientes.

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.

Las características más importantes del Cemento son: Peso específico y finura de molino.

3.3.3.1. Especificaciones técnicas

- Norma técnica: Norma Boliviana NB-011
- Tipo de cemento: IP-30
- Presentación: bolsas de 50 Kg.

3.3.3.2. Características

Producto obtenido de la molienda conjunta de Clinker, yeso y puzolana. Desprende menor calor de hidratación, lo que reduce la retracción térmica debido a la inclusión de puzolana.

Un cemento puzolánico contiene aproximadamente:

- 40-55% = De Puzolana

3.3.3.3. Especificaciones químicas y físicas

Tabla 63. Especificaciones químicas del cemento el Puente.

Fecha:	Septiembre de 2017		Cemento Portland El Puente	Norma Boliviana IP-30
ESPECIFICACIONES QUIMICAS	PPF	%	3,97	< 7
	SiO ₂	%	28,07	
	Al ₂ O ₃	%	5,14	
	Fe ₂ O ₃	%	2,9	
	CaO	%	51,14	
	MgO	%	2,25	< 6
	SO ₃	%	1,52	< 4

	K ₂ O	%	1,65	
	Na ₂ O	%	0,35	
	Cr ₂ O ₃	%	0,01	
	Mn ₂ O ₃	%	0,12	
	P ₂ O ₅	%	0,21	
	TiO ₂	%	0,27	
	R.I.	%	14,43	
	Cal libre	%	0,74	

Fuente. Área técnica del laboratorio de SOBOCE-ELPUENTE.

Tabla 64. Especificaciones físicas del cemento el Puente.

ESPECIFICACIONES FISICAS	BLAINE		cm²/g	4839	> 2600
	TIEMPO DE FRAGUADO	INICIAL	Min.	182	> 60
		FINAL	Hrs.	04:49	<12:00
	EXPANSION AUTOCLAVE		%	0,092	<8
	RELACION a/c		ml/g.	0,518	
	FLUIDEZ		%	108	
	RESIDUO EN MALLAS	200 M	% Ret.	0,96	
		325 M	% Ret.	6,27	

	PESO ESPECIFICO		g/ml	3040	
	RESISTENCIA A COMPRESION	3 DIAS	Mpa	20,8	> 10
		7 DIAS	Mpa	26,1	> 17
		28 DIAS	Mpa	33,2	> 30

Fuente. Área técnica del laboratorio de SOBOCE-ELPUENTE.

3.3.3.4. Determinación de la finura del cemento

3.3.3.4.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- El objetivo de este método es la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz de la malla N° 200.

Equipo.-

- Tamices N° 40 y N° 200
- Una balanza de capacidad de 100gr. Y una sensibilidad al 0,05
- Una brocha

Procedimiento:

- Pesar 50 gr. De cemento para determinar su finura.
- Agitar la muestra, utilizando tamices de malla N° 40 y N° 200 con base y tapa, en el vibrador mecánico (Rop-Tap). Cuando no se dispone de vibrador mecánico, se agita el cedazo N° 200 con tapa y base imprimiendo con ambas manos movimientos verticales y horizontales con golpes de vez en cuando. El

tiempo de agitado dependerá de la cantidad de finos en la muestra, pero por lo general no debe ser menor de 15 minutos.

- Se quita la tapa y se separa la malla N° 40 vaciando la fracción de cemento que podría ser retenida en ella, sobre un papel limpio. A las partículas que han quedado atrancadas entre los hilos de la malla no hay que forzarlos a pasar a través de ella; inviértase el tamiz y con ayuda de un cepillo o brocha de alambre despréndase y agregase a las depositadas en el papel.
- Se pesa cuidadosamente la fracción de la muestra obtenida en 3. Se pone en un recipiente o capsula. Se guarda esta fracción de muestra hasta el final de la prueba, para poder repetir las pesadas en caso de error.
- Se hacen las pesadas de las fracciones retenidas en cada malla y el recipiente del fondo, procediendo en la forma indicada. Todos los pesos retenidos se anotan en la hoja de registro para el cálculo.
- Se calcula utilizando la fórmula:

$$F = \frac{Pr}{50} * 1000$$

Dónde:

F = Finura del cemento expresado como porcentaje en peso, del residuo que no pasa el tamiz N° 200, (%).

Pr = Peso del residuo que no pasa el tamiz N° 200 en, (gr).

La relación que se utiliza para determinar el porcentaje de finura es la siguiente:

- Si él % Finura es menor al 5%, significa que este es un cemento Portland de endurecimiento rápido.
- Si él % es menor que el 10%, es que es un cemento Portland para uso ordinario.

Figura 61. Cemento El Puente IP - 30.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 62. 50 gramos de cemento para la determinación de su finura.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.3.4.2. Resultados obtenidos

Tabla 65. Promedio de la finura del cemento.

Descripción	Pr	F	F (%)
-------------	----	---	-------

	(gr)	(%)	Media
CEMENTO	1.39	2.78	2.95
FANCESA	1.49	2.98	
(FABOCE)	1.55	3.10	
CEMENTO	1.66	3.32	3.27
EL PUENTE	1.60	3.20	
(SOBOCE)	1.64	3.28	
CEMENTO	1.23	2.46	2.32
COBOCE	1.10	2.20	
(COBOCE)	1.15	2.30	

Fuente. Elaboración propia.

Para el medio local utilizaremos cemento el puente (Soboce).

3.3.3.5. Peso específico del cemento

3.3.3.5.1. Desarrollo de la práctica

Objetivo.- Este ensayo tiene por objeto presentar un método para determinar el peso específico del cemento, el valor que aquí se determina se usa específicamente para el diseño y control de la producción de mezcla del concreto.

Equipo.-

- Un matraz normal de Le Chatelier
- Kerosene (sin agua) o nafta que no sea más liviano que 62° A.P.I.
- Balanza sensible al 0,001gr.

Muestra.- La muestra se obtiene del material tal como se recibe, para la prueba se toman 64gr.

Procedimiento.-

- Se llena el matraz con cualquiera de los dos líquidos antes especificados hasta que el nivel del líquido quede entre las marcas de 0 y 1 ml.

- Se coloca el matraz en un baño maría de temperatura constante manteniéndola a la temperatura del ambiente. Se lee en el cuello del matraz, la graduación correspondiente al nivel del líquido una vez que este se encuentre a una temperatura constante.
- Se toma aproximadamente 64 gr. De la muestra de cemento y se va introduciendo poco a poco en el matraz teniendo el cuidado de que estén a la misma temperatura del líquido. Se debe evitar que el líquido salpique cuando se introduce el cemento.
- Después de que todo el cemento haya sido introducido en el matraz se tapa este y se hace rodar en posición inclinado con el fin de eliminar el aire del cemento, esta operación se continúa hasta que se eliminen las burbujas de aire.
- Se coloca de nuevo el matraz en el baño de temperatura constante, el cual debe estar aproximadamente del ambiente y se hace la nueva lectura cuando se haya observado que la temperatura del líquido en el matraz es constante.
- Se lee en el matraz la graduación correspondiente al nuevo nivel del líquido.

La diferencia entre las cantidades que representen el nivel final y el nivel inicial del líquido nos da el volumen de líquido desplazado por el cemento usado en el ensayo, luego:

$$P. E. = \frac{\text{Peso del cemento en gramos}}{\text{Volumen desplazado en ml}}$$

El rango aceptable en el cual debe estar el peso específico es entre:

$$2,90 \text{ gr/cm}^3 < PE < 3.15 \text{ gr/cm}^3$$

Figura 63. Matraz con el kerosene.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.3.5.2. Resultados obtenidos

Tabla 66. Peso Específico del cemento.

Descripción	p (gr/cm ³)	Vi (cm ³)	Vf (cm ³)	v (cm ³)	P.e. (gr/cm ³)	P.e. media (gr/cm ³)
CEMENTO FANCESA (FABOCE)	64.00	0.00	22.10	22.10	2.90	2.90
		0.20	22.20	22.00	2.91	
		0.50	22.60	22.10	2.90	
CEMENTO EL PUENTE (SOBOCE)	64.00	0.00	20.40	20.40	3.14	3.14
		0.20	20.50	20.30	3.15	
		0.50	20.90	20.40	3.14	
CEMENTO COBOCE (COBOCE)	64.00	0.00	21.30	21.30	3.00	3.01
		0.20	21.70	21.50	2.98	
		0.50	21.50	21.00	3.05	

Fuente. Elaboración propia.

Para el medio local utilizaremos cemento el puente (Soboce).

3.3.4. Agua para hormigón

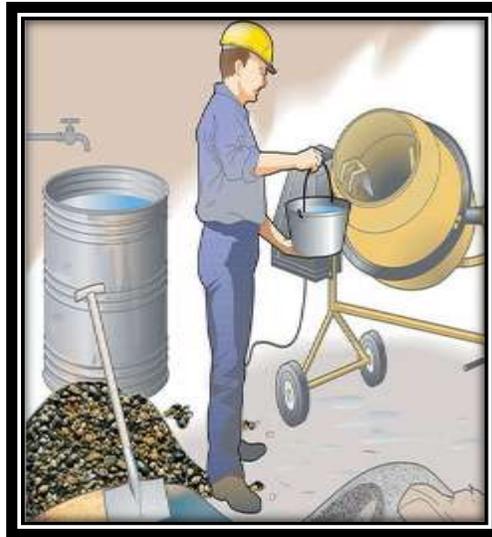
El agua a utilizar en la preparación del hormigón y en todo otro trabajo relacionado con la ejecución del pavimento será razonablemente limpia y libre de sustancias perjudiciales al hormigón, preferentemente potable.

Normalmente el agua apta para la construcción debe cumplir una serie de parámetros así en la normativa está limitado el pH, el contenido en sulfatos, en ion cloro y los hidratos de carbono.

El agua de amasado interviene en las reacciones de hidratación del cemento. La cantidad de la misma debe ser la estricta necesaria, pues la sobrante que no interviene en la hidratación del cemento se evaporará y creará huecos en el hormigón disminuyendo la resistencia del mismo.

A fines de conservar la limpieza y pureza del agua, se debe tener 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.

Figura 64. Agua para la construcción.



Fuente. Pavimentos rígidos. (Ing. Fernando Sánchez)

3.3.5. Dosificación

El hormigón se preparará de acuerdo a las normas del Código Boliviano del Hormigón y cemento Portland o Puzolánico, empleando agregados graduados.

La composición de la mezcla de hormigón será de manera que demuestre una buena consistencia plástica, de acuerdo a las exigencias del Código Boliviano del Hormigón Armado CBH-87.

Después del fraguado y endurecimiento, cumpla las exigencias de resistencia, durabilidad e impermeabilidad en las construcciones de hormigón. El contenido de agua de la mezcla de hormigón se determinará antes del inicio de los trabajos.

Resistencia mecánica de hormigón.- La resistencia del hormigón para pavimentos rígidos, se mide por su resistencia a la flexión sobre la base de una propiedad llamada módulo de rotura, que se determina por medio de los ensayos de resistencia al flexo tracción del hormigón.

3.3.5.1. Método ACI – 211

El método del American Concrete Institute se basa en tablas empíricas mediante las cuales se determinan las condiciones de partida y la dosificación.

En esta investigación se tomó la dosificación, ACI-211, dado que está basada en la investigación experimental, se empieza por valores dados en tablas, al dosificar se da un porcentaje más por pérdidas, sus tablas son fáciles de manejar y entender, su procedimiento es rápido, confiable, en el tema de aditivos tiene los valores para adoptar, en conclusiones es buena, completa y en el tema de esta investigación se obtuvo buenos resultados llegando a sus resistencias adoptadas.

-American Concrete Institute, ACI-211.

3.3.5.2. Proceso de la dosificación ACI – 211

Determinación de la resistencia promedio.-

La resistencia de diseño de la mezcla se determina a partir de la resistencia en compresión especificada.

Se elaboraron mezclas para cada agregado con una misma resistencia de diseño convencional de 250 Kg/cm².

Tabla 67. Resistencia de diseño.

Tabla # 1. Resistencia de Diseño Cuando no Hay Datos que Permitan Determinar la Desviación Estándar (a) (ACI 211,1-Rev.85)	
Resistencia específica f_{ck} en (kg/cm²)	Resistencia de diseño de la mezcla f_{cm} en (kg/cm²)
Menos de 210 kg/cm²	$f_{ck} + 70 \text{ kg/cm}^2$
De 210 a 350 kg/cm²	$f_{ck} + 85 \text{ kg/cm}^2$
Más de 350 kg/cm²	$f_{ck} + 100 \text{ kg/cm}^2$

Fuente. Norma A.C.I – 211.

De acuerdo a la tabla III-15 se obtiene una resistencia característica de 335 Kg/cm²

Determinación de la razón Agua/Cemento.-

La Tabla 2 define la razón agua/cemento en función de la resistencia media y especificada para el hormigón, respectivamente, en probetas cilíndricas.

Tabla 68. Determinación de la razón, (agua/cemento).

Tabla # 2. Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1-Rev.85)			
Resistencia promedio a compresión a 28 días		Razón agua/cemento (en masa)	
Mpa	Kg/cm2	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
45	450	0,38	-
42	420	0,41	-
40	400	0,43	-
35	350	0,48	0,4
30	300	0,55	0,46
28	280	0,57	0,48
25	250	0,62	0,53
21	210	0,68	0,59
20	200	0,7	0,61
15	150	0,8	0,71

14	140	0,82	0,74
----	-----	------	------

Fuente. Norma A.C.I – 211.

Se escogió la resistencia a la compresión de 25 Mpa o 250 Kg/cm², debido a que este valor está entre los rangos establecidos por norma y que están dados por la ABC para pavimentos rígidos, estos rangos están entre 210 Kg/cm² y 280 Kg/cm² que son para pavimentos rígidos, ya que a mayor rango a estos son para de arte de mayor envergadura como puentes, etc. y menores a estos para estructuras de viviendas, en esta investigación se tomó un dato entre estos rangos establecidos para pavimentos rígidos.

Determinación de la fluidez.-

La fluidez que se desea otorgar al hormigón queda definida en este método en base al asentamiento de cono, el que se puede establecer usando como referencia la Tabla 3. Esta Tabla define un rango aceptable de asentamientos para diversos tipos de elementos estructurales. Debe señalarse que esta definición es relativamente imprecisa, pues, por una parte, el rango señalado es bastante amplio y, por otra, la gama de elementos estructurales considerados es restringida y delimitada en forma poco precisa.

Tabla 69. Determinación del tipo de asentamiento.

Tabla # 3. Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1-Rev.85)

Tipo de construcción	Rango de asentamiento de cono (pulgadas)
Fundaciones armadas y bases	1" – 3"
Fundaciones y muros de sub-estructura simple	1" – 3"
Vigas y muros armados	1" – 4"
Columnas de edificios	2" – 4"
Pavimentos y losas	1" – 3"
Hormigón masivo	1" – 2"

Fuente. Norma A.C.I – 211.

Determinación de la dosis de agua.-

Se emplea la Tabla # 4, que establece la cantidad de agua expresada en l/m³ de hormigón colocado y compactado, en función del asentamiento de cono definido y del tamaño máximo nominal determinados anteriormente.

Se debe distinguirse el caso del empleo de aire incorporado, ya que éste permite una reducción de la dosis de agua por su efecto plastificador. Esta misma parte de la tabla puede emplearse en el caso de haber previsto el uso de un aditivo plastificador.

Tabla 70. Determinación aproximada para dosis de agua y contenido de aire.

Tabla # 4. Requerimientos aproximados para dosis de agua (l/m³) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidades y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1-Rev.85)

Asentamiento (cm)	Tamaño máximo nominal del árido (mm)							
	10	12,5	20	25	40	50	70	150
Hormigón sin aire incorporado								
3 – 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 – 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 – 18	240	230	210	205	185	180	170	-
Cantidad de aire atrapado aproximado (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2
Hormigón con aire incorporado								
3 – 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 – 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 – 18	215	205	190	185	170	165	160	-
Cantidad de aire total promedio recomendada (%)								
Exposición suave	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1
Exposición moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5	3
Exposición extrema	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5	4

Fuente. Norma A.C.I – 211.

Determinación de la dosis de cemento.-

La dosis de cemento se determina en base al cociente entre la dosis de agua determinada y la razón, (agua/cemento), definida.

En el caso de haberse previsto el empleo de un incorporador de aire, la cantidad de aire incorporado debe sumarse a la dosis de agua para el efecto del cálculo de la dosis de cemento.

Determinación de la dosis de grava.-

Se determina a partir de la Tabla # 5, en función del módulo de finura de la arena y al tamaño máximo nominal.

Tabla 71. Determinación aproximada para la dosis de Grava.

Tabla # 5. Volumen aparente de árido grueso seco por metro cubico de hormigón (ACI 211,1-Rev.85)				
Tamaño máximo nominal del árido (mm)	Volumen aparente seco compactado de árido grueso para distintos Módulos de finura de la arena.			
	2,4	2,6	2,8	3
10	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
20	0,66	0,64	0,62	0,60
25	0,71	0,69	0,67	0,65

40	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente. Norma A.C.I – 211.

Determinación de la dosis de arena.-

Método Volumétrico.-

Se determina partiendo del hecho que la suma de los volúmenes absolutos de agua, cemento, aire incorporado (o atrapado), grava y arena debe ser igual a un metro cúbico. Ello permite definir el volumen absoluto de arena, el cual, multiplicado por la densidad real (peso específico) de la arena, conduce al valor de la dosis de arena, expresada en kilos por metro cúbico.

La masa de árido fino o arena, Af, está dada por:

$$Af [Kg/m^3] = \gamma_f [1000 - (W + \frac{C}{\gamma} + \frac{Ag}{\gamma_g} + 10a)]$$

Dónde:

γ_f = densidad real “sss” o peso específico del árido fino, (gr/cm³).

γ = peso específico del cemento, (gr/cm³).

Ag = dosis de árido grueso o grava, (kg/m³).

a = dosis de aire, (%).

γ_g = densidad real “sss” o peso específico del árido grueso, (gr/cm³).

C = dosis de cemento, (kg/m³).

W = dosis de agua, (kg/m³).

3.3.5.2.1. Resultados obtenidos

Procedencia: El Rancho, Río Guadalquivir (Chancadora “ERIKA S.R.L”).

Tabla 72. Proporciones de mezcla “ERIKA”.

Proporciones de mezcla		
Cemento	Arena	Grava
1.00	2.83	3.31

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO II

Procedencia: San Mateo, Río San Mateo (Chancadora “GARZÓN”).

Tabla 73. Proporciones de mezcla “POSTA”.

Proporciones de mezcla		
Cemento	Arena	Grava
1.00	2.78	3.27

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO II

Procedencia: Charaja, Río Camacho (Chancadora del “SEDECA”).

Tabla 74. Proporciones de mezcla “CHARAJA”.

Proporciones de mezcla		
Cemento	Arena	Grava
1.00	2.72	3.35

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO II

3.3.5.3. Elaboración de probetas

La elaboración de probetas se desarrolló en dos etapas con diferentes propósitos:

- Se tomaron en cuenta las proporciones de las dosificaciones para obtener resistencias con las características de los agregados.
- Se adoptó una dosificación patrón 1:2:3, con la misma relación agua-cemento y con granulometrías similares para todos los bancos de agregados, para relacionar sus resistencias.
- Para la elaboración de probetas se prepararon todos los equipos y materiales necesarios y se siguió el siguiente procedimiento:
- Se determinaron los pesos de los agregados como también del cemento.

Figura 65. Material separado ya pesado listo para la mezcla.



Fuente. Elaboración propia.

- Se prepararon los moldes y el equipo para efectuar el mezclado (mezcladora); se limpiaron los moldes con aceite para desmoldar fácilmente las probetas.

Figura 66. Preparación de los moldes.



Fuente. Elaboración propia.

- Para realizar el mezclado se hizo funcionar la mezcladora, seguidamente se derramó un poco de agua dentro de la mezcladora, para luego echar los agregados y el cemento de poco a poco y terminar tirando toda el agua según lo que se había obtenido en el diseño de mezclas y según sea lo necesario de acuerdo a la humedad y las condiciones en que se encontraban los agregados.

Figura 67. Preparación de la mezcladora.



Fuente. Elaboración propia.

- Se verificó el asentamiento para ver la trabajabilidad del hormigón; colocando tres capas la masa de hormigón al cono de Abrams y apisonando con la varilla veinticinco golpes en cada capa, se enrazó al cono con la varilla y se retiró el mismo para lograr medir el asentamiento.

Figura 68. Verificación del asentamiento en el ensayo del cono de Abrams.



Fuente. Elaboración propia.

- Después de constatar el asentamiento se llenaron los moldes en tres capas, golpeando con un combo de goma para llenar los vacíos, apisonando con una varilla de acero, y por último se enrazó bien con una plancha a todos los moldes hasta lograr una superficie lisa.

Figura 69. Vaciado y varillado del hormigón en los moldes.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.5.3.1. Cantidad de material para 9 probetas

Tabla 75. Proporciones de material para la mezcla.

Probetas de prueba		
Seco	Húmedo	Materiales
(Kg) para 9 probetas	(Kg) para 9 probetas	
23.90	23.90	Cemento
10.80	10.90	Agua
42.70	43.10	Grava (70%)
18.30	18.50	Gravilla (30%)
44.40	45.80	Arena

Fuente. Elaboración propia.

3.3.5.3.2. Curado de las probetas

Terminado el proceso de vaciado de los moldes de hormigón, se guardaran los moldes en un ambiente seguro y a una humedad ambiente, donde ahí esperaran, hasta que llegue el momento del desmolde que normalmente varía entre 24 horas y un poco más. Tras transcurrir las 24 horas, hemos de desmoldar las probetas e inmediatamente sumergirlas en agua para el proceso de curado a los 7, 14 y 28 días que es cuando adquiere su mayor resistencia.

Se realizó el vaciado de nueve probetas tres probetas por cada banco de distinta procedencia, donde 3 probetas se dejaran al curado de 7 días, las siguientes tres al curado de 14 días y las últimas 3 al curado óptimo de 28 días.

Figura 70. Mortero en proceso de curado 14 días.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.5.3.3. Rotura de probetas (resistencia a compresión simple)

Para la realización del ensayo de rotura de probetas a la compresión se utilizó el procedimiento de la norma (ASTM C-39 AASHTOT22) detallándose en los siguientes pasos.

- Limpiar la superficie de las placas de la prensa y de las caras de ensayo de la probeta.
- Colocar la probeta sobre la placa inferior de la prensa alineando su eje central con el centro de la prensa.
- Asentar la placa superior de la prensa sobre la probeta, guiándola suavemente con la mano para obtener un apoyo de la placa lo más uniforme posible.
- Aplicar la carga en forma continua y sin choques, a una velocidad uniforme.
- Registrar la carga máxima P , expresada en N .

Cálculos.-

Para el cálculo de la resistencia a compresión simple soportada por probeta, utilizando la siguiente expresión:

$$R = \frac{P}{A}$$

Dónde:

R = Resistencia a la compresión simple, (Kg/cm²).

P = Carga máxima soportada por el espécimen, (Kg).

A = Área promedio de la sección transversal del espécimen, (cm²).

Figura 71. Medición y peso del mortero a ser evaluado.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 72. Rotura de probeta por compresión simple.



Fuente. Elaboración propia.

3.3.5.3.3.1. Resultados obtenidos

Resistencias adquiridas del diseño de mezclas a la edad de 7,14 y 28 días según las proporciones determinadas y las características de los agregados:

Tabla 76. Resistencia optima a los 28 dias del hormigón dosificación 1:2:3.

Resistencias promedio a los 28 días	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm²)
RANCHO	210.96
RANCHO	224.39
RANCHO	214.22

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO III

Tabla 77. Resistencia óptima a los 28 días del hormigón dosificación 1:2:3.

Resistencias promedio a los 28 días	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
SAN MATEO	218.42
SAN MATEO	218.13
SAN MATEO	214.17

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO III

Tabla 78. Resistencia óptima a los 28 días del hormigón dosificación 1:2:3.

Resistencias promedio a los 28 días	
CANTERA	RESISTENCIA (Kg/cm ²)
CHARAJA	196.28
CHARAJA	194.40
CHARAJA	201.12

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO III

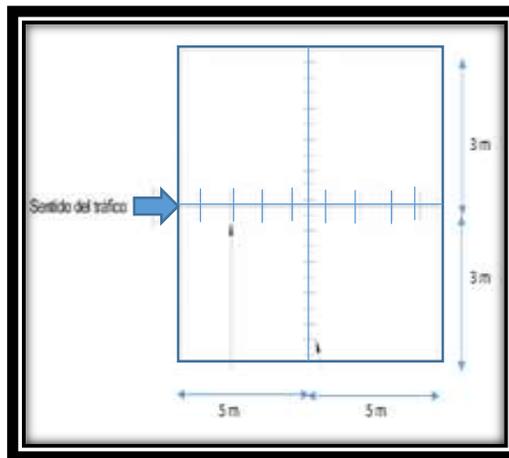
3.3.6. Proceso y elaboración de las losas de concreto

En la presente investigación tomaremos de referencia un modelo de losa convencional tipo I de dimensiones (**L= 5 mts - A= 3 mts - H= 0.17 mts**), que para la investigación se la construirá de manera proporcional (**L= 50 cm - A= 30 cm - H= 8 cm**).

La elaboración de las losas de Hormigón se desarrolló con el siguiente procedimiento:

- Selección del tipo de losa a trabajar en manera proporcional.

Figura 73. Losa convencional tipo “I” de hormigón.



Fuente. Manual para la elaboración de losas de Concreto. (Alvarado J.F.2013)

- Moldes hechos de madera de Quina cual resistencia permita el buen encofrado de las losas de concreto sin temor a que se abra o parta en la retención del Hormigón.

Figura 74. Moldes de madera para las losas de concreto.



Fuente. Elaboración propia.

- Se determinaron los pesos de los agregados para una dosificación patrón 1:2:3, con la misma relación agua-cemento y con granulometrías similares.

Figura 75. Material separado ya pesado listo para la mezcla.



Fuente. Elaboración propia.

- Limpieza de los moldes con aceite para desencofrar fácilmente los moldes sin que el hormigón se adhiera a las paredes.

Figura 76. Preparación de los moldes.



Fuente. Elaboración propia.

- Para realizar el mezclado se hizo funcionar la mezcladora, seguidamente se derramó un poco de agua dentro de la mezcladora, para luego echar los agregados y el cemento de poco a poco y terminar tirando toda el agua según lo que se había obtenido en el diseño de mezclas y según sea lo necesario de acuerdo a la humedad y las condiciones en que se encontraban los agregados.
- Se verificó el asentamiento para ver la trabajabilidad del hormigón; colocando tres capas la masa de hormigón al cono de Abrams y apisonando con la varilla veinticinco golpes en cada capa, se enrazó al cono con la varilla y se retiró el mismo para lograr medir el asentamiento.
- Después de constatar el asentamiento se llenaron los moldes en tres capas, golpeando con un combo de goma para llenar los vacíos, apisonando con una varilla de acero, y por último se enrazó bien con una plancha a todos los moldes hasta lograr una superficie lisa.

Figura 77. Losas vaciadas.



Fuente. Elaboración propia.

- Una vez realizado el vaciado se enraso la superficie con una plancha metálica para dejar un terminado totalmente liso, se esperó por el lapso de una hora que el hormigón este un poco fraguado para poder esparcir de manera uniforme en toda el área de las losas un lechado de cemento y arena para después por el lapso de otra hora poder realizar la técnica de ranuración y configuración de la textura superficial de las mismas.

Figura 78. Cepillado transversal con cerdas plásticas.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 79. Textura superficial de una losa de hormigón.



Fuente. Elaboración propia.

- El tercer día después del vaciado se procedió al desencofrado de las losas procurando que queden intactas las esquinas de las losas y bordes.

Figura 80. Desencofrado de las losas.



Fuente. Elaboración propia.

- El proceso de curado de las losas se realizó regando las losas de manera uniforme unas 3 veces al día durante los primeros 7 días de vida útil de la losa para asegurar un buen curado y posteriormente listas para ser evaluadas.

3.3.6.1. Cantidad de material para 5 losas

Tabla 79. Proporciones de material para las losas.

Losas de concreto		
Seco	Húmedo	Materiales
(Kg) para 5 Losas	(Kg) para 5 Losas	
30.10	30.10	Cemento
13.50	14.50	Agua
52.90	53.50	Grava (70%)
22.70	22.90	Gravilla (30%)
58.30	59.50	Arena

Fuente. Elaboración propia.

3.4. EVALUACIÓN DE LA MICROTEXTURA DE LAS LOSAS CON EL PÉNDULO BRITÁNICO

El péndulo británico es un equipo dinámico de alto impacto, su función es obtener un Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento (C.D.R) que, manteniendo una correlación

con el coeficiente físico de rozamiento, valore las características antideslizantes de la superficie de un pavimento. Los resultados obtenidos mediante este ensayo no son necesariamente proporcionales o correlativos con medidas de rozamiento hechas con otros equipos o procedimientos.

Figura 81. Equipo del péndulo Británico Lab. De Asfaltos U.A.J.M.S.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 82. Péndulo británico armado.



Fuente. Elaboración propia.

El péndulo británico nos brindara datos de coeficiente de resistencia al deslizamiento en la microtextura de pavimento a velocidades menores a 60 km/hr.

3.4.1. Procedimiento para la evaluación de la microtextura “ensayo del péndulo británico”

Para la medición de la resistencia al deslizamiento se realizara paso a paso el siguiente procedimiento:

- Primeramente se procederá a limpiar con agua de manera uniforme las losas para que la superficie quede libre de partículas.

Figura 83. Limpieza de la superficie a evaluar.



Fuente. Elaboración propia

- Luego se procederá a nivelar el equipo en la superficie de ensayo, para así calibrarlo girando los tornillos niveladores hasta que la burbuja este centrada en el ojo nivelador para llevarlo al cero del aparato y el brazo del péndulo debe ser colocado en posición horizontal.

Figura 84. Calibración del péndulo británico.



Fuente. Elaboración propia.

- Posteriormente con el péndulo colgando libre se coloca el espaciador abajo del tornillo de ajuste o regulación del brazo del péndulo. Se baja el brazo del péndulo de manera que la superficie de la goma apenas toque la superficie. Se bloquea la cabeza del péndulo firmemente, se levanta el brazo del péndulo, y se remueve el espaciador. Se coloca el calibrador al lado y paralelo a la dirección del balanceo para verificar la longitud de la trayectoria de contacto y se regula hasta que la zapata rose solo la longitud que tiene el calibrador.

Figura 85. Verificación de la longitud de contacto.



Fuente. Elaboración propia.

- Luego se procede a bloquear en la parte superior derecha el brazo del péndulo, se coloca la aguja en su posición inicial, se moja la superficie donde se realizara el ensayo y se larga el brazo del péndulo, se anota la lectura del equipo y se repite el ensayo cuatro veces en cada losa para promediar los valores registrados.

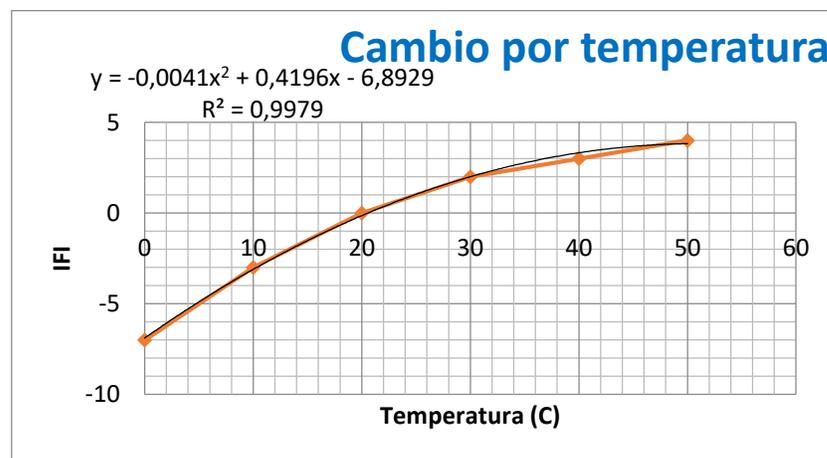
Figura 86. Determinación del coeficiente de resistencia al deslizamiento.



Fuente. Elaboración propia.

- Finalmente las mediciones efectuadas están afectadas por la temperatura de la superficie ensayada y por la zapata de caucho o goma, es por esto que al valor de C.R.D. se le adiciona un factor a la lectura efectiva de acuerdo a la siguiente figura:

Figura 87. Factor de corrección por temperatura.



Fuente. “Péndulo Británico y resistencia al deslizamiento”.

3.4.2. Indicador “C.R.D”

Valor adimensional de lectura en el péndulo británico que significa (Coeficiente de resistencia al deslizamiento), sus valores varían entre (0.20 – 1.50), según tablas técnicas de la “Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos”. Los valores más elevados representan una mejor adherencia de las llantas al pavimento que conlleva a mayores propiedades friccionantes de la resistencia al deslizamiento de la interacción neumático - pavimento.

Figura 88. Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento “C.R.D”.



Fuente. Elaboración propia.

3.4.3. Resultados obtenidos

3.4.3.1 Evaluación de la microtextura

Se realizara la evaluación de la microtextura y de las propiedades friccionantes de 5 losas con diferente configuración.

Figura 89. Losas de estudio con textura superficial diferente.



Fuente. Elaboración propia.

LOSA I (CEPILLADO LONGITUDINAL CON CERDAS PLÁSTICAS)

DIMENSIONES: 50 cm * 30 cm * 8 cm



Tabla 80. Valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento losa I.

Valores Lateral izquierdo de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
1	húmeda	22.00	0.35	60.35	59.35	61.35	57.35	59.60
Valores Eje central de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
1	húmeda	23.00	0.59	69.59	64.59	68.59	65.59	67.09
Valores Lateral derecho de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
1	húmeda	25.00	1.03	62.03	65.03	61.03	63.03	62.78
PROMEDIO (C.R.D) ADIMENSIONAL								63.16

Fuente. Elaboración propia.

LOSA II (CEPILLADO TRANSVERSAL CON CERDAS PLÁSTICAS)

DIMENSIONES: 50 cm * 30 cm * 8 cm



Tabla 81. Valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento losa II.

Corrección por Temperatura para el péndulo Británico								
Valores Lateral izquierdo de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
2	seca	0.00	0.00	87.00	86.00	87.00	84.00	86.00
2	húmeda	22.00	0.35	79.35	81.35	78.35	80.35	79.85
Valores Eje central de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
2	seca	0.00	0.00	85.00	84.00	84.00	83.00	84.00
2	húmeda	23.00	0.59	79.59	80.59	77.59	81.59	79.84
Valores Lateral derecho de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
2	seca	0.00	0.00	82.00	81.00	83.00	82.00	82.00
2	húmeda	25.00	1.03	79.03	80.03	77.03	81.03	79.28
PROMEDIO (C.R.D) ADIMENSIONAL								79.66

Fuente. Elaboración propia.

LOSA III (CEPILLADO LONGITUDINAL ONDULADO CON CERDAS METÁLICAS)

DIMENSIONES: 50 cm * 30 cm * 8 cm



Tabla 82. Valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento losa III.

Corrección por Temperatura para el péndulo Británico								
Valores Lateral izquierdo de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
3	seca	0.00	0.00	68.00	70.00	66.00	68.00	68.00
3	húmeda	22.00	0.35	60.35	62.35	62.35	63.35	62.10
Valores Eje central de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
3	seca	0.00	0.00	65.00	67.00	70.00	72.00	68.50
3	húmeda	23.00	0.59	62.59	62.59	60.59	59.59	61.34
Valores Lateral derecho de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
3	seca	0.00	0.00	68.00	70.00	66.00	68.00	68.00
3	húmeda	25.00	1.03	62.03	63.03	66.03	64.03	63.78
PROMEDIO (C.R.D) ADIMENSIONAL								62.41

Fuente. Elaboración propia.

LOSA IV (CEPILLADO TRANSVERSAL ONDULADO CON CERDAS METÁLICAS)

DIMENSIONES: 50 cm * 30 cm * 8 cm



Tabla 83. Valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento losa IV.

Corrección por Temperatura para el péndulo Británico								
Valores Lateral izquierdo de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
4	seca	0.00	0.00	71.00	73.00	69.00	72.00	71.25
4	húmeda	22.00	0.35	64.35	65.35	66.35	67.35	65.85
Valores Eje central de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
4	seca	0.00	0.00	68.00	70.00	74.00	74.00	71.50
4	húmeda	23.00	0.59	62.59	62.59	64.59	60.59	62.59
Valores Lateral derecho de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
4	seca	0.00	0.00	71.00	72.00	70.00	69.00	70.50
4	húmeda	25.00	1.03	66.03	65.03	66.03	67.03	66.03
PROMEDIO (C.R.D) ADIMENSIONAL								64.83

Fuente. Elaboración propia.

LOSA V (LISO SIN NINGUNA RUGOSIDAD)

DIMENSIONES: 50 cm * 30 cm * 8 cm



Tabla 84. Valores de coeficiente de resistencia al deslizamiento losa V.

Corrección por Temperatura para el péndulo Británico								
Valores Lateral izquierdo de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
5	seca	0.00	0.00	58.00	61.00	57.00	60.00	59.00
5	húmeda	22.00	0.35	51.35	53.35	54.35	55.35	53.60
Valores Eje central de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
5	seca	0.00	0.00	56.00	58.00	61.00	62.00	59.25
5	húmeda	23.00	0.59	53.59	52.59	52.59	53.59	53.09
Valores Lateral derecho de la Losa								
LOSA (#)	CONDICIÓN DE LA SUPERFICIE	TEMP. (C°)	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA PARA EL PÉNDULO	MED. 1 (C.R.D)	MED. 2 (C.R.D)	MED. 3 (C.R.D)	MED. 4 (C.R.D)	VALOR CORREGIDO (C.R.D)
5	seca	0.00	0.00	57.00	58.00	57.00	56.00	57.00
5	húmeda	25.00	1.03	54.03	52.03	53.03	55.03	53.53
PROMEDIO (C.R.D) ADIMENSIONAL								53.41

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 85. Coeficientes de resistencia al deslizamiento “C.R.D”.

Resumen			
Losa	Condición		Estado

(#)	de la superficie	crd	de fricción
1	húmeda	0.63	Bueno
2	húmeda	0.80	Bueno a Regular
3	húmeda	0.62	Bueno
4	húmeda	0.65	Bueno
5	húmeda	0.53	Regular a Bueno

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO IV

3.5. EVALUACIÓN DE LA MACROTEXTURA DE LAS LOSAS CON EL CIRCULO DE ARENA

La prueba del círculo de arena, es un método adecuado para pruebas en el cual determina el promedio del espesor de la macro textura de la superficie del pavimento. El conocimiento del espesor de la macrotextura sirve como una herramienta en la caracterización de las texturas superficiales de los pavimentos.

Cuando se utiliza en conjunción con otras pruebas físicas, el espesor de la macrotextura derivada de este método de prueba puede ser utilizado para determinar la capacidad de resistencia al deslizamiento de los materiales en pavimentos o la sugerencia de un mejor acabado.

Figura 90. Método más antiguo para evaluar un pavimento.



Fuente. Propuesta de norma peruana.

3.5.1. Procedimiento para la evaluación de la macrotextura “ensayo del círculo de arena”

Para la medición y el cálculo de la textura del pavimento el procedimiento de prueba involucra la dispersión de un volumen conocido (en nuestro caso 25 cm^3) de material fino que pasa el tamiz #50 y retiene en el tamiz #100, sobre la superficie de la losa limpia y seca, la medición de dicha área cubierta, y subsecuentemente se calcula el promedio del espesor entre la parte inferior de los vacíos y la parte superior de los agregados. Esta medición del espesor de la textura superficial refleja las características de la macrotextura.

Entonces el procedimiento de ensayo y cálculo de la macrotextura es el siguiente:

- Primeramente se inspecciona la superficie de la losa por ser evaluada y se selecciona un área seca y homogénea que no contenga características únicas localizadas tales como grietas y/o fisuras. La superficie debe estar completamente limpia y seca, para ello utilizamos una brocha de alambre para remover cualquier residuo, escombros o partículas de agregado sueltas de la superficie.

Figura 91. Limpieza de la superficie a evaluar.



Fuente. Elaboración propia.

- Luego se procedió a llenar de arena fina una probeta graduada de 25 cm^3 de volumen para tener un volumen conocido de material y así poder realizar el ensayo.

Figura 92. Volumen conocido de arena fina.



Fuente. Elaboración propia.

- Luego se procedió a vertir el volumen del material fino sobre la superficie limpia de las losas.

Figura 93. Volumen de arena vertido sobre la superficie a evaluar.



Fuente. Elaboración propia.

- dispersar cuidadosamente al material con el disco de madera formando un círculo, llenando los vacíos superficiales hasta que se empiecen a notar las asperezas de las losas de hormigón.

Figura 94. Dispersión de material con el disco de madera.



Fuente. Elaboración propia.

- Con la ayuda de una regla o un flexómetro, se procede a medir el diámetro del área cubierta por el material como mínimo de cuatro localizaciones igualmente espaciadas alrededor de la circunferencia de la muestra para luego promediarlas.

Figura 95. Medición de diámetros para la prueba círculo de arena.



Fuente. Elaboración propia.

- Finalmente se calcula la profundidad de textura con la siguiente fórmula.

$$H = \frac{4 * V}{\pi * d^2}$$

Dónde:

H / PT= promedio del espesor de la macrotextura de la superficie, plg (mm).

V = volumen de la muestra, plg³ (mm³).

D = diámetro promedio del área cubierta por el material plg, (mm).

3.5.2. Indicador “P.T”

O también llamado Tx o Heq, es el valor expresado en milímetros o pulgadas que por sus siglas representa la (Profundidad media de textura), o espesor promedio de macrotextura (H), los valores obtenidos varían en entre el rango de (0.20 – 1.20), según la “Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos”. Los valores medios representan mejores características de textura para una mejor evacuación de agua, reducen el desgaste de neumáticos y disminuye el gasto de combustible.

3.5.3. Resultados obtenidos

3.5.3.1. Evaluación de la macrotextura

Se realizara la evaluación del espesor de la macrotextura de las losas para la caracterización de las diferentes texturas superficiales.

Tabla 86. Espesor de la macrotexturas de las losas “P.T”.

Circulo de arena							
Losa (#)	Volumen probeta "v" (mm ³)	Diámetro 1 (mm)	Diámetro 2 (mm)	Diámetro 3 (mm)	Diámetro 4 (mm)	Ø Media "d" (mm)	Espesor de macrotextura "pt" (mm)
1	25000.00	179.00	177.00	188.00	185.00	182.25	0.96
2	25000.00	168.00	175.00	163.00	175.00	170.25	1.10
3	25000.00	193.00	198.00	197.00	200.00	197.00	0.82
4	25000.00	191.00	183.00	185.00	188.00	186.75	0.91
5	25000.00	281.00	288.00	280.00	278.00	281.75	0.40

Fuente. Elaboración propia.

Ver planillas en ANEXO IV

3.6. CÁLCULO DEL ÍNDICE DE FRICCIÓN INTERNACIONAL IFI

LOSA 1

Determinación de parámetros.-**Determinación del parámetro “Sp”**

Donde los valores de las constantes a y b son:

Prueba	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

Tx = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (cm³).

$$V = 25 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Dp = Diámetro promedio del área cubierta por el material (Obtenido en laboratorio), (mm).

Determinación del parámetro “F60”

Donde los valores de las constantes A y B son:

Prueba	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

FRSp = Valor de la fricción obtenida en laboratorio, (adm).

S = Velocidad de deslizamiento del péndulo.

Sp = Velocidad de referencia.

$$S = 10 \text{ (Km/hra)}$$

LOSA	Dp	Tx	Sp	FRSp	FR60	F60
		(mm)	(Km/hr)			
1	18.23	0.96	97.21	63.16	37.76	0.48

FRICCIÓN F(60)		TEXTURA Sp	
0.48	Malo deslizamiento del vehículo	97.21	Textura cerrada Tx < 1 mm

F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
0.83	0.69	0.57	0.48	0.41	0.35	0.3

Figura 96. Representación gráfica de valores de (IFI), Losa 1.



Fuente. Elaboración propia.

LOSA 2

Determinación de parámetros.-

Determinación del parámetro “Sp”

Donde los valores de las constantes a y b son:

Prueba	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

T_x = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (cm³).

$$V = 25 \text{ (cm}^3\text{)}$$

D_p = Diámetro promedio del área cubierta por el material (Obtenido en laboratorio), (mm).

Determinación del parámetro “F60”

Donde los valores de las constantes A y B son:

Prueba	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

$FRSp$ = Valor de la fricción obtenida en laboratorio, (adm).

S = Velocidad de deslizamiento del péndulo.

S_p = Velocidad de referencia.

$$S = 10 \text{ (Km/hra)}$$

LOSA	D_p	T_x	S_p	$FRSp$	FR60	F60
		(mm)	(Km/hr)			
2	17.03	1.10	113.08	79.66	51.19	0.63

FRICCIÓN F(60)	TEXTURA S_p
-----------------------	---------------------------------

0.63	Bueno	113.08	Textura abierta Tx >1 mm			
F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
1.01	0.86	0.73	0.63	0.54	0.46	0.40

Figura 97. Representación gráfica de valores de (IFI), Losa 2.



Fuente. Elaboración propia.

LOSA 3

Determinación de parámetros.-

Determinación del parámetro “Sp”

Donde los valores de las constantes a y b son:

Prueba	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

T_x = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (cm³).

$$V = 25 \text{ (cm}^3\text{)}$$

D_p = Diámetro promedio del área cubierta por el material (Obtenido en laboratorio), (mm).

Determinación del parámetro “F60”

Donde los valores de las constantes A y B son:

Prueba	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

FRSp = Valor de la fricción obtenida en laboratorio, (adm).

S = Velocidad de deslizamiento del péndulo.

S_p = Velocidad de referencia.

$$S = 10 \text{ (Km/hra)}$$

LOSA	D _p	T _x	S _p	FRSp	FR60	F60
		(mm)	(Km/hr)			
3	19.70	0.82	81.57	62.41	33.81	0.44

FRICCIÓN F(60)			TEXTURA S _p	
0.44	Malo deslizamiento del vehículo	81.57	Textura cerrada T _x <1 mm	

F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
0.83	0.67	0.54	0.44	0.36	0.30	0.25

Figura 98. Representación gráfica de valores de (IFI), Losa 3.



Fuente. Elaboración propia.

LOSA 4

Determinación de parámetros.-

Determinación del parámetro “Sp”

Donde los valores de las constantes a y b son:

Prueba	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

Tx = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (cm³).

$$V = 25 \text{ (cm}^3\text{)}$$

Dp = Diámetro promedio del área cubierta por el material (Obtenido en laboratorio), (mm).

Determinación del parámetro “F60”

Donde los valores de las constantes A y B son:

Prueba	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

FRSp = Valor de la fricción obtenida en laboratorio, (adm).

S = Velocidad de deslizamiento del péndulo.

Sp = Velocidad de referencia.

$$S = 10 \text{ (Km/hra)}$$

LOSA	Dp	Tx	Sp	FRSp	FR60	F60
		(mm)	(Km/hr)			
4	18.68	0.91	92.03	64.83	37.65	0.48

FRICCIÓN F(60)			TEXTURA Sp	
0.48	Malo deslizamiento del vehículo	92.03	Textura cerrada Tx <1 mm	

F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
0.85	0.70	0.58	0.48	0.40	0.34	0.29

Figura 99. Representación gráfica de valores de (IFI), Losa 4.



Fuente. Elaboración propia.

LOSA 5

Determinación de parámetros.-

Determinación del parámetro “Sp”

Donde los valores de las constantes a y b son:

Prueba	a	b
ASTM E 965	-11.60	113.60

T_x = Promedio del espesor de la macrotextura de la superficie (mm).

V = Volumen de la muestra (cm³).

$$V = 25 \text{ (cm}^3\text{)}$$

D_p = Diámetro promedio del área cubierta por el material (Obtenido en laboratorio), (mm).

Determinación del parámetro “F60”

Donde los valores de las constantes A y B son:

Prueba	A	B
ASTM E 274	0.078	0.0107

FRSp = Valor de la fricción obtenida en laboratorio, (adm).

S = Velocidad de deslizamiento del péndulo.

S_p = Velocidad de referencia.

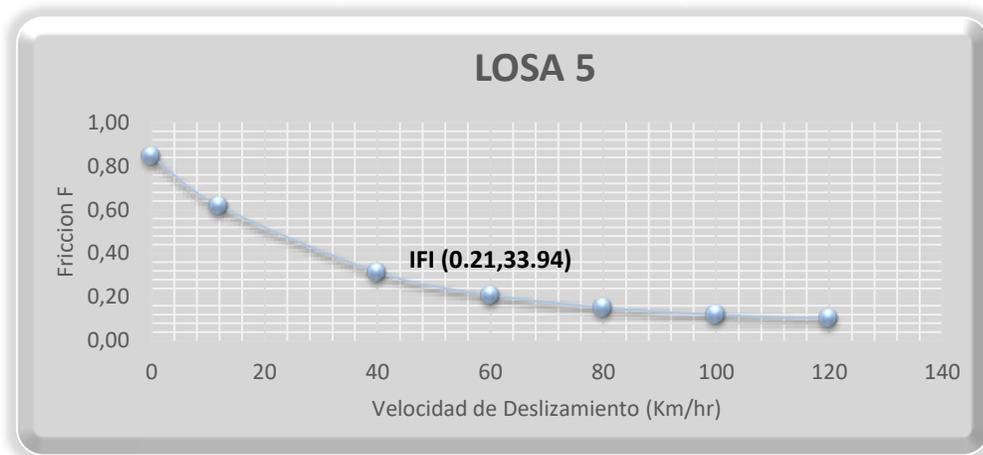
$$S = 10 \text{ (Km/hra)}$$

LOSA	D_p	T_x	S_p	FRSp	FR60	F60
		(mm)	(Km/hr)			
5	28.18	0.40	33.94	53.41	12.24	0.21

FRICCIÓN F(60)			TEXTURA S_p	
0.21	Malo deslizamiento del vehículo	33.94	Textura cerrada $T_x < 1$ mm	

F (0)	F (20)	F (40)	F (60)	F (80)	F (100)	F (120)
0.85	0.50	0.31	0.21	0.15	0.12	0.10

Figura 100. Representación gráfica de valores de (IFI), Losa 5.



Fuente. Elaboración propia.

3.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.7.1. Losa I (cepillado longitudinal con cerdas plásticas)

En el Caso de la losa 1 analizaremos para cada condición que presentamos en los resultados:

Materiales:

- Grava: triturada (Chancadora ERIKA).
- Gravilla: triturada (Chancadora ERIKA).
- Arena Lavada (Chancadora ERIKA).

Resultados de caracterización:**Desgaste (%):**

- 26 % < 35 %

Durabilidad (%):

- 3 % < 12 %

Resistencia (kg/cm²):

- 224.39 (kg/cm²)

Resultados de evaluación:**(PT) (Macrotectura) (mm):**

- 0.96 (mm)

(CRD) (Microtextura) (adm):

- 0.63

Figura 101. Medición de P.T y C.R.D para losa 1.



Fuente. Elaboración propia.

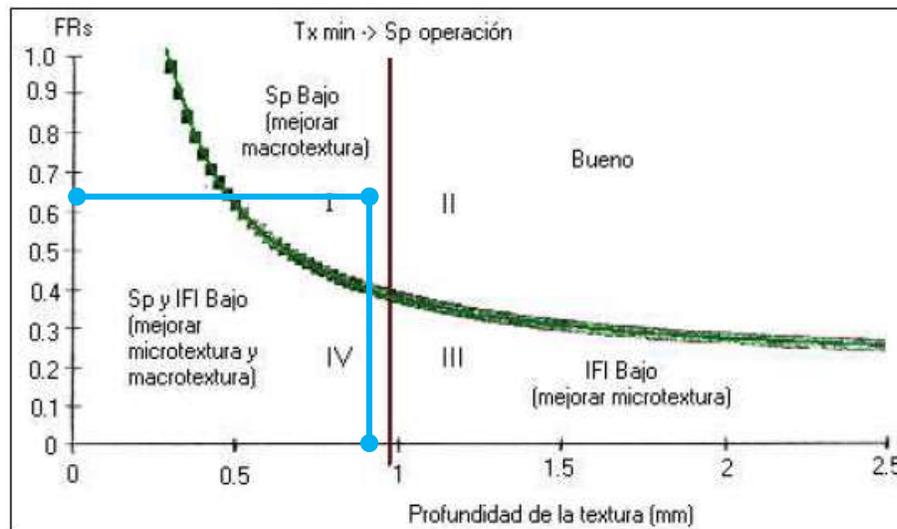
3.7.1.1. Evaluación losa N° 1

Con respecto a la evaluación de la losa 1, esta presenta un valor de macrotextura de $PT = 0.96 \text{ mm}$ y se encuentra en el rango de profundidad de textura **profunda** con referencia a la tabla 5.

Con respecto al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la losa 1, $CDR = 0.63$ se encuentra en el rango de microtextura **buena**, con referencia a la tabla 6.

Según la gráfica de aceptación o rechazo del Modelo PIARC para evaluar el IFI de una superficie, evaluaremos la losa 1 en que cuadrante se ubica y si requiere o no mejorar la micro o macrotextura para una mejor seguridad vial.

Figura 102. Diagrama de fricción vs. Macrotextura para la losa 1.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Losa 1:

PT o Tx= 0.96 mm

CRD o FRs= 0.63

La losa 1, se encuentra en el cuadrante I, lo que significa que la superficie de la losa requiere mejorar la macrotextura para que permita la mejor evacuación del volumen de agua excedente.

Si analizamos este resultado con respecto a la **representación gráfica de valores de (IFI) para la losa 1**, los valores obtenidos de IFI para una velocidad de 60 Km/h el resultado es **Malo (derrapamiento del vehículo)**. Pero si se baja la velocidad aumenta la fricción y se produce un mayor desgaste de neumáticos. Y por el contrario si se aumenta la velocidad disminuye la fricción del roce neumático – pavimento y se produce un derrapamiento del vehículo. Por lo mencionado anteriormente se recomienda mantener las velocidades en un rango de fricción de 0.61 a 0.8 lo que significa que el vehículo tendría que circular a velocidades muy bajas para su seguridad sobre todo cuando el pavimento este mojado.

Con respecto a la configuración de la losa 1 (Cepillado longitudinal con cerdas plásticas) y en consistencia a un trabajo presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito en el año 2012 denominado “ Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades” se concluye que esta técnica de texturizado se puede realizar de forma automática o manual, generando este texturizado una baja generación de ruido; pero la calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.

3.7.2. Losa II (cepillado transversal con cerdas plásticas)

En el Caso de la losa 2 analizaremos para cada condición que presentamos en los resultados:

Materiales:

- Grava: triturada (Chancadora GARZON).
- Gravilla: triturada (Chancadora GARZON).
- Arena Lavada (Chancadora ERIKA).

Resultados de caracterización:

Desgaste (%):

- 28 % < 35 %

Durabilidad (%):

- 4 % < 12 %

Resistencia (kg/cm²):

- 228 (kg/cm²)

Resultados de evaluación:

(PT) (Macrotextura) (mm):

- 1.10 (mm)

(CRD) (Microtextura) (adm):

- 0.80

Figura 103. Medición de P.T y C.R.D para losa 2.



Fuente. Elaboración propia.

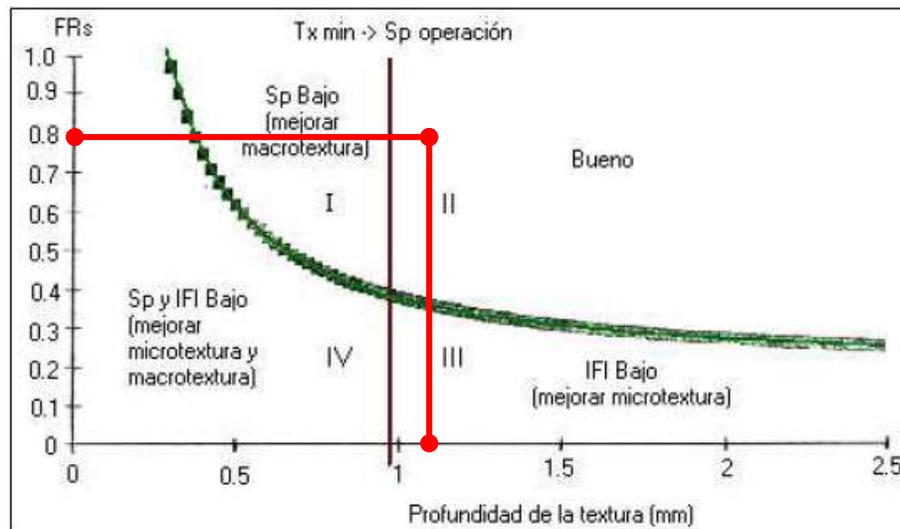
3.7.2.1. Evaluación losa N° 2

Con respecto a la evaluación de la losa 2, esta presenta un valor de macrotextura de $PT = 1.10 \text{ mm}$ y se encuentra en el rango de profundidad de textura **profunda** con referencia a la tabla 5.

Con respecto al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la losa 2, $CDR = 0.8$ se encuentra en el rango de microtextura **buena**, con referencia a la tabla 6.

Según la gráfica de aceptación o rechazo del Modelo PIARC para evaluar el IFI de una superficie para la losa 2 se tiene:

Figura 104. Diagrama de fricción vs. Macrotextura para la losa 2.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Losa 2:

PT o $T_x = 1.10$ mm

CRD o $FRs = 0.80$

La losa 2, se encuentra en el cuadrante II, entramos que según nuestros límites de F60 y Sp, encontraremos los puntos que cumplen con una adecuada micro y macrotextura para las necesidades de nuestra carretera.

Si analizamos este resultado con respecto a los valores obtenidos en el IFI para una velocidad de 60 Km/h es coincidente con los rangos de calificación de fricción de la tabla 6 de “Buena”.

La **representación gráfica de valores de (IFI) para la losa 2** tiene la misma tendencia que la losa 1, si se baja la velocidad aumenta la fricción y se produce un mayor desgaste de neumáticos. Y por el contrario si se aumenta la velocidad disminuye la fricción del roce neumático – pavimento y se produce un derrapamiento del vehículo. Por lo mencionado anteriormente se recomienda mantener las velocidades en un rango de fricción de 0.61 a 0.8, lo que significa que el vehículo tendría que circular por este tipo

de losa a velocidades entre 30 Km/h a 60 Km/h para su seguridad sobre todo cuando el pavimento este mojado.

Con respecto a la configuración de la losa 2 (Cepillado transversal con cerdas plásticas) y en consistencia al trabajo presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito en el año 2012 denominado “ Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades” se concluye que esta técnica de texturizado también se puede realizar de forma automática o manual, provocando elevados índices de fricción; pero produce mayor generación de ruido y la calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.

3.7.3. Losa III (cepillado longitudinal ondulado con cerdas metálicas)

En el Caso de la losa 3 analizaremos para cada condición que presentamos en los resultados:

Materiales:

- Grava: triturada (Chancadora SEDECA).
- Gravilla: triturada (Chancadora SEDECA).
- Arena Lavada (Chancadora ERIKA).

Resultados de caracterización:

Desgaste (%):

- 25 % < 35 %

Durabilidad (%):

- 2.7 % < 12 %

Resistencia (kg/cm²):

- 262 (kg/cm²)

Resultados de evaluación:

(PT) (Macrotextura) (mm):

- 0.82 (mm)

(CRD) (Microtextura) (adm):

- 0.62

Figura 105. Medición de P.T y C.R.D para losa 3.



Fuente. Elaboración propia.

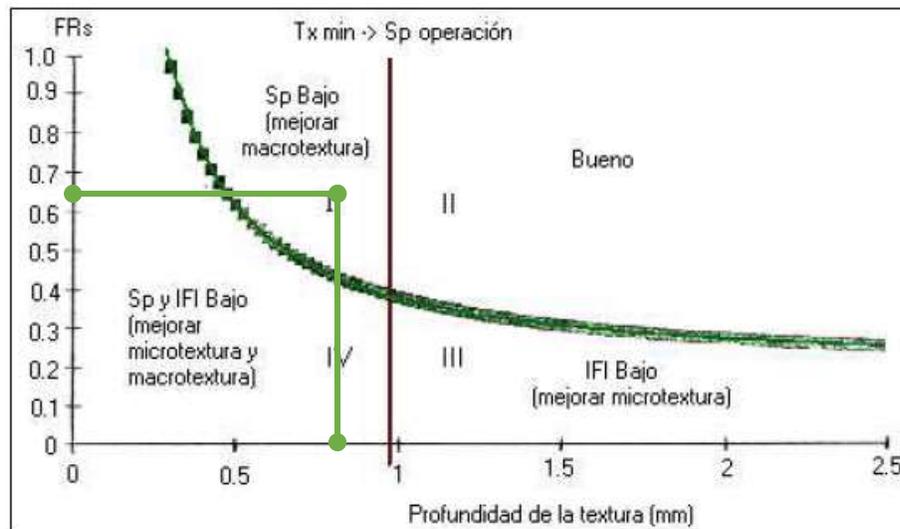
3.7.3.1. Evaluación losa N° 3

Con respecto a la evaluación de la losa 3, esta presenta un valor de macrotextura de $PT = 0.82$ mm y se encuentra en el rango de profundidad de textura **profunda** con referencia a la tabla 5.

Con respecto al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la losa 3, $CDR = 0.62$ se encuentra en el rango de microtextura **buena**, con referencia a la tabla 6.

Según la gráfica de aceptación o rechazo del Modelo PIARC para evaluar el IFI de una superficie para la losa 3 se tiene:

Figura 106. Diagrama de fricción vs. Macrotextura para la losa 3.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Losa 3:

PT o $T_x = 0.82$ mm

CRD o $FR_s = 0.62$

La losa 3, se encuentra en el cuadrante I, encontramos que la superficie de la losa requiere mejorar la macrotextura para que permita la mejor evacuación del volumen de agua excedente.

La **representación gráfica de valores de (IFI) para la losa 3** tiene la misma tendencia que las losas 1 y 2, si se baja la velocidad aumenta la fricción y se produce un mayor desgaste de neumáticos. Y por el contrario si se aumenta la velocidad disminuye la fricción del roce neumático – pavimento y se produce un derrapamiento del vehículo. Por lo mencionado anteriormente se recomienda mantener las velocidades en un rango de fricción de 0.61 a 0.8, lo que significa que el vehículo tendría que circular por este tipo de losa a velocidades muy bajas hasta 30 km/h para su seguridad sobre todo cuando el pavimento este mojado.

Con respecto a la configuración de la losa 3 (Cepillado longitudinal ondulado con cerdas metálicas) y en consistencia al trabajo presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito en el año 2012 denominado “ Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades” se concluye que esta técnica de texturizado permite elevados índices de fricción, elevada durabilidad, baja generación de ruido y previene el deslizamiento lateral en curvas horizontales; pero puede generar algunas molestias a motociclistas.

3.7.4. Losa IV (cepillado transversal ondulado con cerdas metálicas)

En el Caso de la losa 4 analizaremos para cada condición que presentamos en los resultados:

Materiales:

- Grava: triturada (Chancadora GARZON).
- Gravilla: triturada (Chancadora SEDECA).
- Arena Lavada (Chancadora ERIKA).

Resultados de caracterización:

Desgaste (%):

- 21% < 35 % (GRAVA)
- 23 % < 35 % (GRAVILLA)

Durabilidad (%):

- 1.6 % < 12 %

Resistencia (kg/cm²):

- 273 (kg/cm²)

Resultados de caracterización:

(PT) (Macrotextura) (mm):

- 0.91 (mm)

(CRD) (Microtextura) (adm):

- 0.65

Figura 107. Medición de P.T y C.R.D para losa 4.



Fuente. Elaboración propia.

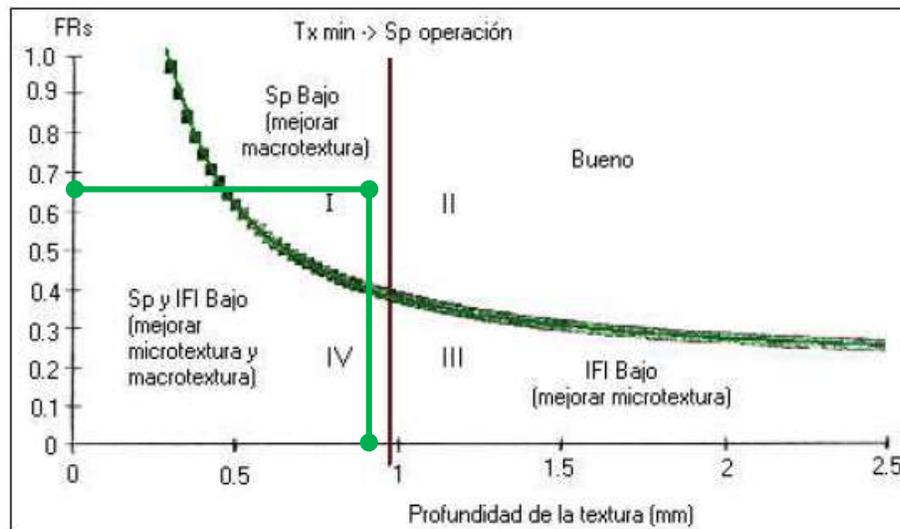
3.7.4.1. Evaluación losa N° 4

Con respecto a la evaluación de la losa 4, esta presenta un valor de macrotextura de $PT = 0.91$ mm y se encuentra en el rango de profundidad de textura **profunda** con referencia a la tabla 5.

Con respecto al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la losa 4, $CDR = 0.65$ se encuentra en el rango de microtextura **buena**, con referencia a la tabla 6.

Según la gráfica de aceptación o rechazo del Modelo PIARC para evaluar el IFI de una superficie para la losa 4 se tiene:

Figura 108. Diagrama de fricción vs. Macrotextura para la losa 4.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Losa 4:

PT o $T_x = 0.91$ mm

CRD o $FR_s = 0.65$

La losa 4, se encuentra en el cuadrante I, encontramos que la superficie de la losa requiere mejorar la macrotextura para que permita la mejor evacuación del volumen de agua excedente.

La **representación gráfica de valores de (IFI) para la losa 4** tiene la misma tendencia que las losas 1, 2 y 3, si se baja la velocidad aumenta la fricción y se produce un mayor desgaste de neumáticos. Y por el contrario si se aumenta la velocidad disminuye la fricción del roce neumático – pavimento y se produce un derrapamiento del vehículo. Por lo mencionado anteriormente se recomienda mantener las velocidades en un rango de fricción de 0.61 a 0.8, lo que significa que el vehículo tendría que circular por este tipo de losa a velocidades muy bajas hasta 30 km/h para su seguridad cuando el pavimento este mojado en las zonas de riesgo (frenado, curvas, etc)

Con respecto a la configuración de la losa 4 (Cepillado longitudinal ondulado con cerdas metálicas) y en consistencia al trabajo presentado en el XVI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito en el año 2012 denominado “ Texturizado de Pavimentos de Hormigón en Vías de Altas Velocidades” se concluye que esta técnica de texturizado permite elevados índices de fricción, elevada durabilidad, de aplicación automática o manual, reduce el riesgo de hidroplaneo y reduce el spray y las salpicaduras; pero produce mayor generación de ruido y la calidad del mortero y del agregado es crítica para un buen desempeño a largo plazo.

3.7.5. Losa V (liso sin ninguna rugosidad)

En el Caso de la losa 5 analizaremos para cada condición que presentamos en los resultados:

Materiales:

- Grava: triturada (Chancadora SEDECA).
- Gravilla: triturada (Chancadora GARZON).
- Arena Lavada (Chancadora ERIKA).

Resultados de caracterización:

Desgaste (%):

- 24% < 35 % (GRAVA)
- 28 % < 35 % (GRAVILLA)

Durabilidad (%):

- 3.2 % < 12 %

Resistencia (kg/cm2):

- 209 (kg/cm2)

Resultados de evaluación:

(PT) (Macrotextura) (mm):

- 0.40 (mm)

(CRD) (Microtextura) (adm):

- 0.53

Figura 109. Medición de P.T y C.R.D para losa 5.



Fuente. Elaboración propia.

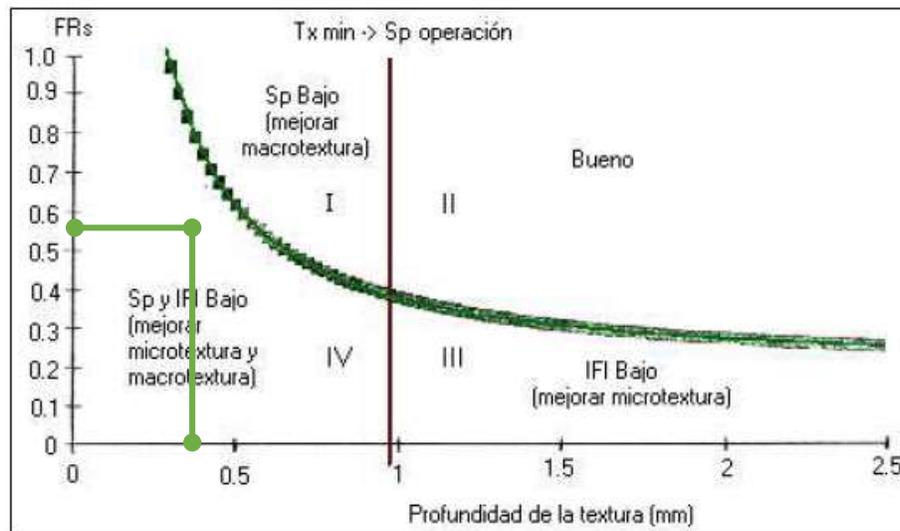
3.7.5.1 Evaluación losa N° 5

Con respecto a la evaluación de la losa 5, esta presenta un valor de macrotextura de $PT = 0.40$ mm y se encuentra en el rango de profundidad de textura de media a lisa con referencia a la tabla 5.

Con respecto al Coeficiente de Resistencia al Deslizamiento la losa 5, $CDR = 0.53$ se encuentra en el rango de microtextura **de regular a buena**, con referencia a la tabla 6.

Según la gráfica de aceptación o rechazo del Modelo PIARC para evaluar el IFI de una superficie para la losa 5 se tiene:

Figura 110. Diagrama de fricción vs. Macrotextura para la losa 5.



Fuente. Normativa para evaluar la resistencia al deslizamiento superficial de los pavimentos.

Losa 5:

PT o $T_x = 0.40$ mm

CRD o $FR_s = 0.53$

La losa 5, se encuentra en el cuadrante IV, encontramos que presenta la situación más crítica del pavimento, ya que se requiere mejorar ambas, micro y macrotextura.

La **representación gráfica de valores de (IFI) para la losa 5** tiene la misma tendencia que las losas 1, 2, 3 y 4, si se baja la velocidad aumenta la fricción y se produce un mayor desgaste de neumáticos. Y por el contrario si se aumenta la velocidad disminuye la fricción del roce neumático – pavimento y se produce un derrapamiento del vehículo. Por lo mencionado anteriormente se recomienda mantener las velocidades en un rango de fricción de 0.61 a 0.8, lo que significa que el vehículo tendría que circular por este tipo de losa a velocidades muy bajas hasta 20 km/h para su seguridad cuando el pavimento este mojado en las zonas de riesgo (frenado, curvas, etc)

Con respecto a la configuración de la losa 5 (Liso sin ninguna rugosidad) se concluye que esta técnica de texturizado es la más desfavorable por sus condiciones no friccionantes.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se logró cumplir el objetivo principal de la investigación que es, EVALUAR LAS PROPIEDADES FRICCIONANTES Y LAS CARACTERISTICAS DE TEXTURA, DE LOS PAVIMENTOS DE HORMIGON CON DIFERENTES CONFIGURACIONES EN SU TEXTURA SUPERFICIAL MEDIANTE ENSAYOS EN LABORATORIO, PARA ASI DETERMINAR LA TEXTURA CON MEJOR INFLUENCIA NEUMATICO-PAVIMENTO, construyendo cinco losas de hormigón para el posterior estudio de investigación donde se realizaran los ensayos de laboratorio, para obtener el coeficiente de resistencia al deslizamiento “CRD”, y la profundidad media de textura “PT”, con diferentes texturizados superficiales.
- Se realizó la caracterización y dosificación de los agregados de los tres bancos de donde procedía el material tanto grueso como fino, y también se caracterizó el material ligante a utilizar cemento Portland IP-30.
- En proporción a una losa convencional se realizó la conformación de cinco losas de hormigón de dimensiones (Largo= 50 cm, Ancho= 30 cm y Espesor= 8 cm).
- Utilizando el proceso tradicional de construcción y también procesos no convencionales se procedió al texturizado de las losas utilizando elementos manuales como cepillos de cerdas plásticas y metálicas dando un acabado superficial de diferente configuración entre las losas a evaluar.
- El factor más importante que afecta a la resistencia al deslizamiento entre el neumático y el pavimento es la textura superficial. Si existe una adecuada textura superficial significa que puede combatir a los demás factores que la afectan.

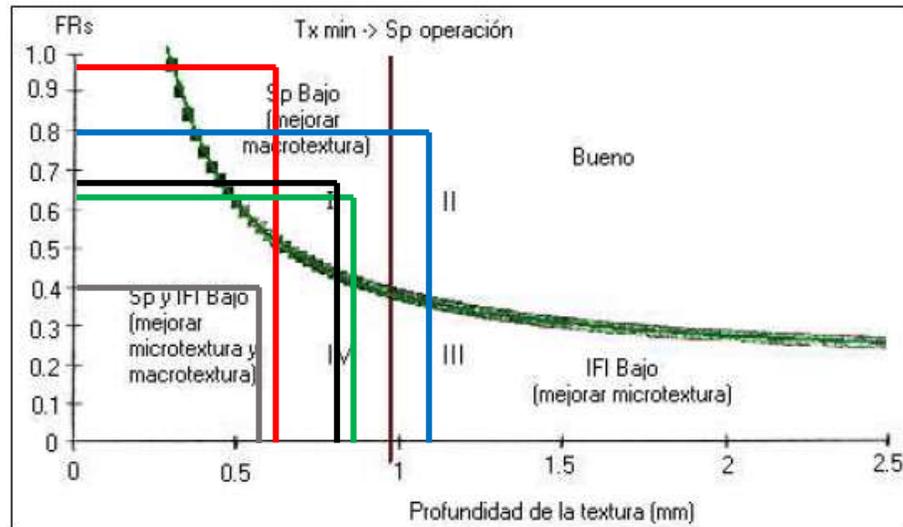
- Dentro del análisis de la influencia de la macrotextura de las losas mediante el círculo de arena, pudimos observar que para un volumen constante de 25 cm³ de arena, un espesor de la macrotextura mayores o iguales a 1mm (diámetros menores o iguales a 25.5 cm en la prueba del círculo de arena), representa una textura abierta del pavimento, y valores menores a 1 mm (diámetros mayores a 25.5 cm) representa una textura cerrada, donde es más recomendable tener una textura abierta ya que evita el fenómeno del hidroplaneo y aumenta el valor de la fricción al desalojar el agua superficial con mayor facilidad que un pavimento que tenga una textura cerrada.
- Dentro la zonificación del diagrama **de fricción vs. Macrotextura**, nos da una **idea del rechazo o aceptación que tienen nuestros valores obtenidos llegando a la conclusión que los valores de la losa 2, que se encuentra en el cuadrante II, presenta los resultados más aceptables cumple con una adecuada micro y macrotextura dentro de este modelo de valoración. Los demás resultados de las losas 1, 3 y 4, que se encuentran el cuadrante II, requieren mejorar la macrotextura, y por último la losa 5, se encuentra en el cuadrante IV, esta losa presenta la situación más crítica de textura ya que se debe mejorar la macro y microtextura.**

Tabla 87. Valores requeridos para la zonificación.

Losas	CRD o FRs (adm)	PT o tx (mm)
1	0.63	0.96
2	0.80	1.10
3	0.62	0.82
4	0.65	0.91
5	0.53	0.40

Fuente. Elaboración propia.

Figura 111. Zonificación de losas según sus valores.



Fuente. Elaboración propia.

- | | | | |
|--|---------------|--------|--------|
| I. Requiere mejorar macrotextura. Losa (1-3-4) | <u>losa 1</u> | losa 3 | losa 4 |
| II. Micro y macrotextura adecuada. Losa (2) | <u>losa 2</u> | | |
| III. Requiere mejorar microtextura. Losa (5) | losa 5 | | |
| IV. Situación crítica requiere mejorar micro y macrotextura. | | | |

- La variación en los resultados de la macrotextura son directamente relacionados al tipo o ejecución del texturizado es conveniente tener una macrotextura mínima de 0.45 mm, para garantizar una buena evacuación de aguas.
- La losa 2, presenta el único valor de macrotextura abierta con una profundidad media de textura mayor a 1 mm, lo que significa que tiene una mejor evacuación de agua las demás losas presentan valores menores a 1 mm, por lo tanto son de macrotextura cerrada.

- Evaluando las propiedades friccionantes y características de textura con ensayos en laboratorios se evaluaron 5 losas de hormigón con diferentes texturizados:

LOSA I.- Texturizado longitudinal con cerdas plásticas.

LOSA II.- Texturizado transversal con cerdas plásticas.

LOSA III.- Texturizado ondular longitudinal con cerdas metálicas.

LOSA IV.- Texturizado ondular transversal con cerdas metálicas.

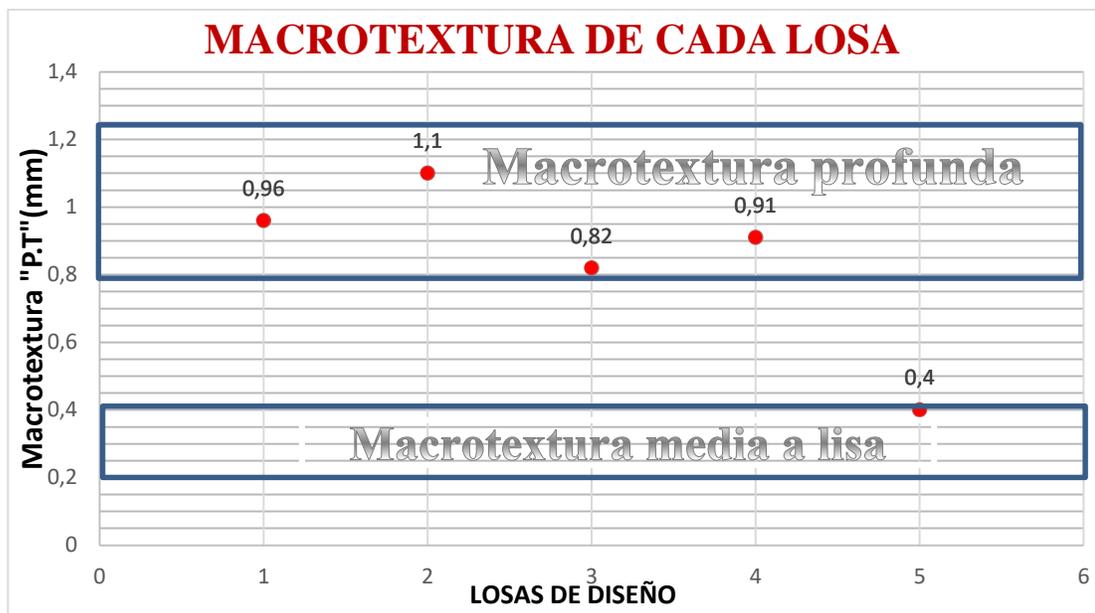
LOSA V.- Texturizado liso sin ninguna rugosidad.

Figura 112. Umbrales de microtextura.



Fuente. Elaboración propia.

Figura 113. Umbrales de macrotextura.



Fuente. Elaboración propia.

Estos valores son aceptables porque están dentro parámetros de normativa internacional y llevan una relación similar entre sí de los resultados obtenidos

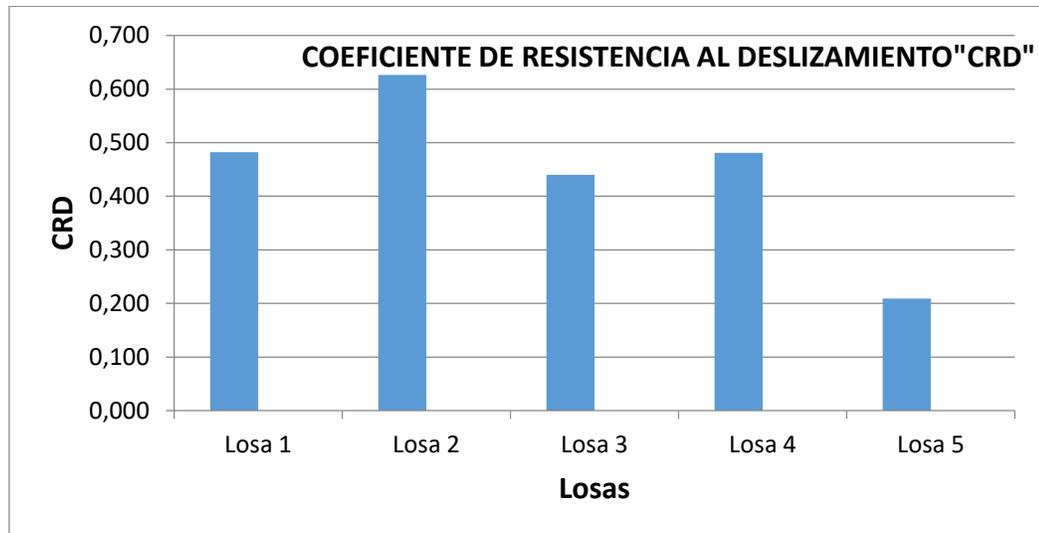
- El índice de fricción internacional influye directamente en las irregularidades superficiales en los fenómenos de interacción vehículo-pavimento, algunos fenómenos son: adherencia, drenaje, comodidad de rodamiento, resistencia al deslizamiento, desgaste del vehículo, desgaste de neumáticos, ruido al contacto, cargas dinámicas, proyección de agua, etc.
- De acuerdo a los resultados obtenidos del IFI podemos establecer el estado del pavimento en sus propiedades friccionantes.

Tabla 88. Coeficiente de resistencia al deslizamiento “CRD”.

Losa	Características de superficie	CRD	Estado del Pavimento
Losa 1	Longitudinal con cerdas plásticas	0.482	malo deslizamiento del vehículo
Losa 2	Transversal con cerdas plásticas	0.626	Bueno
Losa 3	Longitudinal ondulado con cerdas metálicas	0.440	malo deslizamiento del vehículo
Losa 4	Transversal ondulado con cerdas metálicas	0.481	malo deslizamiento del vehículo
Losa 5	Liso sin rugosidad	0.209	malo deslizamiento del vehículo

Fuente. Elaboración propia.

Figura 114. Coeficiente de resistencia al deslizamiento “CRD”.



Fuente. Elaboración propia.

4.2 RECOMENDACIONES

- Corregir la costumbre que se tiene del proceso constructivo al momento de la extensión de la mezcla.
- Bolivia se encuentra muy atrasado con respecto a la valoración de este tema. Es importante crear conciencia de esto, sobre todo entre los ingenieros viales, ya que una de las responsabilidades más importantes de todo ingeniero es proporcionar seguridad a los usuarios.
- Realizar una dosificación de los agregados que este dentro de las especificaciones ya que estos influyen directamente al hormigón, para lograr con esto una buena resistencia a flexión de las losas.
- Se recomienda tener mucho cuidado al utilizar los equipos para realizar la medición ya que se necesita precisión de los mismos.
- Los valores de CRD y PT obtenidos pueden variar con respecto al tiempo, debido al pulimento de la superficie de las losas a causa del texturizado.

- Dentro de los ensayos realizados mediante el círculo de arena, se recomienda mantener limpio y libre de partículas la superficie de las losas donde se realizara la muestra, ya que esto provoca error en los ensayos, además de tratar de no realizar los ensayos en superficies que cuenten con grietas o características únicas como recomienda la norma.
- Dentro de los ensayos realizados con el péndulo británico, se recomienda tener muy en cuenta la nivelación del equipo, en especial de la zapata de caucho y el cuerpo del péndulo, ya que la mala nivelación trae mucha variación de los datos obtenidos, además de tener siempre la superficie de la losa mojada que representa el caso más crítico en la obtención del coeficiente de resistencia al deslizamiento CRD.
- Dado que la macrotextura es un parámetro íntimamente relacionado con las condiciones de seguridad de la vía, se recomienda verificar en cada jornada de pavimentación que la profundidad media de textura sea superior a 0.5 mm, recomendación de la experiencia argentina.
- La provisión de una adecuada textura superficial brindara una macrotextura apropiada, que permitirá alcanzar los niveles de seguridad en el transito 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.
- Es importante conocer las normas internacionales para evaluar la textura superficial, ya que la experiencia permite tener una idea de cómo evalúan en otros países este tema.
- Finalmente se debe hacer el trabajo con mucha anticipación ya que los periodos de tiempo son prolongados para que podamos realizar una buena tesis de grado y poder aprovechar al máximo lo que estamos investigando y aprendiendo ya que el trabajo hace al maestro.