

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

En América del Sur, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido. Bolivia recién hace unos años empezó a interesarse en este tipo de pavimento. Los primeros pavimentos rígidos corresponden a la construcción de Aeropuertos; comenzando también con el pavimentado de extensas superficies en calles y avenidas de sus ciudades capitales, pero sin optar al mismo tiempo por este método en carreteras. La ciudad de Santa Cruz es considerada el pionero en utilizar esta técnica en gran escala, con más de dos millones de metros cuadrados hasta el año 2001; le sigue Cochabamba, con más de un millón de metros cuadrados.

En agosto de 2001 se empleó esta técnica de pavimentación por primera vez en una vía de la red troncal de Bolivia para cubrir un tramo de 5 Km de la carretera que une los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz, en la zona de El Sillar.

Actualmente, Bolivia cuenta con más de 1.400 kilómetros de vías de la Red Vial Fundamental que se han construido con pavimento rígido, con un impacto positivo para el tránsito en las difíciles carreteras bolivianas.

Además, se han desarrollado unos 12 millones de metros cuadrados de pavimentos urbanos en la mayoría de las ciudades grandes y medianas del país.

En Bolivia se considera que se debería construir más vías de pavimento rígido y menos de asfalto, coincidió Marcelo Alfaro, gerente general del Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH), entidad conformada por Soboce, Coboce, Itacamba, la Sociedad de Ingenieros de Bolivia y colegio de arquitectos.

El gerente técnico del (IBCH), Rosendo Soruco destacó que el pavimento rígido es indeformable y contribuye a que los vehículos tengan un menor deterioro y, por lo tanto, disminuye los costos al transporte y tiempos de viaje.

En la actualidad el deterioro de la infraestructura vial es preocupante, debido a la influencia del tráfico y el clima que inducen a la desintegración del pavimento y el

fracturamiento de la losa en grietas transversales y longitudinales en el cual hace necesario estudiar el comportamiento de los tipos de agregados (naturales y artificiales) ya que estos representan aproximadamente entre el 60% y el 75% del volumen total del hormigón siendo el más representativo para sus propiedades mecánicas de la resistencia a flexión y compresión.

Se desconocen trabajos de investigación relacionados con el tipo de agregado para la construcción de un pavimento rígido, pero se encontraron algunos estudios relacionados con este tipo de antecedentes.

ICPA (2015) realizó la investigación de la Influencia de las características del agregado en el comportamiento del pavimento de hormigón, el cual se vio las propiedades principales de los agregados que impactan en la calidad del hormigón una de ellas fue el tipo de agregado donde indica que con los agregados triturados se puede lograr resistencias mayores que con los agregados redondeados.

En general, mediante el empleo de un agregado natural (canto rodado), se obtendrá un hormigón más dócil que cuando se usa uno proveniente de la trituración, ya que éstos poseen forma angulosa y caras más rugosas. Asimismo, para una misma consistencia se necesitará, menos agua para un agregado redondeado. La demanda de agua se incrementa además cuando hay presencia de partículas lajosas y elongadas.

Condor Vargas y Pariona Uchuypoma (2019) realizaron un análisis comparativo de la resistencia a la flexión del concreto elaborado con piedra chancada y canto rodado, Huancavelica Perú donde concluyeron que la resistencia a flexión del concreto utilizando con piedra chancada es significativamente mayor a un concreto elaborado con canto rodado por lo que recomienda hacer uso del concreto teniendo como agregado grueso a la piedra chancada en sus construcciones, ya que presentan mejores condiciones estructurales que el canto rodado.

En nuestro medio nacional y local la mezcla de hormigón que se usa para la losa de pavimento rígido solo debe cumplir el control de calidad de la ASTM C33 y se desconocen trabajos de investigación publicados acerca sobre este tema del comportamiento de los tipos de agregados (naturales y artificiales) en el pavimento rígido.

## **1.2. SITUACIÓN PROBLÉMICA**

El pavimento rígido es aquello que fundamentalmente está constituido por una losa de hormigón, apoyada sobre la sub rasante o sobre una capa de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido; como el hormigón es capaz de resistir en cierto grado esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la sub rasante.

La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia del hormigón, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento.

Un agregado que no cuente con una adecuada resistencia al desgaste puede fragmentarse durante su manipuleo; en un pavimento en servicio, esta propiedad puede llevar a que se verifique un desgaste excesivo de la superficie del pavimento.

El cual es necesario realizar una evaluación de la influencia del tipo de agregado con el fin de conocer sus propiedades mecánicas en las mezclas de hormigón.

### **1.2.1. Problema**

¿Cómo una evaluación del tipo de agregado determina su influencia en el pavimento rígido?

### **1.2.2. Relevancia y factibilidad del problema**

La capacidad estructural de un pavimento rígido, que deberá tener la capa de rodadura de la losa de hormigón del pavimento rígido, en cuanto a la resistencia del hormigón de dicha mezcla, depende de lo que está compuesta, es decir, por el cemento, agregados y agua; en su gran envergadura el 60% -75% del volumen total de hormigón que corresponde a los agregados, la cual hace que tenga una gran influencia en el mismo; es aquí donde nace la necesidad de evaluar la influencia que tiene el tipo de agregado (natural y artificial) a emplearse en la mezcla de hormigón para pavimento rígido.

La investigación es factible debido a que se puede conseguir en nuestro medio los materiales que se necesita, como ser los agregados el cemento y el agua, lo más difícil será encontrar los agregados que satisfagan las especificaciones técnicas para usarlos en

el hormigón, para su ejecución se usó los ambientes del laboratorio de suelos y hormigones para realizar los diferentes ensayos.

### **1.2.3. Delimitación temporal y espacial de la investigación**

Esta investigación es de gran interés para futuras investigaciones ya que nos servirá para siempre, porque en una mezcla de hormigón el principal material es el agregado, y el mismo representa el 60% - 75% del volumen total del hormigón; y no solamente nos servirá para el pavimento rígido, también será de gran utilidad para los distintos usos en la construcción.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

En este trabajo se verá las propiedades principales de los tipos de agregados que impactan en la calidad del hormigón y en el desempeño del pavimento; básicamente se puede indicar que los aspectos que definen el desempeño de un pavimento rígido están directamente relacionadas con las características de los agregados porque estos ocupan un volumen de entre el 60% y el 75 % del hormigón, el cual hace que tenga mayor importancia por ello es que sus características tendrán un fuerte impacto en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido del mismo, el cual se reflejará posteriormente en la durabilidad del pavimento rígido.

El uso de pavimento rígido se volvió una prioridad ya que su estructura ofrece, mayor durabilidad y bajo costo de mantenimiento para nuestras carreteras.

Los pavimentos rígidos son el resultado de la mezcla y combinación, de una dosificación adecuada, de cemento, agregados y agua; por ello se reconoce que es indispensable el material a emplear como ser en su mayor envergadura el tipo de agregado que se vaya a emplear en dicho hormigonado del pavimento ya que la calidad del hormigón depende en su mayor parte de la calidad de los agregados.

Lo que se pretende en este trabajo es conocer el comportamiento que tiene el tipo de agregado en una mezcla de hormigón para pavimento rígido con dicho conocimiento se podrá determinar cuál es el adecuado para su implementación.

## **1.4. OBJETIVOS**

Después de presentar la justificación y el problema entonces se describen los siguientes objetivos que se desean alcanzar en la investigación.

### **1.4.1. Objetivo general**

El objetivo del presente trabajo de investigación es de:

Evaluar la influencia del comportamiento de mezclas de hormigón a partir del tipo de agregado (natural y artificial) a través de la rotura de vigas prismáticas y probetas, considerando la procedencia de los agregados, de tal forma obtener un pavimento con mejor resistencia mecánica para el pavimento rígido.

### **1.4.2. Objetivo específicos**

Dentro de los objetivos específicos que nos ayudará en el desarrollo del proyecto se considera los siguientes:

- Extraer muestras de los tipos de agregados en las diferentes chancadoras y seleccionadoras del valle central de Tarija.
- Realizar la caracterización de los tipos de agregados a emplear en la mezcla de hormigón de cada una de las muestras extraídas.
- Establecer las dosificaciones con cada una de las muestras extraídas de los tipos de agregados de los diferentes lugares con cemento IP30 y cemento IP40.
- Elaborar mezclas de hormigón con cada tipo de agregado con sus respectivas dosificaciones de cada muestra.
- Determinar la resistencia del hormigón elaborado con las muestras de los distintos tipos de agregados.
- Evaluar los resultados de resistencia mecánica del hormigón de las diferentes muestras utilizadas con los distintos tipos de agregados.

## **1.5. HIPÓTESIS**

La hipótesis planteada es la que se escribe a continuación:

Si, se utilizan diferentes tipos de agregados (naturales y artificiales) que varían por su procedencia entonces las mezclas de hormigón tendrán diferente comportamiento en sus propiedades mecánicas.

## 1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

### 1.6.1. Variable independiente

Se presenta la variable independiente para la investigación en términos del objeto de estudio es en este caso son:

Los tipos de agregados

**Tabla 1.1 Conceptualización y operacionalización de la variable independiente**

<b>Variable independiente</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor/acción</b>
Tipo de agregado	Es el material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural, desgaste o trituración de rocas, de escorias siderúrgicas convenientemente preparadas para tal fin o de otros materiales suficientemente duros.	Granulometría	gr	Muestra

**Fuente: Elaboración propia**

### 1.6.2. Variable dependiente

Para la variable independiente entre las más importante que se van a describir son:

Las propiedades mecánicas de la cual se va a medir la:

- Resistencia flexión.
- Resistencia compresión.

**Tabla 1.2 Conceptualización y operacionalización de la variable dependiente**

<b>Variable dependiente</b>	<b>Conceptualización</b>	<b>Dimensión</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor/acción</b>
Propiedades mecánicas	Las propiedades mecánicas pues son las que determina el comportamiento de estos cuando se ven sometidos a la acción de fuerzas exteriores de cualquier tipo, continuas o discontinuas estáticas dinámicas o cíclica. Pueden definirse como la resistencia mecánica que ofrece el material a dichos esfuerzos.	Resistencia a flexión	kg/cm <sup>2</sup>	Vigas de hormigón
		Resistencia a compresión	kg/cm <sup>2</sup>	Probetas de hormigón

**Fuente: Elaboración propia**

## **1.7. IDENTIFICACIÓN DEL TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación a ser utilizado en el presente proyecto tiene un diseño de tipo descriptiva y explicativa.

Es descriptiva porque la investigación tiene como objetivo la evaluación de la influencia en el comportamiento de mezclas de hormigón a partir del tipo de agregado a través de la rotura de vigas prismáticas y probetas considerando la procedencia de los agregados de tal forma obtener un pavimento con mejor resistencia mecánica para el pavimento rígido; para el cual se describió y evaluó los resultados obtenidos en la investigación de la influencia del hormigón con agregado natural y artificial, ya que al concluir el presente proyecto contará, con datos experimentales porque se realizó ensayos de laboratorio con agregados naturales y artificiales.

Explicativa ya que busca determinar la influencia que tiene el tipo de agregado en una mezcla de hormigón para pavimento rígido.

## **1.8. UNIDADES DE ESTUDIO Y DECISIÓN MUESTRAL**

### **1.8.1. Unidad de estudio**

La presente investigación tiene la finalidad de evaluar la influencia del tipo de agregado en una mezcla de hormigón para pavimento rígido, por lo cual nuestra unidad de estudio son las propiedades mecánicas de resistencia a flexión y compresión de un hormigón convencional con el uso de cada tipo de agregado (natural y artificial).

### **1.8.2. Población**

Para la presente investigación la población son los tipos de agregados (naturales y artificiales) de la ciudad de Tarija.

### **1.8.3. Muestra**

Para la muestra se extrajo una parte representativa de los tipos de agregados de la ciudad de Tarija para ello se tomó de forma intencional los lugares de San Blas, San Luis y La Pintada, para la muestra de los agregados naturales por contar estos lugares con plantas seleccionadoras de agregados y de San Mateo Santa Ana y Charaja para la muestra de los agregados artificiales por contar con chancadoras de agregados.

#### 1.8.4. Selección de las técnicas de muestreo

Para la muestra se realizó un muestreo intencional, al conocer lugares que cuentan con seleccionadoras y chancadoras de agregados.

Para ello se extrajo los tipos de agregados de los lugares de San Blas, San Luis, La Pintada, San Mateo, Santa Ana y Charaja. Se tuvo una muestra de 36 probetas y 36 vigas de hormigón convencional.

A continuación, se detalla la distribución de la muestra.

**Tabla 1.3 Distribución de la muestra**

	Naturales			Artificiales			
	Lugar	IP30	IP40	Lugar	IP30	IP40	
<b>Probetas</b>	<b>San Luis</b>	3	3	<b>Charaja</b>	3	3	<b>36 Probetas</b>
	<b>Pintada</b>	3	3	<b>Santa Ana</b>	3	3	
	<b>San Blas</b>	3	3	<b>San Mateo</b>	3	3	
	<b>Total</b>	9	9	<b>Total</b>	9	9	
<b>Vigas</b>	<b>Lugar</b>	<b>IP30</b>	<b>IP40</b>	<b>Lugar</b>	<b>IP30</b>	<b>IP40</b>	<b>36 Vigas</b>
	<b>San Luis</b>	3	3	<b>Charaja</b>	3	3	
	<b>Pintada</b>	3	3	<b>Santa Ana</b>	3	3	
	<b>San Blas</b>	3	3	<b>San Mateo</b>	3	3	
<b>Total</b>	9	9	<b>Total</b>	9	9		

**Fuente: Elaboración propia**

### 1.9. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS

#### 1.9.1. Métodos

El método que se utilizó para esta investigación fueron la observación directa experimental y la evaluación de los ensayos de caracterización de los tipos de agregados naturales y artificiales y las propiedades de resistencia de probetas y vigas con agregados naturales y agregados artificiales.

#### 1.9.2. Técnicas

La principal técnica fue mediante bibliografía y la investigación en campo; como la principal guía se tuvo el manual de especificaciones técnicas generales de la construcción (2011) ABC para una losa de hormigón para pavimento rígido y mediante la caracterización de los tipos de agregados y los ensayos de resistencia a flexión ASTM C 78 y la de compresión ASTM C 39.

### **1.10. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para el procesamiento de la información se realizó 9 probetas y vigas con agregados naturales y 9 probetas y vigas con agregados artificiales, con cemento IP30 y cemento IP40 en cada caso, con ello se evaluó la influencia que existe en su resistencia mecánica para el pavimento rígido, según los ensayos de la ASTM C 78 y ASTM C 39 para ello se usaran equipos de laboratorio y la hoja de cálculo Excel para el cual los resultados se presentó con tablas y gráficos para ser interpretados y evaluados para tomar conclusiones y recomendaciones de la influencia del tipo de agregado natural y artificial en la resistencia a flexión y compresión de una mezcla de hormigón para pavimento rígido.

### **1.11. ALCANCE**

El desarrollo del presente trabajo se enmarca en evaluar la influencia que tiene los tipos de agregado (natural y artificial) en los pavimentos rígidos; el presente proyecto tiene un importante aporte para tomar en cuenta los tipos de agregados y el efecto que la misma pueda producir en su resistencia y dosificación del hormigón; es preciso tener en cuenta que el agregado es la materia prima para el hormigón ya que estos ocupan el 60%-75% del volumen total del hormigón.

Se realizó la recolección de todos los aspectos generales de los pavimentos rígidos se llevó a cabo definiendo que es un agregado cuantos tipos existen la función y los parámetros que debe cumplir en una mezcla de hormigón y los procedimientos normados de ensayo sobre los cuales se sustenta el análisis de calidad de agregados, con base en las normas ASTM (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales) así tener un enfoque sobre la influencia que puede tener el tipo de agregado en la mezcla de hormigón para pavimento rígido.

En cuanto a los tipos de agregados y su procedencia se realizó la caracterización de los mismos para obtener sus características físicas y realizar la dosificación para el hormigonado así conocer sus propiedades mecánicas y de esa forma poder identificar sus ventajas y desventajas del mismo.

Para esta evaluación se elaboró probetas y vigas de hormigón simple convencional el cual se empleó el cemento fancesa IP 30 y el IP40 y los diferentes tipos de agregados extraídos de San Blas, San Luis, La Pintada, San Mateo, Santa Ana y Charaja de la ciudad de Tarija.

La investigación tiene por finalidad dar un parámetro de cual tipo de agregado es el mejor para el cumplimiento de la resistencia del hormigón.

Finalmente se determinó el tipo de agregado con mejor resistencia mecánica a través de la rotura a flexión y compresión.

Se llevó a cabo una evaluación sobre los resultados que tienen los tipos de agregados (naturales y artificiales) en sus propiedades mecánicas del hormigón.

**CAPÍTULO II**

**ASPECTOS**

**GENERALES DEL**

**PAVIMENTO RÍGIDO**

## CAPÍTULO II

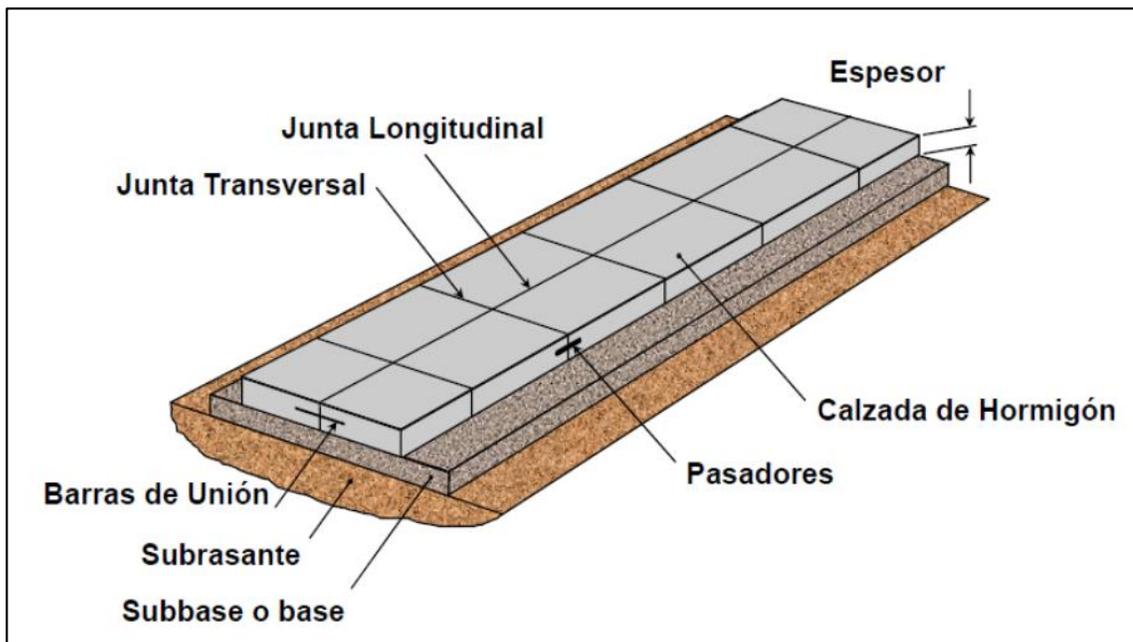
### ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

#### 2.1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos rígidos, también denominados como pavimentos hormigón, utilizan una capa de hormigón, simple o armado, como superficie de rodadura para la circulación vehicular, la que se encuentra apoyada directamente sobre una base granular.

Cualquiera sea el método de diseño, se considera que el efecto de deterioro del pavimento, ocurre cuando la losa presenta agrietamiento por cargas que las subdividen en partes menores, como primer criterio de determinación de espesores. A nivel de la evaluación del pavimento en su conjunto (todas las losas que lo componen), la falla de una losa muy probablemente no implique que el pavimento se encuentre inadecuado para su empleo. Sin embargo, una vez que una losa falla, el tiempo que demora en producirse una falla generalizada y el colapso de la vía, sin haber una evaluación y eventuales medidas correctivas de por medio, podría llegar a ocurrir en un plazo muy corto.<sup>1</sup>

**Figura 2.1 Componentes del pavimento rígido**



**Fuente: Ing. Calo, D. (2012). Diseño y construcción de pavimentos de hormigón.**

**Jujuy Argentina**

<sup>1</sup> Civilgeeks. (7 de septiembre de 2018). Manual de diseño estructural de pavimentos rígidos. Obtenido de Civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2018/09/07/manual-de-diseno-estructural-de-pavimentos-rigidos>

## **2.2. PAVIMENTO RÍGIDO**

Los pavimentos rígidos generalmente consisten de una subrasante subyacente, una capa de subbase y una losa de pavimento.

La subbase puede ser estabilizada o sin estabilizar. En los casos de diseño de caminos con bajos volúmenes de tránsito, donde el tráfico de camiones es bajo, la capa de subbase puede no ser necesaria entre la subrasante y la losa del pavimento. Puede incluirse una capa de drenaje en los pavimentos rígidos.

La losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga.

Una importante función del pavimento es brindar un servicio aceptable durante su vida útil con un bajo nivel de mantenimiento y rehabilitación.

## **2.3. TIPOS DE PAVIMENTO RÍGIDO**

Estos pueden ser de dos tipos sin pasadores y con pasadores que permiten la transferencia de cargas.

### **2.3.1. Pavimento rígido simple**

#### **2.3.1.1. Pavimento rígido simple sin pasadores (sin elementos de transferencia de carga)**

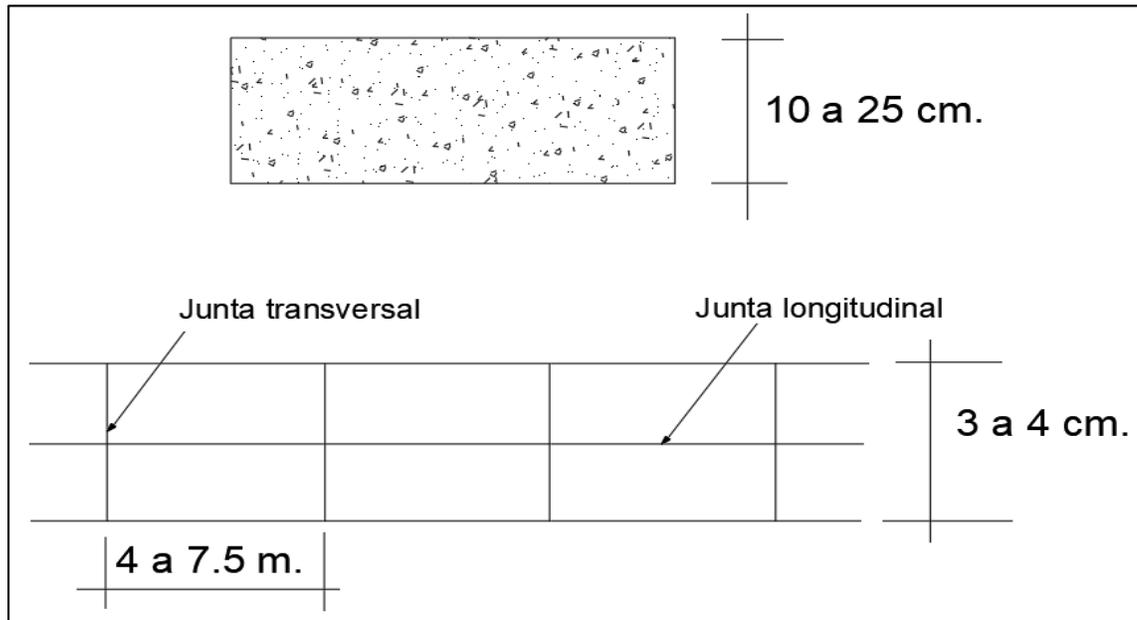
De acuerdo a su definición, son pavimentos que no representan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas. En ellos, el concreto asume y resiste tensiones producidas por el tránsito y el entorno, como las variaciones de temperatura y humedad.

Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan sobre la subrasante. En condiciones más severas requiere de sub bases tratadas con cemento, colocadas entre la subrasante y la losa, para aumentar la capacidad de soporte y mejorar la transmisión de carga.

Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3,50 m de ancho.

Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. En calles de urbanizaciones residenciales de 10 y 15 cm, en las denominadas colectores entre 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas más solicitadas de 20 cm o más.

**Figura 2.2 Pavimento rígido simple sin pasadores**



**Fuente: Ing. Alcantara De La Cruz, H. E. (s.f.). Método Aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos**

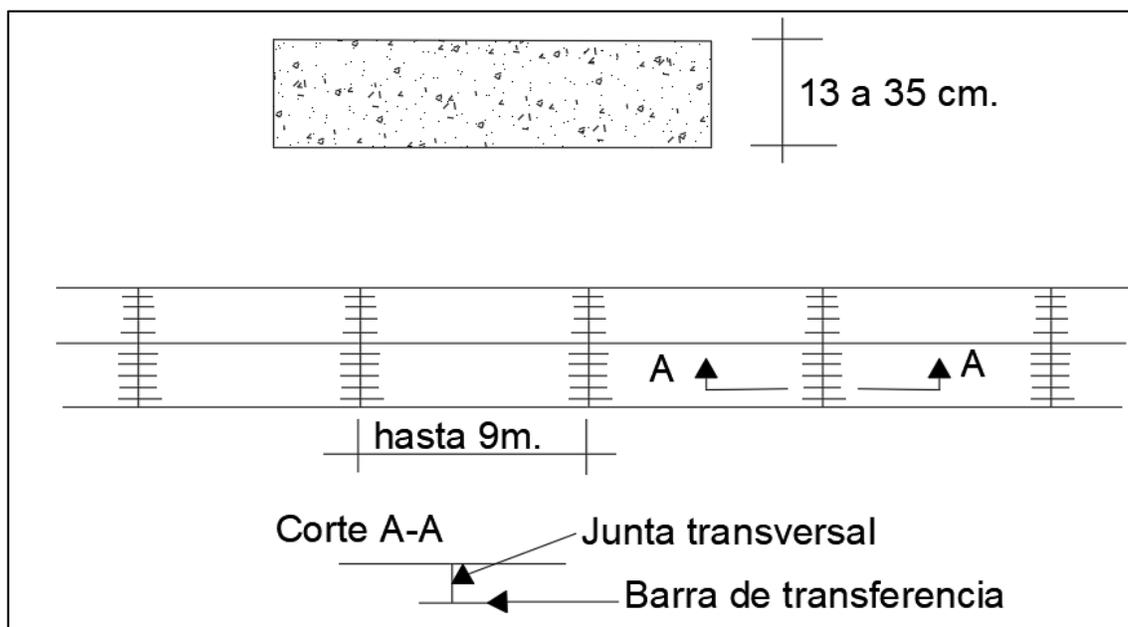
### **2.3.1.2. Pavimento rígido simple con pasadores (con elementos de transferencia de carga)**

Los pasadores son pequeñas barras de acero, que se colocan en la selección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamiento).

Este tipo de pavimentos es recomendable para tráfico diario que exceda ejes equivalentes a 8,2 t con espesores de 15 cm o más.

Un método para decidir el empleo de elementos de traspaso de cargas es evaluar las dos alternativas, comparando en un caso el costo de incluir una sub-base tratada y también los costos de las juntas con y sin pasadores.

**Figura 2.3 Pavimento rígido con pasadores**



**Fuente: Ing. Alcantara De La Cruz, H. E. (s.f.). Método Aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos**

### **2.3.2. Pavimento rígido con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga**

Este puede ser con refuerzo estructural y no estructural.

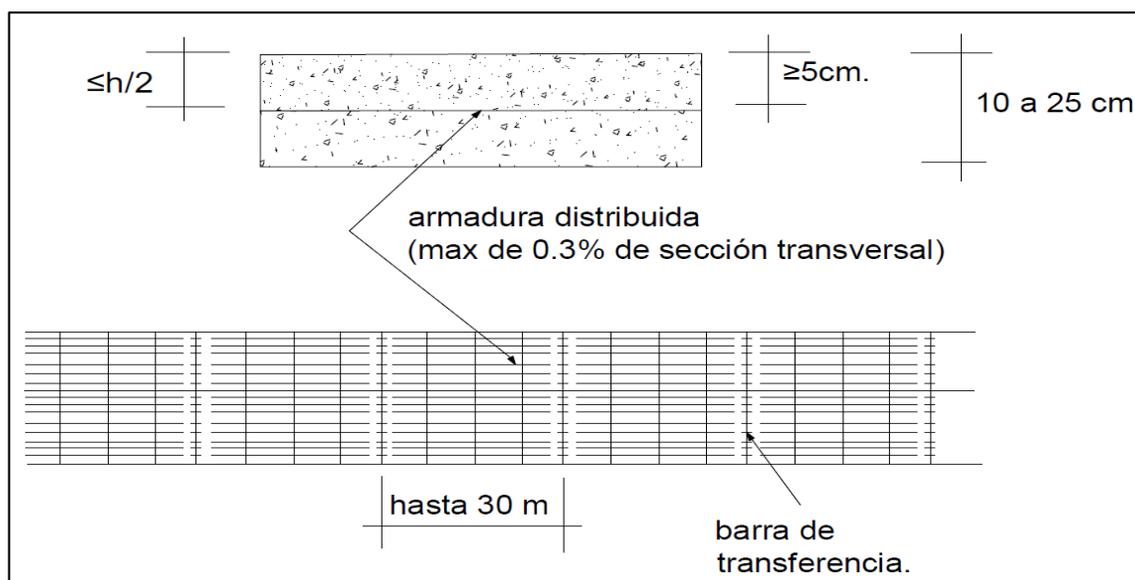
#### **2.3.2.1. Pavimento rígido con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga (con refuerzo de acero no estructural)**

Pavimentos que tienen el refuerzo de acero en el tercio superior de la sección transversal, generalmente a no menos de 5 cm bajo la superficie. El refuerzo no cumple función estructural y su finalidad es resistir las tensiones de contracción del concreto en estado joven y controlar los agrietamientos se podría decir que es un refuerzo secundario.

Reduciendo la cantidad de juntas que constituyen un factor debilitamiento de la calzada de concreto, es posible diseñar losas de mayor longitud que en los pavimentos sin refuerzo con el uso de pasadores. Con este diseño se han logrado losas de 9 y 12 m de largo entre juntas transversales de contracción.

La sección máxima de acero es de 0.3% de la sección transversal del pavimento. El uso de este tipo de pavimentos es restringido y mayormente se aplica en pisos industriales.

**Figura 2.4 Pavimento rígido reforzado con juntas**



**Fuente: Ing. Alcantara De La Cruz, H. E. (s.f.). Método Aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos**

### **2.3.2.2. Pavimento rígido con refuerzo de acero y elementos de transferencia de carga (con refuerzo de acero estructural)**

En estos pavimentos el refuerzo de acero asume tensiones de tracción y compresión. De esta manera, es posible reducir el espesor de la losa, hasta 10 o 12 cm. Se aplica en pisos industriales, donde las losas deben resistir cargas de gran magnitud.

Las dimensiones de las losas son similares a los tipos anteriores, pues el acero no atraviesa la junta transversal para evitar la aparición de fisuras.

En las juntas longitudinales que el refuerzo pasa la junta, generalmente aparecen fisuras. En principio, cuanto mayor es el tamaño de la losa mayor es el riesgo de fisuras.

### **2.3.3. Pavimento rígido con refuerzo continuo**

En este tipo de pavimento el refuerzo asume todas las deformaciones y específicamente las de temperatura, por lo cual se eliminan las juntas de contracción, quedando únicamente las juntas de construcción y de dilatación en la vecindad de alguna obra de arte.

La figuración es controlada por una armadura continua en el medio de la calzada, diseñada para admitir una fina red de fisuras que no comprometan el buen comportamiento del pavimento.

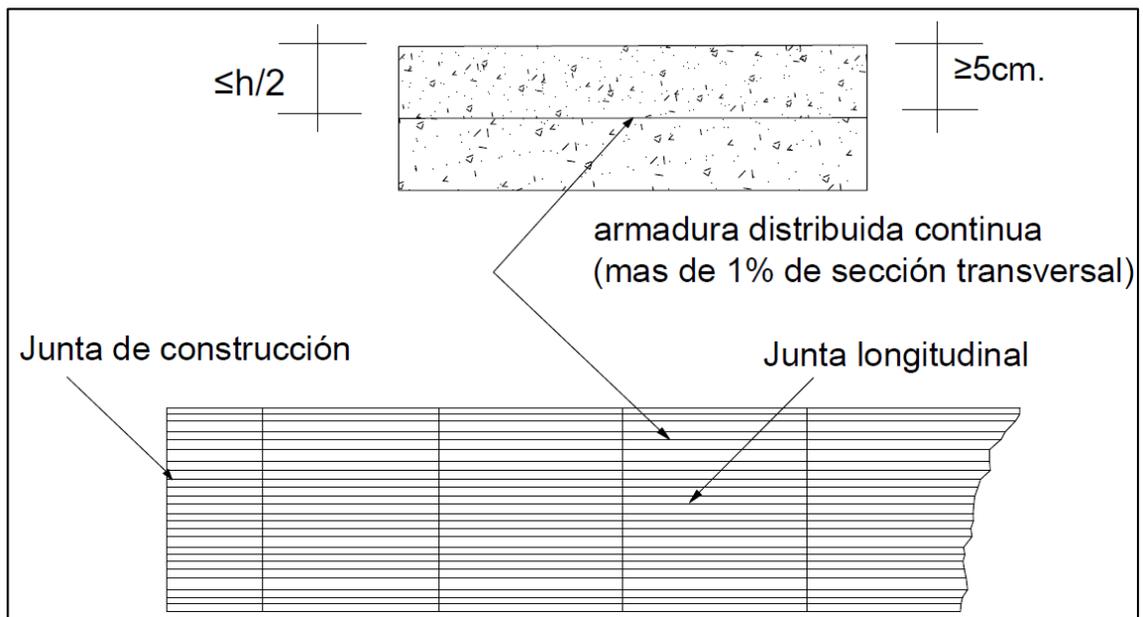
Esta técnica se ha extendido con éxito desde 1960 en los Estados Unidos y si bien exige una apropiada tecnología constructiva, no requiere de mayor conservación, manifestando poca sensibilidad a las fallas de la base.

La cantidad máxima de acero es 1.5% de la sección transversal.

Se utiliza generalmente en zonas de clima frío. También en los recubrimientos sobre pavimentos deteriorados de concreto y asfalto.

El espesor de este tipo de pavimento tiene un cálculo especial, que se especifica en las normas AASHTO y PCA.

**Figura 2.5 Pavimento rígido con refuerzo continuo**



**Fuente: Ing. Alcantara De La Cruz, H. E. (s.f.). Método Aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos**

### **2.3.4. Pavimento rígido pretensado o potenzado**

El desarrollo de los pavimentos de concreto pretensado es limitado, habiéndose aplicado principalmente en aeropuertos, como sucedió en la primera experiencia en el aeropuerto de Orly (París), realizado por Freyssinet en 1948 y posteriormente el aeropuerto de Río de Janeiro.

### **2.3.5. Pavimento rígido reforzado con fibras**

El uso de fibras en pavimentos es una práctica común que se ha extendido desde la incorporación de microfibras hasta el uso de fibras de acero, el objetivo es mejorar el comportamiento del concreto a flexión en obras de pavimento, en este sentido se busca mejorar aspectos como: resistencia a la flexión, módulo de rotura, resistencia residual y control de agrietamiento por retracción.<sup>2</sup>

## **2.4. COMPONENTES DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

### **2.4.1. Subrasante**

La subrasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. La función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más importante es que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos.<sup>3</sup>

La subrasante es la primera capa de apoyo de la estructura del pavimento, y generalmente se realiza preparándola con los suelos naturales existentes en la ubicación donde se emplazará el pavimento. En algunas ocasiones, debido a la mala calidad del suelo natural disponible a nivel de subrasante se pueden especificar mejoramientos o remplazos de materiales.

La calidad del suelo que conforma la subrasante es un factor de importancia relativamente baja en el diseño de espesores de un pavimento de hormigón, pero tiene una gran importancia para evitar asentamientos locales, erosión, pérdida de soporte, punzonamiento, entre otros, por lo que debe ser bien especificada.

---

<sup>2</sup> Civilgeeks. (7 de septiembre de 2018). Manual de diseño estructural de pavimentos rígidos. Obtenido de Civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2018/09/07/manual-de-diseno-estructural-de-pavimentos-rigidos>

<sup>3</sup> Ing. Alcantara De La Cruz, H. E. (s.f.). Método Aashto 93 para el diseño de pavimentos rígidos

En el diseño de pavimento rígido por el método PCA la subrasante se caracteriza con el módulo de reacción K el cual mide la capacidad de soporte de cualquier superficie de apoyo.

Debido a que el ensayo correspondiente (Norma AASHTO T222-78) es lento y caro de realizar y por lo tanto normalmente no está disponible como un valor obtenido mediante el ensayo en terreno, habitualmente se estima el valor de “k” correlacionándolo con otro tipo de ensayos más simples y rápidos de ejecutar, tales como la clasificación de suelos o el ensayo CBR<sup>4</sup>

#### **2.4.2. Subbase**

La subbase en una estructura de pavimento rígido consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado, colocado entre la subrasante y la losa rígida.

La función principal de la subbase es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La subbase es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

- Entre otros propósitos que debe cumplir son los siguientes.
- Para proporcionar uniformidad y soporte uniforme.
- Para incrementar el modulo k de reacción de la subrasante.
- Para minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Para prevenir el bombeo de los suelos de granos finos en las juntas grietas y bordes de las losas rígidas.
- Para proporcionar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.<sup>5</sup>

##### **2.4.2.1. Tipos de subbase**

Los tipos de subbase para pavimentos rígidos pueden ser clasificados conforme a la siguiente tabla.

---

<sup>4</sup> <https://civilgeeks.com/2018/09/07/manual-de-diseno-estructural-de-pavimentos-rigidos/>

<sup>5</sup> Guía Aashto. (s.f.). Diseño de estructuras de pavimentos

**Tabla 2.1 Tipos de subbase para pavimento rígido**

<b>Subbase para pavimentos rígidos</b>	Subbase granular	Granulometría cerrada	
		Granulometría abierta	
	Subbase tratada	Con cemento	Suelo cemento Suelo mejorado con cemento Grava graduada con cementos Hormigón compactado con rodillo
		Con otros aditivos	Asfalto cal puzolana

**Fuente: ICBH. (2012). Manual de pavimentos rígidos (Vol. Tomo 1) pg16**

### **2.4.3. Capa de rodadura**

#### **2.4.3.1. Losa de hormigón**

La capa de rodadura del pavimento rígido consta de una losa de hormigón conformado por una mezcla homogénea de cemento agregados agua y en algunos casos aditivos.

Las funciones de la losa en el pavimento rígido de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen.

### **2.5. HISTORIA DE LOS AGREGADOS**

Aunque no existe registro de las primeras canteras explotadas o de los primeros estudios para la realización del proceso de extracción de los agregados es fácil notar que ya hace muchos siglos se ha venido empleando el uso de los agregados los cuales se pueden observar en los vestigios que nos han dejado nuestros antepasados y que hasta la actualidad podemos admirar. Por ejemplo, tenemos las pirámides que fueron construidas por los egipcios con piedras de grandes dimensiones; en la edad media encontramos un sinnúmero de edificios puentes casas caminos catedrales etc. El proceso de extracción de

agregados que se llevaba en esos tiempos era a base de pico y pala luego los artesanos tallaban y moldeaban la roca para su aplicación en las diferentes construcciones.

Profundizando más la extracción de los agregados empezó desde la edad de piedra, época en la tomaba piedras de los ríos cercanos y luego las convertían en herramientas o armas después de haber pasado por un proceso de tallado.

Los agregados han sido uno de los materiales más utilizados en nuestra sociedad, siendo un aporte importante para la humanidad y aunque han pasado años siglos desde que se los emplean, cuanto más desarrollado está un país mayor cantidad de agregados consume convirtiéndose así en el segundo material más consumido por la humanidad después del agua.<sup>6</sup>

## **2.6. TIPOS DE AGREGADOS SEGÚN LA NB 596**

Según la NB 596 los agregados pueden ser de dos tipos:

### **2.6.1. Agregado natural**

Procedente de la desintegración natural de las rocas también conocidas como canto rodado debido a que el material de río al sufrir los efectos de arrastre, adquiere una textura lisa y una forma redondeada.

**Fotografía 2.1 Agregado natural (canto rodado)**



---

<sup>6</sup> Ing. Gutiérrez De López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (Vol. Segunda edición). Colombia: Universidad de Colombia Sede Manizales

### **2.6.2. Agregado artificial**

Procedente de la trituración por medios mecánicos de las rocas o gravas naturales más conocido como (piedra chancada) dichos agregados artificiales son productos secundarios que por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa.

El material que se obtiene como producto de la trituración de los sobre tamaños del material de río, adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración, pero conserva las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen. También se incluye dentro de esta definición algunos residuos de la industria y otros productos que, por su naturaleza y tamaño, cumplan los requisitos necesarios para el fin a que se destinan.

**Fotografía 2.2 Agregado artificial (triturado o chancado)**



## **2.7. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS**

### **2.7.1. Clasificación por origen**

Dentro de la clasificación por origen, la cual se realiza con base en la procedencia de las rocas y los procesos físico-químicos involucrados en su formación, se pueden encontrar los siguientes tipos de agregados.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Ing. Silva, O. J. (s.f.). Tipos de agregados y su influencia en mezcla de concreto. Obtenido de 360 en concreto: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/agregados/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>

### 2.7.1.1. Agregados ígneos

Son todos los agregados provenientes de rocas ígneas, generalmente, este tipo de rocas son conocidas también como originales, endógenas o magmáticas por proceder del magma.

**Tabla 2.2 Clasificación de las rocas ígneas**

<b>Nombre</b>	<b>Velocidad de solidificación</b>	<b>Localización</b>	<b>Características de la textura</b>
Intrusivas Plutónicas Abisales	Lenta	Cristalización a gran profundidad	Fanerítica: grano uniforme y visible de 1 a 5 mm
Filonianas Hipoabisales	Media	Consolidación a profundidad media	Porfírica: granos grandes en matriz fina
Extrusivas Efusivas o volcánicas	Rápida	Cristalización cerca o sobre la superficie por erupción volcánica	Afanítica: no se aprecian los granos, matriz fina, o no. Afanítica: bombas

**Fuente: Ing. Gutiérrez De López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (Vol. Segunda edición). Colombia: Universidad de Colombia Sede Manizales Pg. 10**

### 2.7.1.2. Agregados sedimentarios

Son los agregados provenientes de rocas sedimentarias, las cuales son las de mayor abundancia en la superficie terrestre. Este tipo de rocas está formado por fragmentos de rocas ígneas, metamórficas u otras sedimentarias. Se pueden originar por descomposición y desintegración o por precipitación o deposición química.

### 2.7.1.3. Agregados metamórficos

Son todos los agregados provenientes de rocas metamórficas, que a su vez provienen de ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan grandes presiones y altas temperaturas

generadas en los mismos metamorfismos de contacto o metamorfismo regional o dinámico.

### 2.7.2. Clasificación según su tamaño

La tabla muestra la clasificación de los agregados según su tamaño.

**Tabla 2.3 Clasificación según su tamaño**

<b>Tamaño de la partícula en mm</b>	<b>Denominación corriente</b>	<b>Clasificación</b>
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0,002 mm	Arcilla	Fracción fina o finos
Entre 0,002 – 0,074 mm	Limo	
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200 Es decir entre 4,76 mm y 0,074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N° 4		
Entre 4,76 mm y 19,1 mm (N°4 y ¾")	Gravilla	Agregado grueso
Entre 19,1 y 50,8mm (¾" y 2")	Grava	
Entre 50,8 mm y 152,4 mm (2" y 6 ")	Piedra	
Superior a 152,4mm (6")	Rajon, piedra bola	

**Fuente: Ing. Gutiérrez De López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción (Vol. Segunda edición). Colombia: Universidad de Colombia**

### 2.7.3. Clasificación según su densidad

Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, es decir, la masa por unidad de volumen, incluyendo el volumen de sus vacíos; la importancia de esta clasificación

radica en el peso final del producto cuando se emplean estos agregados, por ejemplo, el concreto ligero. Según su densidad los agregados se clasifican en:

Ligeros: su densidad está entre 480-1040 kg/m<sup>3</sup>, por ejemplo: piedra pómez.

Normal: su densidad está entre 1300 y 1600 kg/m<sup>3</sup>, por ejemplo, material de río.

## **2.8. IMPORTANCIA DEL AGREGADO**

El agregado en el concreto es muy importante, ya que actúa como un esqueleto que resiste la contracción producida por la pasta de cemento endurecida.

Agregado influye notablemente en el concreto tanto en su estado fresco como endurecido.

Con respecto al concreto fresco la absorción es la que mayor influencia tiene en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben directamente agua de la mezcla, disminuyendo la manejabilidad, por otro lado, la forma de los agregados, la granulometría de los agregados, módulo de fineza y tamaño máximo del agregado grueso tiene incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco.

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con la variación de la relación a/c, pero las características del agregado tales como el tamaño, forma, textura, superficie y tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto afectan la resistencia del concreto endurecido.

La importancia de los agregados también se fundamenta en que estos resisten los cambios volumétricos que se originan por contracciones plásticas, resisten los cambios volumétricos por secado.

El Módulo de elasticidad del concreto es afectado por el módulo de elasticidad del agregado y por el contenido volumétrico de este en el concreto, otra característica que influye en el módulo de elasticidad del concreto es la porosidad debido a que esta determina su rigidez, la forma de las partículas del agregado grueso y sus características superficiales pueden influir también en el valor del módulo de elasticidad del concreto.

**Las mezclas producidas con una combinación de agregados bien gradados tienden a:**

- Reducir la necesidad de agua.
- Proporcionar y mantener una trabajabilidad adecuada.
- Requerir una terminación mínima.
- Consolidarse sin segregarse.
- Mejorar la resistencia y el desempeño prolongado.

**Las mezclas de hormigón producidas por medio de una combinación de agregados de granulometría deficiente tienden a:**

- Segregarse fácilmente.
- Contener mayores cantidades de finos.
- Requerir mayor cantidad de agua.
- Incrementar la susceptibilidad al agrietamiento.
- Limitar el desempeño prolongado<sup>8</sup>.

## **2.9. CONTROL DE CALIDAD DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

Durante la ejecución del pavimento deben ser realizados los ensayos de control de calidad de los materiales constituyentes del hormigón, que están relacionados a las normas de ejecución, control y las características que deben tenerse en consideración en el desempeño del pavimento; estos controles son los siguientes:

### **2.9.1. Control sobre los materiales componentes**

#### **2.9.1.1. Agregados**

Este componente que ocupa entre 60% a 75% del volumen de la mezcla, son esencialmente materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, las cuales han

---

<sup>8</sup> ICBH. (2012). Manual de construcción de pavimentos (Vol. Tomo 2 Normas para pavimento rígido Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador). Pg. 139

sido separadas en fracciones finas (arena) y gruesas (piedra), en general provienen de las rocas naturales.

Gran parte de las características del concreto, tanto en estado plástico como endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener concretos de calidad y económicos.

La limpieza, sanidad, resistencia y forma de las partículas son importantes en cualquier agregado.

Los agregados se consideran limpios si están exentos de exceso de arcilla, limo, mica, materia orgánica, sales químicas y granos recubiertos. Un agregado es físicamente sano si conserva su integridad bajo cambios de temperatura o humedad y si resiste la acción de la intemperie sin descomponerse.

Los agregados bien graduados con mayor tamaño máximo tienen, menos vacío que los de menor tamaño máximo; por consiguiente, si el tamaño máximo de los agregados en una mezcla de concreto se aumenta, para un asentamiento dado, los contenidos de cemento y agua disminuirán. En general, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura.

Las partículas de agregado alargadas y chatas tienen efecto negativo sobre la trabajabilidad y obligan a diseñar mezclas más ricas en agregado fino y por consiguiente a emplear mayores cantidades de cemento y agua. Se considera que dentro de este caso están los agregados de perfil angular, los cuales tienen un alto contenido de vacíos y por lo tanto requieren un porcentaje de mortero mayor que el agregado redondeado.

El perfil de las partículas, por sí mismo, no es un indicador de que un agregado está sobre o bajo el promedio en su capacidad de producir resistencia.<sup>9</sup>

#### **2.9.1.1.1. Propiedades físicas de los agregados**

##### **2.9.1.1.1.1. Gradación de agregado grueso**

Se define como agregado grueso, grava o combinación de gravas a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de rocas, que es retenido por la malla N°4 (4,75 mm)

---

<sup>9</sup> Ing. Torre C., A. (2004). Curso básico de tecnología del concreto para ingenieros. Lima Perú. Pg.91

y que cumpla con los límites establecidos en la norma AASHTO T27. Está conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular y de textura rugosa.

**Función:** La función del agregado grueso es la de otorgar resistencia al hormigón, teniendo en cuenta que el hormigón es una piedra artificial, el agregado grueso es la materia prima para fabricar el hormigón los análisis de compacidad han estimado que aquellos agregados mal graduados y redondeados producen un mayor número de vacíos en el concreto, por lo que se recomienda el uso de agregados bien graduados (variedad de tamaños) y angulosos, ya que presentan mayor acomodo y mejor compacidad.

Los agregados gruesos deben llenar los requerimientos especificados en la norma C-33 para cada número de tamiz, según el tamaño de agregado a utilizar. El tamaño del agregado se encuentra en función de las necesidades específicas para el diseño del concreto.

**Tabla 2.4 Gradación del agregado grueso**

Gradación para agregado grueso	Tamaño de tamices									
	3"	2½"	2"	1½"	1"	¾"	½"	3/8"	N°.4	N°.8
	Porcentaje en peso que pase los tamices (AASHTO T 27)									
½" N°. 4	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5
¾" N°. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	20-55	0-10	0-5
1" N°. 4	-	-	-	100	95-100	-	-	-	0-10	0-5
1 ½" N°. 4	-	-	100	95-100	-	35-100	25-80	10-30	0-5	-
2" N°. 4	-	100	95-100	-	35-70	-	-	-	0-5	-
½" N°. 4	100	95-100	-	35-70	-	-	-	-	0-5	-
½" ¾"	-	-	35-70	90-100	35-70	0-15	-	0.5	-	-
2" ½"	-	100	90-100	35-70	-	-	0-5	-	-	-
2 ½" 1½"	100	90-100	35-70	0-15	20-55	0-5	-	-	-	-

**Fuente: ABC. (2011). Manual de especificaciones técnicas generales de la construcción (Vol. VII). pg. 5-65**

### 2.9.1.1.1.2. Gradación del agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pasa el tamiz de 4,75 mm (N°4). Proviene de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, de acuerdo con los documentos del proyecto.

**Función:** El agregado fino o arena se usa como llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

Una falta de arena se refleja en la aspereza de la mezcla y un exceso de ella demanda mayor cantidad de agua para producir un asentamiento determinado, ya que entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y al requerir mayor cantidad de agua se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación agua-cemento.

El agregado fino deberá satisfacer el requisito granulométrico (AASHTO T-27)

El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites que se muestran en la tabla.

**Tabla 2.5 Gradación del agregado fino**

<b>Tipo de tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa en peso (AASHTO T-27) 100</b>
3/8"	100
N°. 4	95-100
N°. 16	45-80
N°. 50	10-30
N°. 100	2-10
N°. 200	0-3

**Fuente: ABC. (2011). Manual de especificaciones técnicas generales de la construcción (Vol. VII). pg. 5-66**

### 2.9.1.1.1.3. Módulo de finura del agregado fino

El módulo de finura, también llamado módulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura.

Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de Modulo de Finura.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices U.S. Standard Nos. 4, 8, 16, 30, 50 y 100 y dividiendo por 100.

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón.

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2,5 y 3,4 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se tienen mezclas ásperas.<sup>10</sup>

#### **2.9.1.1.1.4. Equivalente de arena**

El Equivalente de Arena es una prueba de laboratorio, que se realiza con el objeto de determinar qué porcentaje de una muestra se puede considerar como arena. Por lo descrito en la Norma ASTM D 2419 se determina la proporción relativa del contenido de polvo fino o nocivo, o material arcilloso en los agregados finos. De manera muy simple lo que se hace es separar por medio de una solución química las partículas finas o polvos de las arenas. Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90%.<sup>11</sup>

#### **2.9.1.1.1.5. Peso específico**

Es la relación entre la densidad del agregado y la del agua (1000 kg/cm). Sin embargo, todos los agregados son porosos hasta cierto punto, lo que permite la entrada de agua en los espacios de los poros o capilares cuando se colocan en la mezcla de hormigón, o bien, ya están húmedos cuando entran al hormigón. Por lo tanto, la definición cuidadosa de la gravedad específica debe tomar en cuenta tanto el peso como el volumen de la porción de agua contenida dentro de las partículas. El agua libre que se encuentra sobre las superficies exteriores del agregado húmedo no entra en el cálculo de la gravedad específica, pero

---

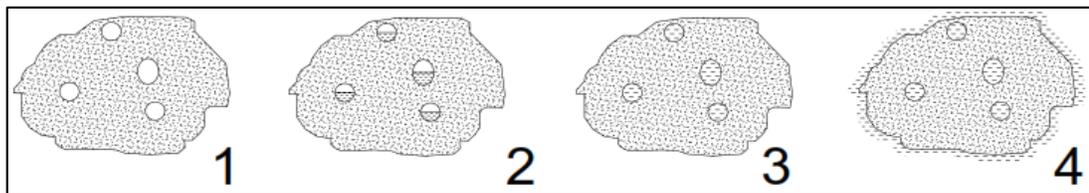
<sup>10</sup> ICBH. (2012). Manual de pavimentos rígidos (Vol. Tomo 1) Pg132

<sup>11</sup> <https://www.ingecivil.net/2018/01/30/concepto-de-equivalente-de-arena/>

contribuye a la relación A/C del hormigón. Se presentan cuatro estados en el agregado ilustrados en la figura 2,6 dependiendo del contenido de agua en sus poros y superficie:

1. Seco (Secado al horno).
2. Parcialmente Saturado.
3. Saturado con la superficie seca (SSD, por sus siglas en ingles); poros llenos de agua y seco en la superficie.
4. Saturado húmedo en la superficie; poros llenos de agua y húmedo en la superficie.

**Figura 2.6 Estado de saturación**



**Fuente: Elaboración propia**

En el caso de los agregados se ha introducido una modificación a la definición anterior. Esto se debe a que se hace necesario determinar el peso del volumen aparente de estos materiales (el volumen sin descontar los poros y espacios libres) entonces: peso específico aparente relativo es la relación entre el peso de un volumen aparente de un cuerpo y el peso de otro volumen aparente de otro cuerpo tomado como comparación, a igual intensidad de la gravedad y en las mismas condiciones de temperatura y presión.

La gravedad específica como se define en la especificación ASTM E-12 corresponde al peso específico relativo y para agregados finos se determina por métodos descritos en la norma ASTM C-128 y para agregado grueso ASTM C-127 y que consiste en medir el desplazamiento del agua, producido por un peso conocido de agregado en condición saturada y de superficie seca; se usa para este objeto una probeta calibrada.

#### **2.9.1.1.1.6. Peso unitario**

El peso unitario de un material es el peso de éste con respecto a su volumen. Este término es el usado en las especificaciones de la ASTM. Se aplica a condiciones de trabajo, tomando como volumen unitario el pie cúbico o metro cúbico.

Al determinar el peso unitario se observa que éste está influenciado por el grado de asentamiento (vacíos) y por el contenido de humedad, por lo que se calcula con el material seco o con distintos grados de humedad, asentado o suelto según indicación de la norma ASTM C-29.

### **2.9.1.1.2. Propiedades mecánicas**

#### **2.9.1.1.2.1. Ensayo a la abrasión en la máquina de los Ángeles**

Los agregados gruesos deberán tener un porcentaje de desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones al ser sometidos a ensayo por el método AASHTO T-96.<sup>12</sup>

Para determinar la resistencia al desgaste de los agregados se emplea el ensayo en la máquina de Los Ángeles, de acuerdo con la norma ASTM C-131. Este ensayo consiste básicamente en colocar el agregado dentro de un cilindro rotatorio con una carga de bolas de acero por un periodo de tiempo especificado, después de lo cual se determina el porcentaje de desgaste sufrido. El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 40 por ciento en peso, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el concreto de proporciones seleccionadas. Este método cubre el procedimiento para ensayos de agregado grueso menores de 1½ pulgadas (37,5 mm), para determinar su resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles.<sup>13</sup>

**Tabla 2.6 Tipo de abrasión según granulometría, utilizando 5000gr. de muestra**

<b>Tipo</b>	<b>Tamices</b>	<b>Peso retenido (gr.)</b>	<b>Nro. de esferas</b>	<b>Rev.</b>	<b>Tiempo (min.)</b>
A	1", ¾", ½" y ⅜"	1250±10	12	500	17
B	½" y ⅜"	2500±10	11	500	17
C	¼" y No. 4	2500±10	8	500	17
D	No. 8	5000	6	500	17

**Fuente: Normas de la Asociación Americana para el ensayo de materiales, Vol. 04.02 Págs. 10 y 11**

<sup>12</sup> ABC. (2011). Manual de especificaciones técnicas generales de la construcción (Vol. VII). Pg.5-66

<sup>13</sup> Salguero Girón, R. A. (2004). Examen de calidad de agregados para concreto de dos bancos en la ciudad de Quetzaltenango. Quetzaltenango Guatemala. pg. 8

### **2.9.1.2. Agua**

El agua que se emplee para la mezcla o para el curado del pavimento de concreto hidráulico deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua sólo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto, va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes.

El Agua de amasado, cumple una doble función en el hormigón, por un lado, participa en la reacción de hidratación del cemento, y por otro confiere al hormigón el grado de trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra. La cantidad de agua de amasado debe limitarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la pasta la trabajabilidad requerida, según las condiciones en obra, ya que el agua en exceso se evapora y crea una red de poros capilares que disminuyen su resistencia.

El Agua de curado es la más importante durante la etapa del fraguado y el primer endurecimiento. Tiene por objeto evitar la desecación, mejorar la hidratación del cemento y evitar la retracción prematura.

El Agua de Curado tiene una actuación más duradera que el Agua de Amasado, y por lo tanto se corre más riesgos al aportar sustancias perjudiciales con el Agua de Curado que con el Agua de amasado.

En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación.

Cuando se empleen otras fuentes o cuando se mezcle agua de dos o más procedencias, el agua deberá ser calificada mediante ensayos.

**Tabla 2.7 Requisitos para el agua**

<b>Propiedad</b>	<b>Norma ensayo</b>	<b>Límites</b>
pH	ASTM D 1293	5,5-8,5
Resistencia a compresión % mínimo en control a 7 días	ASTM C 39	90
Tiempo de fraguado, desviación respecto del tiempo de control (h:min)	ASTM C 403	de 1:00 inicial a 1:30 final

**Fuente: INVIAS Artículo 500-7. (s.f.). Pavimento de concreto hidráulico.**

#### **2.9.1.2.1. Agua en el hormigón**

El agua en la mezcla del concreto tiene tres funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollar.<sup>14</sup>

El agua destinada al amasado y curado debe ser libre de sustancias perjudiciales al proceso de fraguado y endurecimiento del hormigón, normalmente se considera adecuada el agua potable. Esta premisa no siempre es cierta. La presencia de pequeñas cantidades de azúcar, por ejemplo, no hace al agua impropia para beber, pero puede hacerla insatisfactoria como agua de amasado.

En caso de dudas, si el agua proviene de pozos corrientes, ríos o reservas naturales deberán realizarse ensayos de caracterización técnica en muestras de agua.

#### **Influencia del pH**

Aunque el pH de las aguas naturales prácticamente no tiene influencia en las propiedades de los hormigones, es importante destacar algunas consideraciones.

Raramente estas aguas presentan valores de pH inferiores a 4, siendo el ácido contenido rápidamente neutralizado por el contacto con el cemento. La acidez de estas aguas

---

<sup>14</sup> Coila Ticona, N. A., & Loayza Cahua, J. D. (2015). Influencia de la relación agua cemento y el agregado fino en la retracción y contracción para concretos Arequipa. Arequipa

naturales es comúnmente atribuida a la concentración de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en solución, que raramente excede a 10ppm de  $\text{CO}_2$

El ácido clorhídrico ( $\text{HCl}$ ) y ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) son otros indicadores de acidez del medio, funcionando como retardadores de fraguado del cemento, cuidando, sin embargo, que los contenidos de iones  $\text{SO}_4^{--}$  y  $\text{Cl}^-$  no se eleven encima de los límites permitidos.

La alcalinidad de las aguas es conferida por los carbonatos y bicarbonatos alcalinos. Los bicarbonatos conforme ya se mencionó, retardan ligeramente el fraguado, en proporciones superiores a 0.2%, según la composición química del cemento, disminuyendo las resistencias a largo plazo.

Los resultados obtenidos en estos ensayos deben estar dentro de las exigencias ASTM C 1602 y ASTM C 1603 hechas para el agua de amasado y curado de hormigones<sup>15</sup> como sigue:

- PH entre 5,0 y 8,0
- Materia orgánica (expresado en oxígeno consumido) hasta 3 mg/l
- Residuo sólido hasta 5000 mg/l
- Sulfatos (expresado en iones  $\text{SO}_4^{--}$ ) hasta 600 mg/l
- Cloruros (expresado en iones  $\text{Cl}^-$ ) hasta 1000 mg/l
- Azúcar hasta 5 mg/l

### **2.9.1.3. Cemento**

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tiene la propiedad de endurecerse al contacto con el agua. Hasta este punto la molienda entre estas rocas es llamada clínker, esta se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le dé la propiedad a la mezcla para que pueda fraguar y endurecerse. Los tipos de cemento portland que se consideran apropiados para la pavimentación rígida.

---

<sup>15</sup> IBCH - Manual Pavimentos Rígidos Tomo 1 Pg. 318

#### **2.9.1.3.1. Cemento portland**

El cemento portland deberá llenar las exigencias de la especificación AASHTO M-85. El cemento portland con inclusión de aire deberá estar de acuerdo con las exigencias de la especificación AASHTO M-134.

El cemento portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos.

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo.<sup>16</sup>

#### **2.9.1.3.2. Cemento portland con puzolana tipo Ip**

Son los conglomerantes hidráulicos constituidos a base de: clínker Portland en proporción no menor del 70% ni mayor del 94% en masa, de puzolana natural en proporción no menor del 6% ni mayor del 30% en masa y de otros de los componentes adicionales definidos en esta norma, en proporción comprendida entre el 0% y el 5% en masa. Este núcleo no incluye ni el regulador de fraguado (que deberá añadirse al mismo en la proporción adecuada), ni los eventuales aditivos.

#### **2.9.1.3.3. Cemento portland Ip 40**

Se clasifica por su composición y resistencia como cemento portland con puzolana tipo IP-40, con categoría resistente mínima de 40 MPa a 28 días en mortero normalizado.

#### **Características:**

- Altas resistencias iniciales.
- Menor tiempo de fraguado.

---

<sup>16</sup> PCA. (2004). Diseño y control de mezclas de concreto. EEUU. Pg.28

- Hormigones impermeables.
- Resistente a ataques químicos.
- Buena trabajabilidad.
- Hormigones durables.
- Moderada reacción expansiva álcali/agregado

**Campo de aplicación recomendado:**

- Hormigones estructurales de alta resistencia inicial.
- Hormigones para desencofrados rápidos.
- Elementos pre y post tensados.
- Prefabricados de hormigón.
- Hormigones proyectados.

**2.9.1.4. Aditivos**

Los aditivos químicos son ingredientes que se usan comúnmente en hormigones de pavimentación y su uso ya está establecido. Se emplean para obtener o mejorar las propiedades específicas del hormigón. Deben observarse los siguientes usos y prácticas relacionados con aditivos químicos.

Los aditivos químicos deben reunir los requisitos de las normas ASTM C 260 o ASTM C 494. La norma ASTM C 260 especifica los requisitos para los aditivos para aire ocluido.

Los tipos de aditivos especificados por la ASTM C 494 incluyen:

- Tipo A, aditivos reductores de agua.
- Tipo B, aditivos retardantes.
- Tipo C, aditivos acelerantes.
- Tipo D, aditivos reductores de agua y retardantes.
- Tipo E, aditivos reductores de agua y acelerantes.
- Tipo F, aditivos reductores de agua, de alto rango.
- Tipo G, aditivos reductores de agua, de alto rango y retardantes.

Los aditivos deben añadirse al hormigón por separado. No deben incorporarse directamente sobre el agregado seco o en el cemento seco, ya que pueden ser absorbidos y no estar disponibles para mezclarse fácilmente con el hormigón.

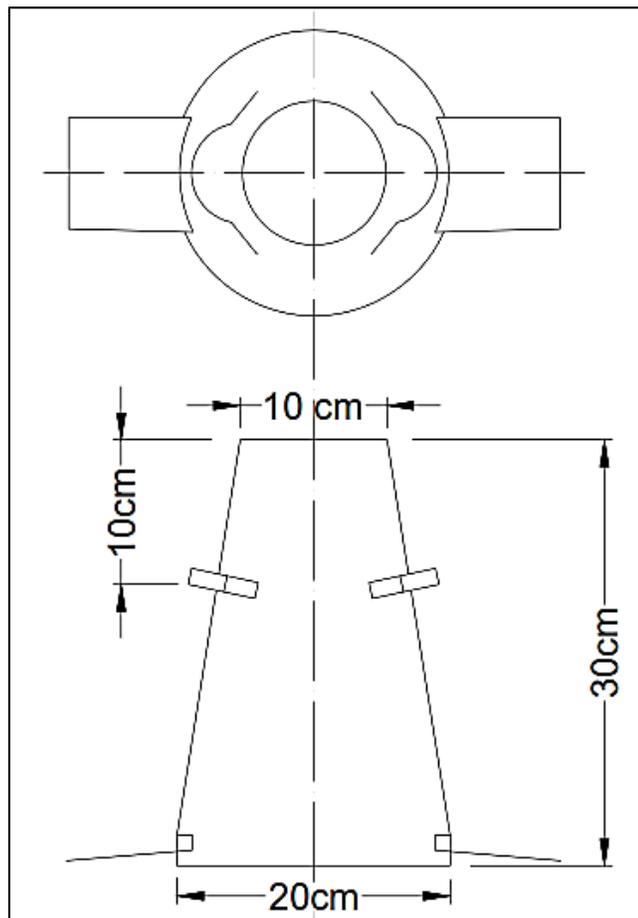
Consultar con el fabricante para obtener información sobre posibles interacciones entre los aditivos.<sup>17</sup>

## 2.9.2. Control del hormigón en estado fresco

### 2.9.2.1. Consistencia

La Consistencia del hormigón se controlará con el ensayo de revenimiento; se lo realiza con el método cono de Abrams ASTM C-143.

**Figura 2.7 Equipo para el ensayo de revenimiento**



**Fuente: Quiroz Crespo, M. V., & Salamanca Osuna, L. E. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “tecnología del hormigón”. Cochabamba Bolivia**

<sup>17</sup> ICBH. (2012). Manual de pavimentos rígidos (Vol. Tomo 1).

El cono debe estar limpio y prehumedecido para cada ensayo. Repita el ensayo con otra muestra antes de considerar que el hormigón está fuera de especificación.

- Revenimiento para hormigón con formaletas entre 2,5 a 5 cm.
- Revenimiento para hormigón con pavimentadora deslizante entre 1,0 a 4,0 cm.

### **2.9.2.2. Temperatura**

Temperatura del hormigón fresco (ASTM C 1064): Realice el ensayo cada vez que se tomen muestras de resistencia y cada vez que se sospeche que las temperaturas del hormigón se acercan a los límites especificados. En tiempo caluroso el límite de la temperatura máxima del hormigón es de 32 °C y en tiempo frío la temperatura mínima se especifica a menudo en 5 °C.

### **2.9.2.3. Contenido de aire**

Contenido de aire se lo puede realizar con los siguientes procedimientos:

- ASTM C 231 AASHTO T 152 Método de presión.
- ASTM C 173 AASHTO T 196 Método volumétrico.

El más utilizado para pavimento rígido es el método a presión.

**Figura 2.8 Equipo para contenido de aire método de presión**



**Fuente: Ing. Valarezo, M. (15 de julio de 2011). Ensayos de control en el hormigón.**

La exactitud del presiómetro depende de la altitud sobre el nivel del mar en que fue calibrado. Repita el ensayo antes de considerar que el hormigón está fuera de especificación.

Aire incorporado depende de la condición de exposición a ciclos hielo-deshielo y el tamaño máximo del agregado.

Los requisitos típicos de contenido de aire para pavimentos oscilan entre el 5% y el 7%, según el grado de exposición al congelamiento.

#### **2.9.2.4. Tiempo de fraguado**

Se llama tiempo de fraguado al tiempo máximo desde que hay contacto entre el cemento y el agua hasta que se pueda manipular sin producir daños en su resistencia. Si lo manipulamos cuando ha pasado este tiempo romperíamos los enlaces de los cristales que están formándose. Pasado este tiempo el hormigón que se transporta no debe ser vaciado.

Tiempos de fraguado:

Para determinar los tiempos de fraguado se utiliza el equipo de aguja Vicat.

- Fraguado inicial: Se refiere a la primera rigidización.
- Fraguado final: Se refiere a una rigidez significativa.

### **2.9.3. Control sobre las tareas de compactación terminación y curado**

#### **2.9.3.1. Compactación**

Se lo realiza con máquinas distribuidoras, provistas de dispositivos vibratorios, que permitan distribuir y compactar adecuadamente el hormigón colocado.

Entre los dispositivos apropiados para la vibración del hormigón se cuenta en orden decreciente de magnitud; pavimentadoras deslizantes, equipos de vibración de vaivén, rodillos vibratorios y reglas vibratorias.

No se permitirá el uso de vibradores utilizados manualmente, para extender la masa de hormigón depositada frente a la pavimentadora.

Cualquiera sea el tipo de vibración utilizado, el hormigón resultante, deberá quedar perfectamente compactado, y libre de segregación de sus materiales componentes.

### **2.9.3.2. Terminación**

La terminación del hormigón es un paso crucial del proceso de pavimentación. Es la terminación manual que se aplica normalmente para obtener una superficie lisa, necesaria para corregir cualquier irregularidad detrás de la pavimentadora. Los esfuerzos de terminación del hormigón se deben mantener en un nivel mínimo. Idealmente, la mezcla de hormigón correcta dará como resultado una terminación superficial adecuada detrás de la pavimentadora.

La superficie del hormigón no necesita estar totalmente cerrada ni tampoco es necesario corregir todas las pequeñas imperfecciones.

### **2.9.3.3. Curado**

El curado es el mantenimiento de la humedad adecuada y los regímenes de temperatura del hormigón recién colocado por un período de tiempo inmediatamente posterior a su terminación. El curado incorrecto puede causar graves deterioros en las propiedades del hormigón fresco (fisuración por retracción plástica) y a largo plazo (menor resistencia; superficie menos durable; alabeo excesivo del hormigón endurecido).

A continuación, se detallan temas importantes relacionados con el curado correcto del hormigón:

Los tiempos de aplicación del curado son cruciales, especialmente durante tiempo caluroso. Es necesario aplicar el curado tan pronto como desaparezca el agua sobre la superficie del hormigón luego de su terminación y texturizado.

Puede que no se forme agua cuando usa ceniza volante o escoria.

Cuando se emplean compuestos aplicados por pulverizado, la cantidad y uniformidad de la cobertura son factores cruciales.

Es necesario aplicar el curado por pulverizado mediante un equipo montado sobre una estructura autopropulsada que abarque todo el ancho de la faja pavimentada.

Se puede utilizar pulverizado manual con aspersores, pero debe asegurarse una cobertura uniforme.

Cuando se usan compuestos de curado con pigmentación blanca, su aplicación uniforme puede examinarse visualmente, pero es necesario verificar la proporción a través de la medición del volumen usado para un área dada y su posterior comparación con los requisitos especificados o recomendados por el fabricante.

Es necesario aplicar el curado a las caras laterales del hormigón tras la colocación mediante moldes deslizantes o luego del retiro de los moldes.

Es necesario aplicar el curado a las superficies de las juntas inmediatamente después de aserrarlas y limpiarlas.

Si se ha de usar curado por vía húmeda, debe mantenerse mojada la totalidad de la superficie del hormigón durante todo el período de curado (generalmente 7 días) o durante la aplicación del compuesto de curado.

#### **2.9.4. Control del hormigón en estado endurecido**

##### **2.9.4.1. Resistencia a compresión en probetas**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica de un hormigón que define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

El caso de los pavimentos estructuralmente armados y una resistencia característica a la compresión axial generalmente de  $300 \text{ kg}/\text{m}^2$

Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas, la resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas según métodos estandarizados, ASTM C-39.

La resistencia a compresión responde a la siguiente expresión:

$$f_c = \frac{F}{S}$$

$$S = \frac{\pi * D^2}{4}$$

Donde:

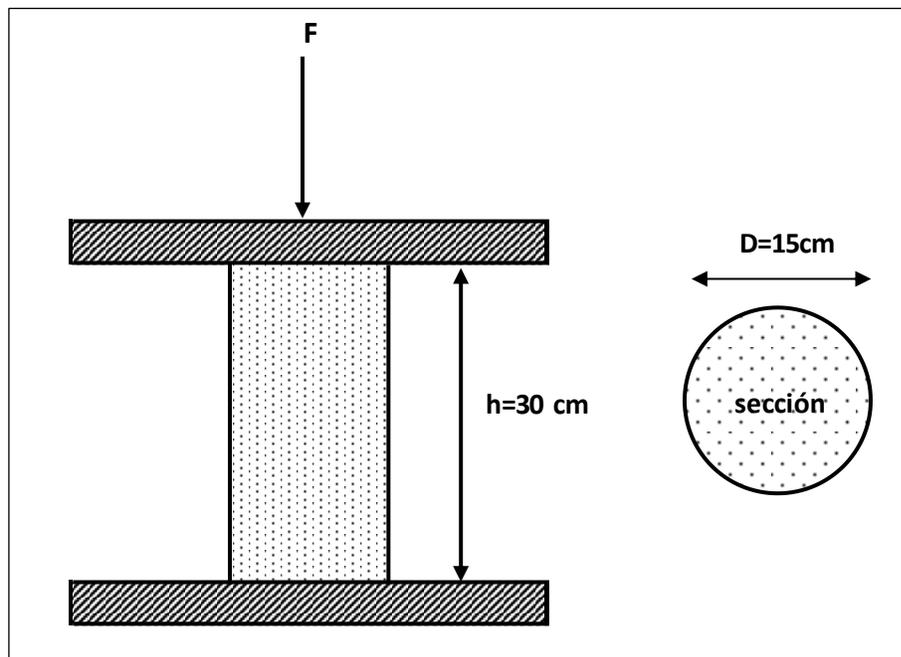
$f_c$  = Resistencia a compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

F = Carga máxima aplicada por la máquina de ensaye (kg)

S = Sección de ensaye (cm<sup>2</sup>)

D = Diámetro de la sección (cm)

**Figura 2.9 Diagrama de prueba a compresión del concreto  
ASTM C-39**



**Fuente: Elaboración propia**

#### **2.9.4.2. Resistencia a flexión en vigas**

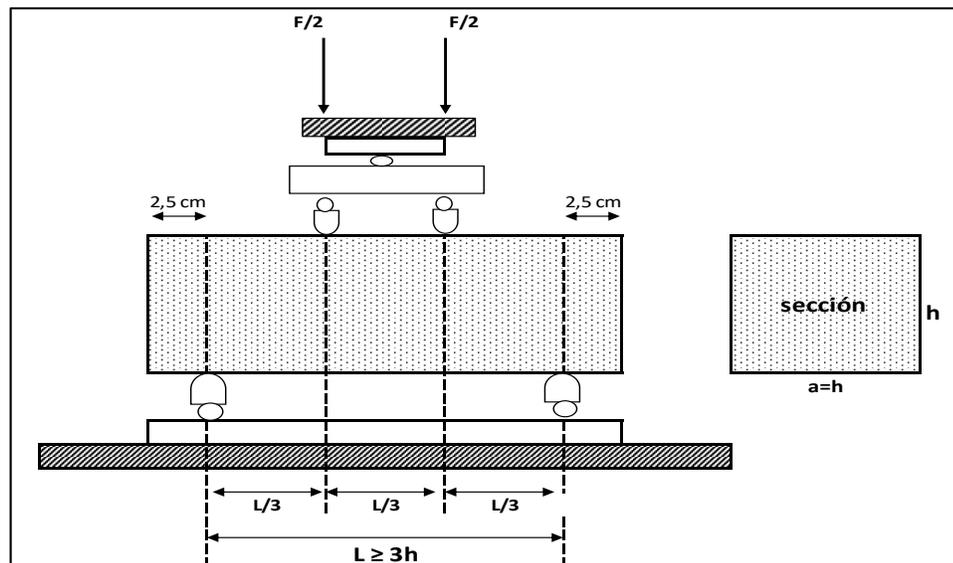
En el caso de pavimentos rígidos, esta resistencia corresponde a la resistencia a la flexión o módulo de rotura (MR) y no a la resistencia a la compresión como en el caso de otras estructuras dado que la flexión es la condición de falla predominante en una losa, parámetro para el cual debe ser diseñada la mezcla de hormigón para un pavimento rígido.

La resistencia a la flexión de un concreto es baja en comparación con su resistencia a la compresión, pero muy superior a su resistencia en tracción pura. Por lo tanto, no es la resistencia a la compresión el factor determinante de la calidad del concreto para pavimentos, sino la resistencia a la flexión, por el paso de los vehículos y por diferencias de temperatura un lado de la losa estará sometido a tensión y el otro lado a compresión, siendo cambiables estos esfuerzos. La resistencia a la flexión del concreto o también llamada "módulo de rotura".

El método más empleado para medir la resistencia a la flexión es usando una viga simplemente apoyada con carga en los tercios de la luz.

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto (hormigón) se determina en vigas prismáticas de 15 x 15 de sección y 50 cm de largo, elaboradas de acuerdo a la norma y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio). El módulo de rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, en dependencia del tipo, dimensiones, y volumen del agregado grueso utilizado.<sup>18</sup>

**Figura 2.10 Diagrama de prueba de flexión del concreto utilizando el método de carga en el tercio medio ASTM C-78**



**Fuente: Elaboración propia**

<sup>18</sup> Condor Vargas, S. N., & Pariona Uchuypoma, K. R. (2019). Análisis comparativo de la resistencia a la flexión del concreto  $f'c=210\text{kg/cm}^2$ , elaborado con piedra chancada y canto rodado en la ciudad de huancavelica - 2018. Huancavelica Perú. Pg. 38

La resistencia a flexión cargada en los puntos tercios corresponde a la siguiente expresión:

$$f_{ct,f} = \frac{F * L}{a * h^2}$$

$$f_{ct,f} = \frac{F * 3h}{a * h^2}$$

$$f_{ct,f} = \frac{3F}{a * h}$$

$$f_{ct,f} = \frac{3F}{a^2}$$

Donde:

$f_{ct,f}$  = Resistencia a la tracción por flexión (kg/cm<sup>2</sup>)

F = Carga directa aplicada con la prensa de ensaye (kg)

L = Luz de ensaye (cm)

h = Altura de la sección de la viga (cm)

a = Espesor o dimensión del lado de la sección de la viga (cm)

Según el IBCH el hormigón empleado en la ejecución de pavimentos rígidos debe presentar una resistencia característica a flexión definida en el proyecto, que generalmente está en el orden de 45 kg/cm<sup>2</sup> o como en el caso de los pavimentos estructuralmente armados y una resistencia característica a la compresión axial generalmente de 300 kg/cm<sup>2</sup>.

La resistencia a flexión mínima a los 28 días está entre 40-45 kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos de hormigón que varían en función de la disponibilidad de materiales clima y otros aspectos que deben establecer en el diseño del pavimento.

La AASTHO recomienda que el módulo de rotura, es decir, el esfuerzo resistente, sea superior a 42 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo, la PCA presenta en la metodología simplificada, módulos de rotura desde 38 kg/cm<sup>2</sup>.

Revisado algunas especificaciones técnicas del SICOES de proyectos de pavimento rígido menciona que la resistencia mínima a flexión a los 28 días debe ser de 37 kg/cm<sup>2</sup> y una resistencia a compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> con el uso generalmente de cemento IP 30.

#### **2.9.4.3. Resistencia a compresión en testigos**

Consiste en la extracción de testigos cilíndricos del pavimento fraguado después de 28 días de vaciado según AASHTO T-24, que se ensayaran a compresión según AASHTO T-22. Para efectos de control, se obtendrán fórmulas de correlación con las probetas cilíndricas normales.

Se considera la resistencia de testigos cuando los ensayos de resistencia sobre vigas o cilindros no se han realizado adecuadamente, o si sus resultados se consideran sospechosos, se puede considerar ensayar la resistencia en testigos para determinar la calidad de la resistencia del hormigón colocado. Si se usa el ensayo de testigos, se deben considerar los siguientes puntos:

- Los testigos pueden ensayarse para verificar la resistencia a la compresión o a la tracción indirecta.
- Los resultados de los ensayos de resistencia se deben usar de acuerdo con los procedimientos establecidos tal como fueron definidos en las especificaciones.
  - a) Estos procedimientos involucran generalmente el uso de correlaciones específicas para el proyecto entre la resistencia del testigo y la de la viga o la probeta cilíndrica.
- Es necesario comenzar con los ensayos de testigos a una edad de ensayo lo suficientemente cercana a la edad especificada para los ensayos por flexión o compresión.

- Es muy importante acondicionar los testigos antes de ensayarlos.
  - a) El secado mediante aire generalmente da como resultado mayores resistencias por compresión y a la tracción por hendimiento.
  - b) Sin embargo, es necesario acondicionar los testigos de acuerdo a lo definido en las especificaciones del proyecto.

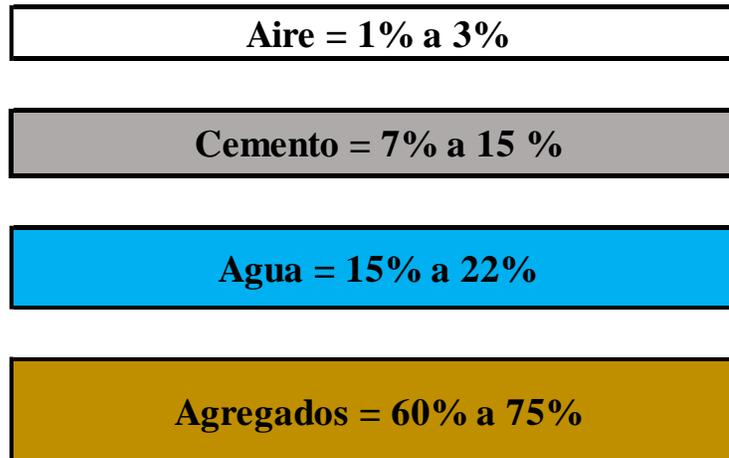
## **2.10. EL AGREGADO EN EL HORMIGÓN**

### **2.10.1. Hormigón**

EL hormigón para pavimento rígido está conformado por una mezcla homogénea de cemento agregados agua y en algunos casos aditivos.

El hormigón es, básicamente, una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. En esta mezcla, las partículas de agregado están completamente recubiertas por la pasta. Esta última consiste en materiales cementicios y agua e incorpora aire atrapado o aire incorporado adrede. Los agregados representan aproximadamente entre el 60 y el 75% del volumen total del hormigón.

**Figura 2.11 Proporciones típicas en volumen absoluto de los componentes del concreto.**



**Fuente: Elaboración propia**

### **2.10.2. Calidad del hormigón**

La calidad del hormigón depende de la calidad de los agregados, y la pasta y la adherencia entre ambos. La cantidad de agua usada afecta en gran medida la calidad de la pasta: normalmente, a menor relación agua/cemento, mejor calidad del hormigón. Por lo general se especifica una máxima relación agua/materiales cementicios, para evitar el exceso de agua y para asegurar una buena calidad de pasta.

La limpieza de los agregados también afecta la adherencia pasta/agregados y la calidad del hormigón, así como la resistencia a la flexión.

Es posible mejorar las propiedades del hormigón mediante el uso de aditivos químicos, usualmente en forma de líquidos, durante su elaboración.<sup>19</sup>

#### **El hormigón para pavimento deberá cumplir con los siguientes requisitos:**

- Resistencia característica a la flexión mínima a los 28 días entre 4,0 a 4,5 MPa ó 40 a 45 kg/cm<sup>2</sup> (en algunos casos se especifica una resistencia a la compresión, la que debe haber sido objeto de un estudio previo de correlación flexión – compresión para los materiales del lugar)
- La resistencia a la tracción por flexión se determina mediante probetas prismáticas, de acuerdo con los procedimientos establecidos en la norma ASTM C 192 y ASTM C 78.
- En algunos casos se especifica una resistencia a la compresión, la que debe haber sido objeto de un estudio previo de correlación flexión – compresión para los materiales del lugar. El control de la resistencia característica será aquella definida en el proyecto.
- La resistencia a la compresión se determina en probetas cilíndricas, de acuerdo con los procedimientos establecidos en las normas ASTM C 192 y ASTM C 39.
- Contenido mínimo de cemento entre 300 a 320 kg/m<sup>3</sup>
- Relación agua-cemento (A/C) máxima de 0,50 (Nota: en áreas con ciclos intensos de congelación-deshielo, no debe superar 0,45. Para áreas severamente expuestas a los sulfatos, debe limitarse la relación A/C a 0,40).

---

<sup>19</sup> ICBH. (2012). Manual de pavimentos rígidos (Vol. Tomo 1). Pg131

- Revenimiento para hormigón con formaletas entre 2.5 a 5 cm.
- Revenimiento para hormigón con pavimentadora deslizante entre 1,0 a 4,0 cm
- Aire incorporado depende de la condición de exposición a ciclos hielo-deshielo y el tamaño máximo del agregado.
- Módulo de fineza de la arena entre 2,5 a 3,4
- El tamaño máximo característico del agregado del hormigón deberá ser el menor valor entre un tamaño que no deberá exceder 1/3 del espesor de la losa del pavimento o 50 mm, dando cumplimiento al menor valor.<sup>20</sup>

### **2.10.3. Función del agregado en el hormigón**

El agregado dentro del concreto cumple principalmente las siguientes funciones:

- Como esqueleto o relleno adecuado para la pasta (cemento y agua), reduciendo el contenido de pasta en el metro cúbico.
- Proporciona una masa de partículas capaz de resistir las acciones mecánicas de desgaste o de intemperismo, que puedan actuar sobre el concreto.
- Reducir los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, de humedecimiento y secado o de calentamiento de la pasta.

## **2.11. INFLUENCIA DEL AGREGADO QUE AFECTAN EL DESEMPEÑO DEL PAVIMENTO RÍGIDO**

En el caso de pavimentos rígidos existen una gran cantidad de deterioros que afectan su serviciabilidad. Se enumeran a continuación aquellas propiedades de los agregados que pueden tener un impacto significativo en el comportamiento del hormigón en servicio, a fin de que sean contemplados adecuadamente en el proyecto de las obras.

### **2.11.1. Tipo de agregado**

En general, con agregados triturados se puede lograr resistencias mayores que con áridos redondeadas. Con el aumento de la relación A/C, la influencia del tipo de agregado disminuye, pues la resistencia de la pasta se vuelve primordial. La tensión a la cual una fisura se genera y propaga será mayor para agregados triturados por la mejor adherencia

---

<sup>20</sup> ICBH. (2012). Manual de construcción de pavimentos (Vol. Tomo 1 Normas para pavimento rígido Ministerio de Transportes y Obras Públicas del Ecuador) Pg. 132

y la forma más trabada del esqueleto granular. Estas diferencias se encuentran atenuadas por la menor demanda de agua para una trabajabilidad equivalente, de un agregado redondeado.

Se debe destacar la influencia que ejerce el tipo de agregado en sus propiedades y características influyen en todas las propiedades del concreto una vez se va a aplicar, teniendo efectos importantes no solo en el acabado y calidad final del concreto, sino también en la manejabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

El agregado natural (canto rodado) en simples palabras es un agregado natural originado por la desintegración de fragmentos de roca, por su transporte a través del agua en ríos, en si podemos decir que las partículas de roca son resistentes por la erosión que resistieron, otra cualidad es que sean redondeados, lisos podemos decir que con el canto rodado obtenemos una buena resistencia y mejor trabajabilidad por que las partículas se deslizaran muy fácilmente llegando a esquinas y lugares difíciles para el concreto , en cambio el agregado artificial (triturado o chancada) obtenemos una EXCELENTE resistencia por sus aristas, porque entre las partículas habrá un mejor comportamiento frente a la compresión ya que estas presentan esquinas que hacen que sea difícil el deslizamientos entre partículas e impidiendo que se pueda llegar a quebrar el concreto, que un agregado natural redondeado, pero la desventaja del agregado artificial (triturado o chancada) es su trabajabilidad, pero esto se puede solucionar disminuyendo el tamaño de piedra.<sup>21</sup>

### **2.11.2. Resistencia intrínseca del agregado**

Se asume que el agregado es más resistente que la pasta; lo cual es cierto, en general, para hormigones convencionales. Pero cuando el agregado es más débil, como en el caso de agregados livianos, las fisuras se propagarán a través de los áridos, y en este caso tendrán una influencia muy fuerte en la resistencia del hormigón.

No se puede producir hormigón de alta resistencia que contenga agregados estructuralmente débiles.

---

<sup>21</sup> <https://civilgeeks.com/2011/08/20/canto-rodado-vs-piedra-chancada-2/>

### **2.11.3. Tamaño máximo y distribución granulométrica**

El tamaño máximo designado para el agregado, siempre es un tamaño menor que aquél a través del cual se requiere que pase el 100% del material. Por ejemplo, si el tamaño máximo de agregado requerido es de 1", el 100% deberá pasar el tamiz anterior (1 1/2") y casi en su totalidad (entre 90-100%) el tamiz de 1".

Se recomienda que no sea mayor 1/3 del espesor del pavimento a construir.

Los tamaños mayores y curvas granulométricas bien graduadas disminuyen la demanda de agua para consistencias equivalentes al existir menor superficie específica, lo que resulta en un incremento en la resistencia

### **2.11.4. Textura y limpieza**

La adherencia entre la pasta y el agregado dependerá de la calidad de ambos, La textura superficial de los agregados afecta la calidad del hormigón en estado fresco y tiene gran influencia en las resistencias, repercutiendo más en la resistencia a la flexo tracción que a la compresión, pero en líneas generales se puede afirmar que la misma aumentará con la rugosidad superficial del agregado, y con ello la resistencia del hormigón, debido a que con la rugosidad se incrementa la superficie de contacto y adicionalmente se consigue trabazón mecánica.

Se debe tener en cuenta que el polvo adherido en los agregados disminuye notablemente la adherencia de la interface y en consecuencia la resistencia del hormigón, por lo cual se deberá trabajar con agregados limpios.

En el caso de los cantos rodados, donde su superficie es lisa, dan mejor trabajabilidad al hormigón, pero menor adherencia pasta-agregado.

En el caso de pavimentos de hormigón se recomienda contar con al menos una fracción de agregados triturados, ya que una textura rugosa permitirá un mejor comportamiento a la flexión del material.<sup>22</sup>

---

<sup>22</sup> Instituto del Cemento Pórtland Argentino. (s.f.). Influencia de las características del agregado en el comportamiento del pavimento de hormigón. Buenos Aires Argentina.

### **2.11.5. Expansión térmica**

Las propiedades térmicas del agregado afectan de forma muy significativa la evolución de deterioros en los pavimentos de hormigón simple, dentro de los cuales debe incluirse el desarrollo de fisuración longitudinal y transversal, roturas de esquina y levantamientos de losas.

Si bien, el coeficiente de expansión térmica del hormigón se encuentra gobernado principalmente por el coeficiente de expansión térmica del agregado, la determinación de su valor debe efectuarse directamente en el hormigón confeccionado con dicho árido.

### **2.11.6. Resistencia al desgaste**

Esta propiedad puede afectar el desempeño del pavimento de hormigón tanto en servicio como durante la ejecución.

Un agregado que no cuente con una adecuada resistencia al desgaste puede fragmentarse durante su manipuleo, acopio y mezclado modificando su graduación y el contenido de polvo en la mezcla, afectando las características en estado fresco y eventualmente en estado endurecido.

En un pavimento en servicio, esta propiedad puede llevar a que se verifique un desgaste excesivo de la superficie del pavimento y de los bordes de las juntas.

### **2.11.7. Módulo de elasticidad**

El módulo de elasticidad del hormigón es una de las características que en mayor medida afecta la tendencia a la fisuración de un pavimento de hormigón. Al igual que otras propiedades ya mencionadas, este parámetro se encuentra fuertemente influenciado por la rigidez propia del agregado. Aunque no se ha verificado que exista una correlación lineal entre ambas, en general un agregado de mayor módulo de elasticidad generalmente produce un hormigón de mayor rigidez.

### **2.11.8. Presencia de minerales potencialmente reactivos**

Determinados agregados contienen minerales capaces de reaccionar con los álcalis ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) aportados por el cemento o por cualquier otra fuente. Como producto de reacción se genera un gel, el cual expande en presencia de humedad, causando fisuración de la matriz cementicia y, por consiguiente, reduciendo la capacidad estructural del hormigón.

La reacción álcali sílice (RAS) se caracteriza por ser un fenómeno que puede desarrollarse luego de varios años. Por consiguiente, los ensayos para evaluar si un agregado es potencialmente reactivo con los álcalis del cemento pueden demorar desde algunas semanas a 1 año, en tanto que los estudios para validar las medidas preventivas a adoptar pueden tomar incluso más de 2 años.

#### **2.11.9. Resistencia al congelamiento y deshielo**

La causa más común de daño es la falta de un sistema de poros interconectados de tamaño, distribución y espaciado adecuado en la pasta de cemento que permita tolerar las presiones que se generan durante los continuos ciclos de congelamiento y deshielo.

Sin embargo, si los agregados no cuentan con una adecuada resistencia al congelamiento también puede manifestarse deterioros bajo esta condición. Una manifestación común de daños por congelamiento y deshielo debidos al agregado es la Fisuración en D (D-cracking).

Este tipo de fisuración es causada por agregados con un cierto rango de tamaño de poros. En general este problema suele presentarse en agregados gruesos y para cada tipo de agregado específico, existe un tamaño crítico por debajo del cual no se verifica este problema.

#### **2.12. MARCO REFERENCIAL**

En América del Sur, algunos países cuentan con más de 20 años de experiencia en la construcción de sus redes de carreteras con pavimento rígido. Bolivia recién hace unos años empezó a interesarse en este tipo de pavimento. Los primeros pavimentos rígidos corresponden a la construcción de Aeropuertos; comenzando también con el pavimentado de extensas superficies en calles y avenidas de sus ciudades capitales, pero sin optar al mismo tiempo por este método en carreteras. La ciudad de Santa Cruz es considerada el pionero en utilizar esta técnica en gran escala, con más de dos millones de metros cuadrados hasta el año 2001; le sigue Cochabamba, con más de un millón de metros cuadrados.

En agosto de 2001 se empleó esta técnica de pavimentación por primera vez en una vía de la red troncal de Bolivia para cubrir un tramo de 5 Km de la carretera que une los departamentos de Cochabamba y Santa Cruz, en la zona de El Sillar.

En Bolivia se considera que se debería construir más vías de pavimento rígido y menos de asfalto, coincidió Marcelo Alfaro, gerente general del Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón (IBCH), entidad conformada por Soboce, Coboce, Itacamba, la Sociedad de Ingenieros de Bolivia y colegio de arquitectos.

El gerente técnico del Instituto Boliviano de Cemento y el Hormigón (IBCH), Rosendo Soruco destacó que el pavimento rígido es indeformable y contribuye a que los vehículos tengan un menor deterioro y, por lo tanto, disminuye los costos al transporte y tiempos de viaje.

En la actualidad el deterioro de la infraestructura vial es preocupante, debido a la influencia del tráfico y el clima que inducen a la desintegración del pavimento y el fracturamiento de la losa en grietas transversales y longitudinales en el cual hace necesario estudiar el comportamiento de los tipos de agregados (naturales y artificiales) ya que estos representan aproximadamente entre el 60% y el 75% del volumen total del hormigón siendo el más representativo para sus propiedades mecánicas de la resistencia a flexión y compresión.

Se desconocen trabajos de investigación relacionados con el tipo de agregado para la construcción de un pavimento rígido, pero se encontraron algunos estudios relacionados con este tipo de antecedentes.

Uno de los trabajos que presento ICPA (2015) realizó la investigación de la influencia de las características del agregado en el comportamiento del pavimento de hormigón, el cual se vio las propiedades principales de los agregados que impactan en la calidad del hormigón una de ellas fue el tipo de agregado donde indica que con los agregados triturados se puede lograr resistencias mayores que con los agregados redondeados.

En general, mediante el empleo de un agregado natural (canto rodado), se obtendrá un hormigón más dócil que cuando se usa uno proveniente de la trituración, ya que éstos poseen forma angulosa y caras más rugosas. Asimismo, para una misma consistencia se

necesitará, menos agua para un agregado redondeado. La demanda de agua se incrementa además cuando hay presencia de partículas lajosas y elongadas.

Un segundo trabajo Condor Vargas Sheyla y Pariona Uchuypoma Karen (2019) para su defensa de tesis realizó un Análisis comparativo de la resistencia a la flexión del concreto elaborado con piedra chancada y canto rodado, Huancavelica Perú donde concluyeron que la resistencia a flexión del concreto utilizando con piedra chancada es significativamente mayor a un concreto elaborado con canto rodado.

En nuestro medio nacional y local la mezcla de hormigón que se usa para la losa de pavimento rígido solo debe cumplir el control de calidad de la ASTM C33 y se desconocen trabajos de investigación publicados acerca sobre este tema del comportamiento de los tipos de agregados (naturales y artificiales) en el pavimento rígido.

El título de la presente tesis, “EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL TIPO DE AGREGADO EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTO RÍGIDO EN CARRETERAS”, responde al planteamiento de investigación en que el estudiante de la carrera de Ing. Civil de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y con la colaboración del laboratorio de dicha casa de estudios, recae la responsabilidad de hacer posible este procedimiento.

La influencia que tiene el tipo de agregado, es el de encontrar las propiedades mecánicas de resistencia a flexión y compresión, de la mezcla de hormigón para pavimento rígido diferenciadas según el tipo de agregado (natural y artificial) así tener una mejor resistencia en la losa del pavimento rígido con mayor resistencia y durabilidad en la carretera, y reducción de agrietamientos. Para ello se elaboró probetas y vigas prismáticas con una mezcla de hormigón convencional simple con el uso de cemento fancesa IP 30, y con las muestras de los agregados que se van a extraer del valle central de Tarija.

**CAPÍTULO III**

**CARACTERIZACIÓN**

**DE LOS MATERIALES**

## **CAPÍTULO III**

### **CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES**

#### **3.1. MUESTRA**

Se tomaron muestras de grava y arena de diferentes bancos de la ciudad de Tarija; tres muestras de material artificial y tres muestras de material natural, los agregados a manejar fueron caracterizados.

Las muestras se sometieron a los diferentes ensayos para conocer las características de los tipos de agregados (naturales y artificiales), donde se realizaron los ensayos de propiedades físicas (ASTM C-33) y mecánicas (ASTM C-131)

Los ensayos que comprenden la determinación de las propiedades físicas que se realizaron para el agregado grueso fueron: peso específico, peso unitario, porcentaje de absorción y granulometría, y para el agregado fino se realizaron además de los anteriores los ensayos de equivalente de arena.

Para las propiedades mecánicas se utilizó el ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles.

La muestra debe estar limpia para su aplicación se considera limpios si están libres de materia orgánica limos o arcillas.

#### **3.2. UBICACIÓN DE LOS AGREGADOS EXTRAÍDOS**

Los agregados fueron extraídos de chancadoras y seleccionadoras de los diferentes lugares de Tarija, donde tomó material de grava y arena; tres muestras de material artificial y tres muestras de material natural.

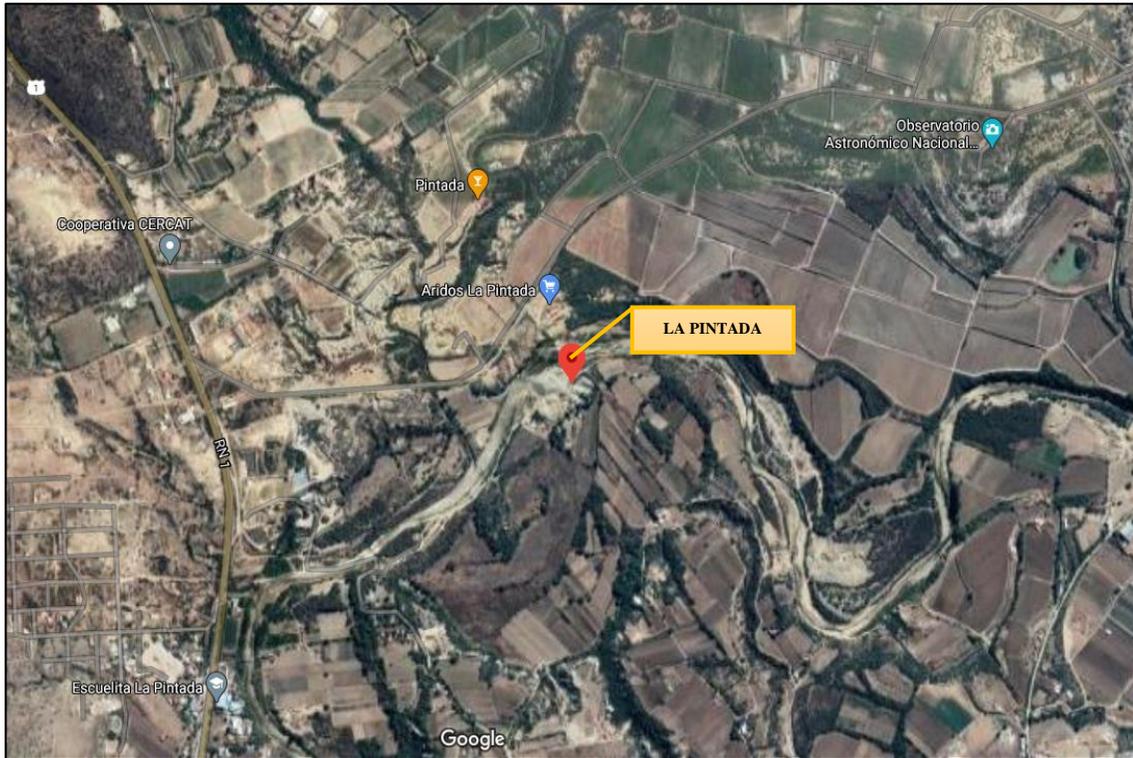
##### **3.2.1. Agregados naturales**

###### **3.2.1.1. La Pintada**

La seleccionadora se encuentra ubicado a 19.5 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Cercado a 21°36'05.0" S y 64°38'01.1" W

Se encarga de seleccionar los agregados que están al final de río Santa Ana.

**Figura 3.1 Imagen satelital de la localidad la Pintada**



**Fuente: Elaboración propia**

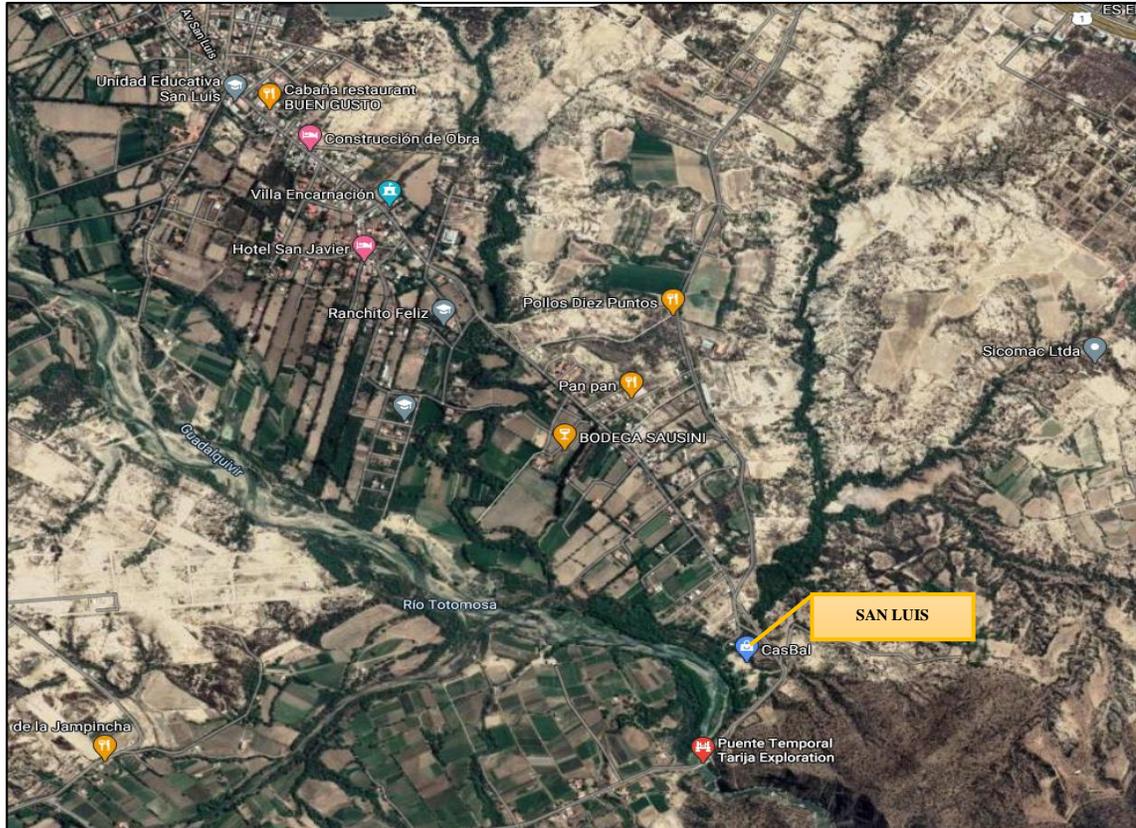
**Fotografía 3.1 Seleccionadora de la Pintada**



### 3.2.1.2. San Luis

La seleccionadora se encuentra ubicado a 9.1 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Cercado a  $21^{\circ}35'20.0''$  S y  $64^{\circ}41'01.9''$  W próximo a la localidad del Temporal. Se encarga de seleccionar los agregados que se encuentra a 733 m aguas abajo del cruce entre del río Guadalquivir y Tolomosa dando lugar al río Nuevo Guadalquivir.

**Figura 3.2 Imagen satelital de la localidad de San Luis**



Fuente: Elaboración propia

**Fotografía 3.2 Seleccionadora de San Luis**



### 3.2.1.3. San Blas

La seleccionadora se encuentra ubicado a 4.2 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Cercado a  $21^{\circ}33'35.8''$  S y  $64^{\circ}43'00.1''$  W.

Se encarga de seleccionar los agregados del río Guadalquivir.

**Figura 3.3 Imagen satelital de la localidad de San Blas**



**Fuente: Elaboración propia**

**Fotografía 3.3 Seleccionadora de San Blas**



### 3.2.2. Agregados artificiales

#### 3.2.2.1. Santa Ana

La chancadora se encuentra ubicado a 19.5 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Cercado a  $21^{\circ}31'54.2''$  S y  $64^{\circ}34'27.7''$  W.

Dicha chancadora extrae los agregados de los inicios del río del mismo nombre Santa Ana.

**Figura 3.4 Imagen satelital de la localidad Santa Ana**



**Fuente: Elaboración propia**

**Fotografía 3.4 Chancadora de Santa Ana**



### 3.2.2.2. San José De Charaja

La chancadora se encuentra ubicado a 43 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Avilés a  $21^{\circ}46'53.4''$  S y  $64^{\circ}46'17.0''$  W.

Dicha chancadora extrae los agregados del río Camacho.

**Figura 3.5 Imagen satelital de la localidad de San José De Charaja**



**Fuente: Elaboración propia**

**Fotografía 3.5 Chancadora de San José De Charaja**



### 3.2.2.3. San Mateo

La chancadora se encuentra ubicado a 9 Km de la ciudad de Tarija de la provincia Cercado a  $21^{\circ}28'15.4''$  S y  $64^{\circ}45'02.1''$  W. Dicha chancadora extrae los agregados de la desembocadura del río Sella.

**Figura 3.6 Imagen satelital de la localidad de San Mateo**



**Fuente: Elaboración propia**

**Fotografía 3.6 Chancadora de San Mateo**



### **3.3. ENSAYOS DE CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS**

Los ensayos se realizaron en el Laboratorio Hormigones de la Facultad de Ingeniería Civil de la UAJMS.

#### **3.3.1. Granulometría de los agregados ASTM C 136**

Se denomina clasificación granulométrica o gradación, a la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que constituye los agregados. Para la gradación de los agregados se utilizó una serie de tamices o mallas de diferentes aberturas, que están especificados en la ASTM C 136 los cuales seleccionarán los tamaños; dicho procedimiento se lo realizó de forma mecánico por medio del cual se pudo separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se pudo conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Por medio de dicho procedimiento se halló su módulo de finura, para el agregado fino y el tamaño máximo nominal para el agregado grueso.

La granulometría y el tamaño máximo de los agregados son importantes debido a su efecto en la dosificación.

**Fotografía 3.7 Proceso de tamizado**



**Fotografía 3.8 Pesaje de la muestra**



### **3.3.2. Peso específico y absorción del agregado grueso ASTM C 127**

Se extrajo una cantidad mínima de muestra del agregado desechando el material que pasa por el tamiz N°4, luego se procedió a lavarla y sumergirla en bandejas durante 24 horas

Al día siguiente, se tomó la muestra secándola parcialmente con una toalla hasta eliminar películas visibles de agua en la superficie.

Con la balanza se pesó la muestra para conocer su masa en esta condición; luego se introdujo en la canastilla y se sumergió para cuantificar la masa sumergida en agua a una temperatura ambiente.

Posteriormente se llevó al horno durante 24 horas, al día siguiente se pesó y se registró los datos de cada lectura.

De la misma manera se realizó para las demás muestras de los agregados naturales y artificiales.

**Fotografía 3.9 Saturación del agregado grueso durante 24 horas**



**Fotografía 3.10 Secado superficialmente**



**Fotografía 3.11 Peso de la muestra saturada dentro el agua**



### 3.3.3. Peso específico y absorción del agregado fino ASTM C 128

Se tomó una muestra representativa de agregado fino la cual se sumergió durante 24 horas. Al día siguiente se expandió la muestra sobre la superficie de una bandeja y con el secador se le inyectó una corriente de aire hasta conseguir un secado uniforme, hasta que los granos estén sueltos. Luego se introdujo la muestra en un molde cónico, se apisonó unas 25 veces dejando caer el pisón desde una altura aproximada de 1cm, posteriormente se niveló y si al quitar el molde la muestra se dejó caer es porque no existe humedad libre, si hubiese sido lo contrario se hubiese seguido secando de esa manera se repitió el proceso hasta que cumpla con la condición así sabremos que se alcanzó una condición saturada con superficie seca.

Se procedió a tomar una muestra de 500 gramos del agregado para envasarla en el matraz llenándolo con agua hasta  $250\text{ cm}^3$ , luego se hizo girar el matraz para eliminar las burbujas de aire posibles y se pesó

Posteriormente la muestra fue llevada al horno por un espacio de 24 horas para luego ser pesada.

De la misma manera se realizó para las demás muestras de los agregados naturales y artificiales.

**Fotografía 3.12 Saturación de la muestra durante 24 horas**



**Fotografía 3.13 Secado de la muestra de manera uniforme**



**Fotografía 3.14 500 g de muestra saturados en agua dentro de un matraz**



### 3.3.4. Peso unitario ASTM C 29

El peso unitario del agregado, está definido como el peso de la muestra, sobre su volumen.

Para el peso unitario suelto se llenó un recipiente de modo que se descargue a una altura no mayor de 50 mm (2”), luego se enrasó la superficie del agregado con una regla o la mano, para así determinar el peso en kg, del recipiente lleno. Mientras que, para el peso unitario compactado, el agregado se colocó en un recipiente en tres capas de igual volumen hasta colmarlo, cada capa se apisonó con 25 golpes de varilla distribuidos uniformemente en cada capa. Una vez colmado el recipiente, se enrasó la superficie con la varilla para así determinar el peso del recipiente lleno compactado en kg.

**Fotografía 3.15** Peso unitario del agregado grueso



**Fotografía 3.16** Peso unitario del agregado fino



### **3.3.5. Ensayo para determinar el desgaste mediante la máquina de los Ángeles ASTM C 131**

El objetivo de esta prueba es medir la degradación del agregado cuando se somete a una serie de combinaciones de acciones como abrasión o trituración impactos y desintegración en un cilindro giratorio de acero que contiene un numero especificado de esferas de acero La prueba consiste en colocar una muestra del material con características específicas dentro del cilindro giratorio donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado a 500 revoluciones la muestra seleccionada se lava en el tamiz 12 y posteriormente se seca en el horno el retenido en dicho tamiz de esa forma conocer el desgaste que se obtuvo en el ensayo.

**Fotografía 3.17 Colocado de la muestra en el tambor**



**Fotografía 3.18 Muestra sometida al impacto de esferas**



Tamizamos el agregado de acuerdo al tamaño máximo obtenido en el análisis granulométrico antes realizado y pesamos las muestras según exige la norma.

Colocamos la muestra en la máquina de los Ángeles y tras ello colocamos las esferas de acero.

Accionamos la máquina para que gire durante 15 minutos.

Retiramos la muestra de la máquina y luego tamizamos la muestra por la malla N°12.

Lavamos el material retenido en la malla N°12 de esa forma le quitamos el material fino adherido a las partículas.

Colocamos en el horno la muestra ya lavado durante 24 horas.

Pasado las 24 horas retiramos la muestra del horno y la pesamos.

### **3.3.6. Equivalente de arena ASTM D 2419**

Por lo descrito en la Norma ASTM D 2419 se determina la proporción relativa del contenido de polvo fino o nocivo, o material arcilloso en los agregados finos.

El ensayo se realizó en el Laboratorio Asfaltos de la Facultad de Ingeniería Civil de la UAJMS.

Se preparó un Solución tipo (Cloruro cálcico, glicerina y agua destilada) para así diluirla, se llenó la probeta hasta 10 cm con la solución tipo, para luego verter el contenido de la muestra de arena, golpeamos la parte inferior para desalojar burbujas y humedecer la muestra, dejamos reposar 10 minutos.

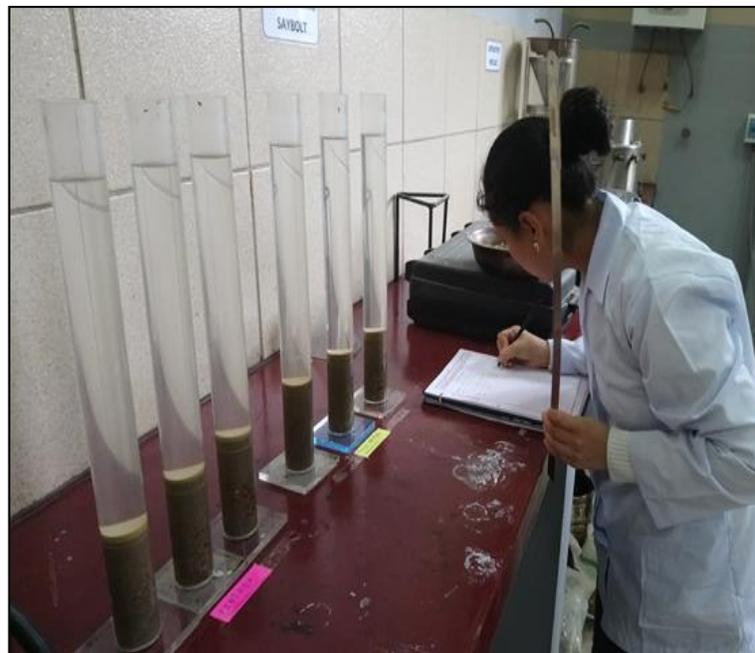
Tapamos la probeta y agitamos 90 ciclos (ida y vuelta 20 cm) durante 30 segundos. Lavamos el tapón y las paredes interiores de la probeta con Solución tipo, introducimos el tubo irrigador al fondo de la muestra y ascendemos poco a poco (permite el ascenso del material fino atrapado), se dejó reposar durante 20 minutos para así hacer lecturas h1 y h2 de la muestra.

De la misma manera se realizó para las demás muestras.

**Fotografía 3.19 Introducción del tubo irrigador**



**Fotografía 3.20 Lecturación del equivalente de arena**



### 3.4. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS NATURALES

#### 3.4.1. La Pintada

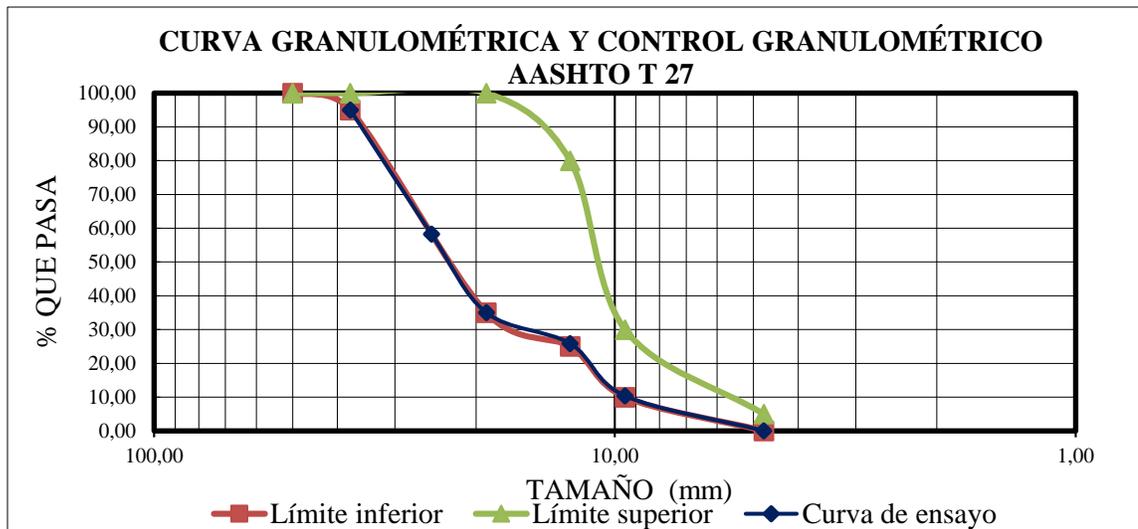
##### 3.4.1.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.1 Granulometría agregado grueso localidad La Pintada**

Peso Total (gr.) =		16000					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa	% Que pasa s/g	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM	
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
1 1/2"	37,50	791,60	791,60	4,95	<b>95,05</b>	95,00	100,00
1"	25,00	5882,00	6673,60	41,71	<b>58,29</b>	-	-
3/4"	19,00	3722,70	10396,30	64,98	<b>35,02</b>	35,00	100,00
1/2"	12,50	1466,80	11863,10	74,14	<b>25,86</b>	25,00	80,00
3/8"	9,50	2476,00	14339,10	89,62	<b>10,38</b>	10,00	30,00
Nº4	4,75	1655,40	15994,50	99,97	<b>0,03</b>	0,00	5,00
Nº8	2,50	0,00	15994,50	99,97	<b>0,03</b>	-	-
BASE	0,00	0,00	15994,50	99,97	<b>0,00</b>		

SUMA =	15994,50	TAMAÑO MAX = 11/2"
PÉRDIDAS =	5,50	
MF =	7,60	



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.2 Características físicas del agregado grueso localidad La Pintada**

Peso específico	2,58	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,43	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,54	gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.1.2. Características mecánicas

**Tabla 3.3 Característica mecánica localidad La Pintada**

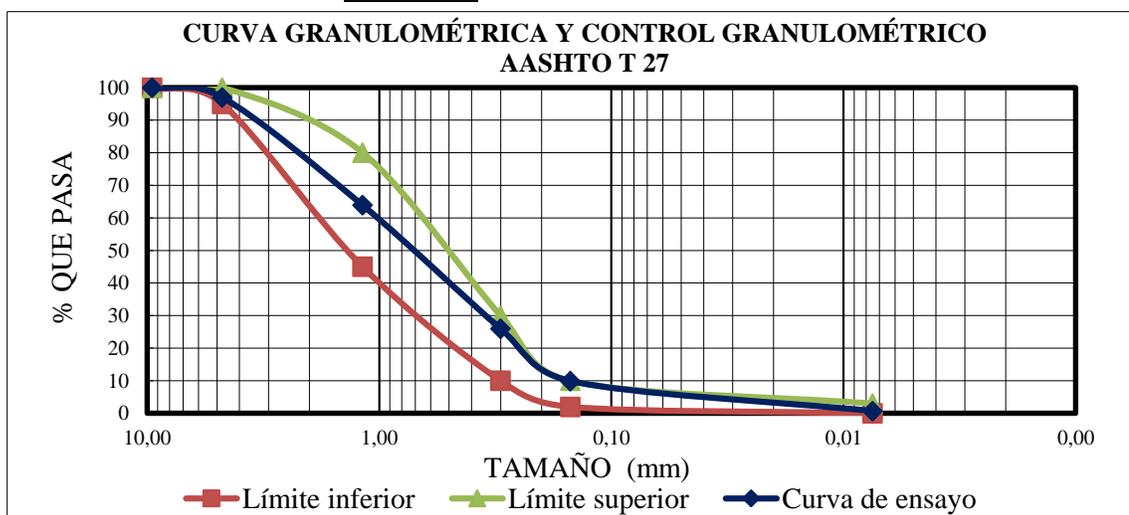
Desgaste de los ángeles	38,22	%
-------------------------	-------	---

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.1.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.4 Granulometría del agregado fino localidad La Pintada**

Peso Total (gr.)			1000		% que pasa del total	Especificación	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado (gr)	(%)		ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	30,00	30,00	3,00	<b>97,00</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	331,20	361,20	36,12	<b>63,88</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	379,00	740,20	74,02	<b>25,98</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	160,90	901,10	90,11	<b>9,89</b>	2,00	10,00
Nº200	0,075	92,00	993,10	99,31	<b>0,69</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	6,00	999,10	99,91	<b>0,09</b>		
SUMA		999,10					
PÉRDIDAS		0,90					
MF =		<b>3,03</b>					



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.5 Características físicas del agregado fino localidad La Pintada**

Peso específico	2,30	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,61	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,73	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	94,40	%

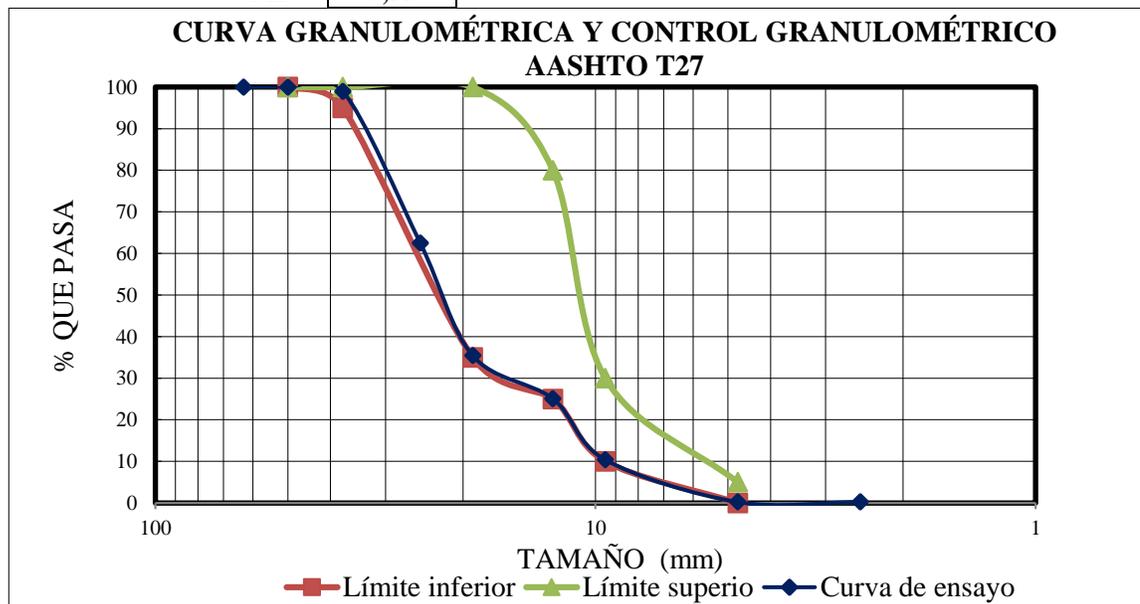
**Fuente: Elaboración propia**

### 3.4.2. San Luis

#### 3.4.2.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.6 Granulometría agregado grueso localidad San Luis**

Peso Total (gr.) =			16000				
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa	% Que pasa s/g	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM	
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100	100
1 1/2"	37,50	162,00	162,00	1,01	<b>98,99</b>	95,00	100,00
1"	25,00	5840,00	6002,00	37,51	<b>62,49</b>	-	-
3/4"	19,00	4328,00	10330,00	64,56	<b>35,44</b>	35,00	100
1/2"	12,50	1658,00	11988,00	74,93	<b>25,08</b>	25,00	80
3/8"	9,50	2350,00	14338,00	89,61	<b>10,39</b>	10,00	30
Nº4	4,75	1623,00	15961,00	99,76	<b>0,24</b>	0,00	5,00
Nº8	2,50	0,00	15961,00	99,76	<b>0,24</b>		
BASE	0,00	15,30	15976,30	99,85	<b>0,00</b>		
SUMA =		15976,30	TAMAÑO MAX = 1 1/2"				
PÉRDIDAS =		23,70					
MF =		7,55					



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.7 Características físicas del agregado grueso localidad San Luis**

Peso específico	2,60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,42	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,53	gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.2. Características mecánicas

**Tabla 3.8 Característica mecánica localidad San Luis**

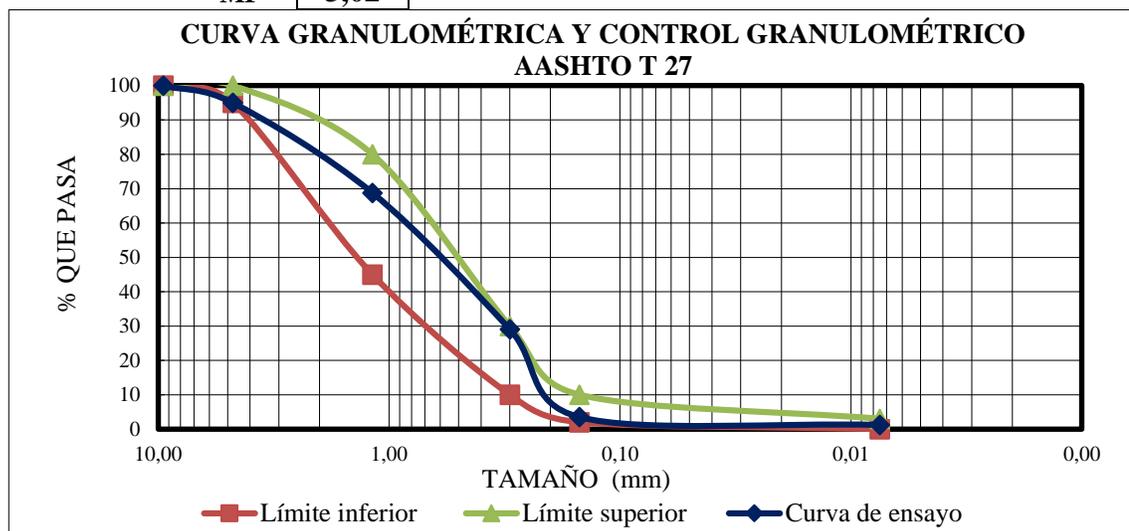
Desgaste de los ángeles	35,21	%
-------------------------	-------	---

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.2.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.9 Granulometría del agregado fino localidad San Luis**

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% que pasa	Especificación	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	49,90	49,90	4,99	<b>95,01</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	262,10	312,00	31,20	<b>68,80</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	396,90	708,90	70,89	<b>29,11</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	255,90	964,80	96,48	<b>3,52</b>	2,00	10,00
Nº200	0,075	22,90	987,70	98,77	<b>1,23</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	12,10	999,80	99,98	<b>0,02</b>		
SUMA		999,80					
PÉRDIDAS		0,20					
MF =		<b>3,02</b>					



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.10 Características físicas del agregado fino localidad San Luis**

Peso específico	1,93	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,58	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,70	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	94,54	%

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3. San Blas

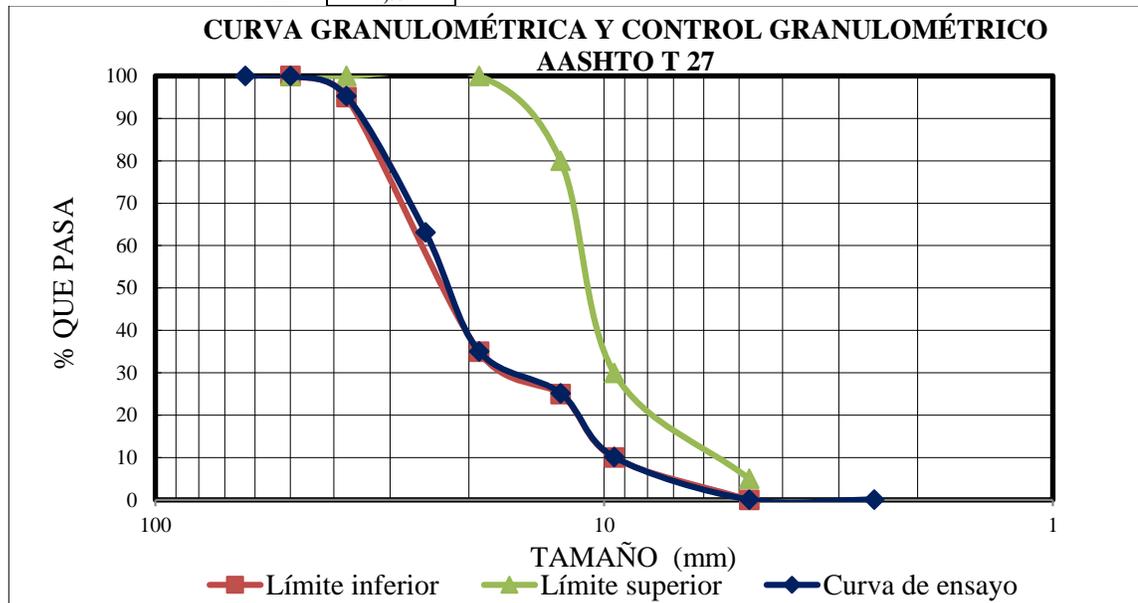
#### 3.4.3.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.11 Granulometría agregado grueso localidad San Blas**

Peso Total (gr.) =		16000			% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. ASTM	
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado				
			(gr)	(%)			
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>		
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
1 1/2"	37,50	762,00	762,00	4,76	<b>95,24</b>	95,00	100,00
1"	25,00	5141,60	5903,60	36,90	<b>63,10</b>	-	-
3/4"	19,00	4485,00	10388,60	64,93	<b>35,07</b>	35,00	100,00
1/2"	12,50	1583,60	11972,20	74,83	<b>25,17</b>	25,00	80,00
3/8"	9,50	2405,10	14377,30	89,86	<b>10,14</b>	10,00	30,00
Nº4	4,75	1610,00	15987,30	99,92	<b>0,08</b>	0,00	5,00
Nº8	2,50	0,00	15987,30	99,92	<b>0,08</b>	-	-
BASE	0,00	0,00	15987,30	99,92	<b>0,00</b>		

SUMA =	15987,30	TAMAÑO MAX = 1 1/2"
PÉRDIDAS =	12,70	
MF =	7,59	



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.12 Características físicas del agregado grueso localidad San Blas**

Peso específico	2,61	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,50	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,64	gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3.2. Características mecánicas

**Tabla 3.13 Característica mecánica localidad San Blas**

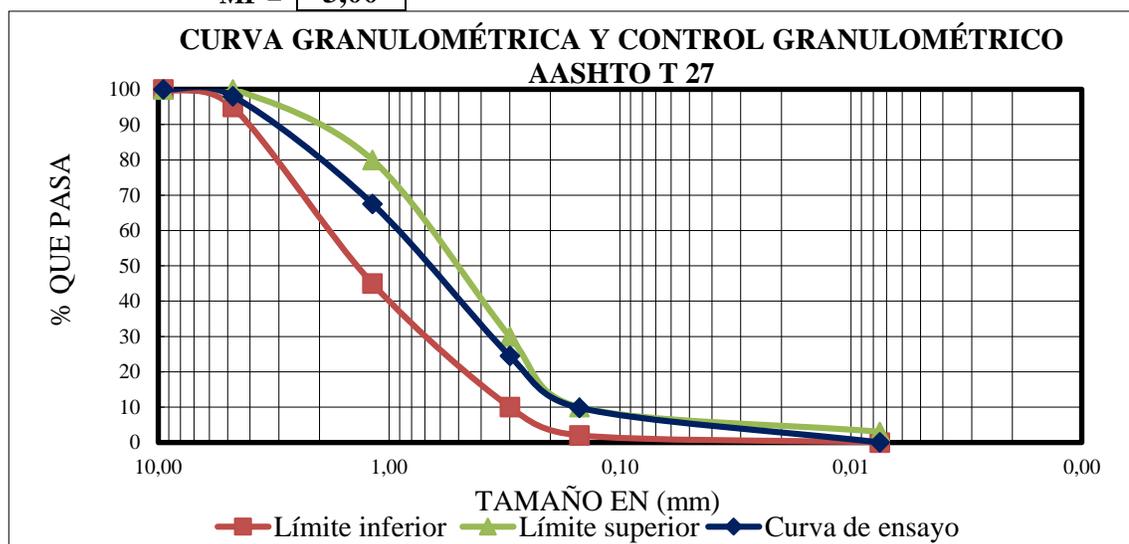
Desgaste de los ángeles	39,21	%
-------------------------	-------	---

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.3.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.14 Granulometría agregado fino localidad San Blas**

Peso Total (gr.)			1000		% que pasa del total	Especificación	
Tamices	tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado (gr)	(%)		ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	20,00	20,00	2,00	<b>98,00</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	304,50	324,50	32,45	<b>67,55</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	430,30	754,80	75,48	<b>24,52</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	147,00	901,80	90,18	<b>9,82</b>	2,00	10,00
Nº200	0,075	98,00	999,80	99,98	<b>0,02</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	0,00	999,80	99,98	<b>0,02</b>		
<b>SUMA</b>		999,80					
<b>PÉRDIDAS</b>		0,20					
<b>MF =</b>		<b>3,00</b>					



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.15 Características físicas agregado fino localidad San Blas**

Peso específico	2,27	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,51	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,67	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	88,21	%

Fuente: Elaboración propia

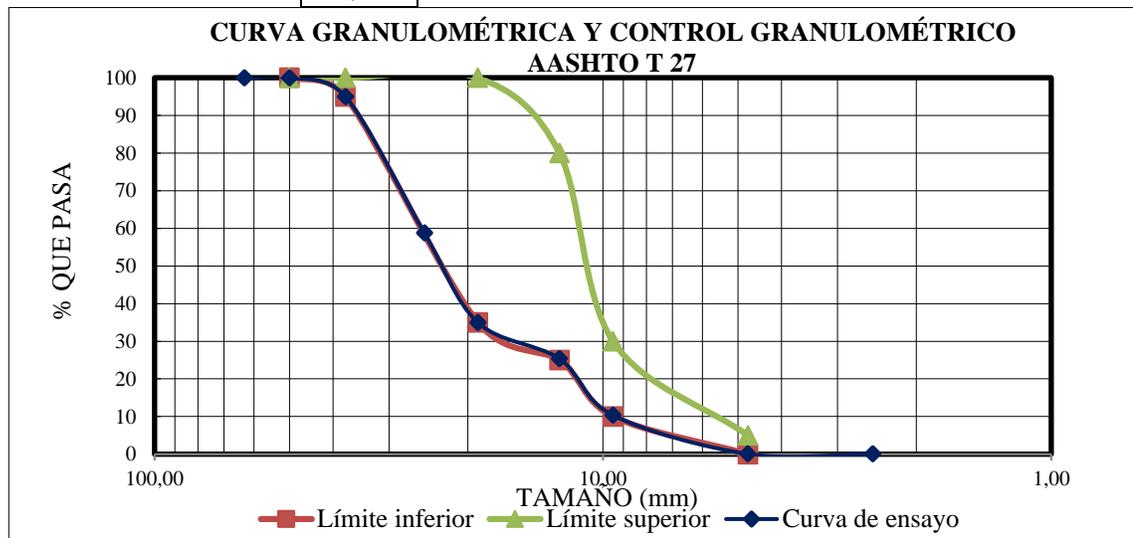
### 3.5. RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS ARTIFICIALES

#### 3.5.1. Santa Ana

##### 3.5.1.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.16 Granulometría agregado grueso localidad Santa Ana**

Peso Total (gr.) =		16000					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa	% Que pasa s/g	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	Especif. ASTM	
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	100,00		
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	37,50	800,00	800,00	5,00	95,00	95,00	100,00
1"	25,00	5800,00	6600,00	41,25	58,75	-	-
3/4"	19,00	3800,00	10400,00	65,00	35,00	35,00	100,00
1/2"	12,50	1540,00	11940,00	74,63	25,38	25,00	80,00
3/8"	9,50	2400,00	14340,00	89,63	10,38	10,00	30,00
N°4	4,75	1650,00	15990,00	99,94	0,06	0,00	5,00
N°8	2,50	0,00	15990,00	99,94	0,06	-	-
BASE	0,00	0,00	15990,00	99,94	0,00		
SUMA =		15990,00					
PÉRDIDAS =		10,00	TAMAÑO MAX = 1 1/2"				
MF =		7,60					



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.17 Características físicas agregado grueso localidad Santa Ana**

Peso específico	2,57	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,33	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,51	gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.2. Características mecánicas

**Tabla 3.18 Característica mecánica localidad Santa Ana**

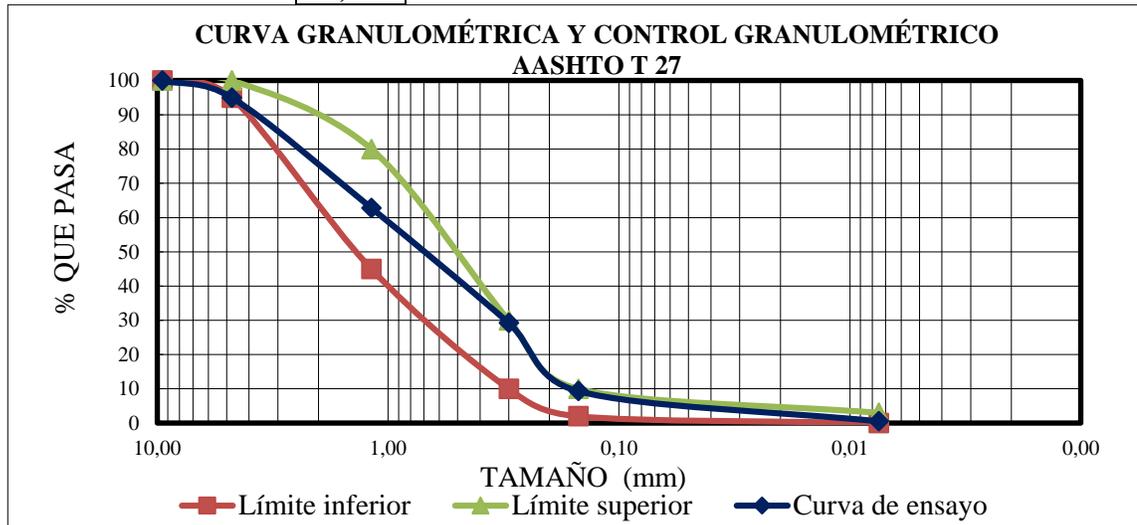
Desgaste de los ángeles	37,90	%
-------------------------	-------	---

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.1.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.19 Granulometría agregado fino localidad Santa Ana**

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% que pasa del total	Especificación ASTM C-33	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)			
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	49,80	49,80	4,98	<b>95,02</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	322,30	372,10	37,21	<b>62,79</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	335,52	707,62	70,76	<b>29,24</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	198,90	906,52	90,65	<b>9,35</b>	2,00	10,00
Nº200	0,01	88,10	994,62	99,46	<b>0,54</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	5,00	999,62	99,96	<b>0,04</b>		
SUMA		999,62					
PÉRDIDAS		0,38					
MF =		<b>3,03</b>					



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.20 Características físicas agregado fino localidad Santa Ana**

Peso específico	2,35	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,65	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,76	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	92,66	%

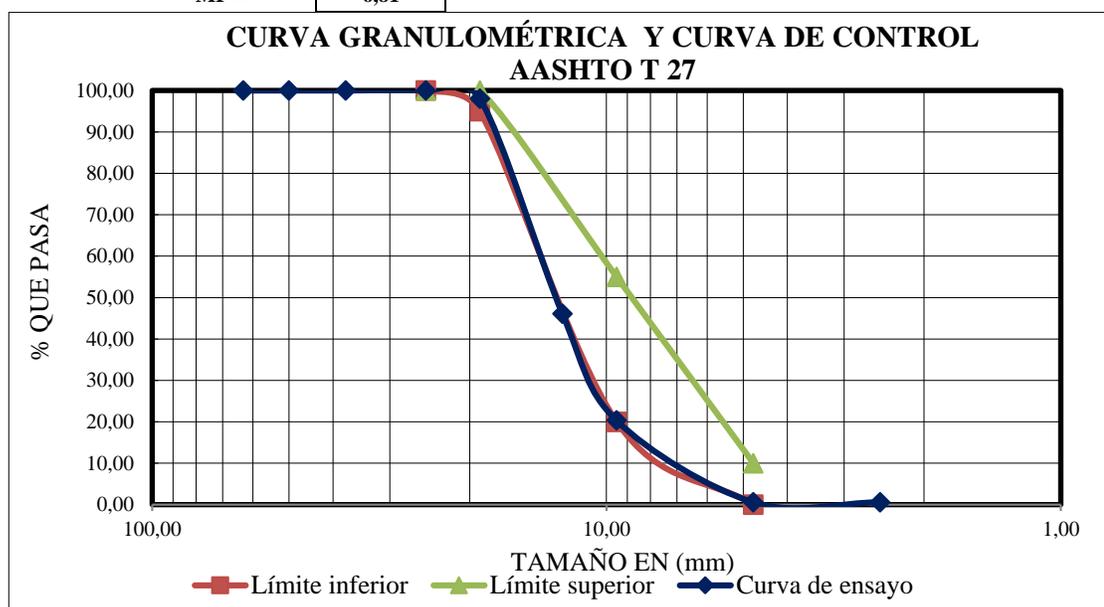
**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.2. San José De Charaja

#### 3.5.2.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.21 Granulometría agregado grueso localidad San José De Charaja**

Peso Total (gr.) =			16000					
Tamices	Tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especific. AASHTO T27		
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)				
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	100,00			
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00			
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00			
1"	25,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00	
3/4"	19,00	312,00	312,00	1,95	98,05	95,00	100,00	
1/2"	12,50	8315,00	8627,00	53,92	46,08			
3/8"	9,50	4120,00	12747,00	79,67	20,33	20,00	55,00	
Nº4	4,75	3158,00	15905,00	99,41	0,59	0,00	10,00	
Nº8	2,50	0,00	15905,00	99,41	0,59	-	-	
BASE	0,00	85,00	15990,00	99,94	0,00			
SUMA =		15990,00						
PÉRDIDAS =		10,00	TAMAÑO MAX =		3/4"			
MF =		6,81						



Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.22 Características físicas agregado grueso localidad San José De Charaja**

Peso específico	2,60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,40	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,50	gr/cm <sup>3</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 3.5.2.2. Características mecánicas

**Tabla 3.23 Característica mecánica localidad San José De Charaja**

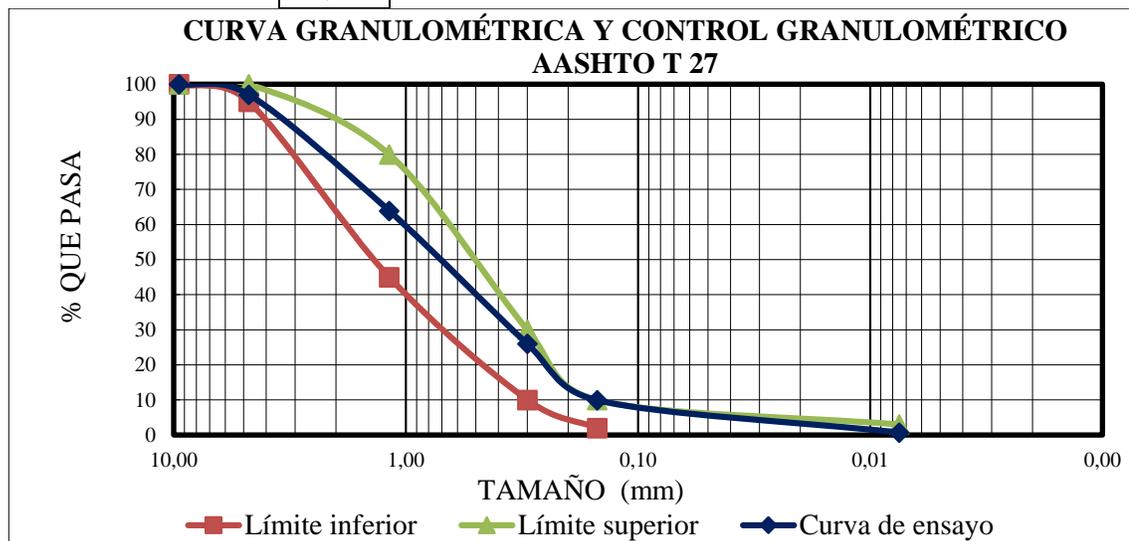
Desgaste de los ángeles	24,50	%
-------------------------	-------	---

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.2.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.24 Granulometría agregado fino localidad San José De Charaja**

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% que pasa	Especificación	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	49,00	49,00	4,90	<b>95,10</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	307,93	356,93	35,69	<b>64,31</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	385,00	741,93	74,19	<b>25,81</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	174,80	916,73	91,67	<b>8,33</b>	2,00	10,00
Nº200	0,01	56,21	972,94	97,29	<b>2,71</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	19,30	992,24	99,22	<b>0,78</b>		
SUMA		992,24					
PÉRDIDAS		7,76					
MF =		<b>3,04</b>					



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.25 Características físicas agregado fino localidad San José De Charaja**

Peso específico	2,18	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,65	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,80	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	91,48	%

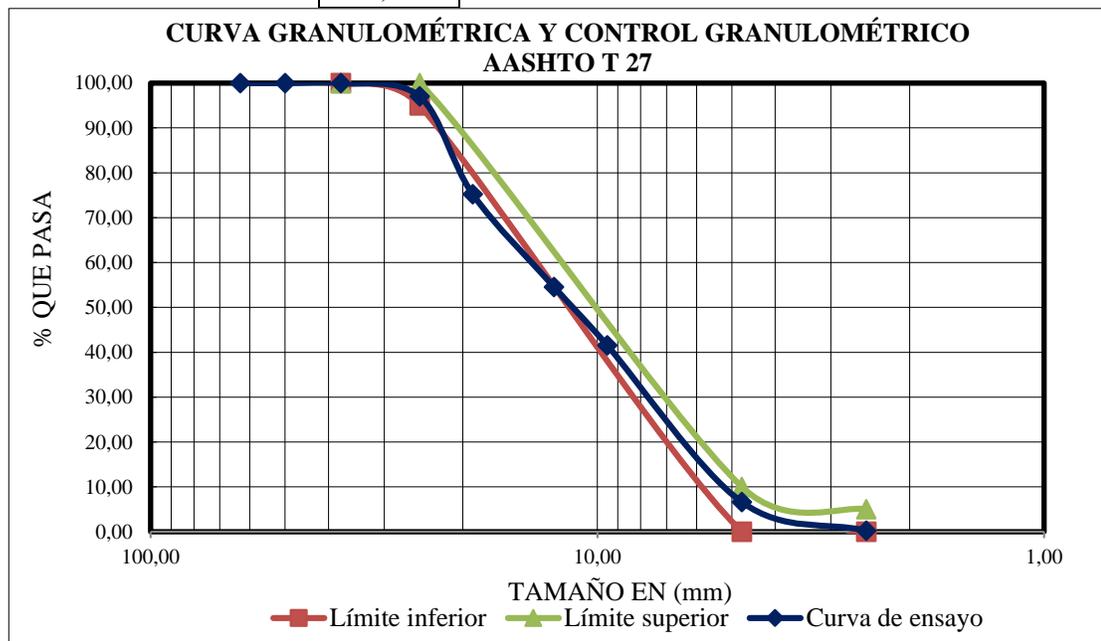
**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.3. San Mateo

#### 3.5.3.1. Características físicas del agregado grueso

**Tabla 3.26 Granulometría agregado grueso localidad San Mateo**

Peso Total (gr.) =			16000		% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. ASTM			
Tamices	Tamaño (mm)	Peso Ret. (gr)	Retenido Acumulado (gr)	(%)					
2 1/2"	63,00	0,00	0,00	0,00	100,00				
2"	50,00	0,00	0,00	0,00	100,00				
1 1/2"	37,50	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00		
1"	25,00	477,90	477,90	2,99	97,01	95,00	100,00		
3/4"	19,00	3490,00	3967,90	24,80	75,20	-	-		
1/2"	12,50	3301,50	7269,40	45,43	54,57	-	-		
3/8"	9,50	2087,60	9357,00	58,48	41,52	-	-		
Nº4	4,75	5585,10	14942,10	93,39	6,61	0,00	10,00		
Nº8	2,50	1020,40	15962,50	99,77	0,23	0,00	5,00		
BASE	0,00	36,70	14978,80	93,62	0,00				
SUMA =		15999,20	TAMAÑO MAX = 1"						
PÉRDIDAS =		0,80							
MF =		6,77							



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.27 Características físicas agregado grueso localidad San Mateo**

Peso específico	2,59	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,44	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,52	gr/cm <sup>3</sup>

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.3.2. Características mecánicas

**Tabla 3.28 Característica mecánica localidad San Mateo**

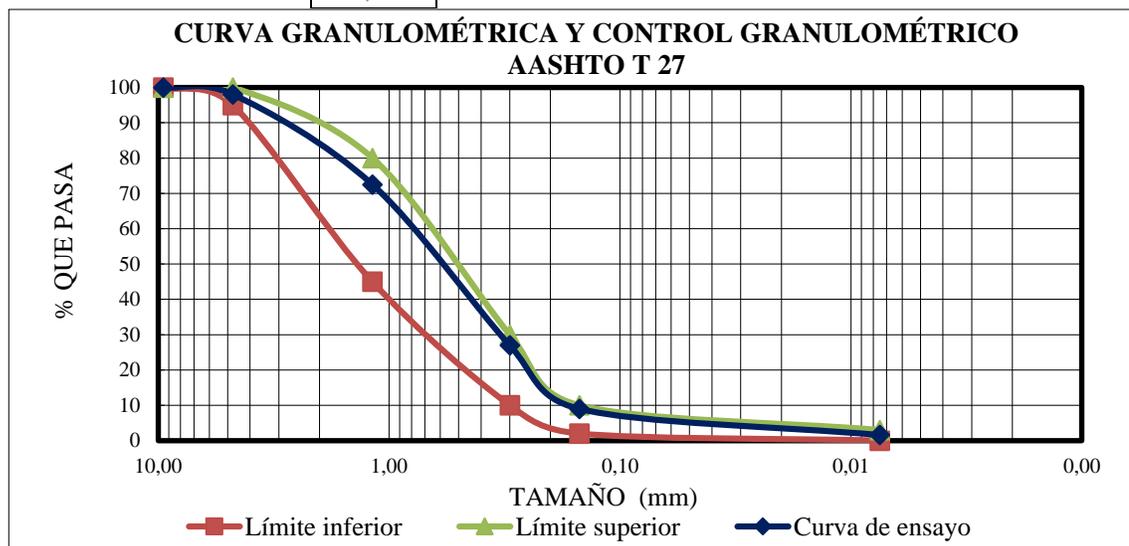
Desgaste de los ángeles	28,02	%
-------------------------	-------	---

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.5.3.3. Características físicas del agregado fino

**Tabla 3.29 Granulometría agregado fino localidad San Mateo**

Peso Total (gr.)		1000					
Tamices	tamaño	Peso Ret.	Retenido Acumulado		% que pasa	Especificación	
	(mm)	(gr)	(gr)	(%)	del total	ASTM C-33	
3/8"	9,50	0,00	0,00	0,00	<b>100,00</b>	100,00	100,00
Nº4	4,75	20,00	20,00	2,00	<b>98,00</b>	95,00	100,00
Nº16	1,18	255,00	275,00	27,50	<b>72,50</b>	45,00	80,00
Nº50	0,30	455,00	730,00	73,00	<b>27,00</b>	10,00	30,00
Nº100	0,15	180,00	910,00	91,00	<b>9,00</b>	2,00	10,00
Nº200	0,075	74,00	984,00	98,40	<b>1,60</b>	0,00	3,00
BASE	0,00	15,00	999,00	99,90	<b>0,10</b>		
<b>SUMA</b>		999,00					
<b>PÉRDIDAS</b>		1,00					
<b>MF =</b>		<b>2,92</b>					



**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3.30 Características físicas agregado fino localidad San Mateo**

Peso específico	2,32	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1,73	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1,83	gr/cm <sup>3</sup>
Equivalente de arena	97,05	%

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.6. DOSIFICACIÓN

El diseño de mezcla se calculó mediante el Método ACI 211 ver anexo 3 para obtener los valores del diseño de la mezcla que se partió por una resistencia de diseño específica a la compresión  $F_{ck}'=280 \text{ kg/cm}^2$  para obtener una resistencia mínima a flexión de  $40 \text{ kg/cm}^2$  con un cemento IP30 y con una resistencia de diseño específica compresión  $F_{ck}'=450 \text{ kg/cm}^2$  para obtener una resistencia mínima a flexión de  $45 \text{ kg/cm}^2$  con un cemento IP40 y un asentamiento de 35 mm con una relación de agua/cemento de 0,40.

La dosificación implica establecer las proporciones apropiadas de los materiales que componen el hormigón, a fin de obtener la resistencia y durabilidad requeridas. Seleccionando una muestra del agregado fino y grueso junto con el Cemento fancesa.

#### 3.6.1. Determinación de proporciones con IP 30

Se procedió a elaborar las proporciones seleccionando las muestras naturales y artificiales de los diferentes lugares obtenidos seleccionando la muestra de agregado fino, agregado grueso junto con el cemento IP 30 (Fancesa) y el agua.

**Tabla 3.31 Pesos secos por  $1\text{m}^3$  de hormigón con IP30**

Materiales	Naturales			Artificiales		
	San Luis	Pintada	San Blas	Charaja	Santa Ana	San Mateo
<b>Cemento</b>	380,00	380,00	380,00	490,00	416,00	450,00
<b>Agua</b>	152,00	152,00	152,00	196,00	166,40	180,00
<b>Grava</b>	1059,06	1065,74	1128,21	899,57	1040,59	1001,04
<b>Arena</b>	599,73	704,76	649,69	634,43	674,10	651,05

**Fuente: Elaboración propia**

#### 3.6.2. Determinación de proporciones con IP40

Se procedió a elaborar las proporciones seleccionando las muestras naturales y artificiales de los diferentes lugares obtenidos seleccionando la muestra de agregado fino, agregado grueso junto con el cemento IP 40 (Fancesa) y el agua.

**Tabla 3.32 Pesos secos por 1m<sup>3</sup> de hormigón con IP40**

Materiales	Naturales			Artificiales		
	San Luis	Pintada	San Blas	Charaja	Santa Ana	San Mateo
<b>Cemento</b>	380,00	380,000	380,00	490,00	416,00	450,00
<b>Agua</b>	152,00	152,000	152,00	196,00	166,40	180,00
<b>Grava</b>	1059,06	1065,741	1128,21	899,57	1040,59	1001,04
<b>Arena</b>	609,19	716,046	660,84	648,20	686,73	664,55

**Fuente: Elaboración propia**

### 3.6.3. Elaboración de mezclas

La elaboración de la mezcla se lo realizó en una mezcladora previamente humedecida y encendida se colocó la grava la arena, una parte del agua de mezclado, y dejando mezclar por unos segundos para posteriormente colocar el cemento y el resto de agua de mezclado; se mezcló alrededor de 4 a 5 minutos, después de haber colocado la totalidad del agua.

El mezclado del concreto tiene por finalidad cubrir la superficie de los agregados con la pasta de cemento, produciendo una masa homogénea.

**Fotografía 3.21 Bandejas con los materiales pesados para la mezcla según la dosificación de diseño**



**Fotografía 3.22 Mezclado del hormigón**



#### **3.6.4. Preparación de probetas**

Se colocó los moldes en una superficie plana, rígida y horizontal.

Se observó que los moldes estén limpios y se aplicó aceite en la superficie para desmoldar con facilidad.

Las herramientas que se usaron para la manipulación del concreto se humedecieron.

Posteriormente se procedió al colocado del hormigón en los moldes, se llenó la primera capa con el hormigón aproximadamente la tercera parte del molde, y se compactó con la varilla lisa 25 veces “chuzeadas” en forma helicoidal, luego con la ayuda de un combo de goma se golpeó 12 veces alrededor del molde, para liberar las burbujas de aire, de esa manera se procedió a llenar la segunda y tercera capa, realizando lo mismo que la primera; finalmente se enrasó con la plancha metálica.

Después de su elaboración se almacenó; después de 24 horas se procedió a desmoldar para luego colocar los especímenes a un curado.

**Fotografía 3.23 Varillado**



**Fotografía 3.24 Vibrado con un combo de goma**



### 3.6.5. Preparación de vigas

Para la elaboración de vigas de hormigón, éstas fueron vaciadas en cada molde en tres capas debidamente compactadas con 70 golpes con la varilla lisa y posteriormente golpeadas con un combo de goma por los lados exteriores a fin de eliminar las burbujas de aire presentes durante la elaboración del hormigón.

Después de 24 horas se procedió a desmoldar para luego colocar los especímenes a un curado.

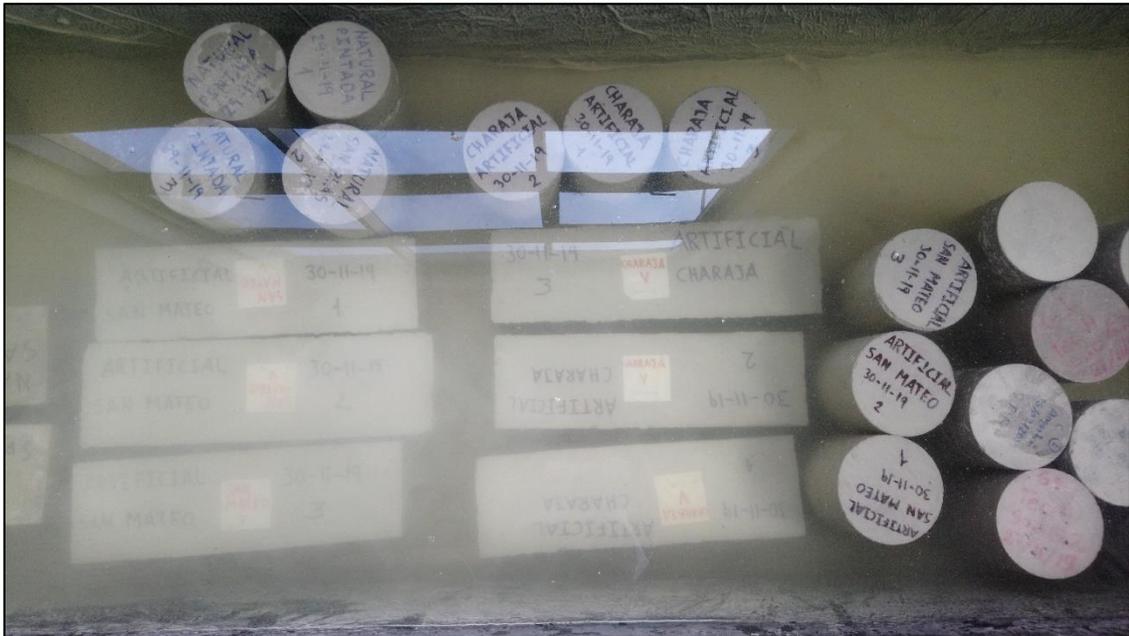
**Fotografía 3.25 Aceiteo a los moldes**



**Fotografía 3.26 Varillado de cada capa**



**Fotografía 3.27 Curado de probetas y vigas**



### **3.6.6. Rotura de probetas**

El ensayo se realizó en el Laboratorio Hormigones de la Facultad de Ingeniería Civil de la UAJMS.

Para dicho ensayo se procede a retirar los especímenes de la piscina de curado y ponerlos a secar en condiciones ambientales.

Con ayuda del flexo se tomaron medidas del diámetro de las probetas, para calcular el área de la sección.

Posterior se colocó las almohadillas de neopreno a la probeta para colocar la muestra en la máquina de compresión de forma centrada hasta completar la rotura.

Una vez falladas las probetas se registraron las cargas máximas ocasionado; para posteriormente proceder a calcular la resistencia.

De esa forma para cada una de las muestras como ser de los naturales y artificiales.

**Fotografía 3.28 Secado de las probetas a temperatura ambiente**



**Fotografía 3.29 Registro de resultados de la rotura de probetas a compresión**



### 3.6.7. Rotura de vigas

Para el Ensayo de Resistencia a la Flexión: se realizaron en el Laboratorio Hormigones de la Facultad de Ingeniería Civil de la UAJMS. Una vez sacado las vigas de concreto de la piscina de curado, se determinó las dimensiones (15 x 15 x 50 cm) de la viga, luego se colocaron las vigas en el aditamento centrándola, posteriormente se acercó la viga a la rótula superior de la máquina, se aplicó carga hasta la falla de la misma.

**Fotografía 3.30 Preparación del espécimen para la rotura**



**Fotografía 3.31 Ingreso de datos para la rotura de viga a flexión**



### 3.7. RESULTADOS DE ASENTAMIENTO DEL HORMIGÓN CON LA UTILIZACIÓN DE LOS AGREGADOS NATURALES Y ARTIFICIALES

Tabla 3.33 Asentamientos del hormigón

Tipo	Naturales			Artificiales		
Lugar	San Luis	Pintada	San Blas	Charaja	Santa Ana	San Mateo
Asentamiento (mm) IP30	10	15	10	20	20	25
Asentamiento (mm) IP40	20	30	20	34	35	25

Fuente: Elaboración propia

### 3.8. RESULTADOS DE RESISTENCIA DE COMPRESIÓN Y FLEXIÓN

Tabla 3.34 Resistencia a compresión y flexión a los 28 días con la utilización de agregados naturales y artificiales

Tipo	Lugar	Ensayo	IP30			Prom	IP40			Prom
			Número de muestra				Número de muestra			
			1	2	3		1	2	3	
Naturales (kg/cm <sup>2</sup> )	San Luis	Compresión	299,31	297,28	300,90	<b>299,17</b>	485,44	487,93	488,96	<b>487,44</b>
		Flexión	47,09	51,56	46,89	<b>48,51</b>	53,04	52,22	54,26	<b>53,18</b>
	Pintada	Compresión	280,89	287,46	283,21	<b>283,85</b>	485,62	479,32	480,71	<b>481,88</b>
		Flexión	44,09	41,54	49,38	<b>45,00</b>	50,86	49,78	50,32	<b>50,32</b>
	San Blas	Compresión	279,90	280,26	279,81	<b>279,99</b>	465,11	468,06	457,90	<b>463,69</b>
		Flexión	41,33	42,81	41,97	<b>42,04</b>	47,06	47,33	46,51	<b>46,97</b>
Artificiales (kg/cm <sup>2</sup> )	Charaja	Compresión	353,17	355,14	351,72	<b>353,34</b>	514,66	519,86	517,26	<b>517,26</b>
		Flexión	61,89	59,35	63,58	<b>61,61</b>	67,86	68,00	70,58	<b>68,82</b>
	Santa Ana	Compresión	307,89	307,52	311,04	<b>308,81</b>	510,68	509,29	508,72	<b>509,56</b>
		Flexión	56,17	52,35	60,62	<b>56,38</b>	66,10	62,83	65,42	<b>64,78</b>
	San Mateo	Compresión	299,72	301,62	304,60	<b>301,98</b>	499,24	504,44	502,13	<b>501,94</b>
		Flexión	51,29	54,81	51,29	<b>52,46</b>	57,12	58,48	58,21	<b>57,94</b>

Fuente: Elaboración propia

**CAPÍTULO IV**  
**ANÁLISIS DE**  
**RESULTADOS**

## CAPÍTULO IV

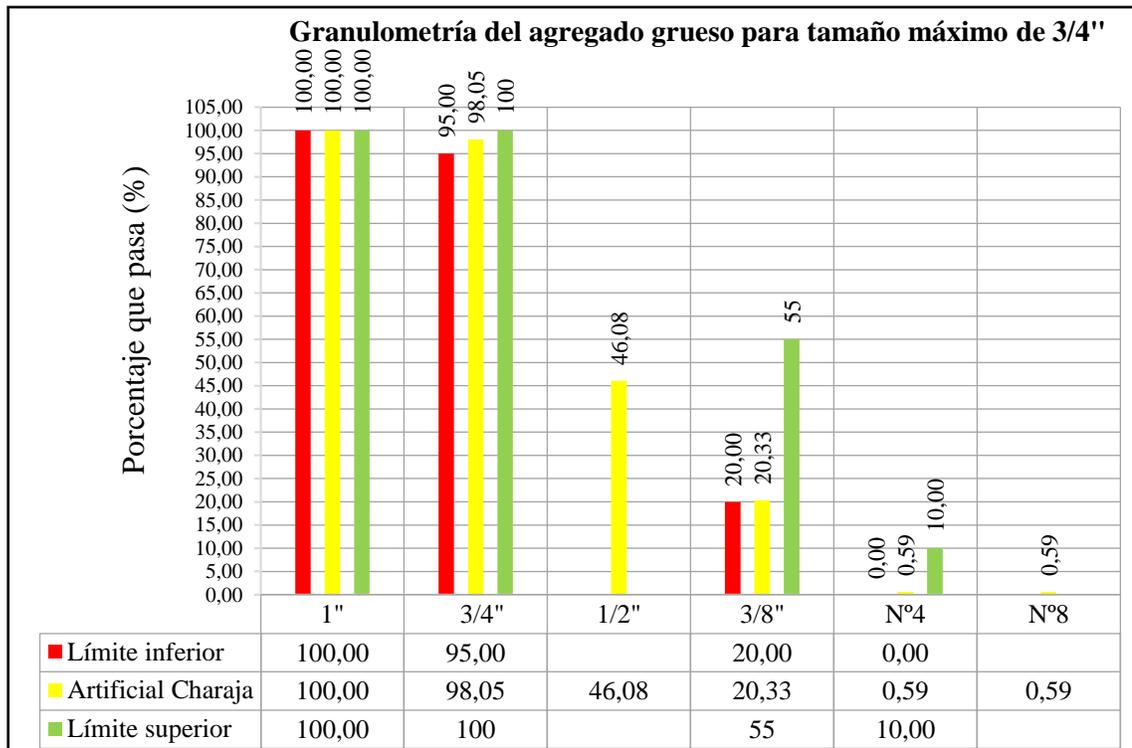
### ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizó el análisis y la evaluación de los resultados que se obtuvo de los ensayos realizados en el laboratorio, sobre la caracterización de los tipos de agregados naturales y artificiales para el hormigón en estado fresco y endurecido.

#### 4.1. EVALUACIÓN DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS NATURALES Y ARTIFICIALES

Como se puede observar en el capítulo anterior que la granulometría en general de las diferentes muestras de agregados artificiales y naturales está dentro del rango establecido de las especificaciones de la ASTM C-33.

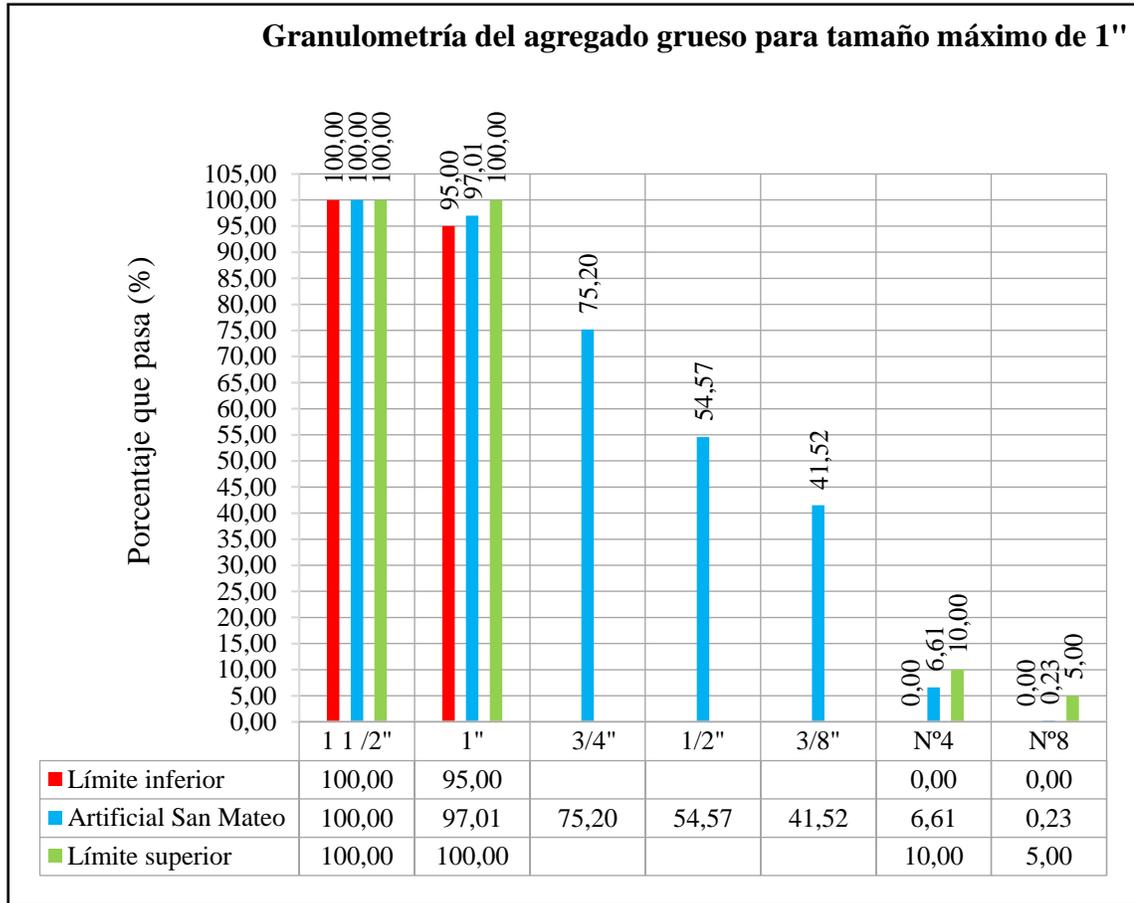
**Gráfica 4.1 Comportamiento granulométrico del agregado grueso de Charaja**



**Fuente: Elaboración propia**

En la gráfica 4.1 muestra los porcentajes que pasa del total de la muestra para el agregado grueso artificial de Charaja, de un tamaño máximo requerido de 3/4" donde se puede ver que los porcentajes que pasan los tamices 1", 3/4", 1/2", 3/8" N°4, cumplen con los límites granulométricos encontrándose toda la granulometría más próxima al límite inferior.

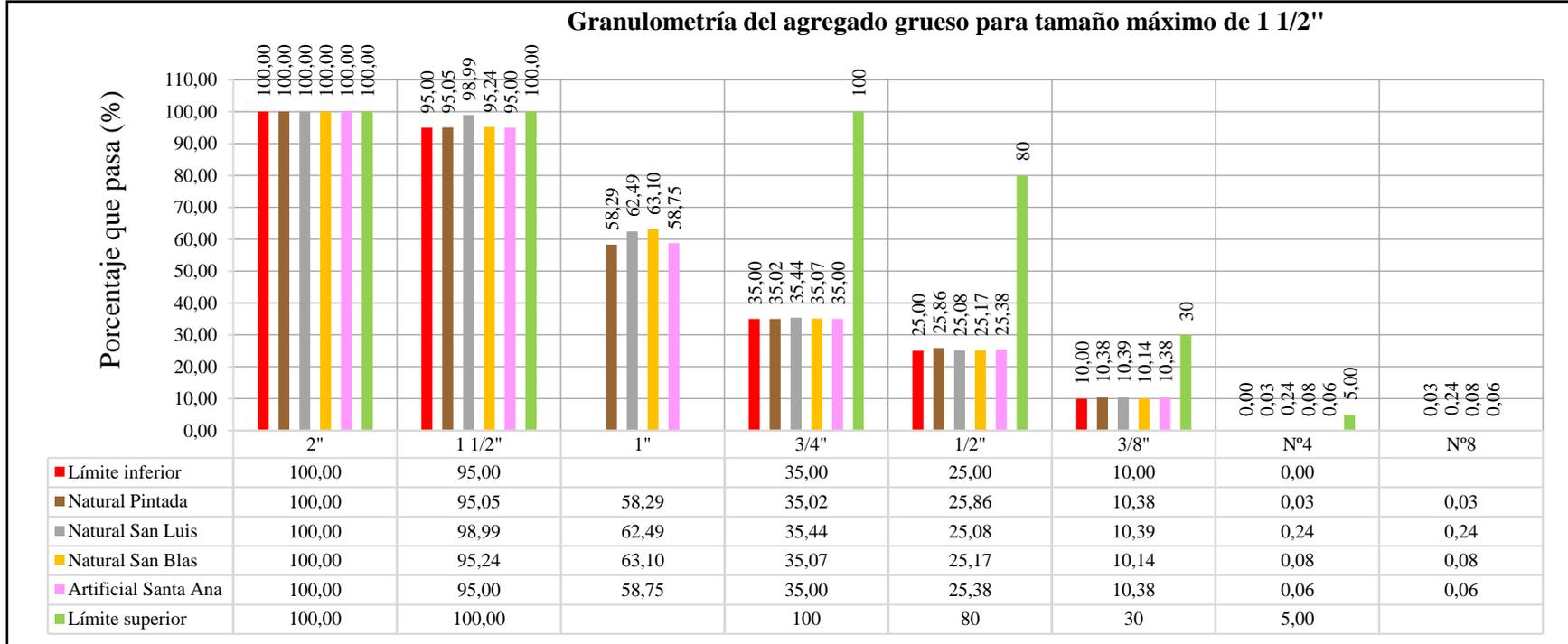
**Gráfica 4.2 Comportamiento granulométrico del agregado grueso de San Mateo**



**Fuente: Elaboración propia**

La gráfica 4.2 expone los porcentajes que pasa del total de la muestra, del agregado grueso artificial de San Mateo, de un tamaño máximo requerido de 1" donde se puede observar que los porcentajes que pasan los tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" N°4, cumplen con los límites granulométricos encontrándose a la mitad de los límites de control.

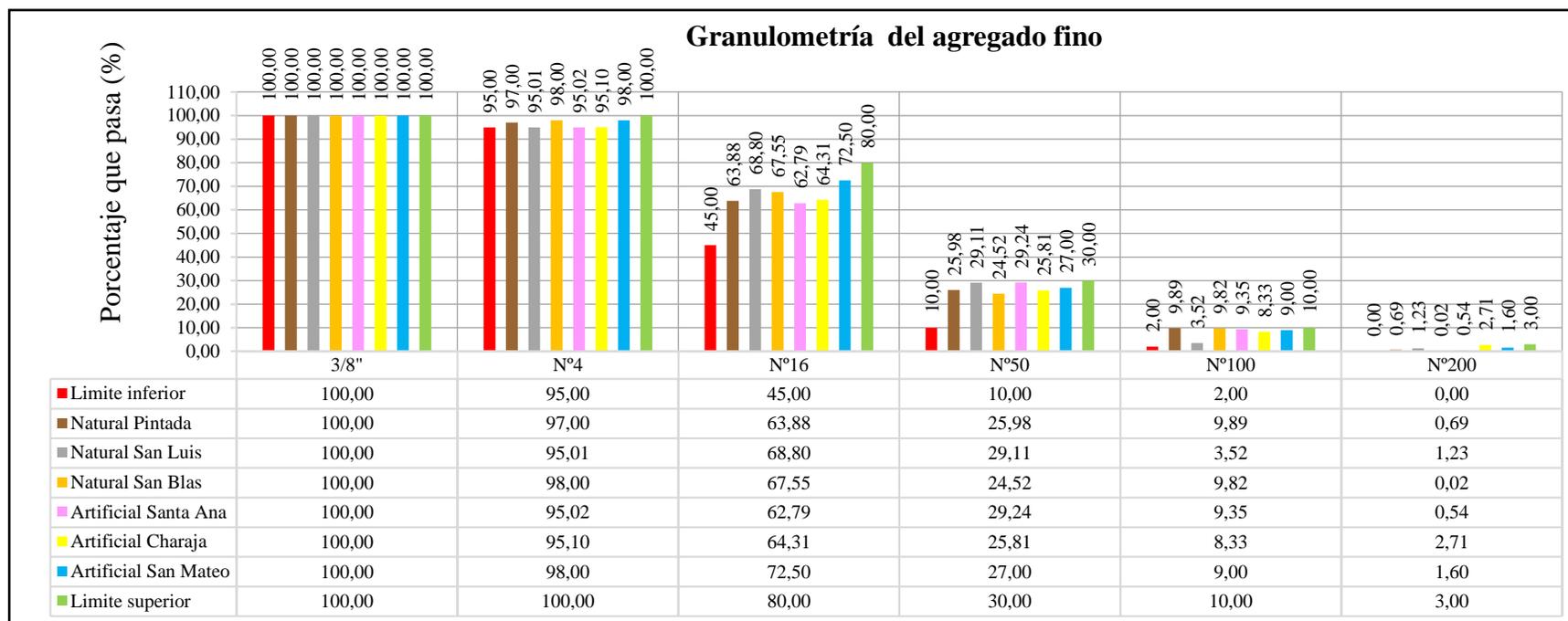
**Gráfica 4.3 Comparación del comportamiento granulométrico del agregado grueso**



**Fuente: Elaboración propia**

La gráfica 4.3 enseña a todos los porcentajes que pasan del total de la muestra del agregado grueso; adquiridas de los diferentes lugares natural y artificial de un tamaño máximo requerido de 1 1/2". Donde se aprecia que los porcentajes que pasan los tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" N°4, cumplen con los límites granulométricos encontrándose toda la granulometría más próxima al límite inferior teniendo un similar comportamiento granulométrico todas las muestras de los lugares extraídos.

**Gráfica 4.4 Comparación del comportamiento granulométrico del agregado fino**



**Fuente: Elaboración propia**

De gráfica 4.4 presenta a todos los porcentajes que pasa del total de la muestra del agregado fino natural y artificial; adquiridas de los diferentes lugares, donde se observa que los porcentajes que pasan los tamices 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°100, tienen un comportamiento adecuado cumpliendo con los límites granulométricos para el agregado fino encontrándose la mayoría en el medio del rango de valores.

El porcentaje que pasa el tamiz N°50 y tamiz N°100 todos sus valores se encuentran más próximos al límite superior, excepto el lugar de San Luis del tamiz N°100 se encuentra más cerca al límite inferior con 3.92%.

#### 4.2. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL MÓDULO DE FINURA

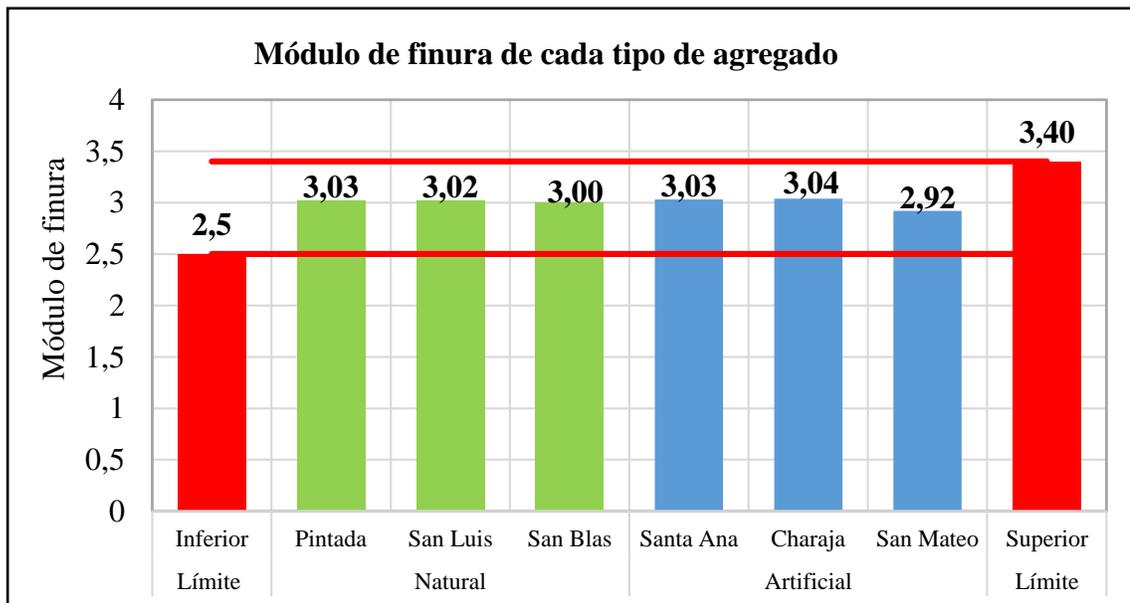
El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de hormigón, deberá estar entre 2,5 y 3,4 para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina; cuando la arena es muy gruesa se tienen mezclas ásperas.

**Tabla 4.1 Valores de módulo de finura natural y artificial**

Tipo	Natural			Artificial		
Lugar	Pintada	San Luis	San Blas	Santa Ana	Charaja	San Mateo
Módulo de finura	3,03	3,02	3,00	3,03	3,04	2,92

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.5 Módulo de finura de cada tipo de agregado (natural y artificial)**



Fuente: Elaboración propia

Como se observa de la gráfica 4.5 ambos tipos de agregado natural y artificial cumplen con las especificaciones encontrándose en el rango de valores; también se aprecia que el agregado de San Mateo tiene el menor módulo de finura con 2,92 a comparación al resto de los demás lugares.

### 4.3. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL EQUIVALENTE DE ARENA

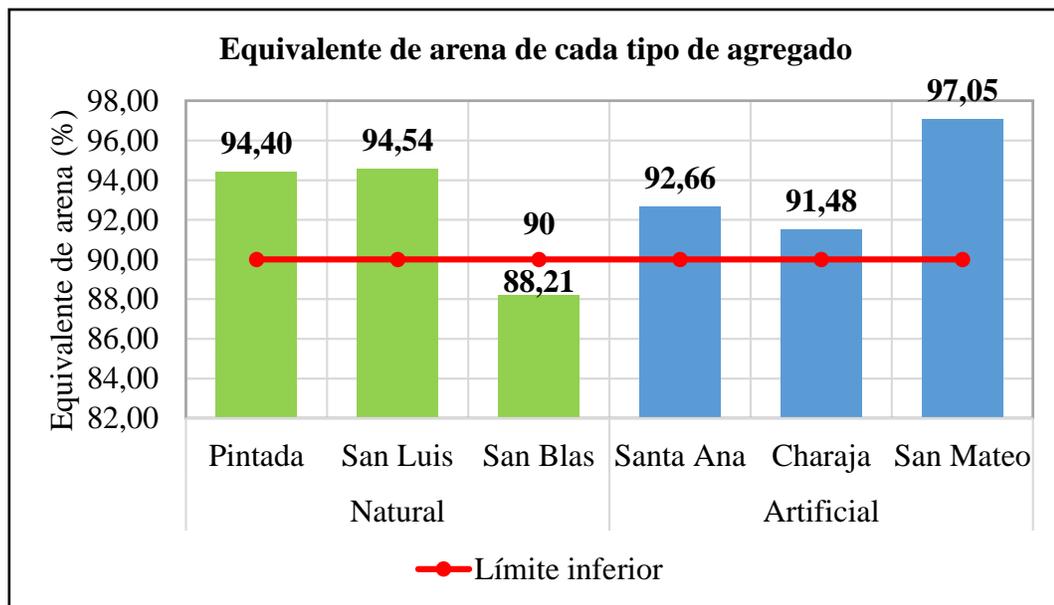
Se considera que una arena tiene una excelente calidad si tiene un equivalente superior al 90%.

**Tabla 4.2 Valores del equivalente de arena natural y artificial**

Tipo	Natural			Artificial		
Lugar	Pintada	San Luis	San Blas	Santa Ana	Charaja	San Mateo
Equivalente de arena %	94,40	94,54	88,21	92,66	91,48	97,05

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.6 Equivalente de arena de cada tipo de arena (natural y artificial)**



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la gráfica 4.6 ambos tipos de agregado cumplen con lo especificado, excepto el tipo de agregado natural de la localidad de San Blas el cual obtuvo un 88,21% que se puede considerar como arena, lo que significa que un 11,79% se lo considera limo o arcilla.

Teniendo como la mejor arena en lo que se refiere de los naturales al lugar de San Luis con 94,54% y por parte de los artificiales tenemos del lugar de San Mateo con 97,05% el cual tendría, menos contaminación por limo o arcilla.

#### 4.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA ABRASIÓN

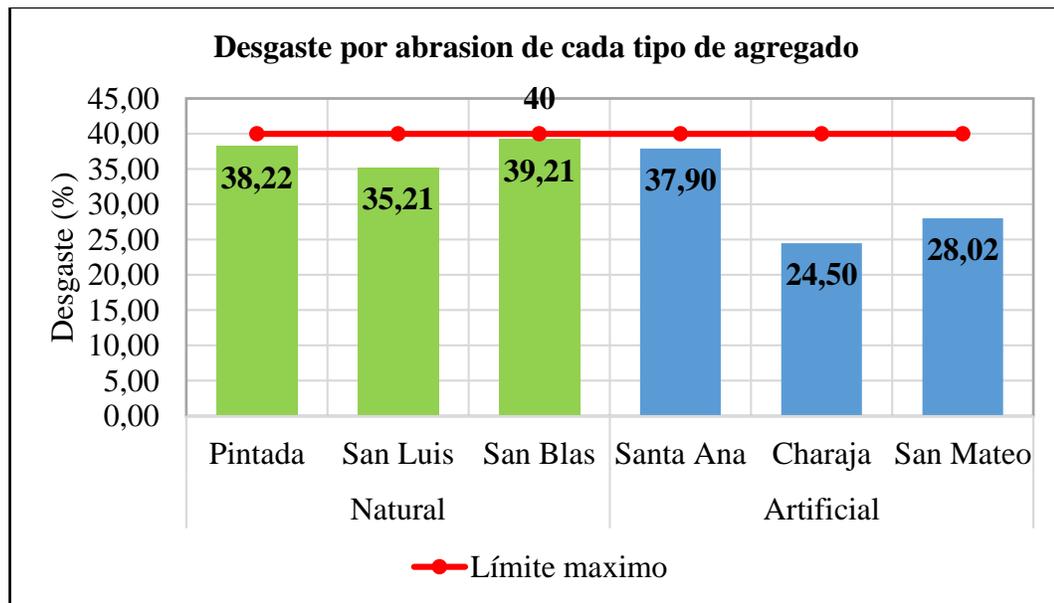
El agregado grueso ensayado a desgaste no deberá mostrar una pérdida mayor del 40%, si fuera el caso, podrá usarse siempre y cuando produzca resistencias satisfactorias en el hormigón.

**Tabla 4.3 Valores del porcentaje al desgaste de los agregados natural y artificial**

Tipo	Natural			Artificial		
Lugar	Pintada	San Luis	San Blas	Santa Ana	Charaja	San Mateo
Desgaste %	38,22	35,21	39,21	37,90	24,50	28,02

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.7 Desgaste por abrasión de cada tipo de agregado (natural y artificial)**



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.7 se percibe que ambos tipos de agregados (natural y artificial) cumplen con la especificación, de no tener una pérdida mayor al 40%, pero los agregados artificiales tienen mayor resistencia al desgaste a comparación de los naturales.

La grava con el porcentaje más alto al desgaste fue el agregado natural de San Blas siendo uno de los valores con menor resistencia al desgaste este se encuentra al límite con 39,21% de desgaste y la grava con mayor resistencia al desgaste siendo el agregado artificial de Charaja con tan solo el 24,50% de desgaste y por parte de los naturales se encuentra el de San Luis con 35,21% de desgaste.

#### 4.5. EVALUACIÓN DEL CONSUMO DE CEMENTO

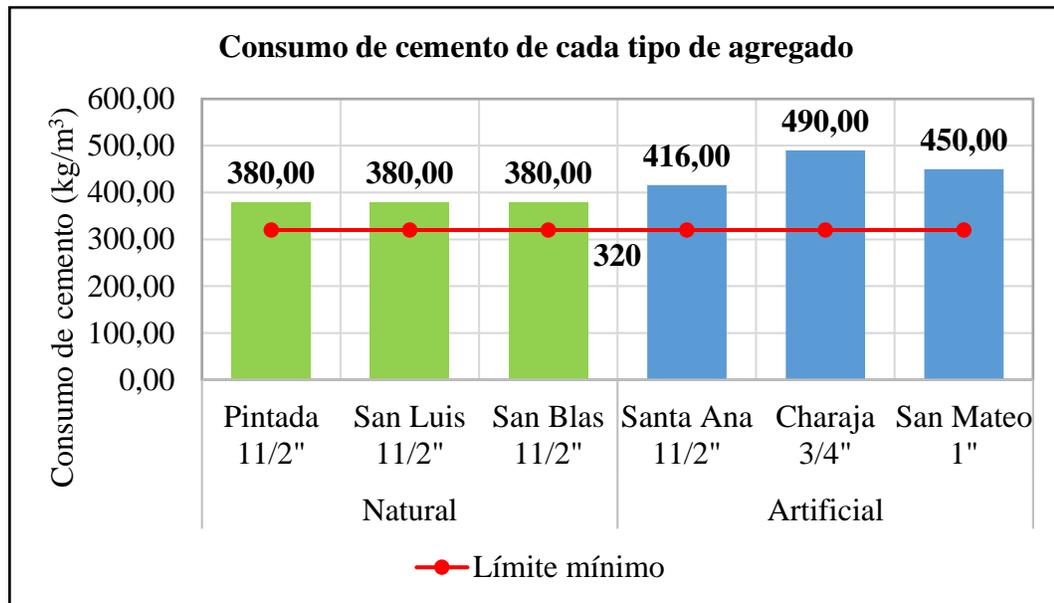
El consumo mínimo de cemento  $C_{min} = 320 \text{ Kg/m}^3$ .

**Tabla 4.4 Valores del consumo de cemento IP30 e IP40**

Tipo	Natural			Artificial		
Lugar	Pintada	San Luis	San Blas	Santa Ana	Charaja	San Mateo
Cemento (kg/m <sup>3</sup> )	380,00	380,00	380,00	416,00	490,00	450,00
Tamaño máximo	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	1 1/2"	3/4"	1"

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.8 Consumo de cemento de cada tipo de agregado (natural y artificial)**



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 4.8 se observa que los valores de consumo de cemento que se requirió para la mezcla de hormigón; se puede ver que todos cumplen con el requisito de consumo mínimo de cemento el cual en nuestro caso se obtuvo el mismo consumo de cemento para el IP30 y para el IP40 a su vez también se puede observar que los hormigones utilizados con agregados artificiales requieren mayor consumo de cemento a comparación de los naturales debido a su forma angular que tienen los agregados artificiales, también tiene una gran influencia el tamaño máximo del agregado ya que al ser más pequeño el agregado requiere un consumo mayor de cemento.

#### 4.6. EVALUACIÓN DEL ASENTAMIENTO

Una forma de control es en el estado fresco, donde el revenimiento para hormigón con formaletas está entre 2,5 a 5 cm y el revenimiento para hormigón con pavimentadora deslizante entre 1,0 a 4,0 cm.

La dosificación fue hecha para 35 mm de asentamiento ver anexo 3 tabla 2 de dosificación.

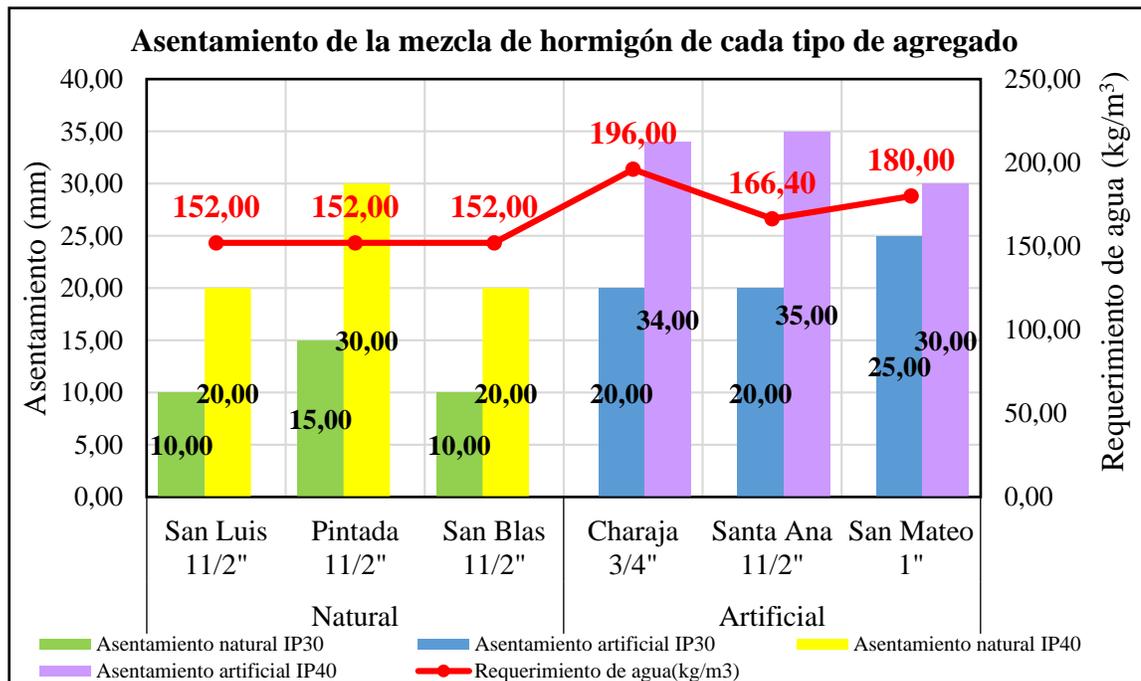
En la siguiente tabla se muestra el asentamiento medido durante el proceso de preparación de la mezcla.

**Tabla 4.5 Evaluación de los asentamientos naturales y artificiales**

Tipo	Natural			Artificial		
Lugar	San Luis	Pintada	San Blas	Charaja	Santa Ana	San Mateo
Asentamiento (mm) IP30	10,00	15,00	10,00	20,00	20,00	25,00
Asentamiento (mm) IP40	20,00	30,00	20,00	34,00	35,00	30,00
Tamaño máximo	11/2"	11/2"	11/2"	3/4"	11/2"	1"
Requerimiento de agua(kg/m <sup>3</sup> )	152,00	152,00	152,00	196,00	166,40	180,00

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.9 Asentamiento y requerimiento de agua del hormigón para cada tipo de agregado**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica anterior se observa que el asentamiento depende del requerimiento de agua y a su vez este depende del tamaño de agregado grueso donde los de menor tamaño máximo obtuvieron un asentamiento mayor, es por eso que los agregados naturales obtuvieron una gráfica lineal por tener todos los agregados naturales el mismo tamaño máximo de agregado, sin dejar de lado también el tipo de agregado ya que al ser agregados artificiales estos requieren mayor requerimiento de agua el cual hace que el asentamiento de los agregados artificiales sea mayor que los naturales.

De acuerdo a los valores obtenidos se puede ver que el asentamiento tuvo una consistencia muy seca, la mezcla con cemento IP30 obtuvo un menor asentamiento que el utilizado con el cemento IP40, pero en general todos están dentro el rango de valores para hormigón con formaletas 2,5 a 5 cm y el revenimiento para hormigón con pavimentadora deslizante entre 1,0 a 4,0 cm.

El cual podemos mencionar, que en general los agregados artificiales requieren más agua a comparación de los naturales por lo cual su asentamiento viene a ser mayor.

#### **4.7. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN**

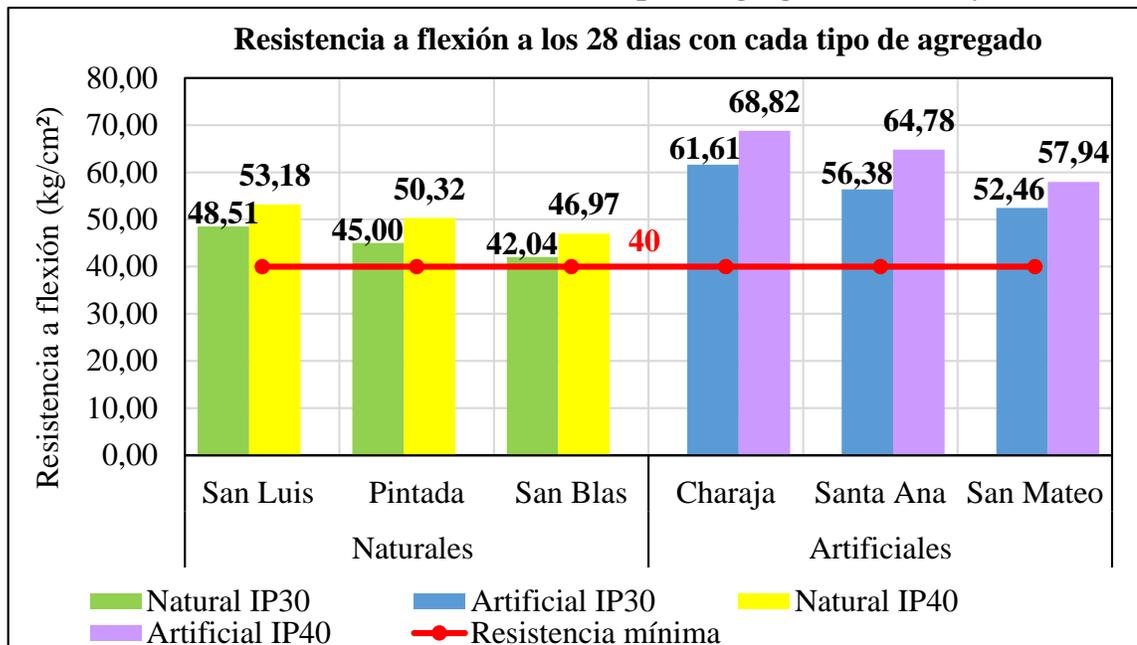
El módulo de rotura o resistencia a flexión es cerca del 10% al 20% de la resistencia a la compresión, en dependencia del tipo, dimensiones, y volumen del agregado grueso utilizado.

**Tabla 4.6 Resumen de resistencias a la flexión de cada tipo de agregado ( natural y artificial)**

<b>Resistencia a Flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>						
<b>Tipo</b>	<b>Naturales</b>			<b>Artificiales</b>		
<b>Lugar</b>	<b>San Luis</b>	<b>Pintada</b>	<b>San Blas</b>	<b>Charaja</b>	<b>Santa Ana</b>	<b>San Mateo</b>
<b>Con IP30</b>	48,51	45,00	42,04	61,61	56,38	52,46
<b>Con IP40</b>	53,18	50,32	46,97	68,82	64,78	57,94

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.10 Resistencia a flexión con cada tipo de agregado (natural y artificial)**



**Fuente: Elaboración propia**

La gráfica 4.10 presenta la resistencia a flexión a los 28 días que se utilizó con el tipo de agregado natural y artificial para cada caso con el cemento IP30 y el IP40 el cual nos muestra que el hormigón con mayor resistencia a flexión con la utilización de agregado natural y cemento IP30 resultó ser del lugar de San Luis con 48,51 kg/cm<sup>2</sup> y con IP40 53,18 kg/cm<sup>2</sup> y el hormigón con mejor resistencia a flexión con la utilización de agregado artificial con un IP30 resultó ser del lugar de San José de Charaja con 61,61 kg/cm<sup>2</sup> el mismo con un IP40 teniendo una resistencia de 68,82 kg/cm<sup>2</sup>.

Los que obtuvieron una baja resistencia en cuanto al agregado artificial es el de la localidad de San Mateo resultó tener una baja resistencia con 52,40 kg/cm<sup>2</sup> utilizando un IP30 y una resistencia de 57,94 kg/cm<sup>2</sup> con un IP40 y el agregado natural de la localidad de San Blas tiene una baja resistencia de 42,04 kg/cm<sup>2</sup> con un IP30 y de 46,97 kg/cm<sup>2</sup> con un IP40.

En general todos cumplen con la resistencia mínima a flexión de 40 kg/cm<sup>2</sup> los que obtuvieron mayor resistencia a flexión, son aquellos que se utilizó el tipo de agregado artificial, también se confirma que el uso de un IP40 los mismos aumenta su resistencia, es así que se puede decir que es mejor utilizar agregados artificiales debido a que tienen mayor resistencia, el cual favorecerá a la duración del pavimento rígido.

**Tabla 4.7 Resistencia de flexión al 10%, 15% y 20% de la resistencia a compresión de diseño con IP30**

Resistencia de diseño específica a la compresión $F_{ck}'$	Porcentaje a flexión de la resistencia a compresión	Resistencia a la flexión $f_{ct,f}$
( $kg/cm^2$ )	(%)	( $kg/cm^2$ )
280,00	10,00	28,00
280,00	15,00	42,00
280,00	20,00	56,00

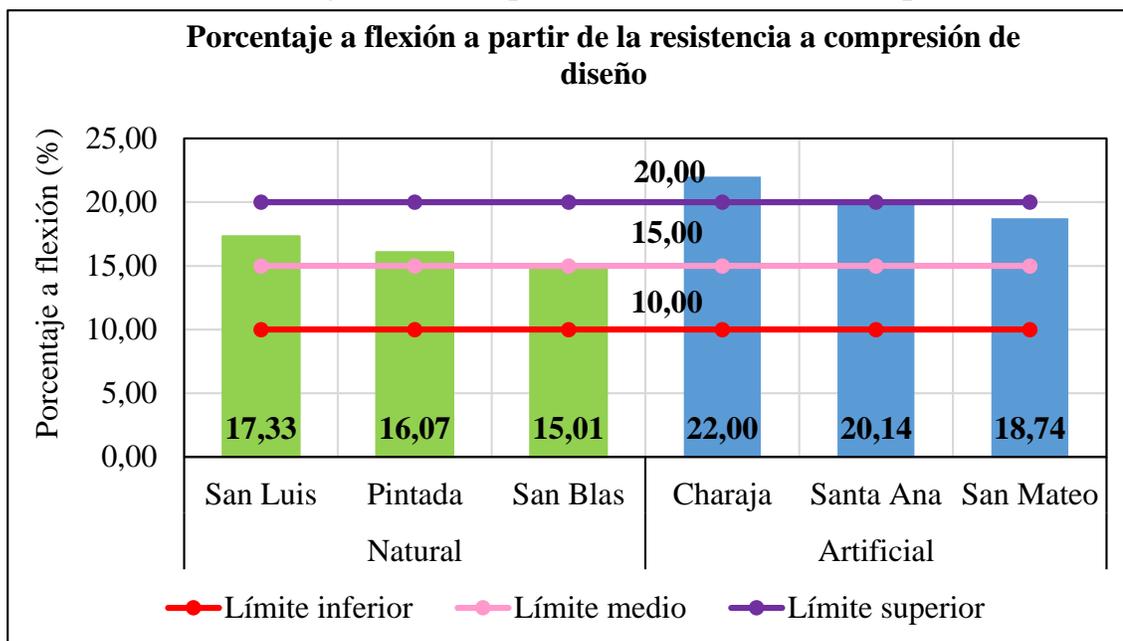
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 4.8 Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño**

Tipo	Lugar	Resistencia a flexión a 28 días ( $f_{ct,f}$ ) ( $kg/cm^2$ )	Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño (%)
Natural	San Luis	48,51	17,33
	Pintada	45,00	16,07
	San Blas	42,04	15,01
Artificial	Charaja	61,61	22,00
	Santa Ana	56,38	20,14
	San Mateo	52,46	18,74

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.11 Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño**



Fuente: Elaboración propia

El diseño de mezcla se partió por una resistencia de diseño específica a la compresión  $F_{ck}'=280 \text{ kg/cm}^2$ , para que se cumpla con la resistencia mínima a flexión de  $40 \text{ kg/cm}^2$  estos deben estar por encima del 15%; del gráfico 4.11 se puede observar que todos los agregados cumplen con la resistencia a flexión, al estar dentro del 15% al 20% de la resistencia a compresión, encontrándose en el límite superior los agregados artificiales del cual obteniendo el mayor porcentaje de la localidad de Charaja con 22,00% y Santa Ana con 20,14% siendo los más resistentes a la flexión; de los naturales el máximo porcentaje lo obtuvo San Luis con 17,33% seguido la localidad de La Pintada con 16,07% encontrándose por encima del límite medio y el más bajo el agregado natural de San Blas con un 15,01% cumpliendo con el límite medio.

**Tabla 4.9 Resistencia de flexión al 10%, 15% y 20% de la resistencia a compresión de diseño con IP40**

<b>Resistencia de diseño específica a la compresión <math>F_{ck}'</math></b>	<b>Porcentaje a flexión de la resistencia a compresión</b>	<b>Resistencia a la flexión <math>f_{ct,f}</math></b>
<b>(<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>	<b>(%)</b>	<b>(<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>
450,00	10,00	45,00
450,00	15,00	67,50
450,00	20,00	90,00

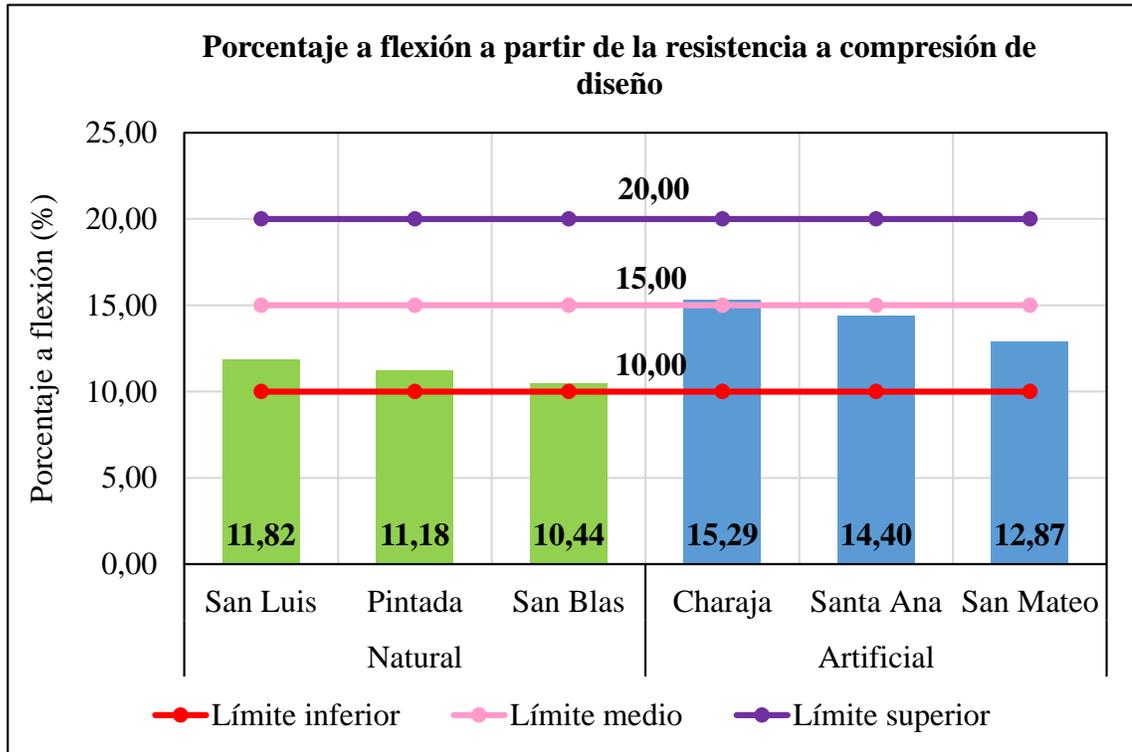
**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 4.10 Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño**

<b>Tipo</b>	<b>Lugar</b>	<b>Resistencia a flexión a 28 días (<math>f_{ct,f}</math>) (<math>\text{kg/cm}^2</math>)</b>	<b>Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño (%)</b>
<b>Natural</b>	<b>San Luis</b>	53,18	11,82
	<b>Pintada</b>	50,32	11,18
	<b>San Blas</b>	46,97	10,44
<b>Artificial</b>	<b>Charaja</b>	68,82	15,29
	<b>Santa Ana</b>	64,78	14,40
	<b>San Mateo</b>	57,94	12,87

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.12 Porcentaje a flexión a partir de la resistencia a compresión de diseño**



**Fuente: Elaboración propia**

El diseño de la mezcla se partió por una resistencia de diseño específica a la compresión  $F_{ck}'=450 \text{ kg/cm}^2$ ; para dar cumplimiento con la resistencia mínima a flexión de  $45 \text{ kg/cm}^2$  estos deben estar por encima del 10%. El gráfico 4.12 se puede observar que todos los agregados cumplen con la resistencia a flexión mínima, al ser superior al 10% de la resistencia a compresión, encontrándose en el límite medio los agregados artificiales de la localidad de Santa Ana con 14,40% y Charaja con 15,29% este último ubicándose por sobre el límite medio siendo los más resistentes a la flexión.

De los naturales el máximo porcentaje lo obtuvo San Luis con 11,82% seguido la localidad de La Pintada con 11,18% encontrándose por encima del límite inferior y la más baja resistencia el agregado natural de San Blas con un 10,44% cumpliendo con el límite inferior.

#### **4.8. EVALUACIÓN DEL Ph DEL AGUA**

El ph del agua que se usará para la mezcla de hormigón debe estar entre los límites de 5,5-8,5.

Se trabajó con agua potable para certificar el mismo se mandó a realizar una prueba de laboratorio en el CEANID donde el resultado de ph salió 7,5 encontrándose en los límites establecidos para su uso. Ver anexo 6.

#### **4.9. INTERPRETACIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS DE LOS TIPOS DE AGREGADOS**

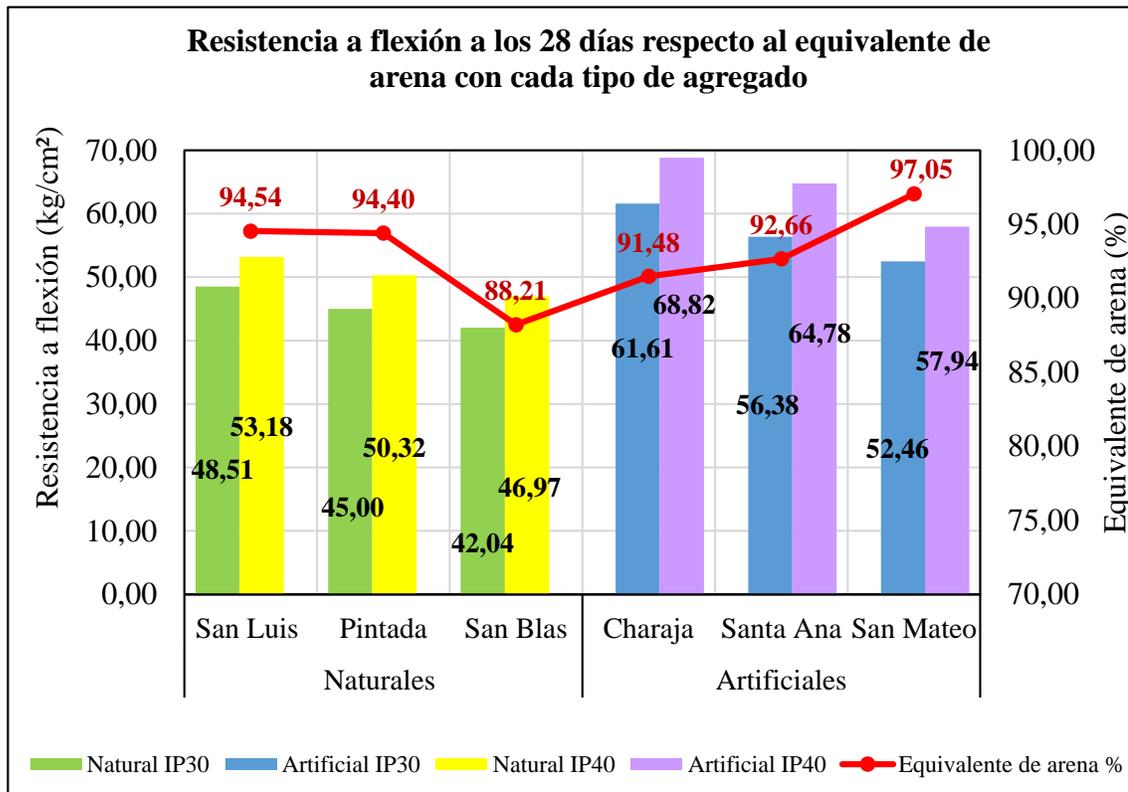
Luego de realizados los ensayos correspondientes y la evaluación de cada tipo de agregado se establece que estos cumplen los criterios y las normas que utiliza el Manual de especificaciones técnicas generales de la construcción ABC. (2011). (Vol. VII para la elaboración de un hormigón para pavimento rígido.

A partir de los ensayos a flexión y compresión, mediante los resultados obtenidos se determina que es de vital importancia el tipo de agregado (natural y artificial) y su procedencia (lugar) del agregado empleado en la mezcla de hormigón para pavimento rígido debido a que influye en la resistencia final, el cual varía su comportamiento en sus propiedades mecánicas, con lo que se verifica la hipótesis del presente trabajo.

Se evaluó la resistencia a la flexión a los 28 días por ser la edad a la que las probetas alcanzan su mayor resistencia como consecuencia de la evaluación de los resultados de la presente investigación, se puede señalar que los agregados artificiales brindan excelentes resultados, siendo los de mayor resistencia, obteniendo los siguientes valores promedios para el cual fueron proyectados sus valores donde los agregados artificiales Charaja con 61,61 kg/cm<sup>2</sup>, Santa Ana con 56,38 kg/cm<sup>2</sup> y San Mateo con 52,46 kg/cm<sup>2</sup> trabajando con un cemento IP30 y obteniendo los siguientes valores promedios aumentado su resistencia de Charaja a 68,82 kg/cm<sup>2</sup> Santa Ana con 64,78 kg/cm<sup>2</sup> y San Mateo con 57,94 kg/cm<sup>2</sup> al trabajar con un cemento IP40.

A continuación, se detalla en gráficas la resistencia a flexión respecto al equivalente de arena, desgaste por abrasión y su requerimiento de agua obtenidos para cada tipo de agregado.

**Gráfica 4.13 Comparación de la resistencia a Flexión respecto al equivalente de arena**



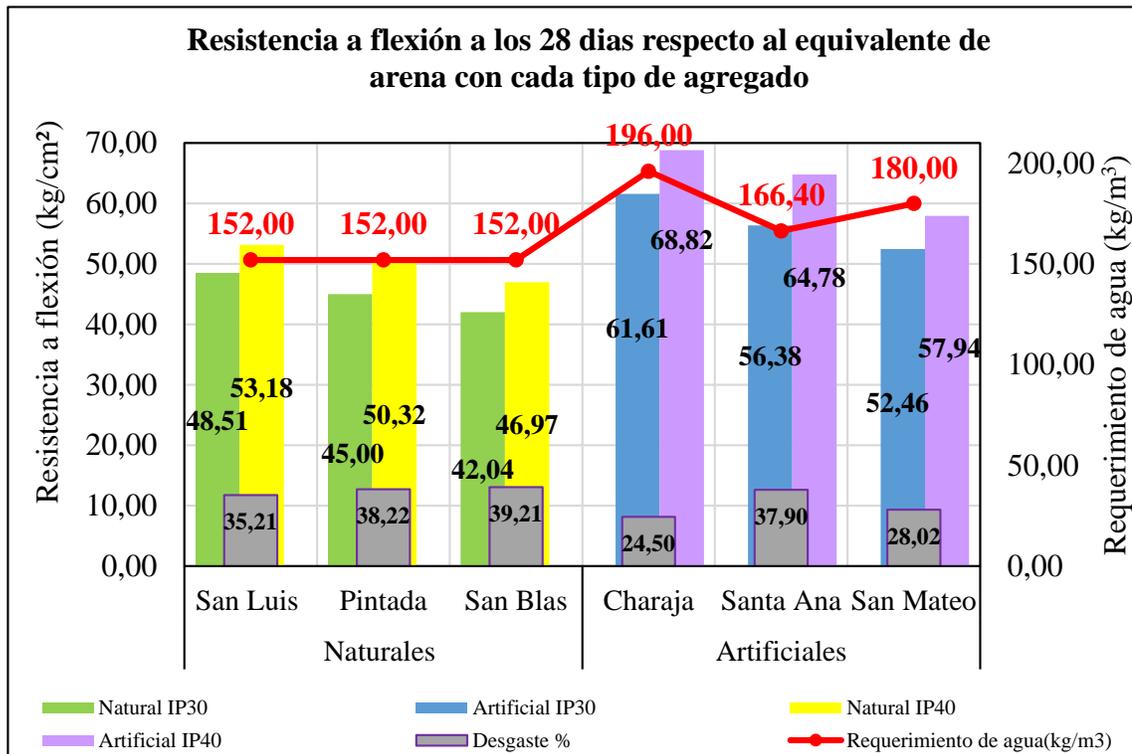
**Fuente: Elaboración propia**

De la gráfica 4.12 se distingue que el equivalente de arena tuvo más influencia en el tipo de agregado natural debido a que su resistencia bajó, respecto al equivalente de arena; dado que la menor resistencia tuvo el lugar de San Blas a razón de su pequeño contenido de equivalente de arena por debajo del 90% a causa del contenido alto de contaminación de limo y arcilla haciendo que su resistencia a flexión sea baja.

El equivalente de arena en los agregados artificiales no tuvo mayor incidencia en la resistencia final a flexión aun cuando la mejor arena resultó de San Mateo, pero la misma no obtuvo la mejor resistencia a flexión al contrario resultó la más baja de los agregados artificiales.

En general los agregados artificiales tuvieron mayor resistencia a pesar de que algunos agregados naturales tenían un mayor equivalente de arena.

**Gráfica 4.14 Comparación de la resistencia a flexión respecto al desgaste y requerimiento de agua**



**Fuente: Elaboración propia**

De la gráfica 4.14 se llega a analizar que el desgaste por abrasión en esta ocasión tuvo un mayor papel en ambos tipos de agregado al tener mayor desgaste la resistencia a flexión resulto baja como el caso del agregado de San Blas obtuvo el mayor desgaste por abrasión y a consecuencia se tuvo una menor resistencia a flexión. Para los agregados artificiales influye el desgaste que obtiene el agregado y el tamaño del agregado. Santa Ana sacó el mayor desgaste de los agregados artificiales, pero su resistencia no fue baja comparada con San Mateo. El cual favoreció en su resistencia en este caso fue el tener un mayor tamaño de agregado, debido a que necesita menor requerimiento de agua a comparación de San Mateo evidenciando que juega un papel importante la cantidad de agua en una mezcla de hormigón independientemente del desgaste por abrasión como Charaja el mismo necesito mayor requerimiento de agua a comparación en contraste de los demás, pero aun así obtuvo la mayor resistencia a flexión debido al bajo desgaste a la abrasión que tiene el agregado de este lugar.

#### 4.10. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESISTENCIA

Después de obtener los resultados de los ensayos de flexión y compresión de las muestras, se realizó un análisis estadístico, para el mismo se utilizó los parámetros de control, de tal manera que se puedan utilizar indicadores estadísticos para el cual se implementó las recomendaciones y los procedimientos estadísticos para el aseguramiento de calidad del hormigón según la tabla de la ACI-214R para establecer el grado de control según la desviación estándar con la siguiente tabla.

**Tabla 4.11 Valores de referencia la desviación estándar para establecer la calidad del hormigón**

<b>S (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Grado de control</b>
<28	Excelente
28 a35	Muy bueno
35 a 42	Bueno
42 a 49	Regular
>49	Pobre

**Fuente: Comité ACI -214R**

Una vez ensayados las probetas de hormigón se determinó la resistencia característica para aquel valor que presenta un grado de confianza del 95%, esto significa que tan solo el 5% de los ensayos puede caer por debajo del valor establecido como resistencia característica o de diseño, es decir, que existe una probabilidad de 95% de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más altos que  $f_{ck}$  mediante el empleo de la estadística básica por el método de Student se obtuvo la resistencia característica de la siguiente manera:

$$f_{ck} = f_{cm} - t_s$$

Donde:

$f_{ck}$  = Resistencia característica (obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras) ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$f_{cm}$  = Resistencia Promedio ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

$t$  = Coeficiente de Student

$s$  = Desviación estándar

Para implementar el plan de aceptación se realizó como parámetro de control de acuerdo a la sección ACI-325,9R-8 y versiones posteriores, se basa que el concreto será considerado satisfactorio si cumple con los siguientes criterios:

- Criterio 1 Recomienda, en su numeral 3.5 que cada promedio aritmético de tres ensayos consecutivos (media móvil) debe ser igual o superior a la resistencia de diseño  $f_{ck}$ . Este criterio es el mismo para la resistencia a la compresión o a flexión.
- Criterio 2 En caso de resistencia a la flexión, ningún valor debe ser menor en  $5 \text{ kg}/\text{cm}^2$   $0.5 \text{ MPa}$  de la resistencia de diseño y en caso de que se haya fijado un valor de resistencia a la compresión, ningún valor puede ser menor en  $35 \text{ kg}/\text{cm}^2$   $3.5 \text{ MPa}$ .

Es importante construir gráficos de promedios móviles cada tres ensayos, los cuales suavizan los gráficos de ensayos individuales de comportamiento del hormigón y permiten tener un mejor criterio del grado de uniformidad que se está alcanzando en obra.

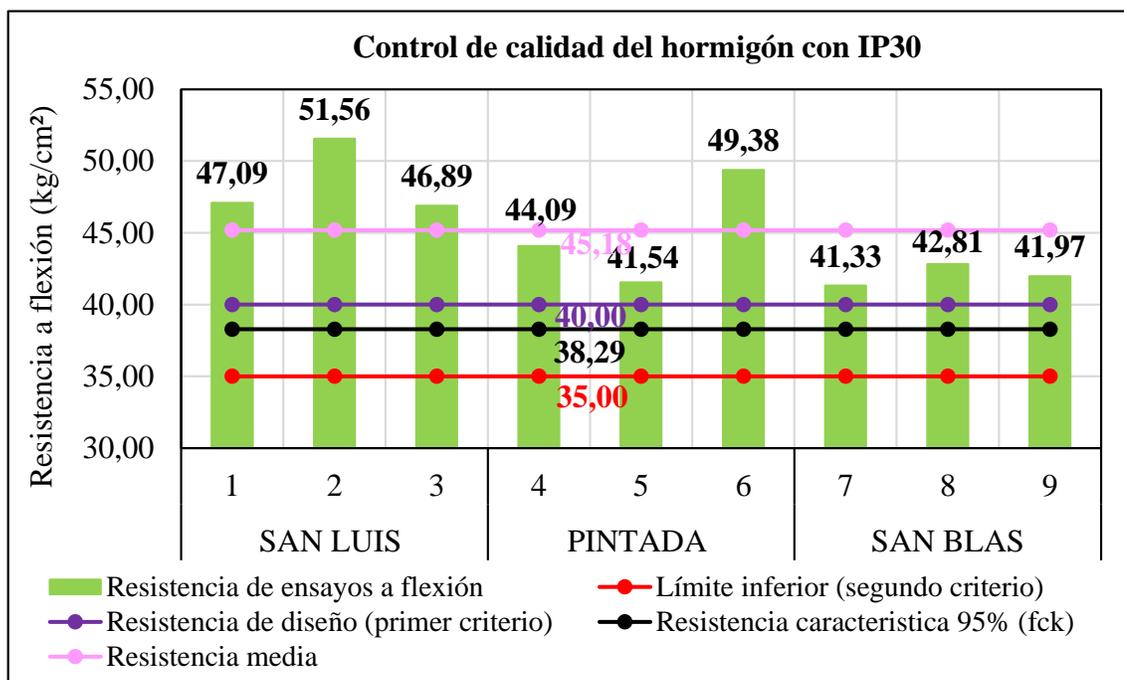
Para el presente análisis no se realizó los promedios móviles debido al poco número de datos no fue necesario suavizar los gráficos.

**Tabla 4.12 Resistencia a flexión con agregados naturales IP 30**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Natural</b>	<b>Resistencia (fct,f )</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>San Luis</b>	<b>1</b>	47,09	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	51,56	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	46,89	Se acepta	Se acepta
<b>Pintada</b>	<b>4</b>	44,09	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	41,54	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	49,38	Se acepta	Se acepta
<b>San Blas</b>	<b>7</b>	41,33	Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	42,81	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	41,97	Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	45,18		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	13,77		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	3,71		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	8,21		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b>α</b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,860		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	38,29		
<b>Resistencia de diseño( fck´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	35,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.15 Análisis estadístico resistencia a flexión con agregados naturales IP30**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.12 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 3.71 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a flexión con el tipo de agredo natural para un H28 y un cemento IP30 el grado de control es excelente según la tabla de la ACI-214R

El gráfico 4.15 se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a flexión aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a flexión son mayores a la resistencia de diseño de 40 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo de esa manera con el primer criterio.

También se da el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, vale decir, nuestros datos cumplen siendo mayores al límite inferior de 35 kg/cm<sup>2</sup>

Se puede ver también el máximo valor de resistencia a flexión de 51.56 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 41,33 kg/cm<sup>2</sup> ambos cumpliendo con los dos criterios este último cumpliendo el segundo criterio al límite.

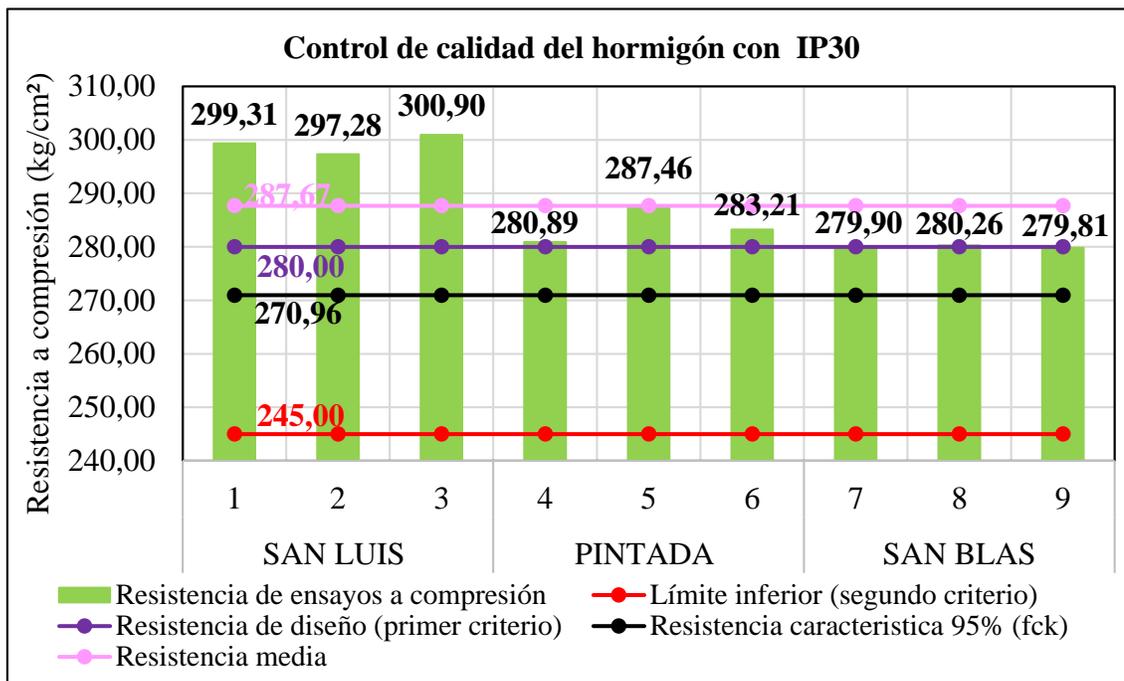
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 38,29 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo este solo con el primer criterio.

**Tabla 4.13 Resistencia a compresión con agregados naturales IP 30**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Natural</b>	<b>Resistencia <math>f_c</math></b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>San Luis</b>	<b>1</b>	299,31	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	297,28	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	300,90	Se acepta	Se acepta
<b>Pintada</b>	<b>4</b>	280,89	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	287,46	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	283,21	Se acepta	Se acepta
<b>San Blas</b>	<b>7</b>	279,90	No Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	280,26	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	279,81	No Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	287,67		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	80,77		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	8,99		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	3,12		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b><math>\alpha</math></b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,860		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	270,96		
<b>Resistencia de diseño ( fck ´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	280,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	245,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.16 Análisis estadístico de resistencia a compresión con agregados naturales IP30**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.16 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 8,99 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a compresión con el tipo de agredo natural para un H28 y un cemento IP30 el grado de control es excelente según la tabla de la ACI-214R por cumplir la desviación estándar menor a 28 kg/cm<sup>2</sup>.

Del gráfico 4.17 se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a compresión aceptan ambos criterios, excepto por algunos datos.

Para cumplir primer criterio se observa que todos los datos a compresión son mayores a la resistencia de diseño de 280 kg/cm<sup>2</sup> excepto el número de muestra 7 con 279,90 kg/cm<sup>2</sup> y la muestra número 9 con 279,81 kg/cm<sup>2</sup>, cumpliendo al límite el primer criterio, pero, por otra parte, los mismo son mayores al límite inferior cumpliendo de ese modo con el segundo criterio.

Para el segundo criterio se observa que todos los datos a compresión dan cumpliendo al mismo, donde ningún valor es menor a 35 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, puesto que, los volares de resistencia de los ensayos a compresión, se aceptan por ser mayor al límite inferior de 245 kg/cm<sup>2</sup>.

Se observa que el máximo valor de resistencia a compresión es de 300,90 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo con ambos criterios y el mínimo de 279,81 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo al límite el primer criterio.

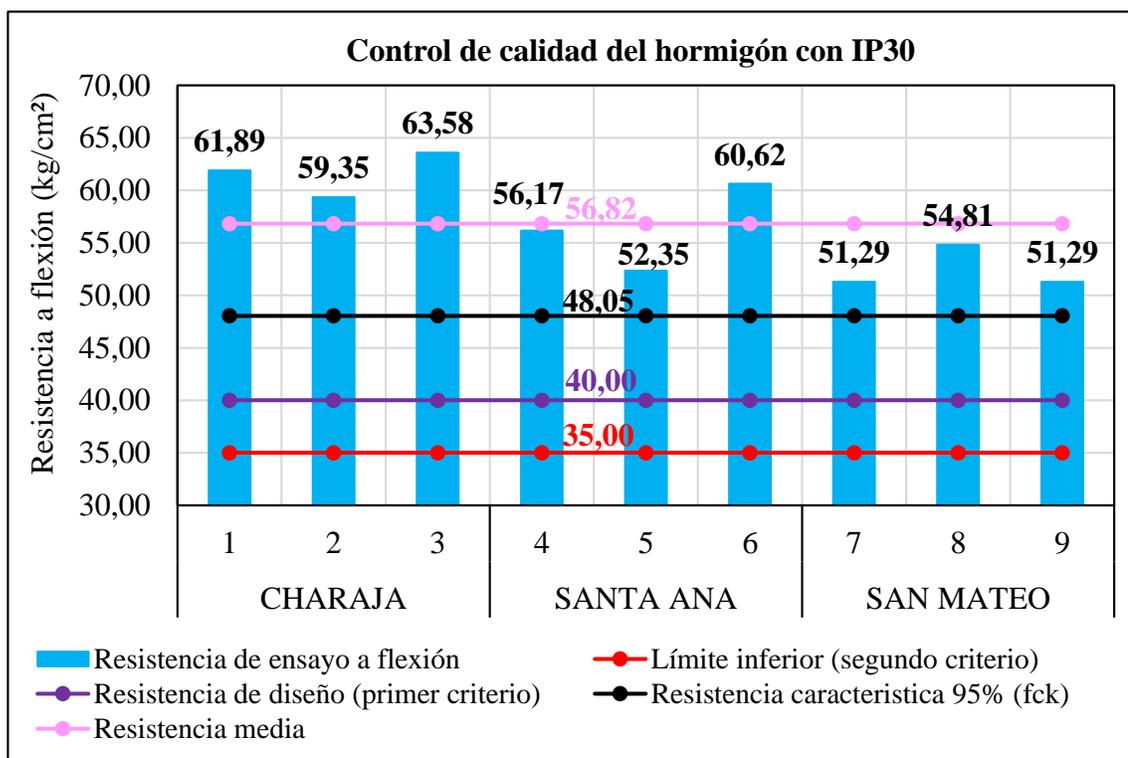
Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos en los ensayos de las muestras es de 270,96 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo solo con el primer criterio.

**Tabla 4.14 Resistencia a flexión con agregados artificiales IP30**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Artificial</b>	<b>Resistencia (fct,f)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Charaja</b>	<b>1</b>	61,89	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	59,35	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	63,58	Se acepta	Se acepta
<b>Santa Ana</b>	<b>4</b>	56,17	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	52,35	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	60,62	Se acepta	Se acepta
<b>San Mateo</b>	<b>7</b>	51,29	Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	54,81	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	51,29	Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	56,82		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	22,23		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4,71		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	8,30		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b>α</b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,860		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	48,05		
<b>Resistencia de diseño( fck´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	35,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.17 Análisis estadístico de resistencia a flexión con agregados artificiales IP30**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.13 el valor de la desviación estándar obtenida de 4,71 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a flexión con el tipo de agredo natural para un H28 y un cemento IP30 el grado de control que se obtiene es excelente según la tabla de la ACI-214R

El gráfico 4.18 se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a flexión cumplen con los dos criterios de aceptación.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a flexión son mayores a la resistencia de diseño de 40 kg/cm<sup>2</sup>; también se da el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, es decir, mayor al límite inferior de 35 kg/cm<sup>2</sup>.

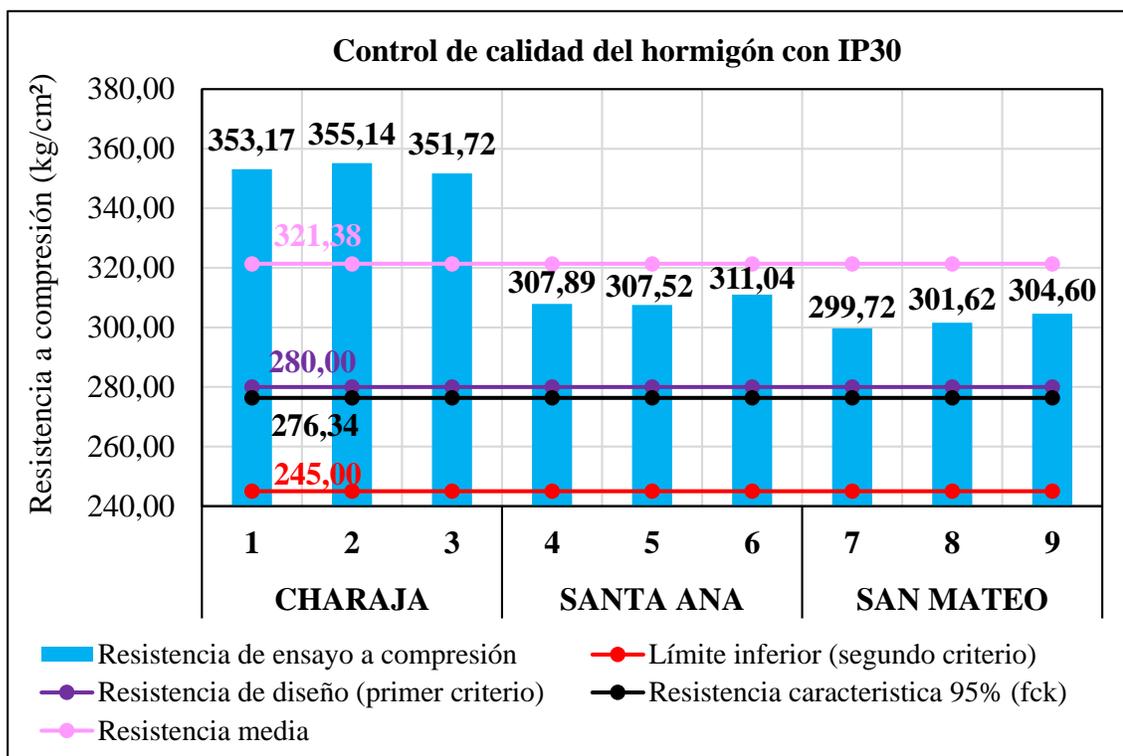
Donde el máximo valor de resistencia a flexión es de 63,58 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 51,29 kg/cm<sup>2</sup> ambos cumpliendo los criterios de aceptación.

**Tabla 4.15 Resistencia a compresión con agregados artificiales IP 30**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Artificial</b>	<b>Resistencia <i>f<sub>c</sub></i></b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Charaja</b>	<b>1</b>	353,17	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	355,14	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	351,72	Se acepta	Se acepta
<b>Santa Ana</b>	<b>4</b>	307,89	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	307,52	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	311,04	Se acepta	Se acepta
<b>San Mateo</b>	<b>7</b>	299,72	Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	301,62	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	304,60	Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	321,38		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	586,64		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	24,22		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	7,54		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b>α</b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,860		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	276,34		
<b>Resistencia de diseño( fck´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	280,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	245,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.18 Análisis estadístico de resistencia a compresión agregados artificiales IP30**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.14 la desviación estándar obtenida es de 24,22 kg/cm<sup>2</sup> resultado de los ensayos a compresión con el tipo de agredo natural para un H28 y un cemento IP30 el grado de control es excelente según la tabla de la ACI-214R

El gráfico 4.19 se puede verificar que los valores de resistencia de los ensayos a compresión aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a compresión son mayores a la resistencia de diseño de 280 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo así el primer criterio.

Para el segundo criterio se da cumpliendo al mismo donde ningún valor debe ser menor en 35 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, o sea, mayor al límite inferior de 245 kg/cm<sup>2</sup>

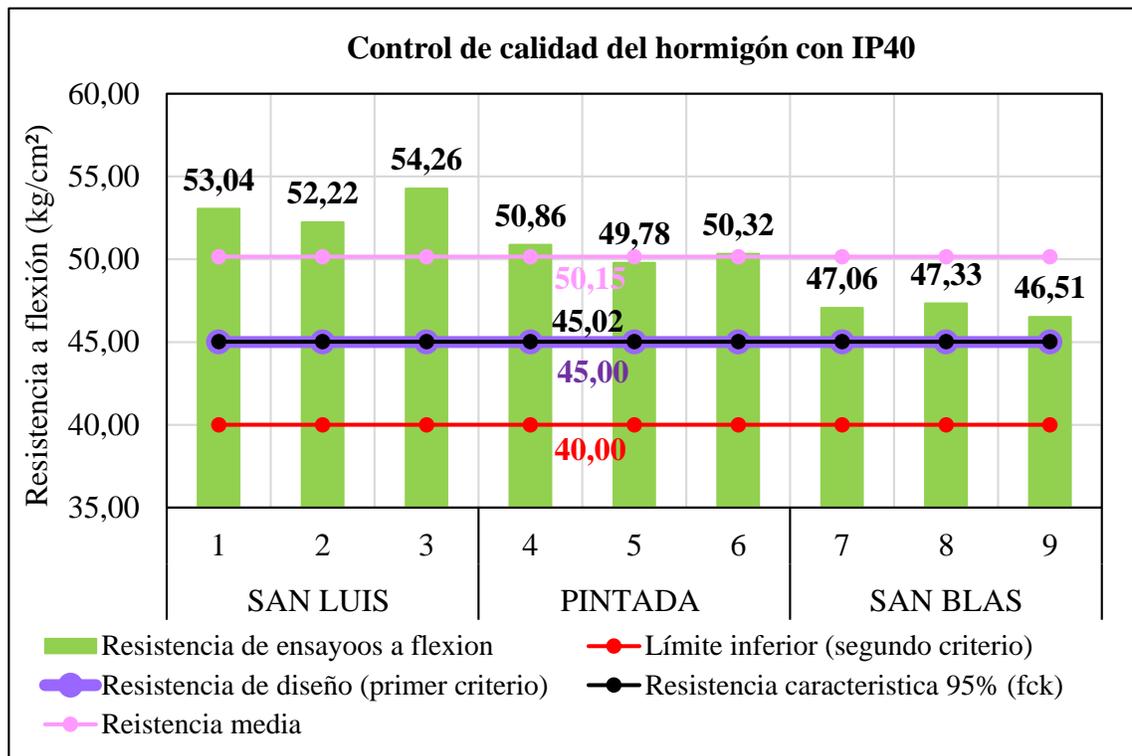
Donde el máximo valor de resistencia a compresión es de 355,14 kg/cm<sup>2</sup> y el mínimo de 299,72 kg/cm<sup>2</sup> aceptando ambos criterios.

**Tabla 4.16 Resistencia a flexión con agregados naturales IP 40**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Natural</b>	<b>Resistencia (<math>f_{ct}, f</math>)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>San Luis</b>	<b>1</b>	53,04	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	52,22	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	54,26	Se acepta	Se acepta
<b>Pintada</b>	<b>4</b>	50,86	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	49,78	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	50,32	Se acepta	Se acepta
<b>San Blas</b>	<b>7</b>	47,06	Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	47,33	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	46,51	Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	50,15		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	7,63		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	2,76		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	5,51		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b><math>\alpha</math></b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,86		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	45,02		
<b>Resistencia de diseño( fck´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	45,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.19 Análisis estadístico resistencia a flexión con agregados naturales IP40**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.15 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 2.76 kg/cm<sup>2</sup> de resultado de los ensayos a flexión con el tipo de agredo natural para un H45 y un cemento IP40 el grado de control que recibe la mezcla de hormigón para pavimento rígido es excelente de acuerdo a la tabla de la ACI-214R

El gráfico 4.20 se observa que en general los valores de resistencia a flexión de los ensayos, con agregado tipo natural y con la utilización de cemento IP 40 es considerado satisfactorio porque se aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a flexión son mayores a la resistencia de diseño de 45 kg/cm<sup>2</sup> dando cumplimiento así al primer criterio de aceptación a su vez también se da el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, eso es, ser mayor al límite inferior de 40 kg/cm<sup>2</sup>

Prestando atención al lugar de la muestra el máximo valor de resistencia a flexión es de 54.26 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San Luis y el mínimo de 47.06 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San Blas

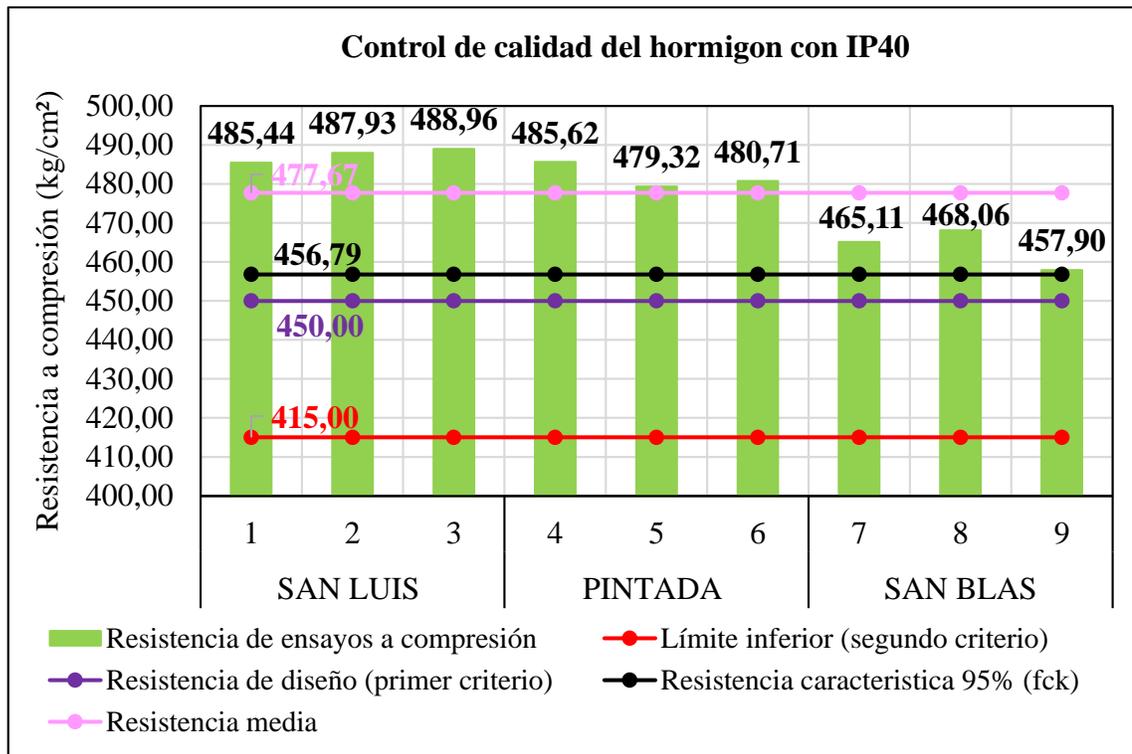
Del análisis de Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos de los ensayos a flexión, de acuerdo a la resistencia media de 50,15 kg/cm<sup>2</sup> por el método de Student se sabe que en un 95% los valores saldrán igual o mayor a 45.02 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo también ambos criterios de aceptación cumpliendo con los dos criterios de aceptación.

**Tabla 4.17 Resistencia a compresión con agregados naturales IP 40**

Tipo de agregado	Natural	Resistencia <i>f<sub>c</sub></i>	Primer criterio	Segundo criterio
Lugar	N°	(Kg/cm <sup>2</sup> )		
San Luis	1	485,44	Se acepta	Se acepta
	2	487,93	Se acepta	Se acepta
	3	488,96	Se acepta	Se acepta
Pintada	4	485,62	Se acepta	Se acepta
	5	479,32	Se acepta	Se acepta
	6	480,71	Se acepta	Se acepta
San Blas	7	465,11	Se acepta	Se acepta
	8	468,06	Se acepta	Se acepta
	9	457,90	Se acepta	Se acepta
Resistencia media (fcm)	X (Kg/cm <sup>2</sup> )	477,67		
Cantidad	N°	9,00		
Varianza	S <sup>2</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	126,16		
Desviación estándar	S(Kg/cm <sup>2</sup> )	11,23		
Coefficiente de variación	CV %	2,35		
Grado de control	Excelente			
Grados de libertad	gl	8,00		
Nivel de significancia	α	0,05		
Coefficiente t student	t	1,86		
Resistencia característica 95% (fck)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	456,79		
Resistencia de diseño (fck´)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	450,00		
Límite inferior	(Kg/cm <sup>2</sup> )	415,00		

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.20 Análisis estadístico resistencia a compresión con agregados naturales IP40**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.16 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 11,23 kg/cm<sup>2</sup> de resultado de los ensayos a compresión con el tipo de agredo natural para un H45 y un cemento IP40 el grado de control que recibe la mezcla de hormigón para pavimento rígido es excelente de acuerdo a la tabla de la ACI-214R

En el gráfico 4.21 se observa que en general los valores de resistencia a compresión de los ensayos, con agregado tipo natural y con la utilización de cemento IP 40 es considerado satisfactorio porque se aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a compresión son mayores a la resistencia de diseño de 450 kg/cm<sup>2</sup> dando cumplimiento así al primer criterio de aceptación a su vez también se da el cumpliendo del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 35 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, en otras palabras, mayor al límite inferior de 415 kg/cm<sup>2</sup>.

Prestando atención al lugar de la muestra el máximo valor de resistencia a compresión es de 488,96 kg/cm<sup>2</sup> del lugar San Luis y el mínimo de 457,90 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San Blas

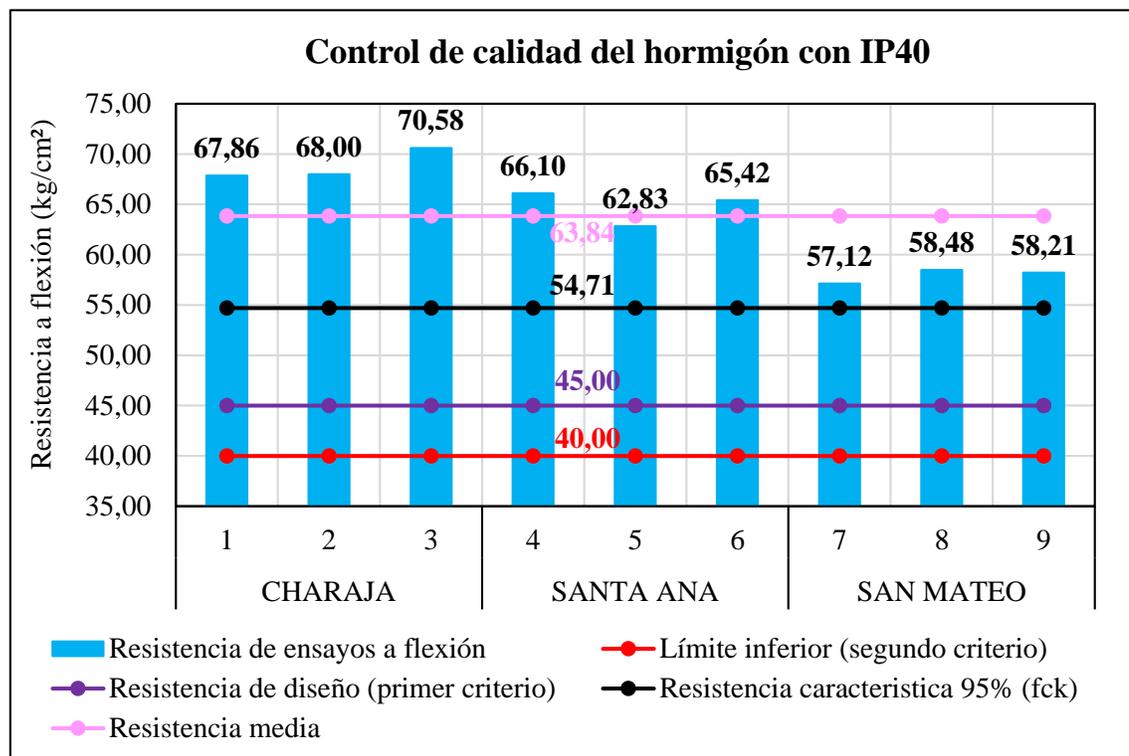
Del análisis de Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, de acuerdo a la resistencia media de 477,67 kg/cm<sup>2</sup> por el método de Student se sabe que en un 95% los valores saldrán igual o mayor a 456,79 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo también ambos criterios de aceptación.

**Tabla 4.18 Resistencia a flexión con agregados artificiales IP40**

<b>Tipo de agregado</b>	<b>Artificial</b>	<b>Resistencia (fct,f)</b>	<b>Primer criterio</b>	<b>Segundo criterio</b>
<b>Lugar</b>	<b>N°</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>		
<b>Charaja</b>	<b>1</b>	67,86	Se acepta	Se acepta
	<b>2</b>	68,00	Se acepta	Se acepta
	<b>3</b>	70,58	Se acepta	Se acepta
<b>Santa Ana</b>	<b>4</b>	66,10	Se acepta	Se acepta
	<b>5</b>	62,83	Se acepta	Se acepta
	<b>6</b>	65,42	Se acepta	Se acepta
<b>San Mateo</b>	<b>7</b>	57,12	Se acepta	Se acepta
	<b>8</b>	58,48	Se acepta	Se acepta
	<b>9</b>	58,21	Se acepta	Se acepta
<b>Resistencia media (fcm)</b>	<b>X (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	63,84		
<b>Cantidad</b>	<b>N°</b>	9,00		
<b>Varianza</b>	<b>S<sup>2</sup>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	24,15		
<b>Desviación estándar</b>	<b>S(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	4,91		
<b>Coefficiente de variación</b>	<b>CV %</b>	7,70		
<b>Grado de control</b>	Excelente			
<b>Grados de libertad</b>	<b>gl</b>	8,00		
<b>Nivel de significancia</b>	<b><math>\alpha</math></b>	0,05		
<b>Coefficiente t student</b>	<b>t</b>	1,86		
<b>Resistencia característica 95% (fck)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	54,71		
<b>Resistencia de diseño( fck´)</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	45,00		
<b>Límite inferior</b>	<b>(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	40,00		

**Fuente: Elaboración propia**

**Gráfica 4.21 Análisis estadístico resistencia a flexión con agregados artificiales IP40**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.17 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 4,91 kg/cm<sup>2</sup> de resultado de los ensayos a flexión con el tipo de agredo artificial para un H45 y un cemento IP40 el grado de control que recibe la mezcla de hormigón para pavimento rígido es excelente de acuerdo a la tabla de la ACI-214R

El gráfico 4.22 se observa que en general los valores de resistencia a flexión de los ensayos, con agregado tipo artificial y con la utilización de cemento IP 40 es considerado satisfactorio porque se aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a flexión son mayores a la resistencia de diseño de 45 kg/cm<sup>2</sup> dando cumplimiento así al primer criterio de aceptación a su vez también se da el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 5 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, es decir, mayor al límite inferior de 40 kg/cm<sup>2</sup>

Prestando atención al lugar de la muestra el máximo valor de resistencia a flexión es de 70,58 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San José De Charaja y el mínimo de 57,12 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San Mateo

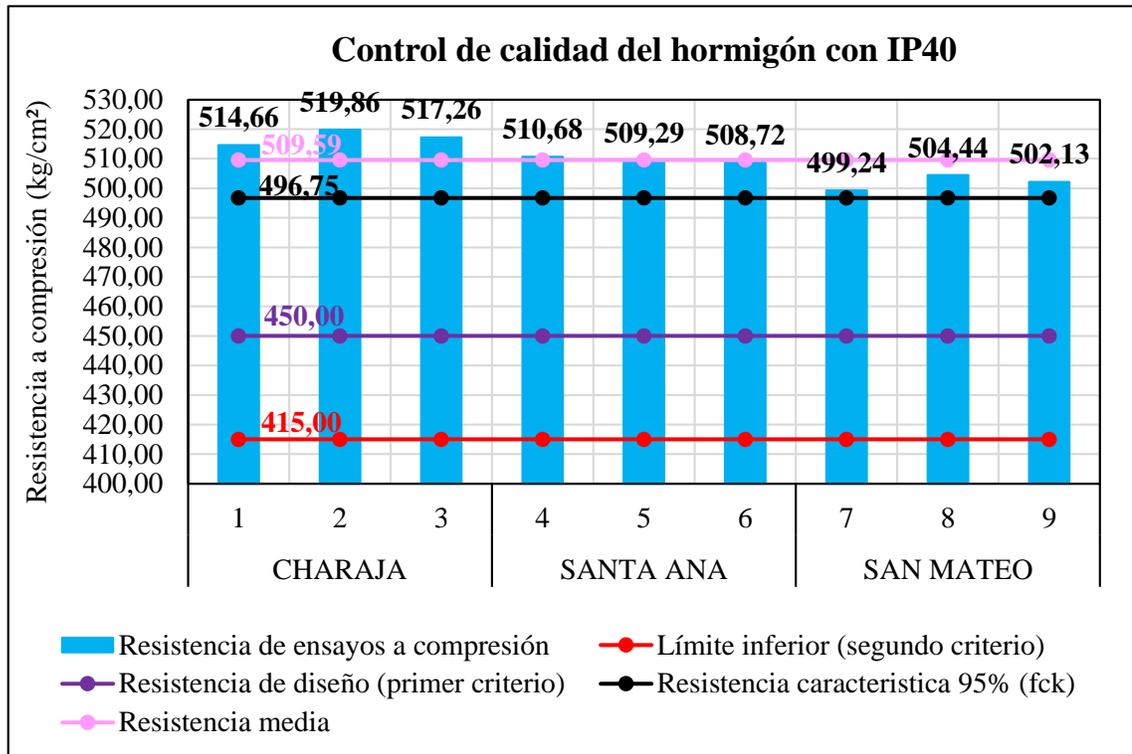
Del análisis de Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos de los ensayos a flexión, de acuerdo a la resistencia media de 63,84 por el método de Student se sabe que en un 95% los valores saldrán igual o mayor a 54,71 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo también ambos criterios de aceptación.

**Tabla 4.19 Resistencia a compresión con agregados artificiales IP 40**

Tipo de agregado	Artificial	Resistencia <i>f<sub>c</sub></i>	Primer criterio	Segundo criterio
Lugar	N°	(Kg/cm <sup>2</sup> )		
Charaja	1	514,66	Se acepta	Se acepta
	2	519,86	Se acepta	Se acepta
	3	517,26	Se acepta	Se acepta
Santa Ana	4	510,68	Se acepta	Se acepta
	5	509,29	Se acepta	Se acepta
	6	508,72	Se acepta	Se acepta
San Mateo	7	499,24	Se acepta	Se acepta
	8	504,44	Se acepta	Se acepta
	9	502,13	Se acepta	Se acepta
Resistencia media (fcm)	X (Kg/cm <sup>2</sup> )	509,59		
Cantidad	N°	9,00		
Varianza	S <sup>2</sup> (Kg/cm <sup>2</sup> )	47,66		
Desviación estándar	S(Kg/cm <sup>2</sup> )	6,90		
Coefficiente de variación	CV %	1,35		
Grado de control	Excelente			
Grados de libertad	gl	8,00		
Nivel de significancia	$\alpha$	0,05		
Coefficiente t student	t	1,86		
Resistencia característica 95% (fck)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	496,75		
Resistencia de diseño( fck´)	(Kg/cm <sup>2</sup> )	450,00		
Límite inferior	(Kg/cm <sup>2</sup> )	415,00		

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.22 Análisis estadístico de resistencia a compresión con agregado artificial IP40**



**Fuente: Elaboración propia**

De la tabla 4.18 de acuerdo con el valor de la desviación estándar obtenida de 6,90 kg/cm<sup>2</sup> de resultado de los ensayos a compresión con el tipo de agredo artificial para un H45 y un cemento IP40 el grado de control que recibe la mezcla de hormigón para pavimento rígido es excelente de acuerdo a la tabla de la ACI-214R

En el gráfico 4.23 se observa que en general los valores de resistencia a compresión de los ensayos, con agregado tipo artificial y con la utilización de cemento IP 40 es considerado satisfactorio porque se aceptan los dos criterios.

Para el primer criterio se observa que todos los datos a compresión son mayores a la resistencia de diseño de 450 kg/cm<sup>2</sup> dando cumplimiento así al primer criterio de aceptación a su vez también se da el cumplimiento del segundo criterio donde ningún valor debe ser menor en 35 kg/cm<sup>2</sup> de la resistencia de diseño, esto es, mayor al límite inferior de 415 kg/cm<sup>2</sup>.

Prestando atención al lugar de la muestra el máximo valor de resistencia a compresión es de 519,86 kg/cm<sup>2</sup> del lugar San José De Charaja y el mínimo de 499,24 kg/cm<sup>2</sup> del lugar de San Mateo cumpliendo con los dos criterios de aceptación.

Del análisis de Resistencia característica obtenida a partir de los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, de acuerdo a la resistencia media de 509,59 kg/cm<sup>2</sup> por el método de Student se sabe que en un 95% los valores saldrán igual o mayor a 496,75 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo también ambos criterios de aceptación.

#### 4.11. ANÁLISIS DE COSTOS

<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Proyecto:</b> Evaluación de la influencia del tipo de agregado en la construcción de pavimento rígido en carreteras			
<b>Actividad:</b> Hormigón simple con agregados naturales H45			
<b>Cantidad:</b> 1			
<b>Unidad:</b> m <sup>2</sup>			
<b>Moneda:</b> Bs	<b>Espesor</b>	0,16	m

Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				65,76
1	-	Cemento portland IP 40	kg	60,80	0,92	55,94
2		Arena (natural)	m3	0,04	100,00	4,43
3		Grava (natural)	m3	0,08	70,00	5,39
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>65,76</b>
	B	MANO DE OBRA				284,00
1	-	Albañil	hr	8,00	20,50	164,00
2	-	Ayudante	hr	8,00	15,00	120,00
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>284,00</b>
	F	Cargas Sociales		60.00% de	(E) =	170,40
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	67,89
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>522,29</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				34,00
1		Mezcladora	hr	1,00	22,00	22,00
2		Vibradora	hr	0,80	15,00	12,00
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	26,11
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>60,11</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>648,16</b>
	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		10.00% de	(J) =	64,82
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	71,30
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>784,27</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	24,23
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>808,51</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>808,51</b>

<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Proyecto:</b> Evaluación de la influencia del tipo de agregado en la construcción de pavimento rígido en carreteras			
<b>Actividad:</b> Hormigón simple con agregados naturales H28			
<b>Cantidad:</b> 1			
<b>Unidad:</b> m <sup>2</sup>			
<b>Moneda:</b> Bs	<b>Espesor</b>	0,16	m

N°	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				62,08
1	-	Cemento portland IP 30	kg	60,80	0,86	52,29
2		Arena (natural)	m3	0,04	100,00	4,38
3		Grava (natural)	m3	0,08	70,00	5,41
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>62,08</b>
	B	MANO DE OBRA				284,00
1	-	Albañil	hr	8,00	20,50	164,00
2	-	Ayudante	hr	8,00	15,00	120,00
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>284,00</b>
	F	Cargas Sociales		60.00% de	(E) =	170,40
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	67,89
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>522,29</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				34,00
1		Mezcladora	hr	1,00	22,00	22,00
2		Vibradora	hr	0,80	15,00	12,00
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	26,11
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>60,11</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>644,48</b>
	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		10.00% de	(J) =	64,45
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	70,89
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>779,83</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	24,10
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>803,92</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>803,92</b>

<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Proyecto:</b> Evaluación de la influencia del tipo de agregado en la construcción de pavimento rígido en carreteras			
<b>Actividad:</b> Hormigón simple con agregados artificiales H45			
<b>Cantidad:</b>	1		
<b>Unidad:</b>	m <sup>2</sup>		
<b>Moneda:</b>	Bs	<b>Espesor</b>	0,16 m

Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				83,82
1	-	Cemento portland IP 40	kg	78,40	0,92	72,13
2		Arena (artificial)	m3	0,05	120,00	5,57
3		Grava (artificial)	m3	0,06	95,00	6,12
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>83,82</b>
	B	MANO DE OBRA				284,00
1	-	Albañil	hr	8,00	20,50	164,00
2	-	Ayudante	hr	8,00	15,00	120,00
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>284,00</b>
	F	Cargas Sociales		60.00% de	(E) =	170,40
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	67,89
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>522,29</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				34,00
1		Mezcladora	hr	1,00	22,00	22,00
2		Vibradora	hr	0,80	15,00	12,00
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	26,11
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>60,11</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>666,22</b>
	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		10.00% de	(J) =	66,62
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	73,28
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>806,13</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	24,91
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>831,04</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>831,04</b>

<b>DATOS GENERALES</b>			
<b>Proyecto:</b> Evaluación de la influencia del tipo de agregado en la construcción de pavimento rígido en carreteras			
<b>Actividad:</b> Hormigón simple con agregados artificiales H28			
<b>Cantidad:</b> 1			
<b>Unidad:</b> m <sup>2</sup>			
<b>Moneda:</b> Bs	<b>Espesor</b>	0,16	m

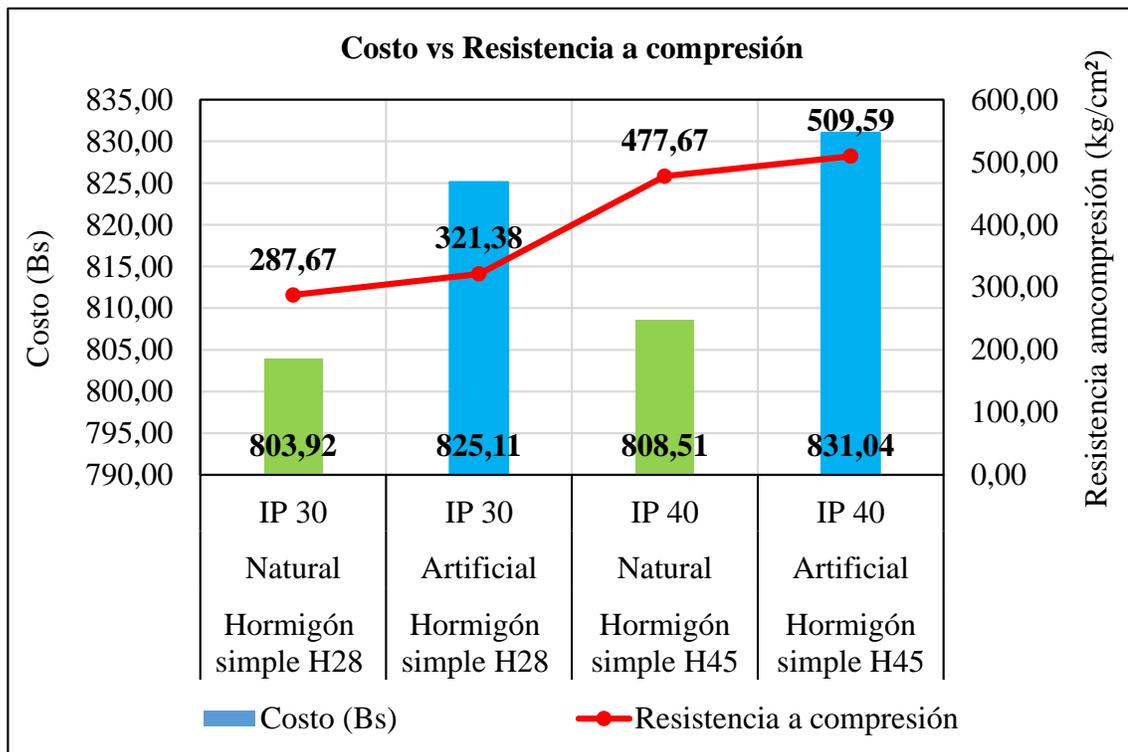
Nº	P.	Insumo/Parámetro	Und.	Cant.	Unit. (Bs)	Parcial (Bs)
	A	MATERIALES				79,07
1	-	Cemento portland IP 30	kg	78,40	0,86	67,42
2		Arena (artificial)	m3	0,05	120,00	5,49
3		Grava (artificial)	m3	0,06	95,00	6,16
>	<b>D</b>	<b>TOTAL MATERIALES</b>			<b>(A) =</b>	<b>79,07</b>
	B	MANO DE OBRA				284,00
1	-	Albañil	hr	8,00	20,50	164,00
2	-	Ayudante	hr	8,00	15,00	120,00
>	<b>E</b>	<b>SUBTOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(B) =</b>	<b>284,00</b>
	F	Cargas Sociales		60.00% de	(E) =	170,40
	O	Impuesto al Valor Agregado		14.94% de	(E+F) =	67,89
>	<b>G</b>	<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>(E+F+O) =</b>	<b>522,29</b>
	C	EQUIPO, MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS				34,00
1		Mezcladora	hr	1,00	22,00	22,00
2		Vibradora	hr	0,80	15,00	12,00
	H	Herramientas menores		5.00% de	(G) =	26,11
>	<b>I</b>	<b>TOTAL HERRAMIENTAS Y EQUIPO</b>			<b>(C+H) =</b>	<b>60,11</b>
>	<b>J</b>	<b>SUB TOTAL</b>			<b>(D+G+I) =</b>	<b>661,47</b>
	L	GASTOS GENERALES Y ADMINISTRATIVOS		10.00% de	(J) =	66,15
	M	Utilidad		10.00% de	(J+L) =	72,76
>	<b>N</b>	<b>PARCIAL</b>			<b>(J+L+M) =</b>	<b>800,38</b>
	P	Impuesto a las Transacciones		3.09% de	(N) =	24,73
>	<b>Q</b>	<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>			<b>(N+P) =</b>	<b>825,11</b>
>		<b>PRECIO ADOPTADO:</b>				<b>825,11</b>

**Tabla 4.20 Resumen del Análisis de costos del hormigón simple o convencional para pavimento rígido**

Descripción	Tipo de agregado	Tipo de cemento	Cantidad m <sup>2</sup>	Costo (Bs)	Resistencia media compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia media flexión (kg/cm <sup>2</sup> )
Hormigón simple H28	Natural	IP 30	1	803,92	287,67	45,18
Hormigón simple H28	Artificial	IP 30	1	825,11	321,38	56,82
Hormigón simple H45	Natural	IP 40	1	808,51	477,67	50,15
Hormigón simple H45	Artificial	IP 40	1	831,04	509,59	63,84

Fuente: Elaboración propia

**Gráfica 4.23 Análisis de costo de la mezcla de hormigón en función de la resistencia a compresión**

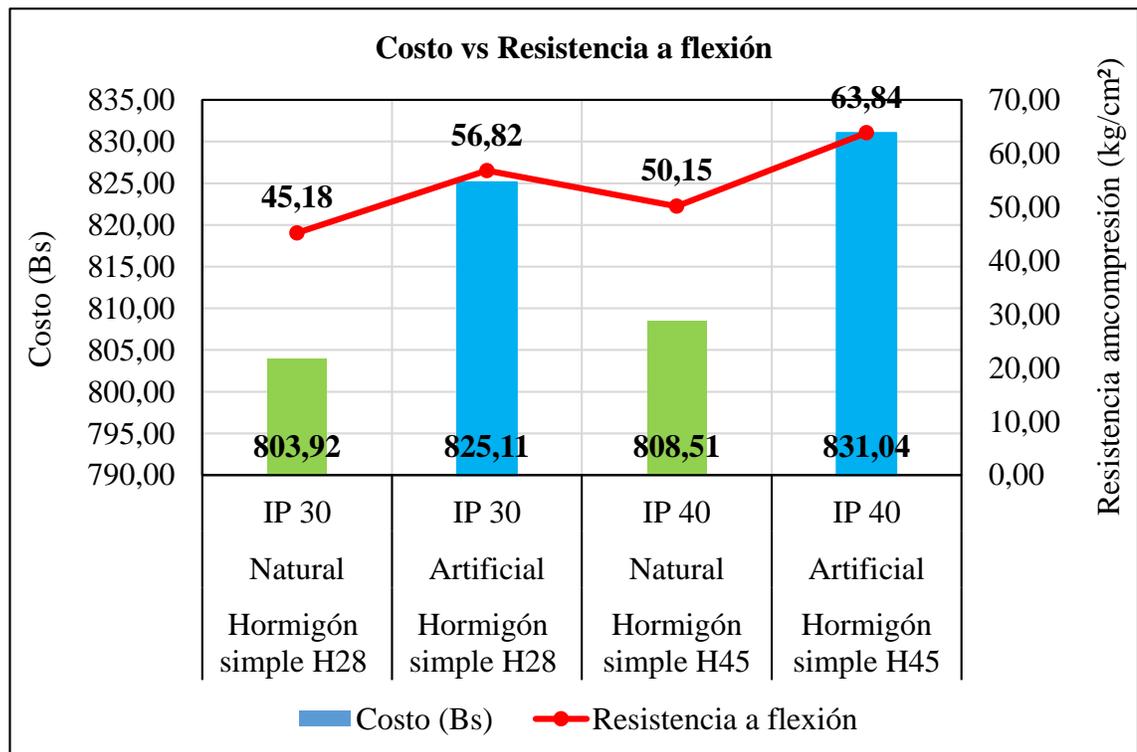


Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 4.24 da a conocer que trabajar con agregados artificiales tiene un mayor costo independientemente del tipo de cemento y su resistencia, ya que podemos ver que utilizando agregado artificial con IP30 tiene una resistencia menor de 321.38 kg/cm<sup>2</sup> y costo mayor de 825,11 Bs comparado con el agregado natural con un cemento IP 40 el cual obtuvo una resistencia mayor de 477.67 kg/cm<sup>2</sup>, pero un costo menor de 808,51 Bs el cual nos da entender que el tipo de agregado podemos mejorar su resistencia con el uso del cemento IP40 y a la vez bajar su costo.

Si de resistencia hablamos el más apropiado sería utilizar los agregados utilizados con el cemento IP40 obtuvieron mayores resistencias a compresión que los agregados utilizados con el cemento IP30.

**Gráfica 4.24 Análisis de costo de la mezcla de hormigón en función de la resistencia a flexión**



Fuente: Elaboración propia

De la gráfica 4.25 es la que más nos interesa ya que un pavimento rígido trabaja a flexión podemos verificar que el uso de agregados artificiales obtiene mayores resistencias y el costo también es mayor independientemente del tipo de cemento Si se quiere optimizar costos podemos utilizar los agregados naturales su resistencia es baja, pero cumple con los parámetros de diseño para un pavimento rígido el cual debe cumplir de 40-45 kg/cm<sup>2</sup> a flexión en cuanto a economía y calidad el más aceptable es el utilizado con agregado natural y con un cemento IP30 el cual tiene una resistencia media de 45.18 kg/cm<sup>2</sup> y un costo menor de 803,92 Bs para un m<sup>2</sup> con un espesor de 0.16 m.

Si la preferencia es la resistencia los agregados artificiales tiene mayor influencia estos obtienen mayores resistencias a flexión y a su vez un costo mayor.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Se evaluó la influencia que tiene en la mezcla de hormigón el tipo de agregado natural y artificial, de acuerdo con el control que se realiza a un pavimento rígido, es decir, a sus componentes que se utilizan para una mezcla de hormigón en estado fresco y endurecido, donde se consideró el lugar de procedencia de la muestra de esa manera se encontró que la mejor resistencia mecánica lo tienen los agregados artificiales, por lo tanto se puede considerar que el más adecuado para ser utilizado en la mezcla de hormigón para pavimento rígido son los agregados artificiales, y según su procedencia la mezcla con mayor resistencia a flexión obtuvo el lugar de San José de Charaja.
- Se determinó información del control que se debe realizar a la mezcla de hormigón para pavimento rígido el cual nos sirvió para posteriormente realizar nuestro control.
- Se extrajo las muestras de los tipos de agregados de chancadoras y seleccionadoras del valle central de Tarija, respecto al agregado artificial la mayoría de las chancadoras no producen agregados de un tamaño requerido de 1 1/2" por lo cual se optó de trabajar con un tamaño menor, en cuanto a los agregados naturales se logró conseguir muestras de dicho tamaño requerido.
- Se caracterizó a los tipos de agregados a emplear para el hormigón, dando como resultado que los agregados artificiales tienen una mejor característica a comparación de los naturales, estos obtuvieron los mejores resultados en todos los ensayos de caracterización como por ejemplo el mejor equivalente de arena y en cuanto a la grava obtuvieron la mayor resistencia al desgaste siendo así posteriormente los más resistentes a la flexión.
- Se estableció las dosificaciones para los diferentes tipos de agregado, producto de su respectiva caracterización y tipo de cemento IP30 y cemento IP40.
- Se elaboró las mezclas de hormigón con los distintos tipos de agregados naturales y artificiales de los diferentes lugares que se adquirió las muestras, cada una obtuvo su dosificación respectiva resultado de cada una de sus caracterizaciones.

- Se determinó la resistencia de las diferentes muestras con ensayos de laboratorio, en nuestro caso el ensayo a la rotura de flexión de vigas prismáticas que se elaboró con los tipos de agregados naturales y artificiales, la cual su resistencia a flexión se encuentra superior al 40 y 45 kg/cm<sup>2</sup> cumpliendo con los criterios de aceptación, del cual resultó la mejor resistencia el elaborado con agregado artificial con una resistencia media de 56,82 kg/cm<sup>2</sup> con un cemento IP30 para un H28 y un 63,84 kg/cm<sup>2</sup> con un cemento IP40 para un H45 aumentando su resistencia.
- Se evaluó los resultados de las resistencias mecánicas de las diferentes muestras siendo con mayor resistencia a la flexión con un cemento IP30 el agregado artificial del lugar de San José de Charaja con 61,61 kg/cm<sup>2</sup>, y con un IP40 aumentando su resistencia a 68,82 kg/cm<sup>2</sup>, la grava del mismo, en el ensayo a la abrasión con la máquina de los ángeles obtuvo un mínimo desgaste por tal razón siendo este el de mayor resistencia a flexión.

Con respecto a los agregados naturales el que alcanzó mayor resistencia a flexión con cemento IP30 es el de San Luis con 48,51 kg/cm<sup>2</sup> y con un IP40 53,18 kg/cm<sup>2</sup> aumentando su resistencia; por otra parte, el que consiguió, menos resistencia es el de San Blas con 42,04 Kg/cm<sup>2</sup> con IP30 y aumentado su resistencia de 46,97 kg/cm<sup>2</sup> con un IP40 acabe recalcar que la resistencia al desgaste del agregado de San Blas obtuvo uno de los de mayor desgaste lo cual pone en evidencia que si influye las propiedades mecánicas de los agregados; como la resistencia al desgaste, en la resistencia final a flexión del hormigón para pavimento rígido.

- Se estableció los resultados de la evaluación del tipo de agregado el cual se llega a la conclusión que el tipo de agregado tiene una gran influencia en la resistencia mecánica; desde su caracterización se observó que los agregados artificiales tienen mayor calidad respecto a los agregados naturales, cabe recalcar que todos agregados tanto naturales como artificiales estuvieron en los rangos de control aceptables, demostrando también que trabajar con el tipo de cemento IP40 aumenta la resistencia de la mezcla de hormigón para pavimento rígido.
- Se elaboró un análisis de costos el cual pone en evidencia que el costo por m<sup>2</sup> de una losa de hormigón convencional o simple con agregados artificiales es más elevado el costo que trabajar con agregados naturales, independientemente del tipo

de cemento ya que un m<sup>2</sup> de hormigón de agregado artificial es de 825,11Bs trabajando con un IP30 y 831,04 Bs con un IP40 aumentando aún más su costo, por otro lado el costo es menor con los agregados naturales, con un costo de 803.92 Bs con IP 30 y 808,51 Bs con un IP40

- Se observó en la preparación de la mezcla, que los agregados que logran una mayor trabajabilidad, son los de menor tamaño de grano.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la utilización del agregado artificial para ser usado en la mezcla de hormigón para pavimento rígido debido a su mayor resistencia a la rotura por flexión que tiene el mismo, siendo el más adecuado para su aplicación.
- Utilizar una grava que tenga una mayor resistencia a la abrasión es lo más fundamental a la hora de elegir el agregado ya que el mismo ocupa la mayor parte en una mezcla de hormigón teniendo un papel importante este deberá ser resistente al desgaste de esa manera se obtendrá una mejor resistencia del hormigón, de no ser así este se fragmenta en el mezclado modificando su gradación.
- Realizar con cautela el ensayo de absorción de los agregados ya que este influye posteriormente en la dosificación en las proporciones de requerimiento de agua ya el agua tiene una gran participación en la resistencia final.
- Se debe lavar los agregados para retirar todas las impurezas que se puedan encontrar como materia orgánica originadas por la descomposición de elementos vegetales en forma de margas orgánicas la cual estas impurezas pueden afectar las reacciones de hidratación modificando el fraguado o reduciendo la resistencia.
- Evitar que el material permanezca mucho tiempo almacenado ya que los factores climatológicos puedan alterar sus condiciones originales.
- En el momento del hormigonado se debe verter la mezcla, de manera distribuida y realizar un correcto vibrado y apisonado para evitar la formación de vacíos.
- Se recomienda trabajar con gravas artificiales con un mayor tamaño de esa manera va requerir, menos agua, a su vez evitando que tenga una resistencia baja ya que los agregados con menor tamaño requieren mayor consumo de agua; en el hormigón por su parte tendrá un consumo menor de cemento al ser este el más caro de conseguir para la mezcla de hormigón.

- Debido a que el agregado de la arena tiene mayor responsabilidad en el conjunto del hormigón es recomendable trabajar con arenas que tengan un buen equivalente de arena así la mezcla de hormigón será libre de contaminación de limo y arcilla favoreciendo en la resistencia.
- Se recomienda el uso de cemento IP30 si se va a trabajar con agregados artificiales el cual dará una mayor resistencia que un natural a fin de optimizar así el costo y resistencia comparado con un IP40 de agregado artificial; además se ve conveniente para el uso de pavimento rígido simple sin pasadores y que tengan un tráfico ligero. Para proyectos donde se requiera mayor resistencia del hormigón se recomienda trabajar con cementos IP40 ya que su resistencia de cemento es mayor el cual favorecerá en la resistencia final también se recomienda utilizar un hormigón con agregados artificiales con un IP40 para la construcción de aeropuertos por requerir estos una resistencia más alta.
- Se pone en consideración para futuras investigaciones la combinación de los agregados artificiales según su procedencia para una máxima resistencia ya que al tener su respectiva caracterización estos se verán influenciados en su resistencia final.