

# CARACTERIZACION FISICO-MECANICA DE LOS AGREGADOS DEL RIO UPIN Y RIO SALINAS PARA LA APLICACIÓN DE BASES Y SUB-BASES

## PHYSICAL-MECHANICAL CHARACTERIZATION OF THE UPIN RIVER AND SALINAS RIVER AGGREGATES FOR THE APPLICATION OF BASES AND SUBBASES

Juan Esteban Salas Castro

Estudiante de Ingeniería Civil, Universidad Santo Tomas de Villavicencio. [juansalasc@usantotomas.edu.co](mailto:juansalasc@usantotomas.edu.co)

**Resumen:** En el presente artículo se detallan los resultados dados en laboratorio acerca de las propiedades físicas-mecánicas de los agregados del río Upin y río salinas verificando la calidad de estos de acuerdo con los artículos 320 y 330 del Instituto Nacional de Vías. Para poder llegar a determinar la calidad del agregado se realizaron granulometrías, desgaste en la máquina de los ángeles, pérdidas en ensayo de solidez en sulfato de magnesio y magnesio, esto para las propiedades físicas entre las que se encuentran diámetro de las partículas, dureza y durabilidad, para el caso de las propiedades mecánicas se encuentra la resistencia del material dada por el CBR en laboratorio.

**Palabras claves:** Agregados, artículo 320 y artículo 330 INVIAS 2013, calidad, ensayos, laboratorio, propiedades físico-mecánicas, río salinas, río Upin.

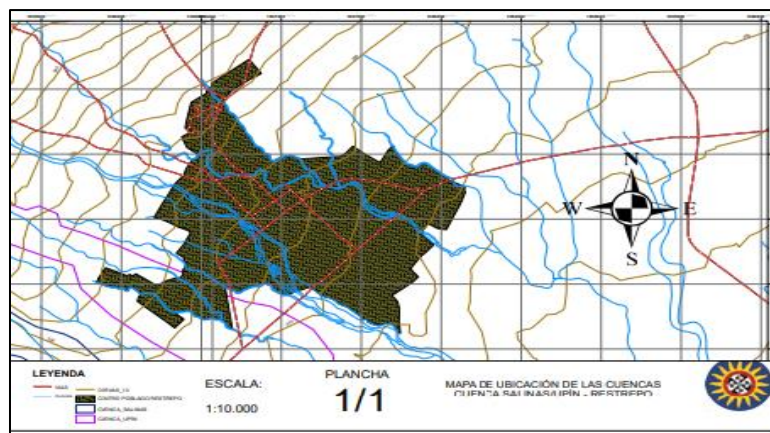
**Abstract:** In this article, the results given in the laboratory about the physical-mechanical properties of the aggregates of the Upin river and salinas river are detailed, verifying their quality in accordance with articles 320 and 330 of the National Institute of Highway. In order to determine the quality of the aggregate, granulometry, wear in the angels machine, losses in the strength test in magnesium and magnesium sulfate were carried out, this for the physical properties among which are diameter of the particles, hardness and durability, for the case of mechanical properties is the resistance of the material given by the CBR in the laboratory.

**Keywords:** Aggregates, article 320, article 330, INVIAS 2013, laboratory, quality, physical-mechanical properties, Salinas river, tests, Upin river.

### 1. INTRODUCCION

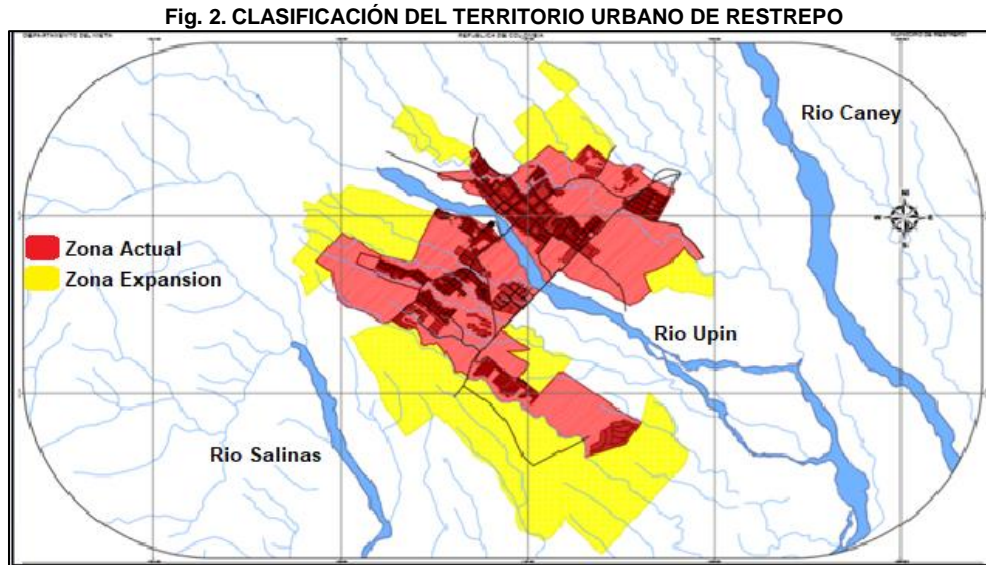
El Municipio de Restrepo cuenta con dos fuentes hídricas que son los ríos Salinas y Upin, a pesar de esto no se cuenta con una planta de agregados pétreos, los cuales son destinados para la construcción de carreteras por ser parte de las capas de base y subbase al igual que de la mezcla asfáltica. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los cuerpos de agua antes mencionados.

Fig. 1. LOCALIZACIÓN DE LOS RÍOS SALINAS Y UPIN



Fuente: Propia

En los últimos años Restrepo ha tenido un aumento poblacional a causa de la migración de los habitantes de municipios cercanos como lo son Villavicencio, Cumaral entre otros. Como consecuencia se obtuvo el aumento de las licencias de construcción y zonas de expansión como se muestra en la Fig. 2.



En busca de suplir las necesidades de las empresas constructoras se realiza la recolección y posteriormente los ensayos de laboratorio para así determinar la calidad del agregado pétreo en los ríos Salinas y Upin, así como poder ser suministrados como bases o subbases.

### ¿Cuál es la importancia del material granular en una estructura de pavimento?

Los materiales granulares son los encargados de darle una estabilidad a la estructura del pavimento debido a que ellos son los que resisten las cargas de los vehículos para esto los agregados pétreos deben contar con una caracterización que definan las propiedades físico-mecánicas de las partículas de los agregados del río Upin y Río Salinas.

## 2. DESARROLLO DEL ARTICULO

El objetivo de la investigación es dar una evaluación acerca de las partículas que conforman el agregado pétreo de los ríos Salinas y Upin. Para ello se debe realizar una serie de ensayos en laboratorio los cuales se encuentran estandarizados por el INVIAS según las especificaciones técnicas para su aplicación en capas de base se basa en el artículo 330 y sub base en el artículo 320.

### 2.1 Río Upin.

El río Upin esta ubicado en el centro del municipio de restrepo.

#### 2.1.1 Base Granular

La base granular es la que le da soporte a la estructura del pavimento. Esta capa se encuentra entre la capa de rodadura y la subbase, en algunos casos se requiere una base estabilizada cuando se realiza estructura de pavimento rígido.

Existen diversas maneras de clasificar las bases según el nivel del tránsito, de la vía, en la Tabla 1, se presentan las 3 clases

**Tabla 1. CLASES DE BASES GRANULARES.**

CLASE DE BASE GRANULAR	NIVEL DE TRANSITO
Clase C	NT1
Clase B	NT2
Clase A	NT3

Fuente: Invias 2013

Las granulometrías por las cuales se puede determinar el tamaño de las partículas del agregado se denotan en la Tabla 2, para así establecer si el agregado es grueso o fino.

**Tabla 2. FRANJAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL DE BASES GRANULARES**

TIPO DE GRADACION	TAMIZ (mm/ U:S Standard)							
	37.5	25.0	19.0	9.5	4.75	2.0	0.425	0.075
	1 1/2"	1"	3/4"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
% PASA								
BASES GRANULARES GRADACION GRUESA								
BG-40	100	75-100	65-90	45-68	30-50	15-32	7-20	0-9
BG-27	-	100	75-100	52-78	35-59	20-40	8-22	0-9
BASES GRANULARES DE GRADACION FINA								
BG-38	100	70-100	60-90	45-75	30-60	20-45	10-30	5-25
BG-25	-	100	70-100	50-80	35-65	20-45	10-30	5-15

Fuente: Invias 2013.

La anterior tabla clasifica el agregado según el tamaño de sus partículas, sin embargo, el Invias rige las especificaciones con los límites máximos y mínimos de los resultados de los ensayos en laboratorio para evaluar la calidad del agregado en el artículo 330 como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3. REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA BASES GRANULARES.**

CARACTERISICA	NORMA INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%) -500 revoluciones -100 revoluciones	E-218	40	40	35
		8	8	7
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) -Sulfato de sodio -Sulfato de magnesio	E-220	12	12	18
		18	18	18
CBR (%) porcentaje asociado al grado de compactación mínimo	E-148	≥80	≥80	≥95

Fuente. Invias 2013.

- **Granulometría.**

Según la tabla 2, se procede a realizar las granulometrías para cada uno de los tipos de base (BG-40, BG-27, BG-38, BG-25). Para llevar a cabo el procedimiento es necesario entre 5000 g a 6000 g y lavarlo por el tamiz No 200.

Como resultado se obtiene la Fig. 3, con cada una de las curvas granulométricas.

Fig. 3. CURVAS GRANULOMÉTRICAS BG-40, BG-38, BG-25, BG-27 RIO UPIN.

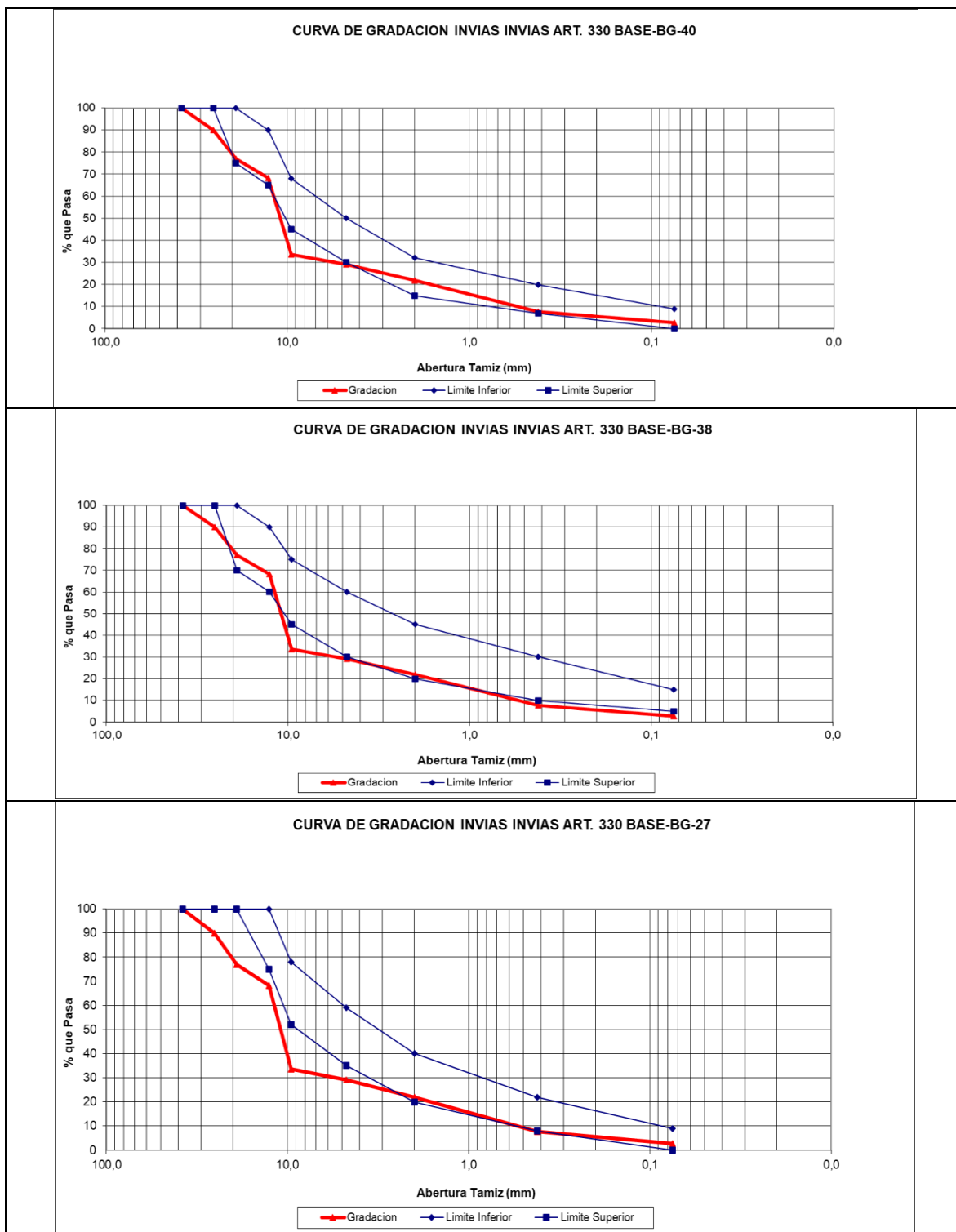
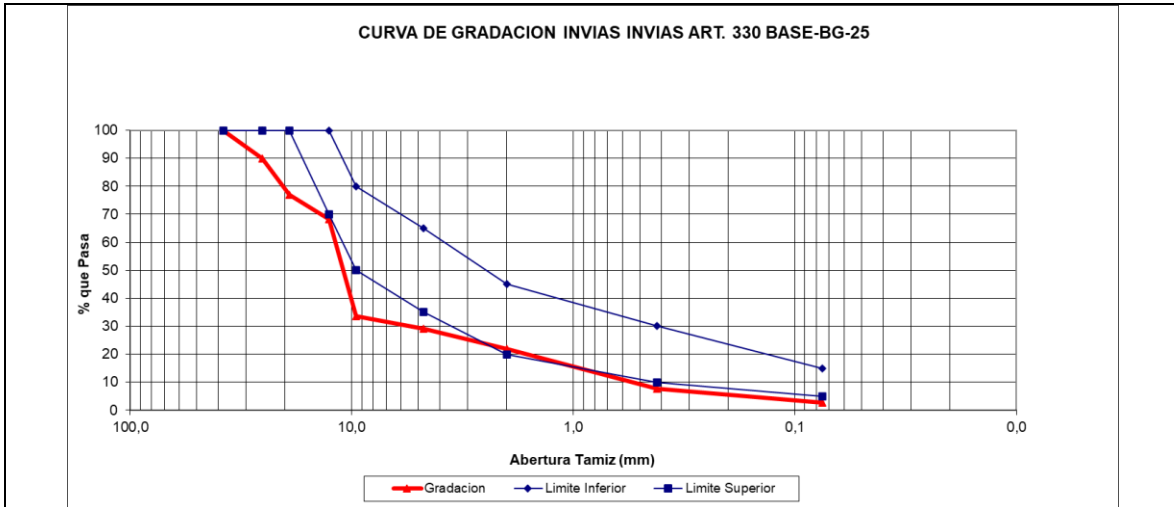


Fig. 4. CURVAS GRANULOMÉTRICAS BG-40, BG-38, BG-25, BG-27 RIO UPIN.



Fuente. Autor.

- **Desgaste en la máquina de los ángeles.**

Según el Invias a la hora de realizar un desgaste que cumpla con la especificación que se subraya en la Tabla 4. Para ellos es necesario separar el material por la cantidad necesaria de cada tamiz, este debe estar lavado para evitar errores a la hora de realizar el desgaste.

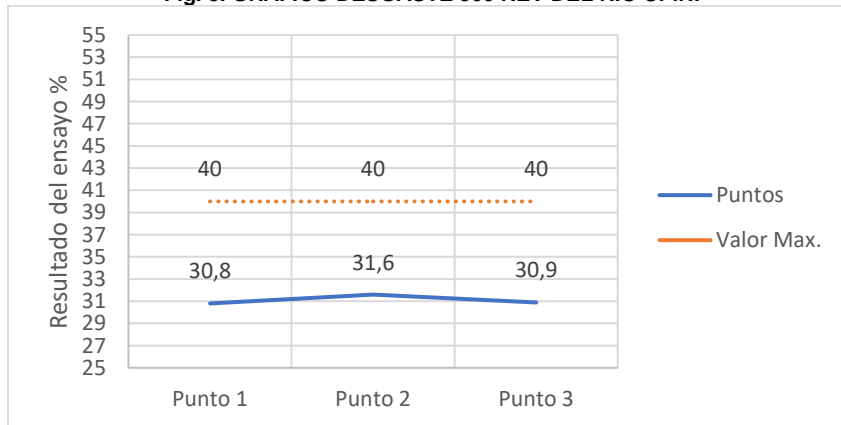
Tabla 4. GRANULOMETRIAS DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO

TAMAÑOS DE TAMIZ		MASAS DE LAS DIFERENTES FRACCIONES, g			
PASA TAMIZ	RETENIDO EN TAMIZ	GRANULOMETRIAS			
		A	B	C	D
37.5 (1 1/2")	25.0(1")	1250 ± 25	2500 ± 10	2500 ± 10	5000 ± 10
25.0(1")	19.0(3/4")				
19.0(3/4")	12.5(1/2")				
12.5(1/2")	9.5(3/8")				
9.5(3/8")	6.3(1/4")				
6.3(1/4")	4.75(No 4)	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10
4.75(No 4)	2.36(No 8)				
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Invias 2013

Después de realizar el ensayo se procedió a realizar el análisis del ensayo a 500 revoluciones dando como resultado la Fig. 5

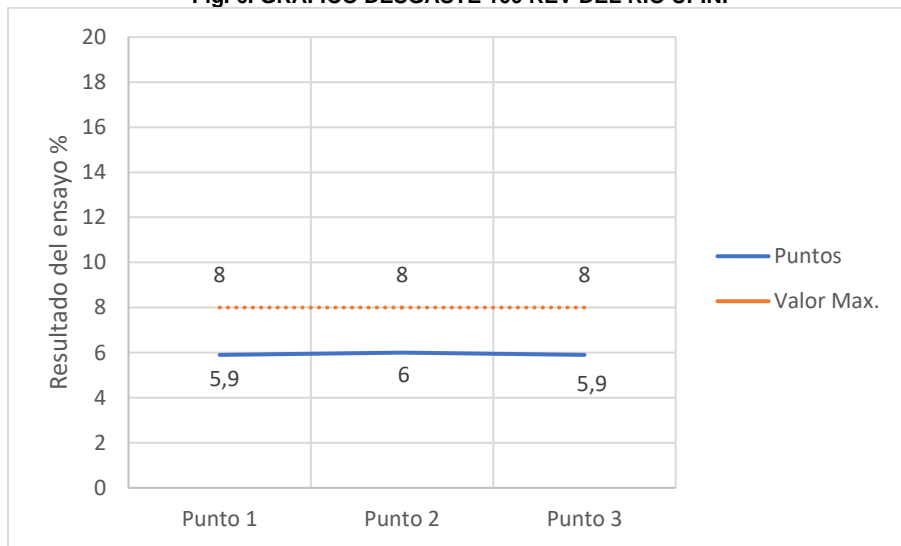
Fig. 5. GRÁFICO DESGASTE 500 REV DEL RIO UPIN.



Fuente. Autor.

En el caso de la base es necesario realizar el mismo procedimiento con 100 revolución sin olvidar que después de realizar el desgaste es necesario tamizar por el tamiz No 12.

**Fig. 6. GRAFICO DESGASTE 100 REV DEL RIO UPIN.**

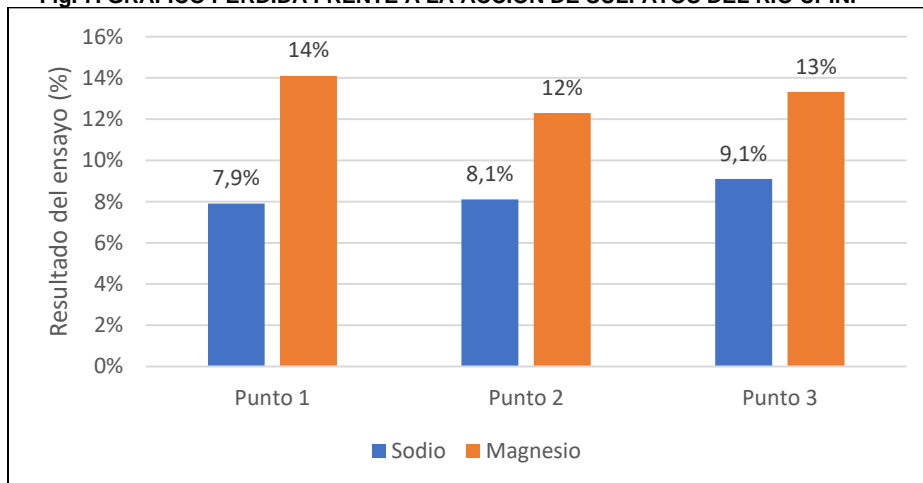


Fuente. Autor.

- **Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos de sodio y magnesio.**

Con el fin de saber la resistencia frente a la desintegración por la acción de los agentes atmosféricos se separó en tamices las partículas del agregado para así dejarlas en inmersión, en la Fig. 7, se observa el resultado de los ensayos en laboratorio.

**Fig. 7. GRAFICO PERDIDA FRENTE A LA ACCION DE SULFATOS DEL RIO UPIN.**



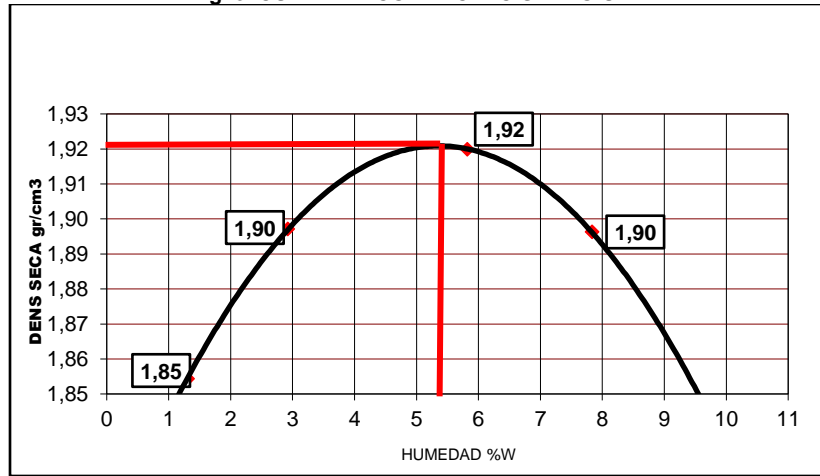
Fuente. Autor.

- **Ensayo de Proctor modificado**

El Proctor modificado es el ensayo por el cual determinamos la humedad óptima a la hora de compactar cuando se extiende una base o subbase, y así mismo con la que se realiza el CBR para asemejar las mismas condiciones en campo con las de laboratorio. En la Fig. 8, se muestra la curva

de compactación que da como resultado en el ensayo de Proctor una humedad de 5,4% y una densidad óptima de 1.920 gr/cm<sup>3</sup>.

Fig. 8. CURVA DE COMPACTACIÓN RIO UPIN.



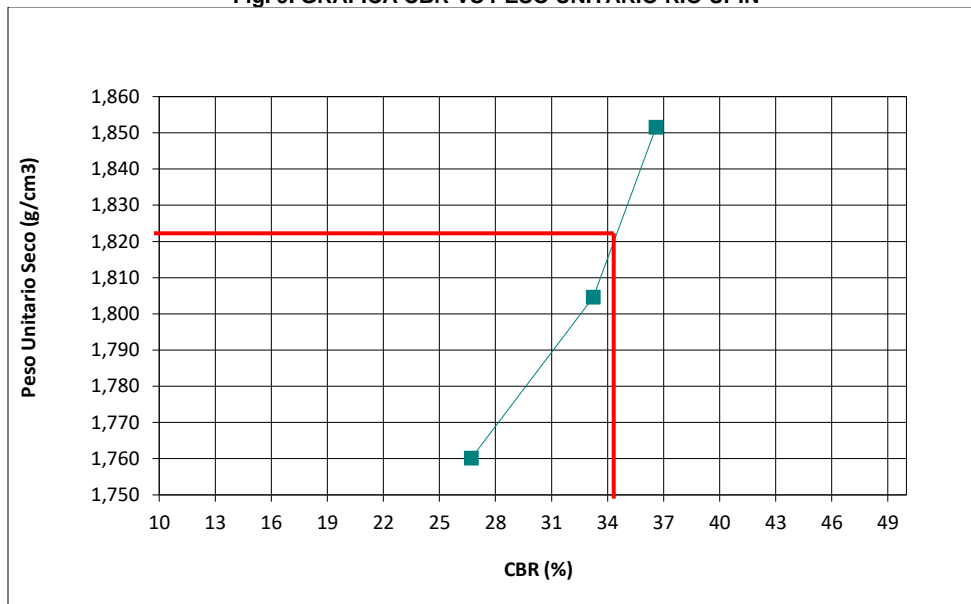
Fuente. Autor.

- **CBR**

Por medio del CBR se determina la capacidad de soporte del agregado pétreo; una vez se tiene la humedad óptima del ensayo de Proctor Modificado, la cual en este caso dio 5,4%.

La compactación se debe realizar el ensayo con tres moldes a 10, 25 y 56 golpes respectivamente, de lo anterior, se obtiene la Fig. 9 de acuerdo con la capacidad de carga y la densidad seca, se obtiene un CBR de 34.1%.

Fig. 9. GRAFICA CBR VS PESO UNITARIO RIO UPIN



Fuente. Autor.

### 2.1.2. Subbase Granular

En caso de que el agregado pétreo va a ser suministrado como subbase en la Tabla 5, se puede observar los requisitos establecidos para determinar la calidad del agregado pétreo, las condiciones

para determinar la clase de subbase siguen siendo las mismas de la Tabla 1. CLASES DE BASES GRANULARES.

**Tabla 5. REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA SUBBASE GRANULAR**

CARACTERISICA	NORMA INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%) -500 revoluciones	E-218	50	50	50
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) -Sulfato de sodio -Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	18 18
CBR (%) porcentaje asociado al grado de compactación mínimo	E-148	≥30	≥30	≥40

Fuente. Invias 2013

Los tamices por los cuales se deben realizar las granulometrías o gradación se encuentran en la Tabla 6. FRANJAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL DE SUB BASES GRANULARES

**Tabla 6. FRANJAS GRANULOMÉTRICAS DEL MATERIAL DE SUB BASES GRANULARES**

TIPO DE GRADACION	TAMIZ ( mm/ U:S Standard)								
	50.0	37.5	12.5	12.5	9.5	4.75	2.0	0.425	0.075
	2"	1 1/2"	1"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 10	No. 40	No. 200
	% PASA								
SUB-BG-50	100	70-95	60-90	45-75	40-70	25-55	15-40	6-25	2-15
SUB-BG-27	-	100	75-95	55-85	45-75	30-60	20-45	8-30	2-15

Fuente: Invias 2013

- **Granulometrías**

Como resultado de realizar la gradación con los tamices indicados en la Tabla 6, se obtiene las curvas granulométricas de la Fig. 10. CURVAS GRANULOMÉTRICAS SBG-50, SBG-25 RIO UPIN.

**Fig. 10. CURVAS GRANULOMÉTRICAS SBG-50, SBG-25 RIO UPIN.**

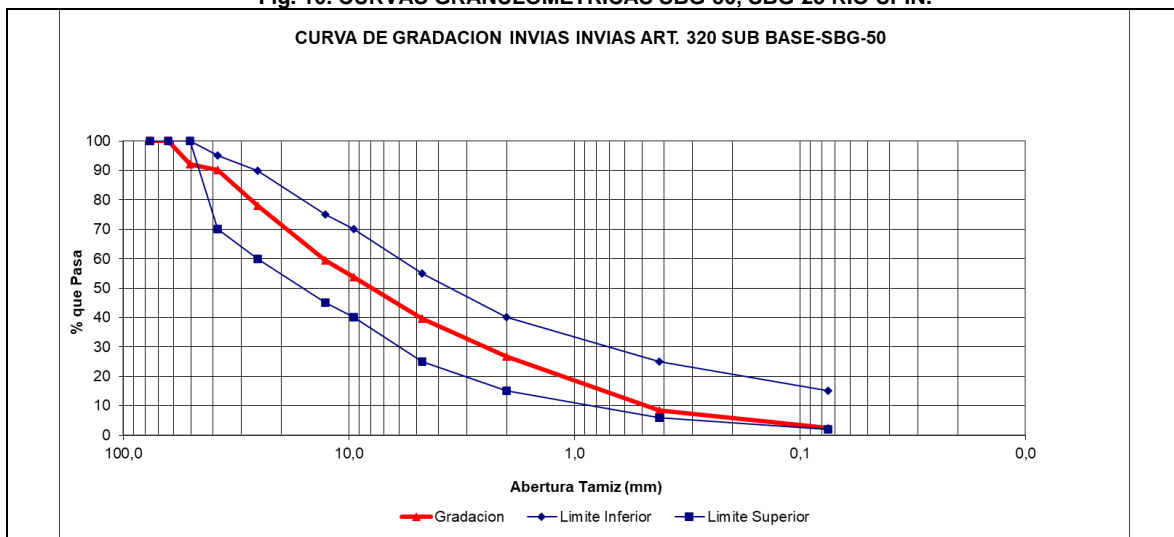
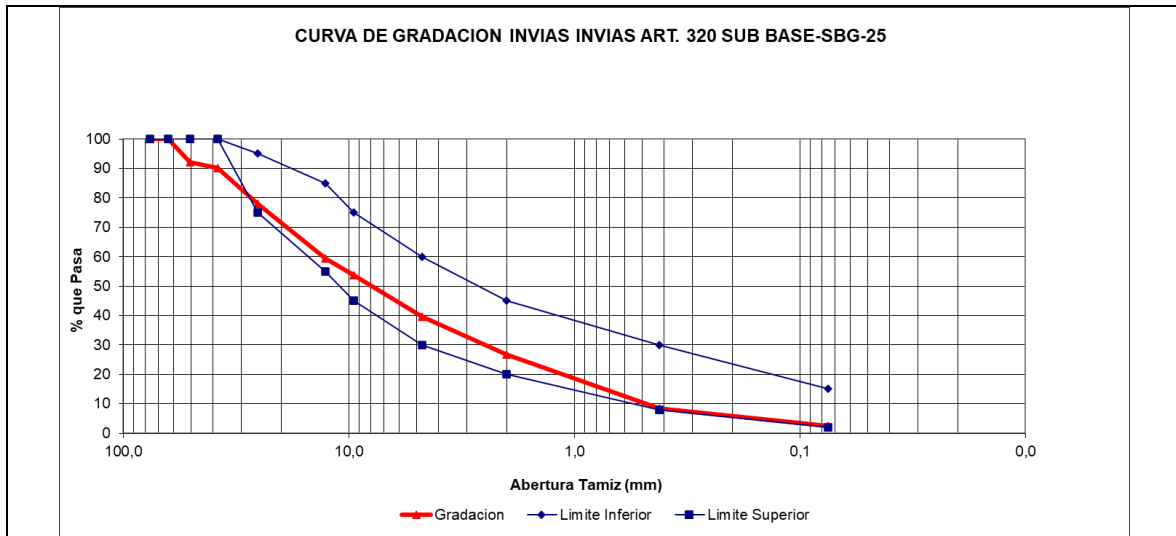


Fig. 11. CURVAS GRANULOMÉTRICAS SBG-50, SBG-25 RIO UPIN.

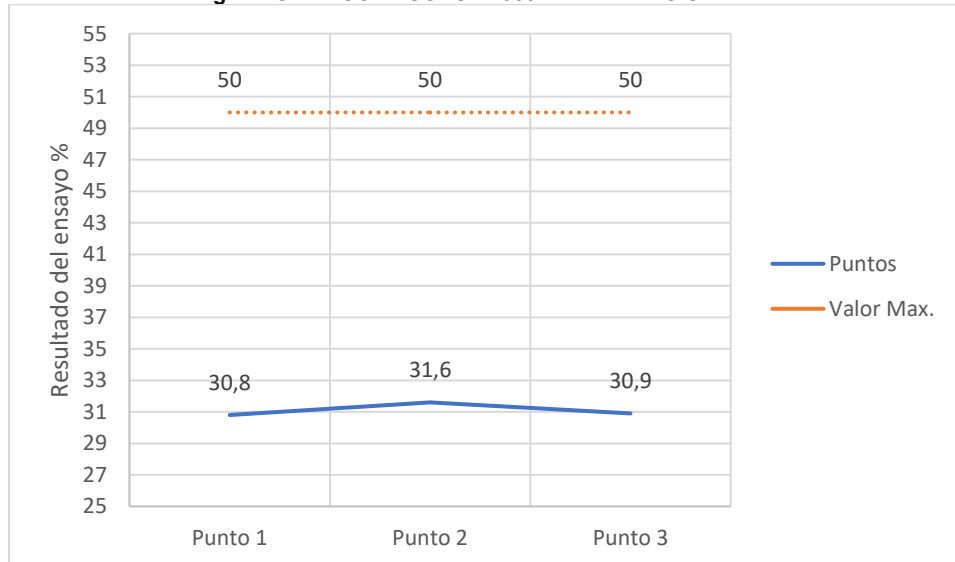


De acuerdo con lo anterior el material se comporta de una manera como subbase debido a que cumple en los límites establecidos excepto con el tamiz de 2"

- **Desgaste en la máquina de los ángeles.**

De acuerdo con la Fig. 5, el límite establecido por el Invias cambia de 40% a 50% para subbase, en la Fig. 12 se observa el comportamiento frente al desgaste en la máquina de los ángeles con un resultado promedio de 31.1%

Fig. 12. GRAFICO DESGASTE 500 REV DEL RIO UPIN



- **Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos de sodio y magnesio.**

El resultado del ensayo de pérdidas en los sulfatos de sodio y magnesio se muestran en la Fig. 7, Para este ensayo es importante recalcar que no cambian las condiciones en caso de ser practicado a un material como base o subbase entonces el resultado es el mismo.

- **Ensayo de Proctor modificado**

El resultado del ensayo de Proctor modificado se muestra en la Fig. 8 la curva de compactación que da como resultado una humedad de 5,4% y una densidad optima de 1.920 gr/cm<sup>3</sup>. Este ensayo no cambia las condiciones en caso de ser practicado a una base o subbase por lo tanto se obtiene el mismo resultado.

- **CBR**

El resultado del ensayo de CBR se muestra en la Fig. 9 de acuerdo con la capacidad de carga y la densidad seca, se obtiene un CBR de 34.1%. Este ensayo no cambia las condiciones en caso de ser practicado a una base o subbase por lo tanto se obtiene el mismo resultado.

## 2.2 Rio Salinas

El rio salinas “se ubica en la parte occidental del municipio de restrepo, se caracteriza por ser una cuenca de menor orden, otra de las cualidades que posee esta cuenca es que allí funciona una mina de sal bañada por el rio”. [1]

### 2.2.1 Base Granular

Como se indica en el numeral 2.1.1 la base granular es la capa que se encuentra inmediatamente debajo de la capa superficial y ofrece el soporte principal al pavimento.

- **Granulometría.**

Según la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se procede a realizar las granulometrías para cada uno de los tipos de base (BG-40, BG-27, BG-38, BG-25 con el material extraído del Rio Salinas. Para llevar a cabo el procedimiento es necesario entre 5000 g a 6000 g y lavarlo por el tamiz No 200.

Como resultado se obtiene la Fig. 13 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con cada una de las curvas granulométricas.

Fig. 13. CURVAS GRANULOMÉTRICAS BG-40, BG-27, BG-38, BG-25 DEL. RIO SALINAS.

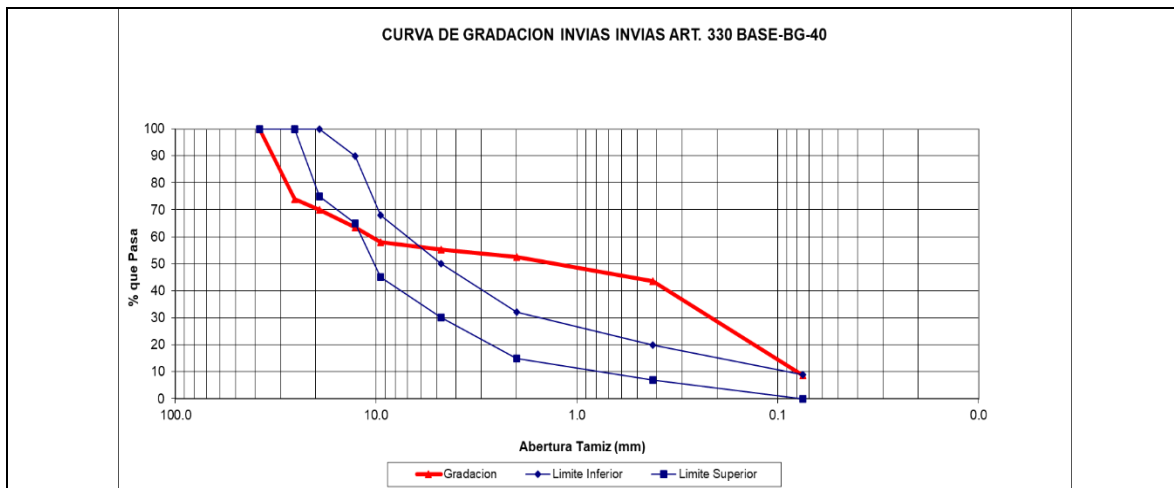
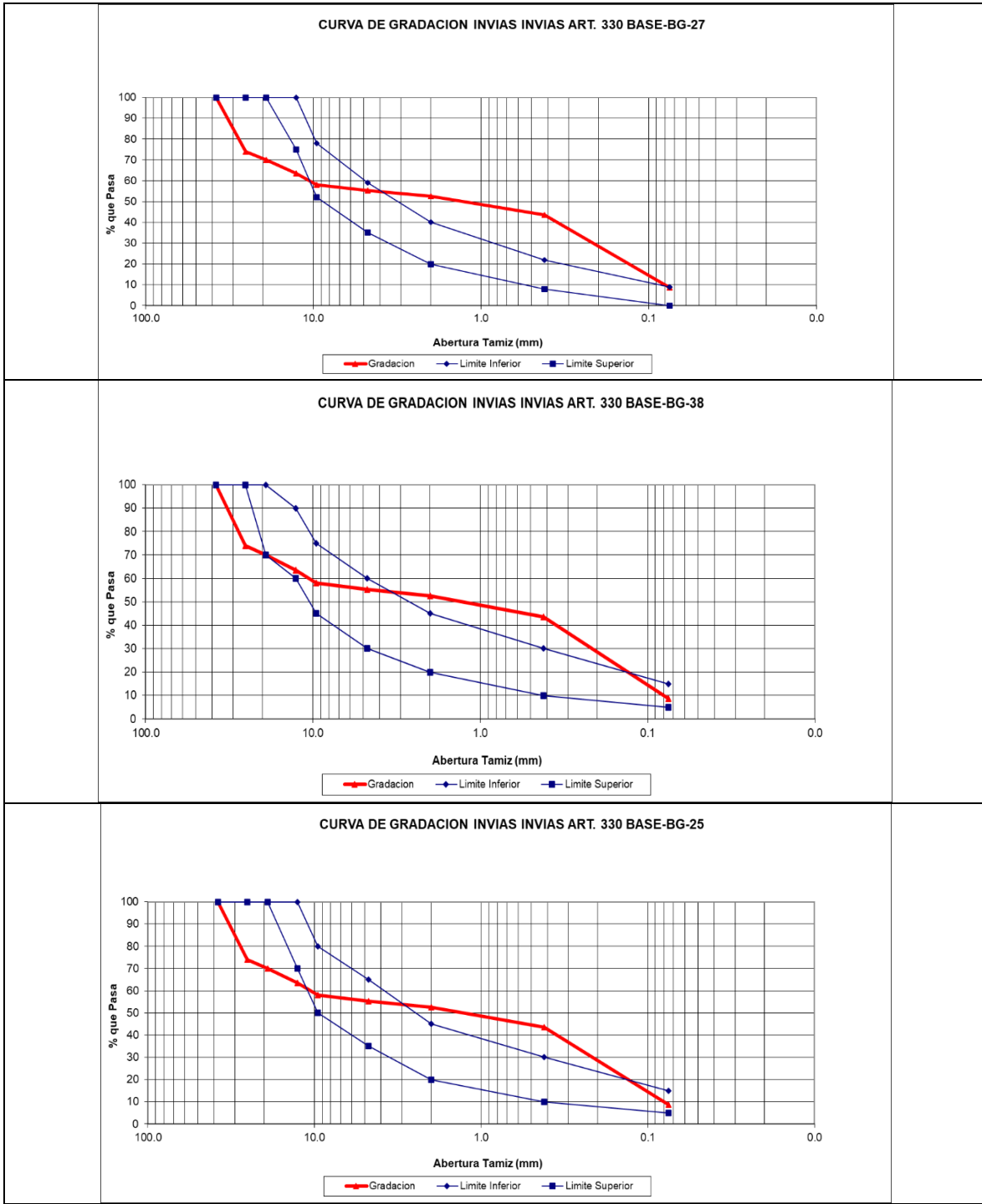


Fig. 14. CURVAS GRANULOMÉTRICAS BG-40, BG-27, BG-38, BG-25 DEL. RIO SALINAS.

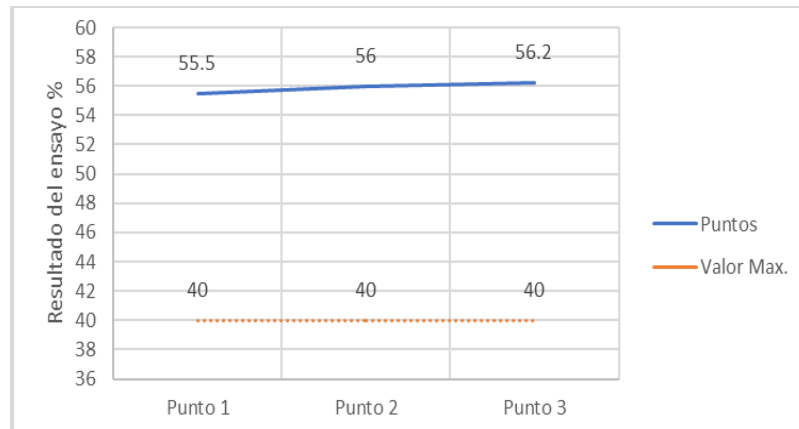


Fuente. Autor.

- **Desgaste en la máquina de los ángeles.**

Después de realizar el ensayo teniendo en cuenta las especificaciones de Invias denotadas en la Tabla 3, se procedió a realizar el análisis del ensayo a 500 revoluciones dando como resultado la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

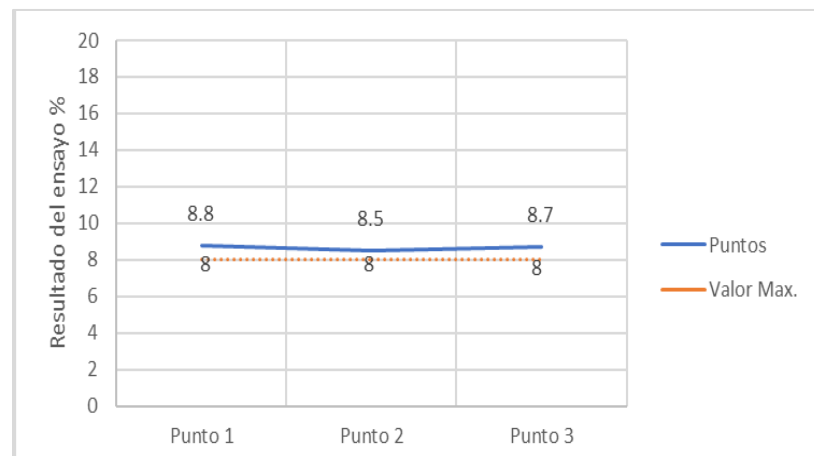
Fig. 15. GRÁFICO DESGASTE 500 REV DEL RIO SALINAS.



Fuente. Autor.

En el caso de la base es necesario realizar el mismo procedimiento con 100 revolución sin olvidar que después de realizar el desgaste es necesario tamizar por el tamiz No 12.

Fig. 16. GRÁFICO DESGASTE 100 REV DEL RIO SALINAS.

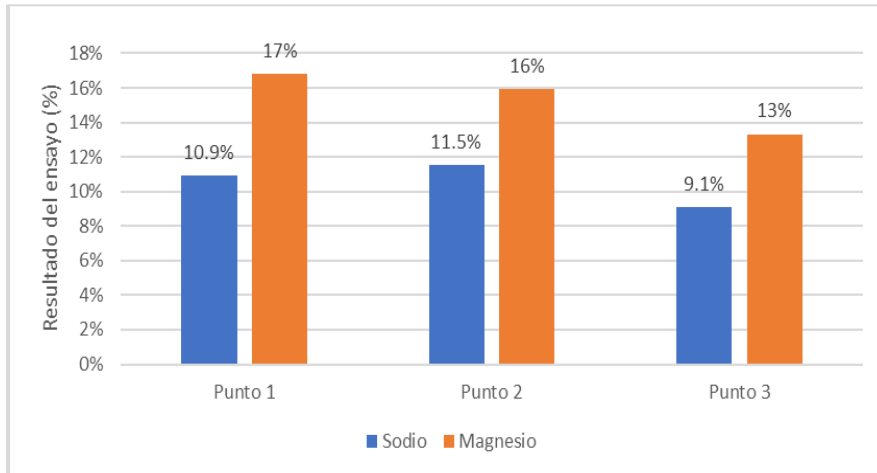


Fuente. Autor.

- **Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos de sodio y magnesio.**

Con el fin de saber la resistencia frente a la desintegración por la acción de los agentes atmosféricos se separó en tamices las partículas del agregado para así dejarlas en inmersión, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa el resultado de los ensayos en laboratorio. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se estipulan los valores de aceptación del Invias para bases granulares.

Figura 17. GRAFICO PERDIDA FRENTE A LA ACCION DE SULFATOS DEL RIO SALINAS

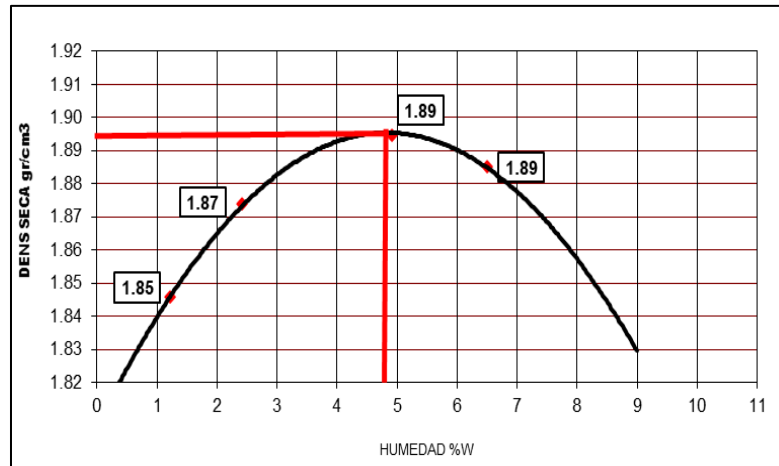


Fuente. Autor.

- **Ensayo de Proctor modificado**

El Proctor modificado es el ensayo por el cual determinamos la humedad óptima a la hora de compactar cuando se extiende una base o subbase, y así mismo con la que se realiza el CBR para asemejar las mismas condiciones en campo con las de laboratorio. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra la curva de compactación que da como resultado en el ensayo de Proctor una humedad 4.8% y una densidad óptima de 1.895 gr/cm<sup>3</sup>.

Fig. 18. CURVA DE COMPACTACIÓN RIO SALINAS.



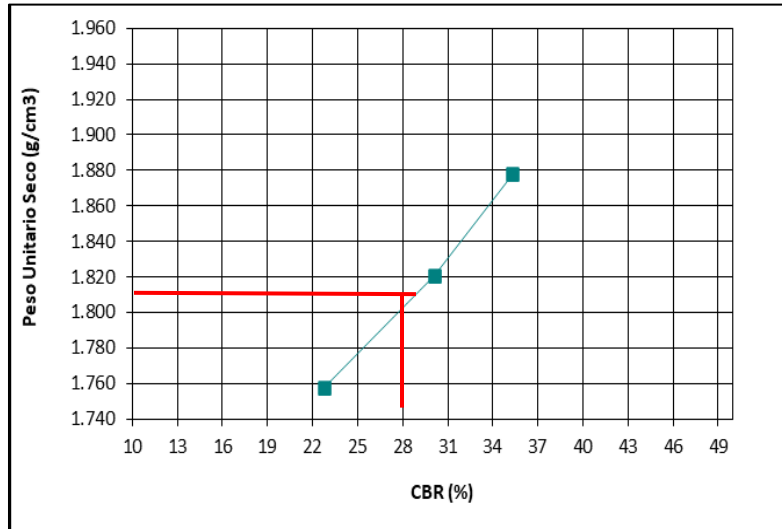
Fuente: Autor

- **CBR**

Por medio del CBR se determina la capacidad de soporte del agregado pétreo, una vez se tiene la humedad óptima del ensayo de Proctor modificado, la cual en este caso fue 4.8%.

Para el proceso de compactación se debe realizar el ensayo con tres moldes a 10,25,56 golpes respectivamente de lo anteriores se obtienen la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de acuerdo con la capacidad de carga y la densidad seca se obtiene un CBR del 28%.

Fig. 19. GRAFICA CBR RIO SALINAS



Fuente: Autor

### 2.2.2 Sub base granular

- **Granulometría.**

Según la **Tabla 6**, se procede a realizar las granulometrías para cada uno de los tipos de base (SBG-50, SBG-25), con el material extraído del Río Salinas. Para llevar a cabo el procedimiento es necesario entre 5000 g a 6000 g y lavarlo por el tamiz No 200.

Como resultado se obtiene la **Fig. 20** **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, con cada una de las curvas granulométricas.

Fig. 20. CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUB BASE. RIO SALINAS.

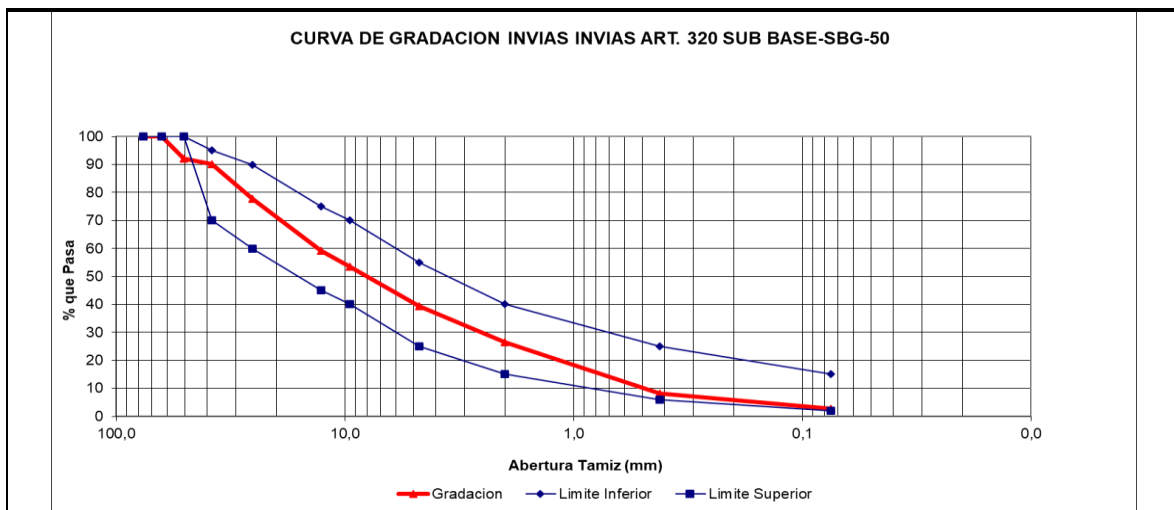
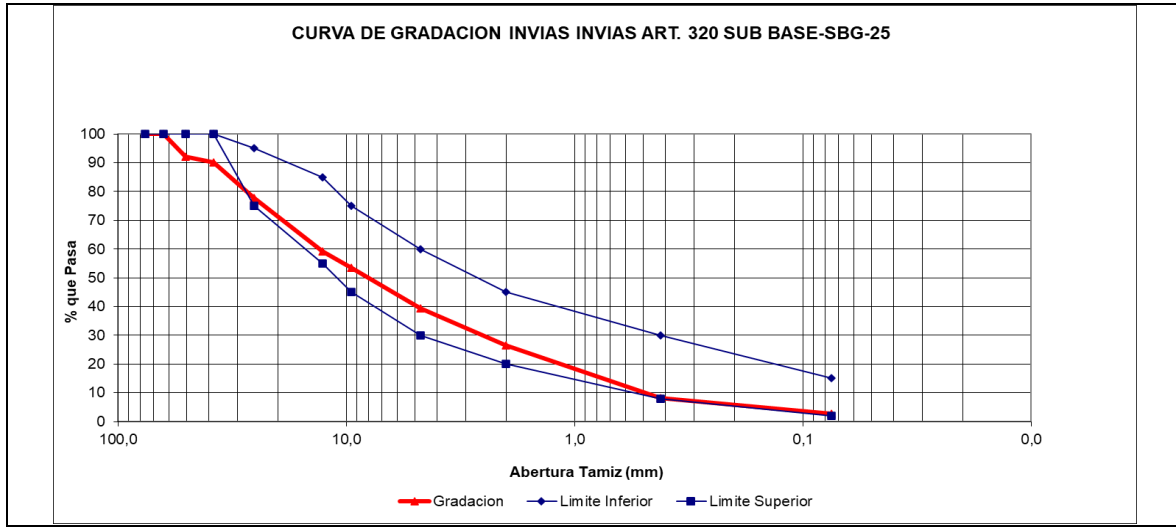


Fig. 21. CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA SUB BASE. RIO SALINAS.

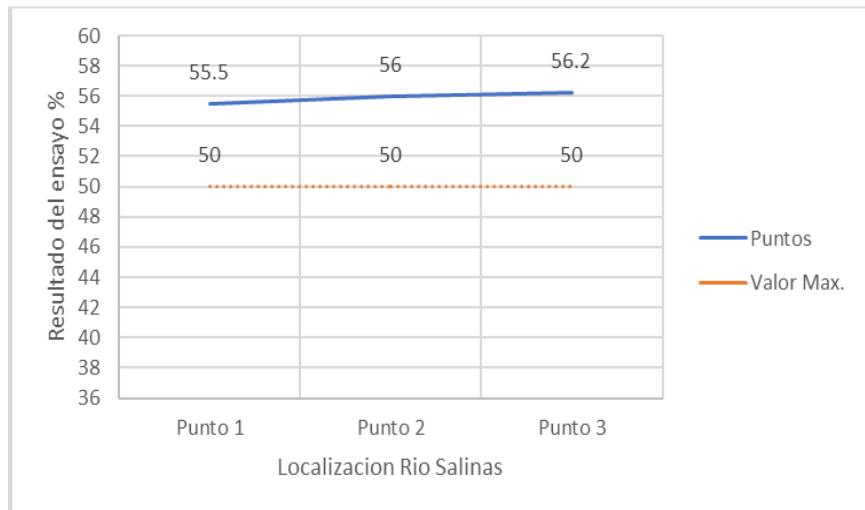


Fuente: Autor

- **Desgaste en la máquina de los ángeles.**

Después de realizar el ensayo teniendo en cuenta las especificaciones de Invias denotadas en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se procedió a realizar el análisis del ensayo a 500 revoluciones dando como resultado un promedio de 55.9 como se muestra en la Fig. 18.

Fig. 22. GRÁFICO DESGASTE 500 REV DEL RIO SALINAS.



Fuente: Autor

- **Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos de sodio y magnesio.**

El resultado del ensayo de perdidas en los sulfatos de sodio y magnesio se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Para este ensayo es importante recalcar que no cambian las condiciones en caso de ser practicado a un material como base o subbase entonces el resultado es el mismo.

- **Ensayo de Proctor modificado**

El resultado del ensayo de Proctor modificado se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la curva de compactación que da como resultado una humedad de 4.8 % y una densidad optima de 1.895 gr/cm<sup>3</sup>. Este ensayo no cambia las condiciones en caso de ser practicado a una base o subbase por lo tanto se obtiene el mismo resultado.

- **CBR**

El resultado del ensayo de CBR se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, de acuerdo con la capacidad de carga y la densidad seca, se obtiene un CBR de 28%. Este ensayo no cambia las condiciones en caso de ser practicado a una base o subbase por lo tanto se obtiene el mismo resultado.

### 3. RESULTADOS

Teniendo en cuenta los ensayos de laboratorio realizados es necesario determinar si los valores dados cumplen con lo establecido en el artículo 330 y 320 INVIAS 2013 donde se estipulan los parámetros para bases y subbases.

#### 3.1 Resultados rio Upin

En el rio Upin se tomó material en tres puntos diferentes que se establecieron mediante el software ArcGIS; para empezar a verificar la calidad del material empezamos por las granulometrías de los puntos dados lo cual nos dio los siguientes resultados.

**Tabla 7. RESULTADOS GRANULOMETRÍAS PARA BASES RIO UPIN**

TAMIZ		TIPO DE GRADACION								% PASA - PUNTO 1	% PASA - PUNTO 2	% PASA - PUNTO 3	OBSERVACION
		BG-40		BG-27		BG-38		B-25					
mm	U.S. Standard	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior				
37.5	1 1/2"	100	100	-	-	100	100	-	-	90,04	89,95	89,79	No cumple
25.0	1"	75	100	100	100	70	100	100	100	76,88	76,62	76,41	Cumple BG-40-38
19.0	3/4"	65	90	75	100	60	90	70	100	68,19	67,71	67,53	Cumple BG-40-38
9.5	3/8"	45	68	52	78	45	75	50	80	33,66	33,91	33,40	No cumple
4.75	No. 4	30	50	35	59	30	60	35	65	29,15	29,22	29,03	No cumple
2.0	No. 10	15	32	20	40	20	45	20	45	21,86	21,83	21,82	Cumple
0.425	No. 40	7	20	8	22	10	30	10	30	7,78	7,66	7,82	Cumple BG-40-38
0.075	No. 200	0	9	0	9	5	15	5	15	2,59	2,37	2,42	Cumple BG-40-38

Fuente: Autor

Los resultados anteriores son de las granulometrías realizadas para verificar si el material se encontraba dentro de los parámetros establecidos para base según artículo 330 INVIAS 2013, teniendo en cuenta los cuatro tipos de base BG-40, BG-27, BG-38, BG-25, se determinó que la curva granulométría se comporta como un agregado grueso debido que al tipo de base al que mejor se ajusta según los límites inferiores y superiores del Invias para las granulometrías es a la base BG-40 y BG-38.

Por otra parte, se realizó las granulometrías de los tres puntos del rio Upin para subbase que dio los siguientes resultados:

**Tabla 8. RESULTADOS GRANULOMETRIAS PARA SUBBASE RIO UPIN.**

TAMIZ		TIPO DE GRADACION				% PASA - PUNTO 1	% PASA - PUNTO 2	% PASA - PUNTO 3	OBSERVACION
		SBG-50		SBG-25					
mm	U.S. Standard	Límite Inferior	Límite Superior	Límite Inferior	Límite Superior				
50.0	2"	100	100	-	-	92,02	91,86	92,11	No cumple
37.5	1 1/2"	70	95	100	100	90,04	89,90	90,17	Cumple SBG-50
25.0	1"	60	90	75	95	77,70	77,51	77,93	Cumple
12.5	1/2"	45	75	55	85	59,25	58,96	59,40	Cumple
9.5	3/8"	40	70	45	75	53,57	53,23	53,79	Cumple
4.75	Nº 4	25	55	30	60	39,42	38,91	39,54	Cumple
2.00	Nº 10	15	40	20	45	26,60	26,27	26,82	Cumple
0.425	Nº 40	6	25	8	30	8,21	7,84	8,57	Cumple
0.075	Nº 200	2	15	2	15	2,68	2,35	2,54	Cumple

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados anteriores para verificar si el material cumplía con los parámetros establecidos para subbase según el artículo 320 Invias 2013 fue necesario hacer el análisis para los dos tipos de sub base SBG-50 Y SBG-25, lo cual se pudo determinar que la curva granulometría se comporta como un agregado grueso debido que al tipo de sub base al que mejor se ajusta según los límites inferiores y superiores del Invias para las granulometrías es a la sub base BG-50, pues solo incumple en el parámetro del tamiz de 2".

Por otra parte, se realizó los ensayos de laboratorio de desgaste máquina de los ángeles, perdida de sulfatos de sodio y magnesio y CBR para cada uno de los puntos del rio Upin, los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 9. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO RIO UPIN.**

CARACTERISTICA	SUB-BASE GRANULAR			RESULTADO			Observaciones
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%). - 500 revoluciones	50	50	55	30.8	31.6	30.9	Cumple con todas las clases de subbase tipo A, B Y C
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). - Sulfato de Sodio - Sulfato de Magnesio	12 18	12 18	12 18	7.9 14	8.1 12	9.1 13	Cumple con todas las clases de subbase tipo A, B Y C
CBR en inmersión (%) (4 días).	30	30	40	34.5	34.0	38.0	Cumple para subbase tipo C Y B, para el tipo A NO cumple.

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los anteriores resultados y según lo establecido en INVIAS artículo 330 y 320, los ensayos de desgaste por máquina de los ángeles y pérdidas de sulfatos de sodio y magnesio cumplen para base y subbase. Por otra parte, el ensayo de CBR que se realizó a las muestras se determinó que para base no cumple con los parámetros establecidos pues se dice que el porcentaje mínimo del CBR debe ser de 80% y según los resultados dados el material tiene un CBR entre el 34% y el 38%, así mismo se establece que el material cumple para subbase tipo C Y B pues su porcentaje mínimo es del 30%, pero para el tipo A NO cumple pues su porcentaje mínimo es el 40%.

### 3.2 Resultados rio Salinas

En el rio Salinas se tomó material en tres puntos diferentes que se establecieron mediante el software ArcGIS; para empezar a verificar la calidad del material empezamos por las granulometrías de los puntos dados lo cual nos dio los siguientes resultados.

**Tabla 10. RESULTADOS GRANULOMETRÍAS PARA BASES RIO SALINAS**

TAMIZ		TIPO DE GRADACION								% PASA - PUNTO 1	% PASA - PUNTO 2	% PASA - PUNTO 3	OBSERVACION
		BG-40		BG-27		BG-38		BG-25					
mm	U.S. Standard	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior	Limite Inferior	Limite Superior				
37.5	1 1/2"	100	100	-	-	100	100	-	-	73,91	73,40	73,27	No cumple
25.0	1"	75	100	100	100	70	100	100	100	69,90	69,55	69,22	No cumple
19.0	3/4"	65	90	75	100	60	90	70	100	63,56	63,00	62,85	Cumple BG-38
9.5	3/8"	45	68	52	78	45	75	50	80	57,96	57,26	57,28	Cumple BG-25
4.75	No. 4	30	50	35	59	30	60	35	65	55,39	55,00	54,94	No cumple BG-40
2.0	No. 10	15	32	20	40	20	45	20	45	52,51	52,31	52,31	No cumple
0.425	No. 40	7	20	8	22	10	30	10	30	43,45	43,42	43,13	No cumple
0.075	No. 200	0	9	0	9	5	15	5	15	8,67	8,57	8,29	Cumple

Fuente: Autor

Los resultados anteriores son de las granulometrías realizadas para verificar si el material se encontraba dentro de los parámetros establecidos para base según artículo 330 INVIAS 2013, teniendo en cuenta los cuatro tipos de base BG-40, BG-27, BG-38, BG-25, se determinó que el material se comporta como una arena pues la curva granulometría está por encima del límite superior lo que indica que hay una gran cantidad de arena en el material debido que al tipo de base al que mejor se ajusta según los límites inferiores y superiores del Invias para las granulometrías es a la base BG-25.

Por otra parte, se realizó las granulometrías de los tres puntos del rio Salinas para subbase que dio los siguientes resultados:

**Tabla 11. RESULTADOS GRANULOMETRÍAS PARA SUBBASE RIO SALINAS**

TAMIZ		TIPO DE GRADACION				% PASA - PUNTO 1	% PASA - PUNTO 2	% PASA - PUNTO 3	OBSERVACION
		SBG-50		SBG-25					
mm	U.S. Standard	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior				
50.0	2"	100	100	-	-	73,83	73,73	73,29	No cumple
37.5	1 1/2"	70	95	100	100	73,83	73,64	73,22	Cumple SBG-50
25.0	1"	60	90	75	95	69,44	69,51	69,30	Cumple
12.5	1/2"	45	75	55	85	59,51	59,83	59,78	Cumple
9.5	3/8"	40	70	45	75	57,93	58,10	57,89	Cumple
4.75	Nº 4	25	55	30	60	55,22	55,56	55,12	Cumple
2.00	Nº 10	15	40	20	45	52,49	52,88	52,31	NO Cumple
0.425	Nº 40	6	25	8	30	43,67	44,11	43,32	NO Cumple
0.075	Nº 200	2	15	2	15	9,23	9,02	8,12	Cumple

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los resultados anteriores para verificar si el material cumplía con los parámetros establecidos para subbase según el artículo 320 Invias 2013 fue necesario hacer el análisis para los dos tipos de subbase SBG-50 Y SBG-25, lo cual se pudo determinar que la curva granulometría que mejor se ajusta según los límites inferiores y superiores del Invias para las granulometrías es a la subbase BG-50.

Por otra parte, se realizó los ensayos de laboratorio de desgaste máquina de los ángeles, pérdida de sulfatos de sodio y magnesio y CBR para cada uno de los puntos del río Salinas, los resultados fueron los siguientes:

**Tabla 12. RESULTADOS ENSAYOS DE LABORATORIO RIO SALINAS**

CARACTERISTICA	SUB-BASE GRANULAR			RESULTADO			Observaciones
	CLASE C	CLASE B	CLASE A	PUNTO 1	PUNTO 2	PUNTO 3	
Desgaste en la máquina de los ángeles, máximo (%). - 500 revoluciones	50	50	50	55.5	56.0	56.2	NO cumple con ninguna de los tipos de subbases ni A, B, C.
Perdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%). - Sulfato de Sodio - Sulfato de Magnesio	12 18	12 18	12 18	10.96 16.80	11.50 15.92	10.90 14.07	Cumple con todas las clases de subbase tipo A, B Y C
CBR en inmersión (%) (4 días).	30	30	40	28.0	26.5	27.7	NO cumple con ninguna de los tipos de subbases ni A, B, C.

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los anteriores resultados y según lo establecido en INVIAS artículo 330 Y 320, los ensayos de desgaste por máquina de los ángeles y pérdidas de sulfatos de sodio y magnesio NO cumplen para base y subbase. Por otra parte, el ensayo de CBR que se realizó a las muestras se determinó que para base no cumple con los parámetros establecidos pues se dice que el porcentaje mínimo del CBR debe ser de 80% y según los resultados dados el material tiene un CBR entre el 26% y el 28%, así mismo se establece que el material NO cumple para subbase porcentaje mínimo es del 30%.

## CONCLUSIONES

Al realizar las respectivas caracterizaciones del agregado se logró establecer por medio de las granulometrías que el mejor tipo de base o subbase a la que mejor se ajusta dentro de los límites establecidos por el Invias en los Artículos 320 y 330 es a SBG-50 esto para el agregado del Río Upin, teniendo en cuenta que no cumple con el 100% de pasa en el tamiz de 2". Para esto se podría realizar un cribado con una malla de este diámetro para que el material cumpla con el requisito del Invias.

Por medio de este análisis granulométrico se pudo evidenciar que el agregado que cuenta con mejores condiciones para ser suministrado como subbase es el material pétreo del río Upin, debido

a que cumple con los demás ensayos como lo son el desgaste en la máquina de los ángeles, pérdidas en ensayo de solidez de sulfatos y CBR.

Se puede observar con los porcentajes granulométricos que el material del río salinas presenta un gran porcentaje de arena pues la curva se encuentra por encima de los límites establecidos por INVIAS-ART-330-320, al ser un material con tan poca presencia de grava no se recomienda su uso para subbase o base granular.

Los ensayos de desgaste en la máquina de los ángeles y CBR que se realizaron al río Salinas no cumplieron con ninguno de los parámetros establecidos en INVIAS-ART-330-320.

## REFERENCIAS

- [1] Concejo del Municipio de Restrepo, «Plan de Desarrollo Municipal,» Restrepo, 2016.
- [2] C. E. B. Diana Alejandra Gutierrez, «Caracterización de la vivienda urbana nueva que se oferta en el municipio de Restrepo,» Universidad de los Llanos, Villavicencio, 2018.
- [3] H. A. R. Quintana, Pavimentos: Materiales, construcción y diseño., Bogota: Ecoe Ediciones, 2015.
- [4] Alcaldía Municipal de Restrepo, «Documento Técnico de Soporte,» Restrepo, 2018.
- [5] Instituto Nacional de Vías, «Manual de Normas de Ensayo de Materiales para Carreteras,» INVIAS, Bogota, 2013.