

APROXIMACION A LA ZONIFICACION DEL CBR EN LA LOCALIDAD DE CHAPINERO

Luis Gabriel Salgado Rivas
Ingeniero Civil
Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
gabosalga@yahoo.com

RESUMEN

A través de la geotecnia se determinan diferentes características mecánicas que posee el suelo, y de acuerdo a la naturaleza de una obra civil se determinan los parámetros que se requieren para su estudio y posterior diseño.

Para el caso de los pavimentos, la primera variable que es necesaria para iniciar un diseño luego de haber clasificado, es el CBR. Para obtener este parámetro, es necesario efectuar perforaciones sobre el suelo con recuperación de muestras para su análisis. Debido a que los especímenes que se obtienen corresponden a muestreos aleatorios, y dadas las características de cambios en el comportamiento y de los parámetros del suelo respecto de un sitio a otro, se dificulta la predicción de estas características, por lo cual no se debe hablar de un valor certero frente a este parámetro geotécnico.

De acuerdo a la información recopilada en la ciudad de Bogotá D.C. durante los años 2006 a 2009, se pudo observar que los estudios de suelos estaban destinados a obras de edificaciones, donde se obtuvieron parámetros de resistencia al corte in situ como lo es el N, del ensayo SPT, pero que con la ayuda de gráficos y tablas, se pueden correlacionar para obtener el CBR y dar paso a mapas tanto del N, del SPT como del CBR, obteniendo así una zonificación de este parámetro destinado a la localidad de Chapinero, ya que de lo observado, se pudo evidenciar que esta localidad de la ciudad contaba con el mayor número de datos que permitieran dar más confiabilidad a lo propuesto.

Palabras clave

SPT: Standard Penetration Test ó Ensayo de Penetración Estándar.

CBR: California Bearing Ratio ó Relación de Soporte California.

SS: Split Spoon ó toma-muestras de cuchara partida.

N: Número de golpes del ensayo SPT necesarios para penetrar una pulgada inglesa.

Subrasante: Suelo de apoyo de una estructura.

AASHTO: AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS.

In situ: Actividades que se desarrollan directamente en el sitio en cuestión.

INTRODUCCIÓN

En varias ocasiones nos encontramos en situaciones en donde somos requeridos para realizar estudios ó diseños de pavimentos con presupuestos bajos y sin contar siquiera con la información básica para adelantar los mismos, situación que genera incertidumbre al momento de tomar una determinación frente a si un proyecto de infraestructura vial, puede ser ejecutado o no motivado por la falta de información al respecto. En algunos casos vemos que se ejecutan y sin contar con los requerimientos que son aplicables al proyecto, y se toman los datos de algún proyecto similar sin importar que no haya sido realizado en cercanías a la zona donde se llevará a cabo el nuevo proyecto planteado.

A la hora de la ejecución bajo esta información de muy baja confiabilidad, se llega al terreno, encontrando que todo es completamente diferente, dando origen a inconvenientes de tipo técnico, administrativo y repercutiendo significativamente en la parte económica. Es por ello que se ha planteado crear una herramienta que sirva de forma más elaborada bajo una metodología técnica, que permita desarrollar a manera preliminar diseños de pavimentos y por ende su estimativo económico que permita proyectar o asignar recursos monetarios a determinada obra de infraestructura vial.

Con la ayuda de diferentes estudios de suelos realizados en la ciudad de Bogotá entre los años 2006 a 2009 efectuados para construir edificaciones, se ha propuesto utilizar los mismos para llevar a cabo una aproximación al parámetro inicial empleado en el diseños de pavimentos, bien sea de tipo flexible o rígido; dicho parámetro es el “CBR” (*California Bearing Ratio*), derivado de sus siglas en inglés Relación de Soporte California, a causa de la ausencia de una herramienta que permita efectuar pre dimensionamientos que permitan obtener presupuestos para obras en la materia descrita.

De acuerdo a la investigación realizada, es preciso mencionar que los estudios de suelos poseen información de ensayos in situ que miden la resistencia al corte, como lo es el “SPT” (*Standard Penetration Test*) de sus siglas en inglés Ensayo de Penetración Estándar; los que luego a partir de una gráfica propuesta por Livnen & Ishai 1988 [1], se correlacionan para obtener el mencionado CBR. Este parámetro correlacionado, se ha plasmado en un mapa de la ciudad de Bogotá D.C., y con ayuda de la herramienta computacional ArcGis [2], se ha georreferenciado e interpolado por medio de los métodos IDW, KRIGING, NATURAL NEIGHBOR y SPLINE, que por defecto vienen incorporados en esta herramienta informática para efectuar una aproximación de este parámetro del suelo empleado para los diseños de los pavimentos.

1. MARCO TEÓRICO

La localidad de Chapinero es la número 2 de Bogotá, está ubicada en el centro-orientado de la ciudad y limita, al norte, con la calle 100 y la vía a La Calera, vías que la separan de la localidad de Usaquén; por el occidente, el eje vial Autopista Norte-Avenida Caracas que la separa de las localidades de Barrios Unidos y Teusaquillo; en el orientado, las estribaciones del páramo de Cruz Verde, la Piedra de la Ballena, el Pan de Azúcar y el cerro de la Moya, crean el límite entre la localidad y los municipios de La Calera y Choachí. El río Arzobispo (calle 39) define el límite de la localidad al sur, con la localidad de Santa Fe. Chapinero tiene una extensión total de 3.898,96 hectáreas con un área rural de 2.664,25 ha (68%) y un área urbana de 1.234,71 ha (32%) [3]

Hoy en día Chapinero cuenta con aproximadamente 166.000 habitantes y una población flotante de más de 500.000 personas [3]. La oferta cultural de Chapinero es amplia, declarada –zona de interés cultural- cuenta con un buen número de reconocidos artistas, academias de artes y aficionados que viven o trabajan en la localidad.

Asimismo, existe una variada y diversa programación cultural ofertada -en su mayoría- por organizaciones culturales privadas, universidades y fundaciones sin ánimo de lucro. (Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., Secretaría de Cultura, Recreación y Deporte)

Estado del Arte

De acuerdo a los planteamientos en realizar una aproximación al CBR (Porter, 1929) en la localidad de Chapinero en la ciudad de Bogotá D.C.-Colombia, se puede mencionar que tal suceso no tiene suficiente historia que permita establecer ó manifestar los diferentes etapas que pudo haber sufrido esta investigación, así como su uso.

Como se mencionó anteriormente este estudio ha sido poco trabajado a nivel local, sin embargo existen diferentes estudios que se han efectuado para estimar otros sucesos de la naturaleza y así de esta forma generar diseños de infraestructura de tipo civil, tal es el caso de los alcantarillados, que a partir de registros históricos de lluvias y de instrumentos de mediciones, se ha tratado de predecir la ocurrencia de aguaceros de máxima intensidad y duración a través del tiempo, efecto este que se plasma en las curvas denominadas “*Intensidad- Frecuencia- Duración*”[4], las cuales se fundamentan en las líneas isoyetas, plasmadas en un plano topográfico de la zona en estudio, es decir se ha creado una zonificación.

Para otros eventos que la naturaleza presenta y que caracterizan el subsuelo para las zonificaciones surgen a partir de las propiedades físicas de los suelos y rocas a través del cual viajan las ondas sísmicas, principios estos empleados cuando se han efectuado métodos no destructivos de investigación del subsuelo.

Por ejemplo, si una onda plana atraviesa verticalmente a través de granito cubierta por un depósito de espesor uniforme y de aluvión, y luego, teóricamente, la amplitud de la onda en la superficie debe ser el doble que en el contacto aluvión de granito.

De acuerdo con Ambraseys (1974), la aceleración máxima dentro de un área fuente del terremoto podrá ser superior a 2 g de roca competente. Por otro lado, las arcillas normalmente consolidadas con baja plasticidad son incapaces de transmitir aceleraciones mayores que 0,1 a 0,15 a la superficie, mientras que las arcillas con alta plasticidad permiten aceleraciones de 0,25 a 0,35.

Las arcillas arenosas y arenas medio-densas pueden transmitir 0,5 a 0,6 g, y en la grava limpia y seca, las aceleraciones en arena densas pueden llegar a valores mucho más altos.

Sin embargo, Ambraseys mantiene que la amplitud de las velocidades máxima del terreno, y en cierta medida la duración de la agitación o la velocidad a la que se suministra flujo de energía a una estructura, son más importantes que las aceleraciones del suelo en cuanto a los problemas sísmicos se refieren. Es más, señaló que a efectos prácticos no existe una correlación significativa entre la aceleración, la magnitud y la distancia de una fuente del terremoto en la zona epicentro.

Con fundamento en estas investigaciones se ha planteado poder prevenir o adelantarse a la ocurrencia de estos eventos en determinada región que la mayoría de los casos son de tipo adverso para la vida humana. Tal es el caso cuando de prevenir sismos se trata; aunque si bien estas características de la naturaleza en realidad no se pueden prevenir, existen formas que han ayudado a mitigar los efectos adversos que ellos producen cuando estos eventos se manifiestan, tal es el caso de los mapas de amenaza sísmica.

Un mapa de zonificación sísmica [13] muestra las zonas de peligro diferente en un área en particular. Algunos mapas de zonificación sísmica resumen de las observaciones de los efectos del terremoto del pasado, bajo el supuesto de que el mismo patrón de actividad sísmica será válido en el futuro, mientras que en otras áreas se ha efectuado al extrapolar a partir de los terremotos anteriores a las posibles zonas afectadas por terremotos. En el primer tipo de mapa no se puede tener en cuenta las fuentes de terremoto en las zonas que han estado en silencio durante el período de observación, y la segunda categoría es más difícil de compilar [5], [6], [7].

Pruebas sísmicas obtenidas a través de la instrumentación [12] y de los registros históricos se puede utilizar para producir mapas de zonificación sísmica. De esta misma forma los máximos niveles de peligro pueden basarse en el supuesto de que futuros terremotos se producen con las mismas magnitudes máximas y las intensidades registradas en un lugar determinado como en el pasado (Sokolenko, 1979). Por lo tanto, la zonificación sísmica proporciona un amplio panorama de la amenaza ante estos movimientos que pueden estar involucrados en regiones en continuo movimiento tectónico y por ello ha conducido a una reducción del riesgo

sísmico. Mapas detallados de zonificación sísmica deben tener en cuenta las características locales de ingeniería y geológicas, así como las diferencias en el espectro de vibraciones sísmicas y, lo más importante de todo, la probabilidad de la ocurrencia de sismos de diversas intensidades. Mapas de intensidad pretenden definir las áreas de origen de los terremotos y ya sea la intensidad máxima que se puede esperar en cada ubicación o la intensidad máxima prevista en un intervalo de tiempo dado (Donovan et al., 1978).

Uno de los problemas involucrados en la producción de mapas de zonificación sísmica es el de la elección de los parámetros que se deben asignar. Por lo general, los mapas de zonificación sísmica están vinculados a los códigos de construcción y comúnmente se divide en zonas, en términos de incrementos de intensidad macro sísmica o relacionados con los coeficientes sísmicos incorporadas en un código particular. El código de construcción puede especificar la variación del coeficiente en términos de las condiciones del suelo y el tipo de estructura. Otros mapas pueden distinguir las zonas de destrucción [7].

Sin embargo, Karnik y Algermissen (1978) argumentan que hay una creciente necesidad de cantidades relacionadas con el diseño sismo resistente que deben tenerse en cuenta, tales como la aceleración máxima o pico de velocidad de las partículas, periodo predominante de la agitación o la probabilidad de ocurrencia. Algermissen et al. (1975) desarrollaron una técnica para la estimación probabilística de movimiento del suelo, es decir, para derivar el suelo máxima agitación a un punto particular en un determinado número de años en un determinado nivel de probabilidad. De esta manera, fueron capaces de producir mapas de aceleración horizontal para un período de tiempo determinado.

Ensayo de Penetración Estándar (SPT): El ensayo de penetración estándar o SPT (del inglés standard penetration test), nace en el año 1927, desarrollado por un sondista de la Raymond Concrete Pile Co., quien propuso a Terzaghi contabilizar el número de golpes necesarios para hincar 1 pie (30 cm) el toma muestras que solía utilizar para obtener muestras en terrenos sin cohesión (arenas); es un tipo de prueba de penetración dinámica, empleada para ensayar terrenos en los que se quiere realizar un reconocimiento geotécnico.



Figura 1. Esquema del ensayo SPT
Fuente: Autor

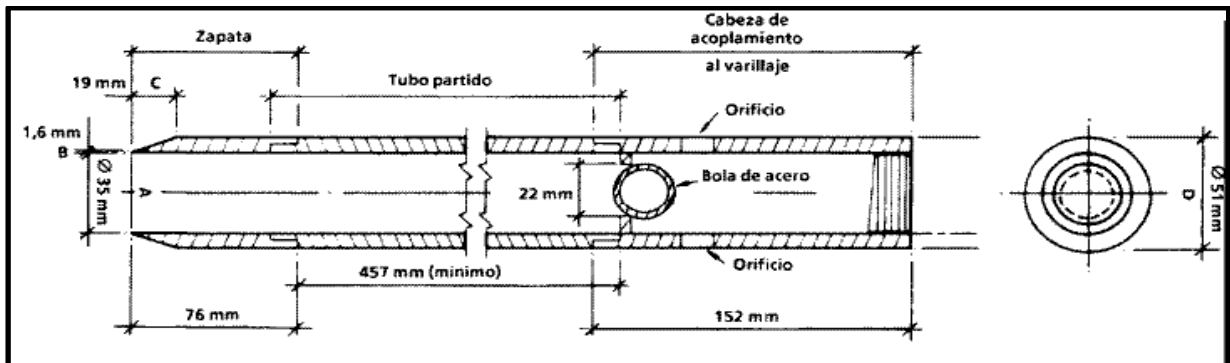


Figura 2. Esquema del toma-muestras "SS (Split Spoon)"
Fuente: An Introduction To Geotechnical Engineering

El ensayo consiste en la hincada a golpes del toma-muestras por medio de la caída libre de una pesa de 140 libras desde una altura de 30" (76.2cm). Se cuenta el número de golpes para avanzar tres tramos de 6" (15 cm) mientras el suelo va llenando el toma-muestras. Esto se registra como $n_1/6"$, $n_2/6"$, $n_3/6"$. Esta operación se repite con intervalos verticales de 3m en estudios preliminares, y de 1.5 m en estudios definitivos, cuando este ensayo es pertinente y aplicable. [8].

El resultado característico del ensayo SPT es el N, (golpes por pie), resultado de sumar $n_2/6" + n_3/6"$.

Este ensayo es adecuado y da buena información en suelos arenosos y limosos de variadas densidades y en suelos arcillosos de consistencia firme a dura. No da información útil cuando se realiza en suelos arcillosos sensitivos de consistencia media a muy blanda.

Da información errónea cuando el suelo tiene partículas de tamaño mayor que $3/4"$, pues las piedras que pueden dificultar la entrada libre de la matriz del suelo hacia el

interior del toma-muestras o físicamente pueden trabar o bloquear la entrada del SS (Split Spoon), convirtiéndolo el ensayo en una prueba de la resistencia a la rotura de las piedras. [9], [14].

Relación de Soporte California (CBR): El ensayo de relación de soporte de California se desarrolló por parte de la División de Carreteras de California en 1929 como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como sub rasante o material de base en construcción de carreteras. Durante la segunda guerra mundial, el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, adoptó este ensayo para utilizarlo en la construcción de aeropuertos.

El Ensayo CBR (California Bearing Ratio) mide la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo y para poder evaluar la calidad del terreno para subrasante, sub base y base de pavimentos y se efectúa bajo condiciones controladas de humedad y densidad.

Este es uno de los parámetros necesarios obtenidos en los estudios geotécnicos previos a la construcción, como también lo son el Ensayo Proctor y los análisis granulométricos del terreno.

Diferenciamos distintos tipos de CBR en función de la calidad de suelos, a saber [10], [11]:

- CBR suelos inalterados.
- CBR suelos remoldeados.
- CBR suelos gravosos y arenosos.
- CBR suelos cohesivos poco o nada plásticos.
- CBR suelos cohesivos plásticos.

Este procedimiento puede efectuarse en terreno compactado.

Este procedimiento mide la carga necesaria para penetrar un pistón de dimensiones determinadas a una velocidad previamente fijada en una muestra compactada de suelo después de haberla sumergido en agua durante cuatro días a la saturación más desfavorable y luego de haber medido su hinchamiento.

La muestra se sumerge para poder prever la hipotética situación de acumulación de humedad en el suelo después de la construcción. Por ello, después de haber compactado el suelo y de haberlo sumergido, se lo penetra con un pistón el cual está conectado a un pequeño "plotter" que genera una gráfica donde se representa la carga respecto la profundidad a la que ha penetrado el pistón dentro de la muestra.

La gráfica obtenida por lo general es una curva con el tramo inicial recto y el tramo final cóncavo hacia abajo; cuando el tramo inicial no es recto se le corrige.

Con la gráfica observamos los valores de la carga que soportaba el suelo cuando el pistón se había hundido 2.5 mm y 5mm y los expresamos en tanto por ciento (%), tomando como índice CBR el mayor de los porcentajes calculados. [10]

2. METODOLOGÍA

La idea de presentar una *aproximación a la zonificación del cbr en la localidad de chapinero*, surge por la carencia de estimaciones aproximadas del CBR que sirvan para realizar un pre dimensionamiento de pavimentos bien sea de tipo flexible o rígido para la localidad propuesta en la Ciudad de Bogotá D.C.-Colombia.

Se inicia entonces con la recopilación de la información de diferentes estudios de suelos de la ciudad; de ahí se sugirió que dicha información fuera plasmada en un mapa donde se lograra mostrar cada uno de los estudios suministrados.

Posterior a esta recopilación, en la cual se contó con 111 estudios de suelos que en su gran mayoría están enfocados para erigir edificaciones, se comenzaron a organizar en una tabla, identificando su ubicación a través de la nomenclatura que el Distrito Capital ha designado para distinguir los predios que la conforman, siendo esta clasificación fundamentada por calles y carreras.

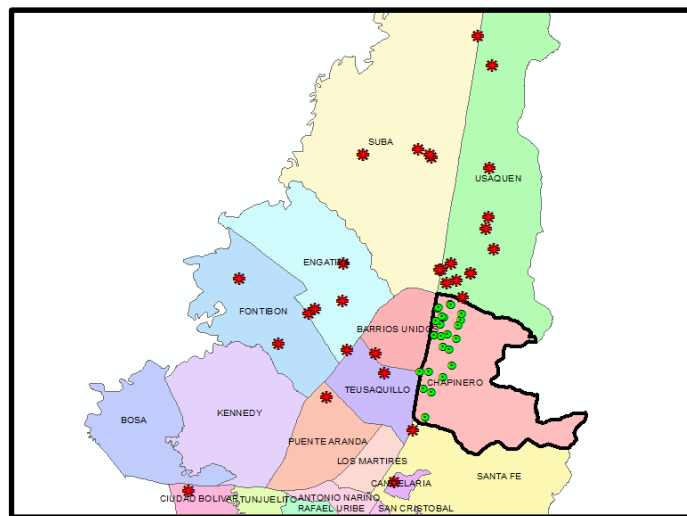


Figura 3. Localización estudios de suelos
Fuente: Autor

De igual forma, se fueron identificando cada uno de los estudios de suelos de acuerdo al código que los mismos presentaban, y articulados con su nomenclatura urbana. Como cada uno de ellos se habían realizado de acuerdo a perforaciones efectuadas a grandes profundidades que alcanzaban desde 30 a 70 m, se optó por sesgar la información hasta una profundidad de 2m, ya que de la experiencia en construcción de este tipo de proyectos a nivel urbano, se ha determinado que las

excavaciones para dar paso al sistema de capas que conforman un pavimento, alcanzan normalmente un máximo de esta profundidad.

Definida entonces la profundidad de análisis, se revisa cada uno de los estudios de suelos, y con la información allí contenida de la caracterización geotécnica que ellos presentan, fueron incorporados en una tabulación definiendo cada uno de esos parámetros, correspondientes a límites de Atterberg de donde se obtienen límite líquido (LL), límite plástico (LP) y por ende el índice de plasticidad (IP), siendo este último conocido como el contenido de humedad con el cual el suelo se comporta plásticamente o moldeable, también como el intervalo que existe entre el límite líquido y el límite plástico.

Se buscó entonces dentro de los estudios de suelos recopilados, encontrar estos parámetros que contribuyen a la clasificación de los suelos, en especial los de comportamiento cohesivo, ya que es éste parámetro el que permite efectuar de forma más acertada la clasificación de este tipo de suelos, además que la metodología AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO), empleada para clasificar suelos con destino a pavimentos se basa en este parámetro para determinar la qué tan competente es un suelo para formar parte del sistema multicapa para un pavimento, es decir si el suelo caracterizado nos puede servir como base, sub base ó simplemente para que sirva de mejoramiento de una sub rasante.

En este documento, se ha buscado que el suelo caracterizado se destine a la sub rasante, que luego servirá de apoyo a las capas superiores, estas últimas por lo general son del tipo granular con bajos IP.

Como se pudo observar de los estudios de suelos que este parámetro de límites de Atterberg no se encontraba descrito para la profundidad definida a ser analizada y en la totalidad de los ensayos recopilados, los cuales se pretendían correlacionar bajo la metodología propuesta por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS), también fundamentados sobre la metodología AASHTO 2002, consistente en el “análisis de una fórmula incluida en la guía AASHTO 2002 para obtener el CBR a partir de las propiedades índices de los suelos” en la cual se correlacionaría dichas características para obtener el CBR, con ayuda de la ecuación que se muestra a continuación:

$$CBR = \frac{75}{1+0.728(P_{200}*IP)} \quad (1)$$

P_{200} : Proporción del material que pasa por el tamiz #200, expresada como decimal.

IP: Índice plástico del suelo

Como se mencionó, no se contaba con la totalidad de estos parámetros, pero sí se con la información de los parámetros de resistencia al corte obtenidos mediante ensayos in situ tales como “qu”, determinado del ensayo de la resistencia a la compresión simple de un triaxial no consolidado no drenado ó también conocido como la compresión inconfiada, y el número de golpes obtenidos de un ensayo

SPT, se decidió entonces caracterizar la consistencia de los suelos a partir de este parámetro con fundamento en la tabla de Consistencia o términos de resistencia para suelos cohesivos U.S.Dept. of Interior (1998);U.S.Dept. of the Navy (1986), al igual que la correlación del CBR a partir del SPT, de acuerdo a la gráfica propuesta por Livnen & Ishai.

Como esta gráfica tiene las unidades del SPT en mm/golpe, y las unidades que se obtienen de los ensayos in situ corresponden a golpes/pie, fue necesario generar la conversión de estas unidades partiendo de los factores de conversión de unidades de la siguiente forma:

$$SPT \left[\frac{mm}{golpe} \right] = \left(\frac{1}{SPT \left[\frac{golpe}{pie} \right]} \right) \times 304.8 \quad (2)$$

Ya con este parámetro del SPT definido en las unidades requeridas, se empleó el gráfico propuesto por livnen & Ishai para determinar a partir de la correlación, el valor del CBR.

Finalmente cada uno de los estudios de suelos fueron ubicados en un mapa de la Ciudad de Bogotá D.C., con la ayuda de la herramienta informática ArcGis, versión 10, y georreferenciados bajo el sistema de coordenadas proyectadas denominado MAGNA CIUDAD BOGOTÁ, con la finalidad de introducir los parámetros de SPT y CBR en una tabla de atributos que el programa computacional ofrece para generar interpolaciones a nivel de SPT y CBR, bajo los métodos IDW, KRIGING, NATURAL NEIGHBOR y SPLINE, que por defecto vienen incorporados en esta herramienta informática.

Como resultado de esta interacción se obtendrán dos mapas con isolíneas, que tratarán de unir puntos de igual valor respectivamente destinados para el SPT y el CBR, generando así lo que se busca que es obtener una aproximación del CBR en la localidad de Chapinero de la Ciudad de Bogotá.

3. RESULTADOS

Tabla 1. Conversión de unidades del SPT de golpe/ft a mm/golpe

CBR (ARBITRARIO)	SPT (golpe/ft)	SPT (mm/golpe)
1	1	304.80
2	2	152.40
3	3	101.60
4	4	76.20
5	5	60.96
6	6	50.80
7	7	43.54
8	8	38.10
9	9	33.87
10	10	30.48
11	11	27.71
12	12	25.40
13	13	23.45
14	14	21.77
15	15	20.32
16	16	19.05
17	17	17.93
18	18	16.93
19	19	16.04
20	20	15.24
21	21	14.51
22	22	13.85
23	23	13.25
24	24	12.70
25	25	12.19
26	26	11.72
27	27	11.29
28	28	10.89
29	29	10.51
30	30	10.16
31	31	9.83
32	32	9.53
33	33	9.24
34	34	8.96
35	35	8.71
36	36	8.47
37	37	8.24
38	38	8.02
39	39	7.82
40	40	7.62
41	41	7.43
42	42	7.26
43	43	7.09
44	44	6.93
45	45	6.77
46	46	6.63
47	47	6.49
48	48	6.35
49	49	6.22

CBR (ARBITRARIO)	SPT (golpe/ft)	SPT (mm/golpe)
50	50	6.10

Fuente: Autor

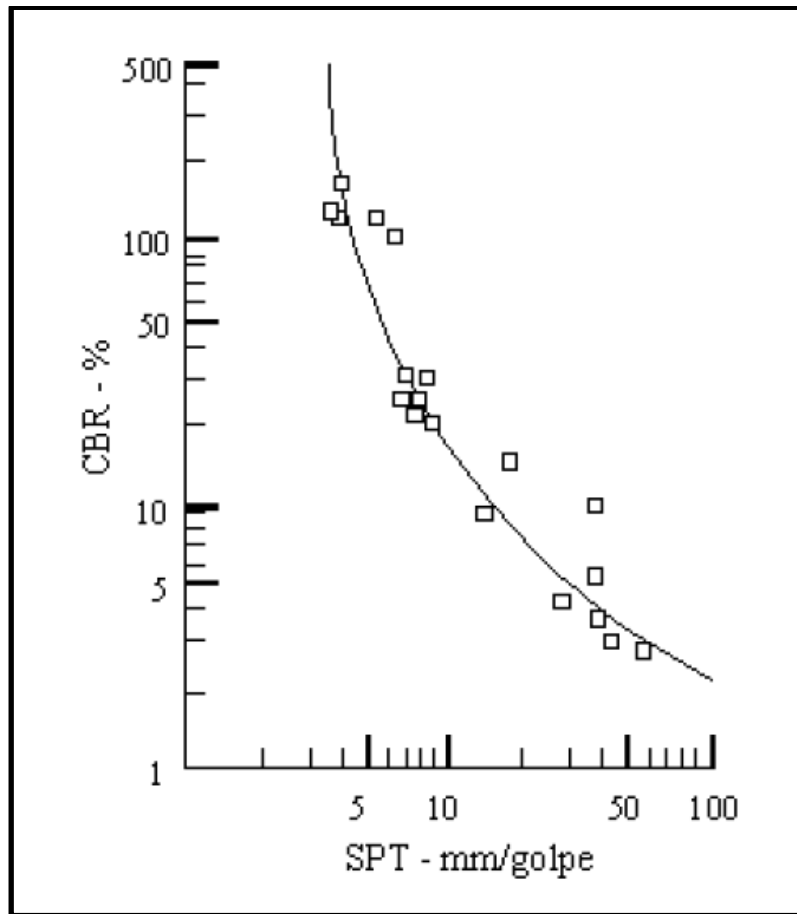


Figura 4. Gráfico logarítmico propuesto por Livnen & Ishai-1987, para correlación de SPT con CBR
Fuente: Hidalgo Andrade Felipe Adrián (2007), Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos

Tabla 2. Correlación SPT con CBR

N_{SPT}	Material Granular	5	10	12	15	20	25	30
	Material cohesivo	2	5	7	10	15	17	20
	CBR estimado	1	2	3	5	10	20	10

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Transportes de Andalucía-España.

Tabla 3. Tabulación adopción CBR a partir de caracterización geotécnica del suelo.

CÓDIGO	Dirección	FECHA DEL ESTUDIO	LP	LL	IP	Profundidad (m)	qu (kg/cm ²)	qu (kPa)	Descripción suelo	*CONSISTENCIA	SPT (golpes/pie)	SPT (mm/golpe)	E (Ton/m ²)	CBR - % - (GRAFICO LIVNEH & ISHAI)	CBR EN % (ADOPTADO)
7007	Carrera 16 N° 80-07	Junio 05 de 2009				1.10 - 1.50	0.5	49.05	Limo arenoso	Media	2	152	380	1	1
7019	Carrera 9 No 93A-07	Marzo 30 de 2006				0.00 - 5.50	0.1	9.81	Limo arenoso	Muy blanda	2	152	640	1	1
7044	Carrera 16 No. 86A- 79	Mayo 9 de 2006				0.0 - 0.95/1.50	0.8	78.48	Arcilla	Media	3	102	485	2.3	2
7129	carrera 16 con calle 96	Julio 18 de 2007				0.0 - 1.80/3.00	0.38	37.28	limo arcilloso orgánico	Blanda	2	152	465	1	1
7226	calle 55 No. 7-28	Enero 18 de 2008	22.00	30.00	8.00	0.0 - 0.50/2.75	0.9	88.29	limo, arcilla	Media	4	76	692	2.8	2
7381	Carrera 1 No 65c-40	Octubre 27 de 2006			0.00	0.50 - 1.00/3.00	4.5	441.45	Arcilla	Dura	13	23	2695	6.8	6
7479	Calle 73 No. 0-59	Marzo 13 de 2007			0.00	0.50/1.70-3.0/6.0		N.A	Bloques de arenisca	Media	9	34		4.5	4
7527	carrera 11No. 84-50	Julio 23 de 2007			0.00	0.0-2.5/4.5	0.41	40.22	Arcilla limo-arenosa	Blanda	2	152	516	1	1
7638	calle 91 No. 9- 40	Enero 29 2009			0.00	0.0-0.25/2.00	0.94	92.21	limo	Media	10	30	939	5.1	5
7662	Avenida Circunvar No 42-10 en Bogotá	Mayo 11 de 2007			0.00	0.40/1.50-0.90/4.70		N.A	Arcilla y/o limos arenosos con gravas	Media	5	61	494	2.9	2
7673	carrera 16 con 91	Febrero 14 de 2008			0.00	0.20/0.50-0.70/1.20	0.6	58.86	Limo arcilloso	Media			600		0
7691	carrera 10 No 94-44	Junio 15 de 2007			0.00	0.10/0.80-0.40/2.50	0.92	90.25	Limo orgánico	Media	12	25	871	6.2	6
7694	calle 93 a No 20 - 37 y calle 93Bis No 20-40	Mayo 2 de 2007			0.00	0.30/1.30-2.30/4.0	0.68	66.71	Arcilla	Media	15	20	743	7.5	7
7728	calle 85 No 7 - 54	Enero 31 de 2008			0.00	0.50/1.00-2.00/2.50	0.28	27.47	Limo orgánico	Blanda	6	51	538	3.5	3
7743	Carrera 17 No 91 -06	Abril 12 de 2007			0.00	0.20/0.60-1.00/1.50	1.47	144.21	Limo	Firme	6	51	1467	3.5	3
8153	Calle 82 No. 12-36	Julio 07 de 2008			0.00	0.40/1.0-1.60/3.0			Limo arenoso	Muy firme	22	14		10.4	10
8154	Cra. 15 No 95-65	Diciembre 05 de 2007			0.00	0.70/1.0-4.90/6.00	0.25	24.53	Arcilla limosa	Blanda	24	13	465	10.6	10

Fuente: Autor.

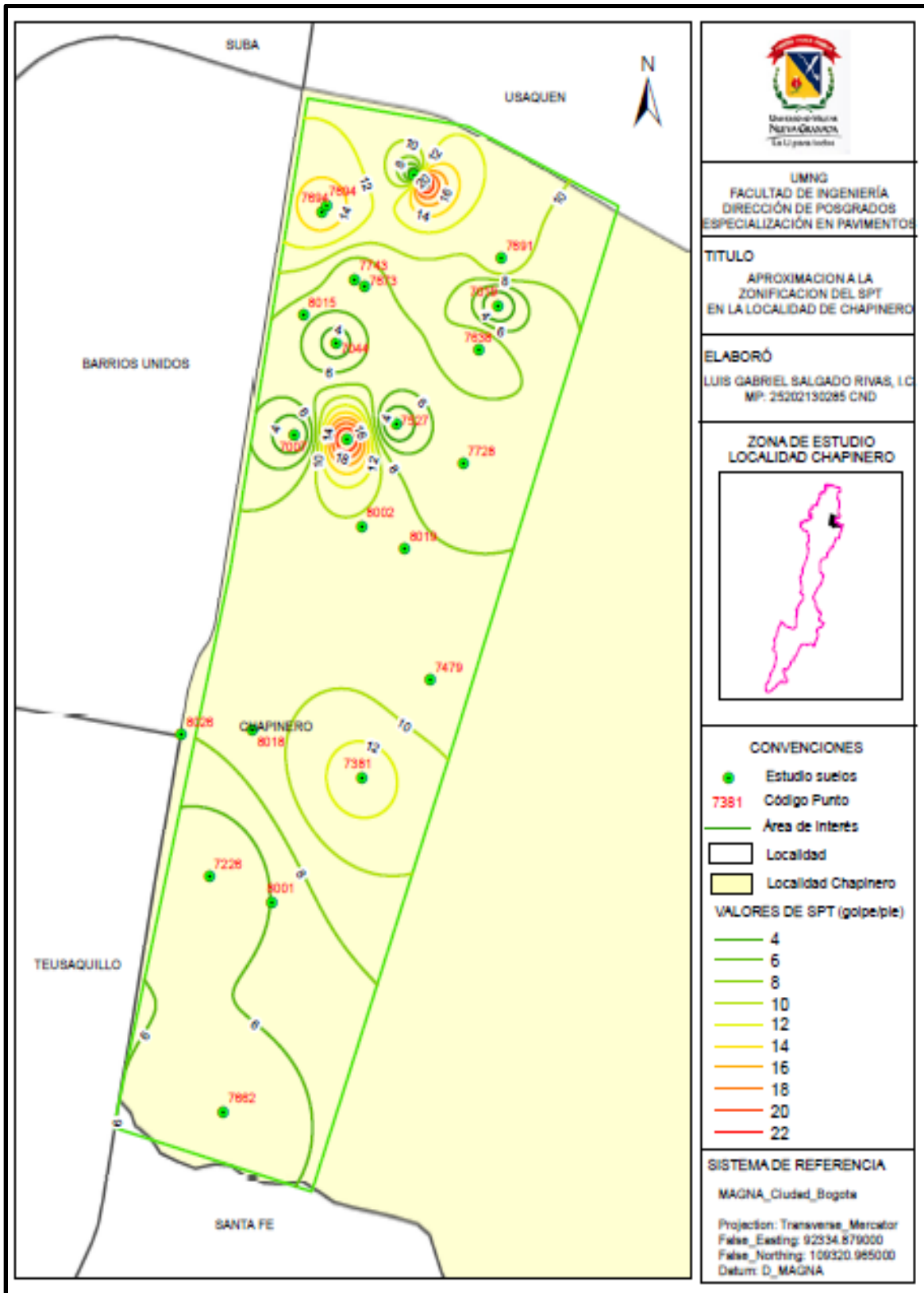


Figura 5. Isolíneas para SPT
 Fuente: Autor

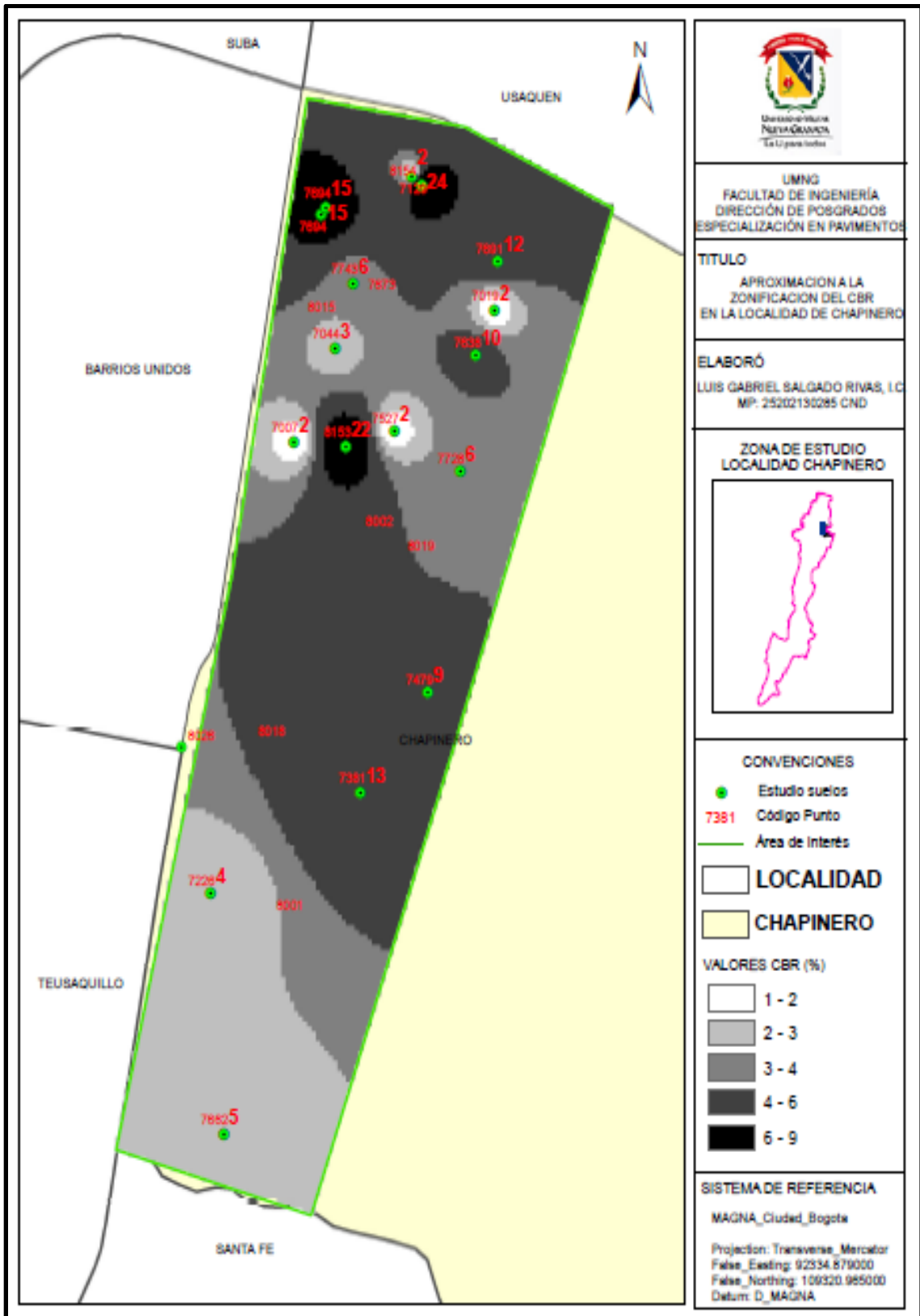


Figura 6. Isolíneas para CBR
 Fuente: Autor

4. CONCLUSIONES

1. Dada la dispersión de los 111 estudios de suelos recopilados, se determinó que la información donde existía mayor número de los mismos y no tan dispersos correspondieron a la localidad de Chapinero, y por ello se focalizó en esta zona, obteniendo un análisis sobre 16 estudios que se agruparon en esta zona.
2. El método de interpolación que dio como producto mejores resultados correspondió a IDW tanto para el SPT como para el CBR, por ende fue con este método que se adoptaron las isolíneas.
3. La creación de las isolíneas a partir de la interpolación de los parámetros geotécnicos como lo son el SPT y el CBR, permitirán realizar estimativos de costos y pre dimensionamiento de pavimentos para elaborar presupuestos sin necesidad de recurrir a perforaciones o sondeos.
4. Para tener una mayor certeza sobre el gráfico adoptado para generar la correlación entre el SPT y el CBR, esta información fue corroborada empleando la tabla propuesta por la Consejería de Obras Públicas y Transporte de Andalucía-España, mediante lo propuesto en la "INSTRUCCIÓN PARA EL DISEÑO DE FIRMES DE LA RED DE CARRETERAS DE ANDALUCÍA" mostrada en mediante la ilustración 6; al igual que fue verificada con aquellos estudios de suelos que contaban con ensayos de CBR, obteniendo resultados favorables y acertados.
5. No obstante, la información que se obtenga a partir de lo aquí propuesto, deberá ser corroborada una vez se haya decidido ejecutar un proyecto, empleando toda la técnica requerida, consistente en realizar perforaciones, obtener muestras del suelo a una profundidad entre 0.0 y 2.0 m, para luego ser llevadas a un laboratorio y realizar tanto la prueba Próctor como la del CBR a muestras inalteradas y remoldeadas.
6. Esta propuesta es susceptible de mejoras para alcanzar cada vez un mayor grado de confiabilidad, con la incorporación de nuevos estudios de suelos no solo en la localidad de Chapinero, sino también en las demás localidades.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hidalgo Andrade Felipe Adrián (2007), Definición moderna de los parámetros para el diseño de pavimentos; Sangolquí, 241 p. Trabajo de grado (Ingeniero Civil), Carrera de Ingeniería Civil, Escuela Politécnica del Ejército.
- [2] ESRI, ArcGis versión 10.
- [3] SECRETARÍA DE CULTURA, RECREACIÓN Y DEPORTE, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
- [4] López Cualla Ricardo Alfredo (2001). Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados. Escuela Colombiana de Ingeniería, 398p
- [5] Bell Fred G. (2002) Geological Hazards, Their Assesment, Avoidance and Mitigation. Durban. E & FN Spon, 600p
- [6] Instituto Colombiano de Geología y Minería-INGEOMINAS (2002). Estudio de Microzonificación Sísmica. Santiago de Cali
- [7] Instituto Nacional de Vías, INVIAS, (1998). Manual de estabilidad de taludes, Santa Fé de Bogotá D.C.
- [8] Holtz Robert. Kovacs William. Sheahan Thomas (2011). An Introduction To Geotechnical Engineering (2 ed.). New Jersey. Pearson, 853p.
- [9] Olivera Bustamante Fernando (1996). Estructuración de vías terrestres. México D.F. CECSA, 413p.
- [10] Bowles Joseph E (1978). Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil. Bogotá. Andes, 213p.
- [11]. Londoño Cipriano Alberto (2004). Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto (2 ed.). Instituto Colombiano de Productores de Cemento-ICPC.
- [12] Dunnycliff John (1988). GEOTECHNICAL INSTRUMENTATION FOR MONITORING FIELD PERFORMANCE. Lexington. Wiley, 577p
- [13] Normas Colombianas de Construcción Sismo Resistentes NSR-10(2010).
- [14] Durán Gutiérrez Jorge Enrique (2008). Apuntes sobre investigación del suelo.
- [15] American Association of State Highway and Transportation Officials (XXX). AASHTO Guide for Design of Pavement Structures. Ciudad. Editorial, páginas XXXp.