

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

" A R A G O N "



COMPARACION DE DIFERENTES PROPIEDADES DE LOS SUELOS
OBTENIDAS DE ESPECIMENES COMPACTADOS DINAMICA Y
ESTATICAMENTE PARA EL PROYECTO DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
SAUL AGUILAR CASTILLO

SAN JUAN DE ARAGON, EDO. DE MEX., 1983



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

COV 1
SIS 29469

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGON
DIRECCION

SAUL AGUILAR CASTILLO
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 7 de junio del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. FERNANDO OLIVERA BUS TAMANTE pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado " COMPARACION DE DIFERENTES PROPIEDADES DE LOS SUELOS OBTENIDAS DE ESPECIMENES COMPACTADOS DINAMICA Y ESTATICAMENTE PARA EL PROYECTO DE Pavimentos FLEXIBLES ", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterar a usted las bondades de mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
San Juan de Aragón, Edo. de Méx., junio 17 de 1982.
EL DIRECTOR

LIC. SERGIO ROSAS ROMERO

c.c.p. Coordinación de Ingeniería.
Unidad Académica.
Departamento de Servicios Escolares.
Director de Tesis.

I N D I C E

	Pag.
I Control de Calidad de Materiales.....	1
II Objetivos de la Investigación.....	42
III Tipos de Materiales utilizados.....	52
IV Correlación de valores relativos de soporte obtenidos. dinámica y estáticamente.....	61
V Correlación de valores relativos de soporte obtenidos estática y dinámicamente contra las expansiones.....	101
VI Correlación de valores relativos de soporte obtenidos estática y dinámicamente contra la contracción lineal	106
VII Conclusiones.....	114

I. CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

I.1 INTRODUCCION

Los principales problemas que el Ingeniero debe resolver para proyectar adecuadamente los pavimentos son los mismos a los cuales se enfrenta la mecánica de suelos: Resistencia y Deformación.

En general una estructura vial está constituida por dos elementos principales y son:

- a) El pavimento, que es el elemento resistente -- encargado de absorber la mayor parte de las -- cargas originadas por el tránsito.

- b) Las terracerías que son los materiales que sirven para formar la sección de una obra vial -- hasta el nivel de subrasante.

Para el correcto funcionamiento de una estructura vial, los materiales empleados en el pavimento y en las terracerías deben tener una calidad determinada en cuanto a sus características de compresibilidad y resistencia, y uno de los medios más eficaces y económicos para mejorar éstas es la compactación, siendo motivo de especial preocupación por parte del Ingeniero, el establecer un adecuado control de este importante aspecto.

Observando lo anterior, se comprende porque cuando se proyecta - una estructura vial, a pesar de contar con los mejores métodos y - aunque se usen los procedimientos más elaborados y mejor correlacionados con el comportamiento real, si la calidad de los materiales y los procedimientos de construcción que se siguen en la obra no están de acuerdo a lo requerido por el proyecto, lo más probable es que la falla se presente prematuramente, ya que se ha demostrado que la mayoría de las fallas en las estructuras se deben a la falta de control de calidad en la construcción.

Como se puede observar el control de calidad es un tema muy importante y al cual sin embargo se le dá menos importancia en comparación con la que se trata a los métodos de proyecto y construcción o a los programas de inversión, por lo que en este capítulo, se - darán algunos principios de control general de calidad con el fin de que se entienda mejor el contenido de esta tésis.

1.2 CONTROL GENERAL DE CALIDAD

La experiencia alcanzada en los procesos técnicos de la producción ha hecho surgir el concepto de control de calidad, el cual ha madurado rápidamente en su técnica y organización, y se ha convertido en un aspecto importante de la producción.

El control de calidad tiene la finalidad de evaluar los resultados obtenidos tanto en forma individual como de conjunto y establece normas adecuadas para que los productos cumplan los requisitos básicos de uso, así como los necesarios para que dicho uso -- presente condiciones satisfactorias, debiéndose alcanzar estas -- condiciones con el aprovechamiento óptimo de los recursos; el control de calidad mediante labores de previsión, inspección y verificación establece normas orientadas a la implantación de sistemas eficientes, tanto para proporcionar capacidad en el manejo de las técnicas que se apliquen, como para obtener productos adecuados.

Por lo tanto el control de calidad se puede definir como sigue:

Es el conjunto sistemático de esfuerzos, principios, prácticas y tecnología de una organización de producción para asegurar, mantener o superar la calidad de un producto al menor costo posible.

1.3 ACTIVIDADES DE CONTROL DE CALIDAD

Analizando el significado de control de calidad, la palabra calidad quiere decir "Lo mejor para el consumidor o usuario dentro de ciertas condiciones", estas condiciones son: El costo inicial del producto y el servicio que éste proporcione, incluyendo los problemas de operación o uso del mismo.

Por otra parte la palabra control representa un instrumento para uso de ejecutivos y encierra cuatro aspectos:

- Establecimiento de estándares de calidad.
- Estimación de la concordancia con los estándares.

- Acción cuando no se coincide con los estándares.

El control de calidad debe estar atento a las demandas del consumidor o usuario y a la economía del producto, interviniendo en todas las fases del proceso, las que en general corresponden a un diseño, recepción de materiales, control del proceso, observación durante la operación o uso y su mantenimiento; así mismo para cumplir con su cometido, necesita realizar estudios especiales que le permitan mejorar las técnicas de elaboración y las prácticas del trabajo.

Para todo esto, se debe organizar el equipo y los sistemas, a manera de que se puedan captar todos los detalles en que debe intervenir, asignar personal clave a responsabilidades concretas y contar con una tecnología apropiada de medición, evaluación y control.

Para que la organización del control de calidad tenga éxito, debe existir conciencia en todos los niveles; los directivos deben apoyar decididamente los programas, y en los operadores debe crearse sentido de responsabilidad e interés por la calidad, haciéndoles comprender que todas sus labores son importantes y que éstas forman parte del programa integral de calidad.

Al establecerse un sistema de control de calidad, no debe confundirse a éste con trabajos fragmentarios del mismo, puesto que por ejemplo en la construcción de caminos tiene ingerencia en prácticamente todas las etapas, desde el proyecto hasta la terminación de acabados tales como el señalamiento, además de la conservación o mantenimiento. Incluye también como etapas generales intermedias la obtención y tratamiento de los diferentes materiales, la construcción de la estructura de apoyo que está constituida por las -

terraceras, la construcción e instalación de los sistemas de protección entre los que el drenaje y el subdrenaje son los elementos principales y finalmente la formación de cada una de las capas que constituye el pavimento.

1.4 PLANEACION DEL PROGRAMA DE CONTROL

Un aspecto importante en la planeación de un programa de control es la definición previa del nivel de calidad requerido. En su planteamiento más simple este nivel puede definirse formulando tres preguntas fundamentales.

- ¿ Qué se desea ?
- ¿ Cómo puede ordenarse y programarse la actividad que conduzca al logro de tal deseo ?
- ¿ Cómo determinar que se ha alcanzado lo que se deseaba ?

En rigor se necesita un sistema de acción susceptible de ser retroalimentado de manera que los requerimientos estén continuamente interaccionados con los logros parciales y éstos a su vez sean retroalimentados por el conjunto de necesidades o requerimientos.

Por otra parte, las dos primeras cuestiones mencionadas anteriormente tienen que ver con la esencia del proyecto y con la de la contratación. Al formular la filosofía del proyecto, el Ingeniero debe entender que la construcción no puede clasificarse simplemente en buena o mala, rechazable o aceptable; habrá toda una graduación posible a partir de las condiciones óptimas y deberán considerarse posibilidades de variación dentro del propio diseño, en relación a calidad de materiales y a técnicas constructivas, así-

como tolerancias en practicamente todas las actividades. Estas -- tolerancias deben estar claramente especificadas en los documen-- tos de contratación. Solo dentro de este marco flexible podrán - definirse realistamente las aspiraciones y requerimientos del In-- geniero.

La tercera cuestión de las señaladas exige un sistema de inspec-- ción, muestreo y pruebas que permita analizar las realidades de - la construcción, así como las tendencias y oscilaciones de los -- trabajos. El hacer este programa tiene varios requerimientos básicos: Deberá fundarse en pruebas de significación relevante desde-- el punto de vista técnico, pues solo ellas darán indicaciones - - apropiadas sobre el estado real del trabajo, también deberá satisfacerse la condición de que el sistema de inspección se refiera a los aspectos fundamentales del comportamiento de la obra y no a - los accesorios, además su interpretación debe ser clara y poco controversial.

Otro aspecto importante al contemplar las características de un - programa de control de calidad, es que en realidad no se debe apli-- car solo a la construcción, sino que debe contemplar muy de cerca la futura conservación. La Institución responsable del control -- tiene que procurar perfeccionar continuamente los resultados de - sus niveles y métodos de control, teniendo en cuenta los costos y necesidades de la conservación de sus obras.

1.5 NORMAS DE CALIDAD

En la definición de un programa de control de calidad, como hemos visto es muy importante el conjunto de especificaciones que se manejen, pues fijan de un modo u otro las metas por lograr, las - - ordenanzas, procedimientos de construcción y programas que conducen a la consecución de los logros deseados, así como los métodos

para determinar si se ha alcanzado lo que se desea.

Las normas de calidad abarcan lineamientos relativos a las características de los materiales, a los procedimientos de construcción y a las condiciones de acabado en los aspectos estructural, funcional y geométrico de las carreteras; asimismo incluyen especificaciones para la realización de las pruebas que se utilizan en la medición de la calidad.

Un cuadro completo de especificaciones técnicas de trabajo, proporciona seguramente la única forma de manejar de un modo claro y razonable todos los aspectos legales de la construcción, la contratación, etc. Pero también es un hecho cierto que la "santificación" de cualquier conjunto de especificaciones conduce a la rigidez mental y al anquilosamiento de las técnicas empleadas.

Un conjunto de especificaciones no es más que el producto de investigaciones, experiencias acumuladas y estudios minuciosos de correlación, que toman en cuenta los datos recabados durante la construcción o elaboración y operación de los productos u obras, analizando la influencia de elementos, tales como en carreteras el clima, el tránsito, las condiciones geológicas, etc., ésta labor, que es sumamente compleja, es realizada en diversas instituciones especializadas de reconocida capacidad técnica por un equipo de hombres señalados por sus conocimientos y experiencias.

En general tenemos tres tipos de especificaciones:

- a) Normas o especificaciones institucionales. Se manejan como el marco legal de la actividad técnica y además como la referencia última de -

la propia actividad técnica. Por lo tanto son las que rigen cualquier proyecto de construcción de caminos.

- b) Especificaciones especiales. Señalan limitaciones a un determinado tipo de proyecto de construcción, por ejemplo: especificaciones para caminos asfaltados, especificaciones para caminos rurales, etc.
- c) Especificaciones complementarias. Son aplicables a un proyecto específico y se dictan de acuerdo a las características del mismo.

Otra condición básica de un conjunto de especificaciones es contener tolerancias apropiadas, cuya fijación depende de un conocimiento completo de los factores que contribuyen a las variaciones de los diferentes conceptos. Debe existir una valuación de las consecuencias de no cumplir tales tolerancias.

Por otra parte, la transcripción ciega de normas técnicas producidas por instituciones de otros países, por avanzadas que parezcan en el campo estrictamente tecnológico, suele conducir sistemáticamente a políticas inadecuadas. Las especificaciones deben ser muy realistas, ajustadas a lo que debe lograrse dadas las características de un proyecto determinado y a lo que puede lograrse, dado el nivel tecnológico (personal obrero especializado, idoneidad de laboratorios de obra, equipo de construcción, etc.) del país que vaya a usarlas. Es común que las naciones cuyas especificaciones institucionales se transcriben, tengan diferentes problemas de carácter económico que la que las adoptan; como consecuencia sus-

caminos, ferrocarriles y aeropistas mueven volúmenes de tránsito-- que son excepcionales o desconocidos en estos últimos; ello los - va a conducir a rechazar materiales que sus vías con niveles de - tránsito inferiores podrían utilizar perfectamente. Lo que en rea- lidad va a suceder, es que el país menos desarrollado económica-- mente va a descubrir lo inapropiado para su propio consumo de las normas que está siguiendo, lo que lo conducirá a violarlas siste-- máticamente, generándose la consiguiente confusión. En rigor éste será el precio que siempre pague por el uso de especificaciones - no realistas.

Evidentemente las normas más acuciosas y ambiciosas de proyecto- y de construcción, no bastan para garantizar la existencia de una obra de ingeniería útil, económica y duradera; entre el proyecto- y la obra o entre la construcción y la obra, existen un conjunto- de pasos y criterios que será preciso garantizar para llegar a un buen resultado. Un criterio podría expresar este nexo como la - - simple necesidad de hacer las cosas "Bien", pero esto no basta, - ya que controlar idealmente cada paso conduce a un perfeccionismo rígido incompatible con la economía de la construcción y que en - cambio al definir el grado de control que debe tener cada activi- dad y ejercer en ellas una vigilancia razonable y científíca pare- ce ser el secreto de un control exitoso.

En la construcción de carreteras el control de calidad comprende- como actividades de previsión para establecer normas:

- Trabajos de investigación y correlación estadís- tica.

En cuanto a las actividades de inspección y verificación que le--

corresponden abarca:

- Diversas labores de estudio, orientación y revisión.

Siendo indispensable para la realización de los trabajos y labores mencionados, contar con instrumentos de medición adecuados, entre los que los laboratorios de materiales son los más importantes.

En el control de calidad de las obras de ingeniería en las que el suelo interviene como materia prima como puede ser el caso de una gran parte de las vías terrestres, la mecánica de suelos principalmente en lo que se refiere a comportamiento de materiales interviene como disciplina de apoyo en forma muy relevante, puesto que ella ha de proporcionar los criterios para distinguir lo sustancial de lo accesorio, las pruebas de campo o de laboratorio en que se fundamenten los juicios del control y los límites y tolerancias en que las diferentes acciones del constructor han de mantenerse.

1.6 PRUEBAS DE LABORATORIO

Aspecto importantísimo de todo programa de control de calidad, lo constituye el conjunto de pruebas de laboratorio, que proporciona lo que pudiera considerarse la base metodológica y técnica del programa. Las pruebas de laboratorio con fines de control deben cumplir algunas características, fáciles de comprender:

- Estar dirigidas a la comprobación de las características esenciales.

- Ser sencillas y rigurosamente estandarizadas.
- Ser rápidas en su realización.
- Ser de fácil interpretación.
- Requerir equipos económicos, fáciles de reparar y calibrar y además de manejo simple.
- Ser confiables.

Las pruebas para la medición de la calidad de una obra vial, se efectúan siguiendo métodos estandarizados a las capas y materiales que los integran o a otro elemento que de alguna manera influye en su buen comportamiento.

Los resultados de las pruebas son la base para que al interpretarse y compararse con las normas de calidad, se decida si los materiales y/o su procesado son aceptables, y en caso de no serlo se den las recomendaciones que se crean pertinentes para corregir los defectos; por lo que es fundamental que se elijan las pruebas adecuadas y se ejecuten correctamente pues de no ser así, darían lugar a conclusiones falsas que repercutirían en forma negativa en todo el proceso del control de calidad.

La elección de la prueba debe basarse en el estudio detallado de las que se realizan para el fin que se persigue, tomando en cuenta diferentes aspectos como la confianza que se puede tener en ella en base a su reproducibilidad, al grado de dificultad en su ejecución y posibilidades de error; la precisión requerida en los resultados, la disponibilidad de equipo, etc.

1.7 EJECUCION DE LAS PRUEBAS

En lo que a ejecución de pruebas se refiere se debe tomar en cuenta que existen diversas causas para que ésta no sea correcta como son:

- Falta de preparación del personal que ejecuta -- las pruebas y del que interprete los resultados-- obtenidos. Es necesario que en forma programada-- se capacite y actualice al personal sobre los -- nuevos procedimientos de prueba que se adopten,-- así como los ya establecidos con anterioridad, -- de acuerdo con la posición que los diversos ele-- mentos guardan en la organización propia del --- laboratorio.

- Falta de cuidado. Estos errores suceden cuando - se encarga la ejecución de las pruebas a perso-- nas que no son las indicadas para ello, y suele-- suceder principalmente por dos motivos:
 - a) Por desconocimiento de las aptitudes del perso-- nal con que se cuenta.

 - b) Por no tener suficiente personal responsable y con conocimientos adecuados. En ocasiones se - obtienen errores al ejecutar las pruebas cuan-- do el personal efectúa cambios en los procedi-- mientos de prueba ya sea por hacerlos más fáci-- les o por creer que se obtienen mejores resul-- tados.

- Falta de disciplina. La disciplina en el personal encargado de ejecutar las pruebas y de interpretar los resultados, incluyendo a los encargados de la obra, es esencial para la ejecución de las prue-- bas, pero más que nada para que todo el proceso - de control de calidad sea provechoso.

En cuanto al personal que ejecuta las pruebas, debe tener suficiente práctica y habilidad en las labores que le corresponden, debe mostrar interés para que los resultados que se obtengan sean de utilidad para la calidad de la obra. Además será de mucha importancia la moralidad del laboratorista para no alterar los resultados de las pruebas, ya sea por dolo o imprevisión o porque se sienta presionado por el programa o los costos de la obra: deberá mostrar madurez de carácter para aceptar los errores cometidos, verificar los resultados y tomar las medidas necesarias para no volver a incurrir en ellos.

Los errores que se pueden obtener al ejecutar las pruebas pueden ser: sistemáticos, eventuales, voluntarios, etc., y dependerá de la práctica que tenga el jefe del laboratorio para que los detecte y pueda hacer ajustes que convengan en la organización del personal, así como insistir en que se sigan los procedimientos de prueba establecidos.

1.8 SUPERVISION

Tanto en la elección de las pruebas adecuadas, como en la vigilancia para evitar los errores de ejecución y en la realización de estudios los conocimientos y experiencia del jefe del laboratorio son fundamentales para que sus actividades redunden en beneficio de la obra; sin embargo, su trabajo debe estar apoyado técnicamente en personas de más experiencia que puedan guiarlo, por lo que es necesario que se cuente con un cuerpo de supervisión encargado del control de calidad de las obras con suficiente personal calificado de acuerdo al volumen de ellas. Este personal actualizará sus conocimientos en forma continua, vigilará las labores de los laboratorios de obra, intervendrá en la formulación de normas, --

cuidando que la retroalimentación necesaria se lleve a cabo, etc.

La supervisión que debe efectuarse a los laboratorios de obra, -- además de vigilar que la elección y ejecución de las pruebas, así como la interpretación de los resultados y reportes respectivos - sean adecuados, tomará en cuenta lo siguiente:

- Conocimiento del personal. El supervisor de laboratorio de control de calidad deberá transmitir al jefe del laboratorio los conocimientos y experiencias obtenidas en otras zonas, para normar su criterio en cuanto a la forma de realizar el trabajo y procurar que se cuente con el personal suficientemente preparado para realizar en forma adecuada y oportuna los trabajos que tiene a su cargo el laboratorio, lo cual se puede obtener de diferentes maneras, como lo es el movilizar personal capacitado que de momento no esté ocupado en otros laboratorios, organizar y comisionar a diferente personal a cursos de capacitación y actualización, así como asesorar al jefe del laboratorio en relación a los conocimientos básicos que debe tener el personal que se dé de alta para satisfacer las necesidades del laboratorio, a los sueldos que deben devengar los diferentes elementos de acuerdo a sus conocimientos, etc.

- Asignación de medios. El supervisor deberá estar pendiente de que se dote en forma oportuna de los medios necesarios para que los laboratorios puedan desarrollar sus labores; estos medios pueden ser tanto de suficiencia presupuestal, como de -

equipo adecuado y del material especial que se requiera.

- Motivación. Es necesario que el supervisor motive al personal en los diferentes niveles, para hacerlos comprender la importancia de su labor y las relaciones que debe tener con el demás personal que interviene en la obra para que sus esfuerzos sean encaminados a obtener resultados positivos.

1.9 PROYECTO

Los problemas de control de calidad que se presentan al realizarse las obras, dependen del diseño del proyecto; este diseño desde un punto de vista práctico involucra la selección de un valor específico para cada uno de los factores que intervienen en el criterio del proyectista como son:

- Necesidades de la obra.
- Análisis de cargas debidas al tráfico.
- Materiales disponibles. Propiedades de los materiales de terracerías, sub-bases, bases y carpetas, como la relación esfuerzo deformación, etc.
- Factores regionales como clima, drenaje, formación geológica.
- Costos y disponibilidad de fondos.

Desde el momento de iniciar un proyecto el encargado de efectuarlo, analizará y se compenetrará del problema por resolver, hará acopio de todos los posibles datos y programará las pruebas necesarias

pudiendo dividir el estudio en una parte preliminar para conocer en forma general las condiciones en las que se va a desarrollar la obra cuando ya está en proceso, y el definitivo, en el que se analizarán detalladamente las soluciones más viables y se adoptará la más conveniente.

Por lo anterior, los conocimientos y buen criterio de los jefes de laboratorio y proyectistas deberán estar debidamente encausados de tal manera que se obtengan las soluciones que conjuguen la mayor parte de los factores mencionados para brindar un buen servicio a los usuarios.

Sin embargo, los parámetros de entrada no son valores únicos o constantes. Es común en situaciones de diseño encontrar en las tercerías valores de soporte para los suelos de una determinada área, que varían en un rango amplio. El reconocimiento de estas variaciones en los factores de diseño y de materiales, ha tenido como consecuencia el uso cada vez mayor de conceptos estadísticos como una de las más importantes herramientas dentro del campo de la tecnología de la estructuración de una obra vial.

En general hay cuatro áreas principales donde los conceptos estadísticos tienen una mayor aplicación para el ingeniero, y son las siguientes:

- Muestreo de materiales.
- Programa de pruebas (tipo y número de pruebas).
- Fases de diseño y evaluación del sistema de pavimento.
- Normas de calidad y aceptación en las obras.

Como se puede observar, la aplicación de la estadística es muy -- importante, por lo que a continuación se presenta una revisión de algunos principios estadísticos y un resumen general de medidas de variabilidad para seleccionar factores que intervienen en los estudios de control de calidad y de diseño de pavimentos con el fin de comprender mejor los conceptos que se manejarán más adelante.

1.10 CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE ESTADISTICA

1.10.1 Definiciones generales. En cualquier investigación siempre hay un aspecto u objeto de principal importancia. Una sección de 200 m. de terracería compactada, un camión cargado con mezcla caliente de cemento asfáltico, etc., todos representando medios-específicos acerca de los cuales se requiere información. Cada medio específico es denominando estadísticamente como un universo o lote. La figura 1-a muestra dos universos: A y B. El término población se refiere a todos los valores de una característica específica o medidas comunes a un universo, el cual puede tener - cualquier número de poblaciones asociados con él: cada valor de una característica es llamada muestra unitaria.

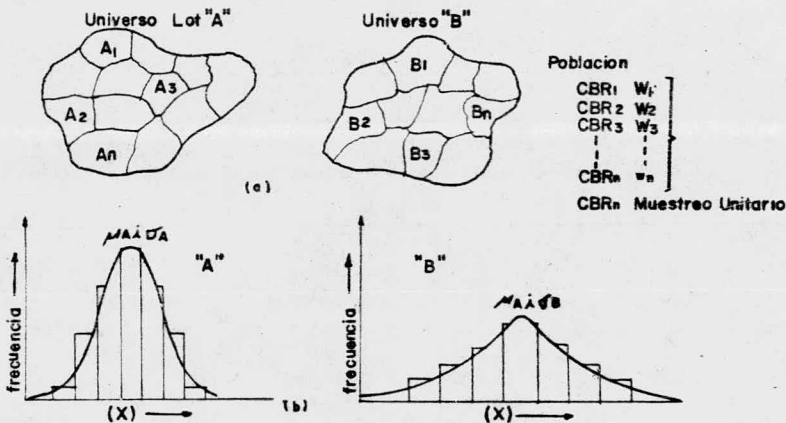


FIGURA 1

- a) ILUSTRACION DE UNIVERSO, POBLACION Y MUESTREO UNITARIO.
- b) CURVAS DE FRECUENCIA PARA POBLACION NORMALMENTE-DISTRIBUIDA.

Considerando la figura 1, supóngase que cada universo representa un área compactada diferente. Asociada con cada universo, puede ser de interés una información relativa a la población de valores VRS en el lugar, o la población de contenido de humedad, etc. Una muestra unitaria para la población de VRS pudo ser aquella área para realizar la prueba de resistencia. Como se observa en el diagrama, la población de VRS de cada universo se compone de muestras unitarias.

1.102 Tendencia Central. Si los valores de una muestra de la población de VRS son conocidos, se puede obtener un histograma de frecuencia. Tal trazo como se puede ver en la figura 1-b para ambos universos, ilustra el porcentaje de "n" muestras que se encuentren dentro de un intervalo dado de VRS. Se puede observar que en ambos diagramas se tiene una concentración de valores alrededor de un valor central que se denomina promedio o media. El tipo más conveniente en la ingeniería de pavimentos es la media aritmética.

Si X_i es el valor de alguna de las muestras y hay "n" muestras, entonces el promedio \bar{X} es:

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

Donde:

X_i son los resultados individuales de los errores-correspondientes a cada espécimen.

n es el número total de especímenes ensayados.

\bar{X} es llamada la media muestral y es la mejor estimación de la media poblacional.

1.10.3 Parámetro de variación o medidas de dispersión. Estas medidas indican la magnitud en que los datos numéricos tienden a extenderse alrededor de un valor medio. Como puede observarse en los diagramas de frecuencia mostrados en la figura 1, son diferentes para cada universo. El A muestra menor dispersión de los datos -- alrededor de la media que el B.

La medida más común de dispersión es la desviación estándar (S).- Mientras mayor es la desviación estándar, mayor es la dispersión de los datos alrededor de la media. Viendo la figura 1-b, se nota que $S_B > S_A$

La desviación estándar es más correctamente denominada: Desviación estándar muestral, para distinguirla de los valores reales de la población.

Una mejor estimación del concepto anterior se calcula como sigue:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

En donde:

σ es la desviación estándar muestral.

$(X_i - \bar{X})$ son las desviaciones de los valores observados con respecto a su media \bar{X} .

n es el número total de especímenes ensayados.

Es interesante hacer notar que para distribuciones normales, o sea las que obedecen la curva de Gauss, resulta que:

a). El 68.27% de los casos están comprendidos entre ---
 $\bar{X} \pm S$

b). El 95.45% de los casos están comprendidos entre ---
 $\bar{X} \pm 2S$

c). El 99.73% de los casos están comprendidos entre ---
 $\bar{X} \pm 3S$

Otro parámetro usado como indicador de variabilidad es el coeficiente de variación (V); este coeficiente indica la dispersión relativa con respecto a la media, generalmente es usado en forma de porcentaje y se expresa como:

$$V = \left[\frac{S}{\bar{X}} \right] 100$$

Donde:

V es el coeficiente de variación, expresando en porcentaje (%)

S es la desviación estándar.

\bar{X} es la media.

1.10.4 Distribución normal. En las distribuciones de VRS que se muestran en la figura 1, se puede ver que la magnitud de la frecuencia llega a ser menor, simétricamente a partir del centro, a medida que el intervalo se aleja más del valor central de la distribución.

Esta forma acampanada y simétrica es llamada la distribución normal o de Gauss. Esta distribución teórica de frecuencias relativas tienen las siguientes propiedades cuando la variable X se expresa en unidades de desviación.

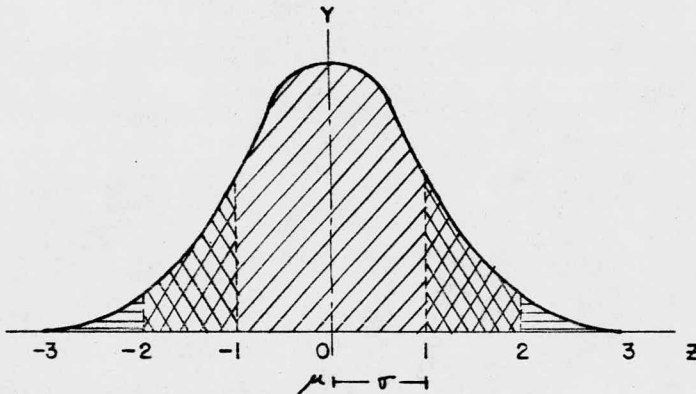
$$Z = \frac{(X - \mu)}{\sigma}$$

Donde:

Z es una variable aleatoria transformada llamada normalizada.

$\mu = \bar{X}$ es la media poblacional.

σ es una mejor estimación de la desviación estándar poblacional.



F I G U R A 2
- G R A F I C A D E L A C U R V A N O R M A L T I P I F I C A D A

En la figura 2 están indicadas las áreas incluidas entre $Z = -1$ y $+1$, $Z = -2$ y $+2$, $Z = -3$ y $+3$ que son respectivamente, el 68.27%, 95.45% y 99.73% del área total que vale uno.

Existen tablas que proporcionan las áreas bajo esta curva, limitadas por la ordenada $Z = 0$ y cualquier otro valor posible de Z , con lo cual se puede obtener el área comprendida entre dos ordenadas cualquiera por la simetría de la curva respecto a $Z = 0$, o bien dada el área "a" encontrar el valor de Z que es muy importante en los ensayos estadísticos.

1.10.5 Decisión estadística. En la práctica lo que generalmente--

interesa es tomar decisiones sobre las poblaciones o sea sobre el conjunto de datos obtenidos de un experimento partiendo de los -- valores estadísticos aportados por una muestra de dicha población.

Uno de los conceptos estadísticos más poderosos que puede ser usa do por el ingeniero que está involucrado con la toma de decisio-- nes es la prueba hipótesis.

Con objeto de tomar decisiones es conveniente hacer determinadas suposiciones o conjeturas acerca de las poblaciones en estudio. - Tales suposiciones que pueden o no ser ciertas se llaman hipóte-- sis estadísticas.

Frecuentemente se formulan hipótesis estadísticas con el propósi-- to de rechazarlas o invalidarlas para poder tomar una decisión; - por ejemplo, si al estudiar un experimento se quiere decidir que-- un experimento es mejor que otro, se formula la hipótesis de que-- no hay diferencia entre ellos, es decir: $\mu_1 = \mu_2$

Este tipo de hipótesis se denominan hipótesis nulas y se denotan-- por H_0 .

Cualquier hipótesis que difiera de una hipótesis dada se denomina "hipótesis alternativa H_1 ".

Los procedimientos que facilitan el decidir si una hipótesis se a cepta o se rechaza, o bien el determinar si las muestras observa-- das difieren significativamente de los resultados esperados, se - llaman ensayos de hipótesis o de significación y también reglas de decisión.

En decisiones sobre una hipótesis de prueba, son posibles dos tipos de errores:

Cuando se rechaza una hipótesis que debería ser aceptada, se dice que se comete un error del tipo I. Si por el contrario, se acepta una hipótesis que debería ser rechazada, se dice que se comete un error del tipo II.

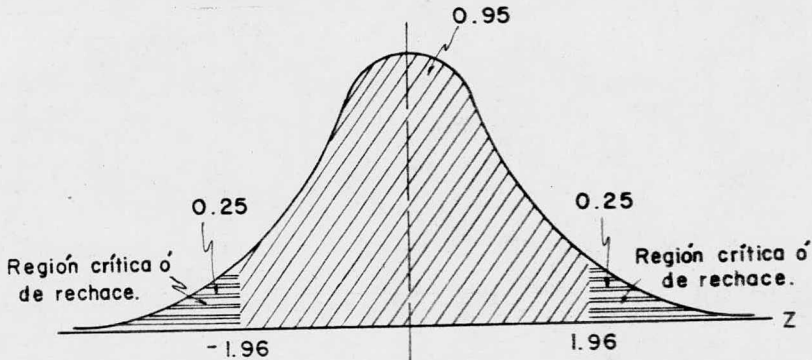
1.10.6 Nivel de significación. El nivel de significación es la probabilidad máxima con la que en el ensaye de una hipótesis se puede cometer un error del tipo I, generalmente se denota por

En la práctica se acostumbra utilizar niveles de significación del 0.5 ó 0.01, aunque pueden emplearse otros niveles. Si por ejemplo, se elige un nivel de significación del 0.05 ó 5% al diseñar un ensaye de hipótesis, entonces hay aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se tiene un 95% de confianza de que se toma la decisión adecuada. En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0.05

Algunos estadísticos adoptan la terminología de que los resultados significativos al nivel del 0.01 son altamente significativos; los resultados al nivel del 0.05 pero no al nivel del 0.01 son probablemente significativos, mientras que los resultados significativos a niveles superiores al 0.05 son no significativos.

1.10.7 Ensayos o reglas de decisión referentes a la distribución normal.- Teniendo como base las ideas que con fines de explicación se exponen en el párrafo anterior, supóngase que con una --

hipótesis dada, la distribución muestral de un estadístico E es - una distribución normal con media μ_e y desviación estándar σ_e . Entonces la distribución de la variable tipificada (representada por Z) dada por $Z = (E - \mu_e) / \sigma_e$ es una normal tipificada (media 0, desviación estándar 1) y se muestra en la figura siguiente.



Para comprobar si una hipótesis es cierta o bien si se rechaza, - se determinan los valores de Z , así, se puede tener el 95% de confianza de que si la hipótesis es cierta, el valor de Z obtenido de una muestra real para el estadístico E se encontrará entre -1.96 y $+1.96$, debido a que el área bajo la curva normal entre estos valores es 0.95.

Sin embargo, si al elegir una muestra al azar se encuentra que Z para ese estadístico se halla fuera del intervalo -1.96 a 1.96 , lo cual quiere decir que es un suceso con probabilidad de solamente 0.05 (área sombreada de la figura) si la hipótesis fuese verdadera. Entonces puede decirse que esta Z difiere significativamente de la que podría esperarse bajo esta hipótesis y se estaría inclinando a rechazar la hipótesis.

Recordando lo explicado anteriormente, el área total sombreada, - en este caso de 0,05, es el nivel de significación del ensayo y - representa la probabilidad de cometer error al rechazar la hipótesis, es decir, la probabilidad de cometer error tipo I. Así - - pues, se dice que la hipótesis se rechaza al nivel de significación del 0.05 ó que la Z obtenida del estadístico muestral dado - es significativa al nivel de significación del 0,05.

Teniendo en cuenta los conceptos explicados, se formula la siguiente regla de decisión o ensayo de hipótesis o significación.

- a) Se rechaza la hipótesis al nivel de significación del 0,05 si la Z obtenida para el estadístico E se encuentra fuera del intervalo -1.96 a 1.96 (es decir, $Z > 1.96$ ó $Z < - 1.96$). Esto equivale a decir que el estadístico muestral observado es significativo al nivel del 0,05.
- b) Se acepta la hipótesis (o no se toma decisión alguna) en caso contrario.

Debido a su importante papel en los ensayos de hipótesis y significación, Z recibe también el nombre de ensayo estadístico.

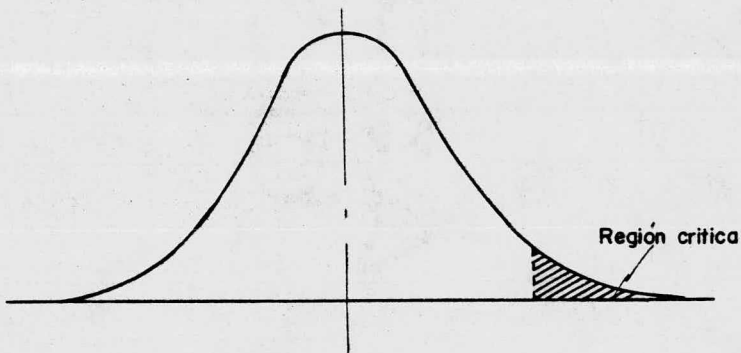
Por supuesto que pueden emplearse otros niveles de significación. Por ejemplo, si se utiliza el nivel del 0.01 debe substituirse 1.96 en todo lo visto anteriormente por 2.58, ver tabla A.

Se pueden emplear otras tablas teniendo en cuenta que:

$$\text{NIVEL DE CONFIANZA} + \text{NIVEL DE SIGNIFICACION} = 100\%$$

1.10.8 Ensayos de una y dos colas. En el ensayo anterior se necesitaban los valores extremos del estadístico E o su correspondiente Z a ambos lados de la media, es decir, en las dos "colas" de la distribución. A estos ensayos se les denomina de "dos colas" o bilaterales.

Sin embargo, se puede estar solamente interesado en los valores extremos a un solo lado de la media, es decir, en una "cola" de la distribución, por ejemplo cuando se ensaya la hipótesis de que un proceso es mejor que otro. A estos ensayos se les llama ensayos de una cola o ensayos unilaterales. En este caso, la región crítica es una región a un lado de la distribución, con área igual al nivel de significación como se muestra en la figura siguiente.



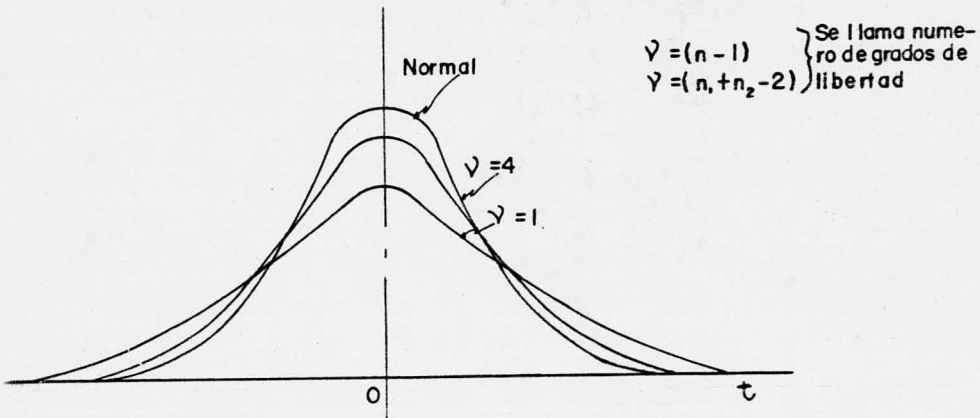
T A B L A - A

Nivel de Significación	0.10	0.05	0.01	0.005	0.002
Valores críticos de Z para ensayos de una cola.	-1.28 ó 1.28	-1.645 ó 1.645	-2.33 ó 2.33	-2.58 ó 2.58	-2.88 ó 2.88
Valores críticos de Z para ensayos de dos colas.	-1.645 y 1.645	-1.96 y 1.96	-2.58 y 2.58	-2.31 y 2.31	-3.03 y 3.03

1.10.9 Teoría de pequeñas muestras. Cuando el número de muestras $n > 30$ se llaman "grandes muestras" y se estudian a través de la distribución normal como se expone en los incisos anteriores. Para muestras de tamaño $n < 30$, llamadas "pequeñas muestras" la aproximación a la distribución normal no es buena, acentuándose aún más a medida que n disminuye, por lo cual deben hacerse modificaciones apropiadas y estudiarlas por medio de la distribución "t de student".

1.10.10 Ensayos de hipótesis y significación. Los conceptos en los-

incisos anteriores sobre este tema, se aplican al caso de pequeñas-muestras, siendo la única diferencia que el valor de Z o estadístico Z se sustituye por un adecuado valor t o estadístico t.



Distribución t de Studen para varios valores de (ν)

Aplicación del estadístico "t"

Hay tres formas ligeramente diferentes de esta prueba, según el tipo de problemas que se presente.

A) El valor medio de la población se conoce con exactitud.

En este caso la prueba se usa para determinar si el valor medio \bar{X} de la muestra, difiere significativamente del valor medio teórico.

Se aplica el valor de t por medio de la siguiente ecuación, y se compara su significado para (n-1) grados de libertad.

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S} \sqrt{n - 1} = \frac{\bar{X} - \mu}{\hat{S}} \sqrt{n}$$

En donde:

\bar{X} es el valor de la media.

μ es el valor medio teórico.

\hat{S} es el valor modificado de la desviación estándar, obtenido con la:

$$\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

que se explicó al tratar lo referente a la desviación estándar y que se aplica también para calcular la desviación estándar de muestras cuando $n < 30$, que es el caso que estamos estudiando.

n es el número de resultados de ensayo en una muestra.

B) Método de las diferencias.

Este método se puede aplicar cuando se presentan diferentes condiciones experimentales, o bien, cuando existe dependencia entre los especímenes.

El valor de t se calcula con la siguiente ecuación y su significado se comprueba para $(n-1)$ grados de libertad.

$$t = \frac{\bar{d} - \bar{d}_p}{S_d} \sqrt{n}$$

\bar{d}_p es el valor permisible o de comparación, del promedio \bar{d} de las diferencias d .

cuando $\bar{d}_p = 0$

$t = \bar{d} /$ error estándar

Error estándar = \hat{S} / \sqrt{n}

S_d es la desviación estándar calculada con la fórmula para muestras pequeñas.

$$\bar{d} = \sum d/n$$

En donde:

n = número de ensayos.

$$d = d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n$$

$$d_1 = (X_1 - Y_1); d_2 = (X_2 - Y_2); \text{ etc.}$$

$d_1, d_2, d_3, \text{ etc.}$ son las diferencias entre los valores de los ensayos respectivos.

X_1 es el valor de la prueba del espécimen respectivo.

Y_1 es el otro valor de la prueba respectiva.

C) Comparación de valores medios de las muestras.

Esta forma de prueba se presenta cuando dos muestras in dependientes de tamaños n_1 y n_2 se van a comparar para determinar si sus valores medios difieren significativamente.

El valor de la t se calcula con la siguiente ecuación y su significado se comprueba para $V = n_1 + n_2 - 2$ grados de libertad.

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma \sqrt{1/n_1 + 1/n_2}}$$

$$\text{donde } \sigma = \sqrt{\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Cuando $n_1 = n_2$

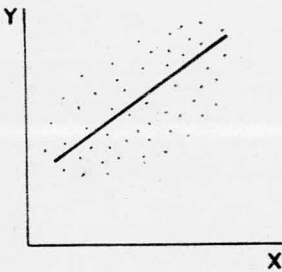
$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sigma}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{S_1^2 + S_2^2}{n-1}}$$

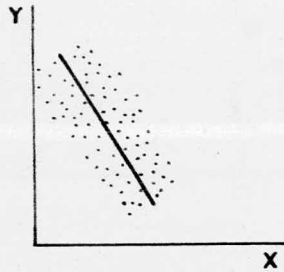
1.10.11 Relación entre variables. Es interesante determinar la relación entre dos o más variables que se desea comparar. Por ejemplo los resultados $(X_1, X_2, X_i, \dots, X_n)$ con $(Y_1, Y_2, Y_i, \dots, Y_n)$ del mismo tipo, obtenidos al aplicar dos pruebas diferentes.

Con objeto de aclarar ideas supóngase que se ubican los valores de las variables (X_1, Y_1) ; (X_2, Y_2) (X_n, Y_n) en un sistema de ejes rectangulares X y Y, según se indica en las figuras.

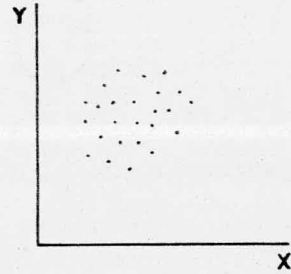
El sistema de puntos resultante se llama diagrama de correlación o de dispersión, y si éste adopta formas similares a las mostradas en las figuras, o sea que tienden a alinearse a lo largo de una recta, se dice que hay correlación lineal y de acuerdo con la pendiente de la recta la correlación será positiva, negativa o nula.



a) Correlación lineal positiva



b) Correlación lineal negativa.



c) No hay correlación.

1.10.12 Covariancia. Ya se ha visto como determinar si la correlación entre dos variables es positiva, negativa o nula; es decir -- como definir el signo.

Además es necesario conocer la manera de estimar medidas numéricas

que indiquen que tan correlacionadas están dos variables.

La covarianza es una medida numérica que nos indica el grado de correlación entre dos variables, y se calcula aplicando la fórmula siguiente:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n}; \text{ o bien } S_{xy} = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{n - 1}$$

Cuando $n < 30$

En donde:

S_{xy} es la covarianza entre los datos de las variables "x" y "y"

x_i, y_i representan a cada uno de los datos de las variables aleatorias "x" y "y", respectivamente.

n es el número total de parejas de datos.

\bar{x}, \bar{y} son las medias de "x" y "y", respectivamente

Las unidades de S_{xy} son el producto de las unidades de "x" y "y".

1.10.13 Coeficientes de correlación. El coeficiente de correlación lineal es otra medida numérica de correlación entre dos variables, y tiene la ventaja, sobre la covarianza, de que es adimensional. Se calcula con la siguiente fórmula.

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

En donde:

r_{xy} es el coeficiente de correlación lineal entre las variables "x" y "y"

S_{xy} es la covariancia entre las variables "x" y "y"

S_x y S_y son las desviaciones estándar de "x" y "y" respectivamente.

Dependiendo de los datos que se tengan, resulta más práctico aplicar otras variantes de la fórmula para calcular r_{xy}

$$r_{xy} = \frac{\sum \gamma \beta}{\sqrt{(\sum \gamma^2)(\sum \beta^2)}}$$

En donde:

$$\gamma = x - \bar{x}; \beta = y - \bar{y}$$

Esta fórmula, que automáticamente da el signo adecuado de r_{xy} se llama fórmula producto-momento y muestra claramente la simetría -- entre "x" y "y".

Otra variante que se utiliza a menudo para el cálculo de r_{xy}

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{\left[\left(n \sum x^2 - (\sum x)^2 \right) \left(n \sum y^2 - (\sum y)^2 \right) \right]}}$$

Es interesante hacer notar que la magnitud en valor absoluto del coeficiente de correlación no puede ser mayor que 1, es decir, su intervalo de valores es 0 ± 1 .

Cuando $r_{xy} = 1$, se dice que hay correlación perfecta positiva. Si $r_{xy} = -1$ hay correlación perfecta negativa. Si $r_{xy} = 0$, se dice -- que "x" y "y" no están correlacionadas. Otra propiedad es que $S_{xy} = S_{yx}$ por lo que $r_{yx} = r_{xy} = r$.

Más adelante se insiste en las propiedades de r .

1.10.14 Regresión lineal. Otra aplicación de la relación entre variables es la de predecir el valor que se espera asuma una variable cuando se conoce el valor de otra con la que se relaciona linealmente. Puesto que se trata de variables aleatorias, habrá algún error en la predicción del valor y debe calcularse.

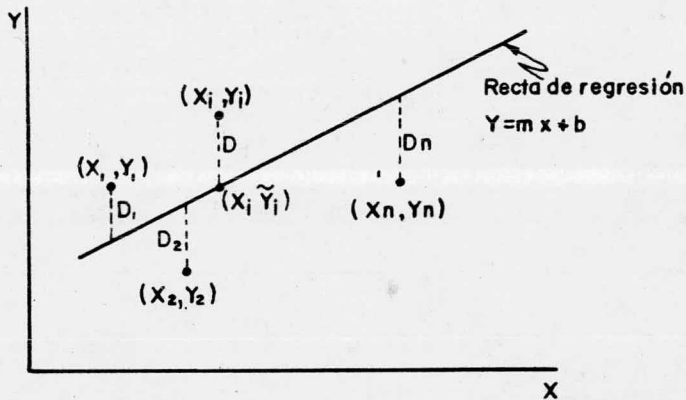
Si los puntos de la gráfica de correlación no quedan alineados -- exactamente a lo largo de una recta, pero tienden a distribuirse -- más o menos sobre ella; se puede describir en forma aproximada a -- la otra y se dice que se tiene un problema de regresión lineal

La línea recta que se ajusta a los puntos definidos por las pare--jas de datos se llama recta de regresión y su ecuación general es de la forma: $y = mx + b$.

Puesto que el problema de regresión "y" en función de "x" es similar al de "x" en función de "y" nos concretaremos a explicar el primer caso, llamando a "y" variable dependiente y a "x" variable independiente.

El otro caso se trata en forma análoga.

Método de mínimos cuadrados.- Para determinar la ecuación de la recta de regresión, es necesario establecer un criterio estándar, ya que de otra manera cada persona trazaría una recta diferente que pasara más o menos por en medio de los puntos.



El método de mínimos cuadrados se basa en suponer que la mejor línea de regresión es aquella para la cual la suma de los cuadrados de las desviaciones de todos los puntos con respecto a la recta de regresión es mínima. Ver la figura.

$$D_1^2 + D_1^2 + D_1^2 + \dots + D_n^2 \text{ es m\u00ednimo.}$$

La desviaci\u00f3n del i\u00e9simo punto D_i es la siguiente:

$$D_i = Y_i - \widetilde{Y}_i$$

(X_i, Y_i) un punto i de la serie de datos.

(X_i, \widetilde{Y}_i) el punto i correspondiente sobre la recta de regresi\u00f3n, seg\u00fan se indica en la figura.

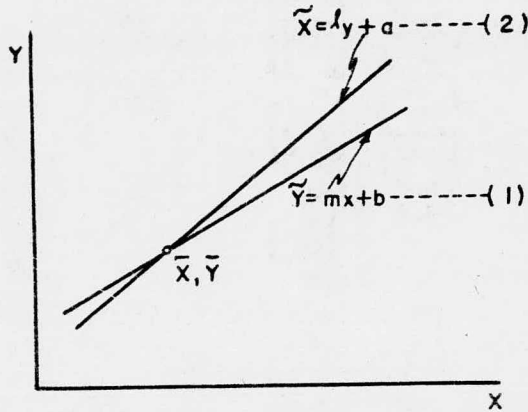
$Y = mx + b$, es la ecuaci\u00f3n de la recta de regresi\u00f3n de "y", con base en "x" por medio de ella se predica el promedio de los valores de "y" asociados a un valor de "x".

En los tratados de an\u00e1lisis estad\u00edsticos se demuestra que la pendiente m , y la ordenada al origen b , de la recta de regresi\u00f3n, seg\u00fan el criterio de m\u00ednimos cuadrados, se calculan con varias ecuaciones, aplicando las que resulten m\u00e1s convenientes de acuerdo con los datos que se tengan.

Regresi\u00f3n de "x" con base en "y". Resulta una ecuaci\u00f3n del tipo $X = \frac{1}{y} + a$ que es la ecuaci\u00f3n de la recta de regresi\u00f3n de "x" con base en "y". Por medio de esta ecuaci\u00f3n se predice el promedio de los valores de "x" asociados a un valor dado de "y".

An\u00e1logamente al otro caso de regresi\u00f3n visto, los valores de la pendiente " $\frac{1}{y}$ ", y de la abscisa al origen " a " se calculan con diversas f\u00f3rmulas.

Las dos rectas de regresión se cruzan en el punto definido por (\bar{X}, \bar{Y}) como se indica en la figura:



1.10.15 Rectas de regresión y el coeficiente de correlación lineal. La ecuación $y = mx + b$ llamada de mínimos cuadrados o de regresión de "y" en función de "x", puede escribirse:

$$Y - \bar{Y} = r \frac{S_y}{S_x} (x - \bar{X}) \text{ ----- (3)}$$

Análogamente $X = l y + a$ puede escribirse:

$$x - \bar{X} = r \frac{S_x}{S_y} (y - \bar{Y}) \text{ ----- (4)}$$

Las pendientes de las rectas (3) y (4) son iguales si y solamente si, $r = \pm 1$. En tal caso, las dos rectas son idénticas y entre las variables "x" y "y" hay una correlación lineal perfecta. Si r

= 0, las rectas forman ángulo recto y no hay correlación lineal entre 'x' y 'y'.

Así pues, el coeficiente de correlación lineal mide la divergencia de las dos rectas de regresión.

II. OBJETIVO DE LA INVESTIGACION

En la actualidad existen varias pruebas típicas para determinar en forma índice la capacidad de soporte de los suelos, en base a la - cual se determinan los espesores de pavimentos; estas pruebas pueden englobarse atendiendo a la forma en que los esfuerzos de compac- tación son aplicados, en los grupos siguientes:

- Pruebas dinámicas mediante la aplicación de impactos.
- Pruebas de compresión estática.
- Pruebas vibratorias.
- Pruebas mediante la acción de efectos de "amasado".

Sin embargo históricamente se reconoce que la primera prueba de laboratorio desarrollada con fines de control de la compactación en el campo, se debió al Departamento de Carreteras de California, con la prueba de CBR (California Bearing Ratio) que se usó tanto para clasificar a los materiales, como para efectuar el proyecto de espesores.

Inicialmente se elaboraban los especímenes en forma estática; posteriormente el cuerpo de ingenieros del ejército de E.U., adoptó la prueba para proyectar sus aeropuertos en Europa, pero se le hicieron algunas modificaciones dentro de las cuales por falta de equipo en el campo para la elaboración de los especímenes durante la Segunda Guerra Mundial, se cambió el procedimiento de estático a dinámico, en este último se hacían los especímenes golpeando capas delgadas (1") del material con un pizón de 10 libras, y finalmente la AASHO ha especificado el procedimiento dinámico para el control de compactación con diferentes energías.

El CBR es la resistencia en por ciento, que un suelo opone a la penetración de una aguja con sección transversal de 19.35 cm^2 , con respecto a la resistencia que opone un material considerado estándar (caliza triturada).

A principio de la década de los cuarenta, los técnicos mexicanos se interesaron en establecer una prueba de resistencia que fuera sencilla pero eficaz para el proyecto de pavimentos y adoptaron una variable de la prueba original de California y que denominaron de Porter Modificada, ya que solo conservaron de aquella la compactación estática, las dimensiones del molde y la forma de penetración con lo que se obtiene el valor relativo de soporte (VRS) de proyecto, que es el término en español que se ha aceptado para el CBR.

En general en la prueba de Porter Modificada los especímenes se compactan a diferentes pesos volumétricos y diferentes humedades de manera que el proyectista puede hacer los especímenes que crea necesario para conocer el comportamiento del suelo que está estudiando, incluyendo el de las condiciones críticas que se presentan en la realidad. Las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas en su parte novena presenta dos variantes a esta prueba en base a las condiciones climatológicas y de drenaje, como guía para sus proyectos.

La variante uno señala que las pruebas se efectúen a diferentes pesos volumétricos, en función del peso volumétrico seco máximo (PUSM), pero contenido constante de humedad e igual a la óptima.

Estas pruebas se realizan a materiales que se emplearán en zonas de muy baja precipitación o muy bien drenadas.

En la variante dos se indica que los especímenes se elaboran de la siguiente manera:

- a) Con 100% del PVSM y humedad óptima. Se utiliza en zonas donde el drenaje es aceptable y la precipitación baja.
- b) Con 95% del PVSM y humedad óptima + 1.5%. Se usará para zona donde haya drenajes y precipitaciones regulares.
- c) Con 90% del PVSM y humedad óptima + 3%. Es para aquellas zonas de drenaje malo o dudoso y precipitación alta.

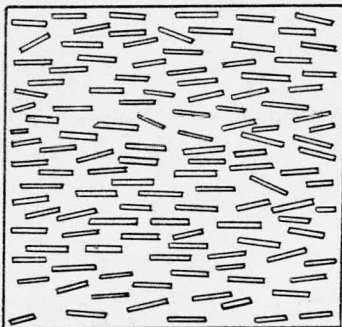
En ocasiones cuando los materiales son de baja calidad o si la pre cipitación es muy alta, los datos del inciso c) se comparan con -- los resultados de la prueba Porter Estandar, el menor VRS de estas dos pruebas se elige para proyecto.

Con esta serie mínima de pruebas, el proyectista puede conocer el comportamiento del suelo al variar el peso volumétrico y la hume-- dad en cuanto a su valor relativo de soporte se refiere.

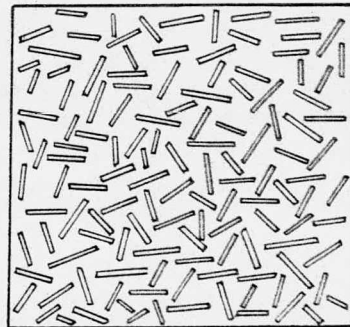
Las combinaciones marcadas anteriormente de acuerdo a las condi--- ciones climatológicas y de drenaje para las cuales están señaladas, han dado buenos resultados.

Sin embargo, recientemente hay una corriente que propone modificar el procedimiento de prueba estática aduciendo los siguien tes comenta rios:

La investigación actual ha puesto de manifiesto que con los suelos compactados pueden obtenerse dos tipos de estructuras. Estas se -- muestran en las figuras siguientes y reciben el nombre de estructura floclulada y estructura dispersa.



(a)



(b)

Estructuras extremas de un suelo arcilloso.

- a) Alto grado de orientación de partículas.
- b) Bajo grado de orientación de partículas.

Es evidente que a cada tipo de estructura le corresponden propiedades mecánicas muy diferentes, tanto en compresibilidad, como -- en permeabilidad, etc. Es lógico que la resistencia interna de un material dependa fundamentalmente de como están estructurados sus componentes.

Aducen que un tratamiento estático produce una estructura francamente dispersa, en tanto que un tratamiento por impactos dá lugar a una estructura floculada.

Por otro lado la compactación se hace en el campo por un tercer método denominado "por amasado" y es el que se tiene tanto con el uso de los rodillos "pata de cabra", como con el uso de los rodillos neumáticos, o dicho sencillamente cualquier proceso de campo compacta por amasado. Pues bien, considerando que el método de amasado conduce a una estructura floculada en los suelos compactados, una prueba estática de compactación no puede ser considerada representativa de ningún proceso de compactación de campo, en tanto que una prueba de impactos puede, por lo menos, aducir en su favor el dar al suelo la misma estructura que el proceso de campo. Sin duda la máxima representatividad en el laboratorio se obtendría con una prueba de amasado, pero aún no existe ningún estándar.

Además se basan en investigaciones realizadas por el grupo Berkeley (EE.UU.), en las que se proporcionan datos sobre resistencia en prueba rápida triaxial (la más usada para cálculos de estabilidad

de Terraplenes carreteros) para diversos suelos compactados hasta el mismo peso específico seco y con el mismo contenido de agua, -- pero con diferentes métodos (amasado y estático). Se encontró que la resistencia de un espécimen compactado con método estático es -- hasta 4 veces mayor que la de un espécimen idéntico, pero obtenido por amasado, por lo que deducen que si la prueba estática se usó -- en el laboratorio para efectuar estudios para proyecto, se obtienen conclusiones absurdas, teniendo en cuenta que los procesos de campo (amasado) producirán un suelo muy diferente y mucho menos -- resistente.

También muestran los resultados de pruebas estáticas y por impac-- tos (Proctor estándar y Proctor modificado) en arenas y arcillas, -- donde para el caso de arenas la prueba Porter dá pesos volumétric-- cos iguales a la Proctor estándar y menores que la Proctor modifi-- cada y que para el caso de arcillas la prueba Porter dá pesos más-- altos que las pruebas Proctor.

Da todo lo expuesto anteriormente concluyen:

1. La estructura que se obtiene al elaborar el espéci-- men dinámicamente es más congruente con la que se -- obtiene con el equipo de construcción en la obra, prin-- cipalmente para de cabra.
2. La resistencia al esfuerzo cortante obtenida en algu-- nas pruebas Triaxiales, es mayor en especímenes ela-- borados estáticamente que la de los elaborados dinámi-- camente, por lo que la primera condición es menos -- crítica.

En otras palabras, la prueba Porter como prueba de control de compactación, no es representativa de los suelos compactados en el campo ya que produce especímenes cuya resistencia, compresibilidad, etc., son en general mucho más favorables que el suelo en la obra, y que por lo tanto es una prueba insegura además de conducir a una exigencia de compactación que en nada mejora a la que se llegaría con pruebas de impactos.

3. La prueba Porter exige equipo y técnica de prueba -- comparativamente complicados y costosos, por lo que se podría aprovechar la experiencia que se tiene en lugares donde se elaboran los especímenes dinámicamente.

Pero por otra parte, en investigaciones hechas con anterioridad, - tales como las realizadas por el Ing. Rodrigo Padrón cuyo trabajo fué presentado en el V Congreso Panamericano de Carreteras, o como el trabajo expuesto en el II Simposio Colombiano de Ingeniería de Pavimentos por los Ingenieros Fernando Olivera B. y Hernán Otoniel Fernández O., llegan a conclusiones que difieren con las presentadas anteriormente, presentando entre otros los siguientes argumentos:

- Demuestran que no en todos los suelos hay la misma necesidad de llegar a una compactación alta, porque por ejemplo entre el 90% y el 100% de compactación, un suelo alcanza un incremento de 15% en su VRS en tanto que para otro con el mismo incremento de compactación adquiere un aumento de 75% en su VRS.

- Presentan resultados en los que se ve claramente que en igualdad de condiciones del suelo, los URS son ma yores en las muestras inalteradas o los de la prueba directa (o en el lugar), que los obtenidos compactando con carga estática y éstos a su vez son mayores - que los que se obtuvieron compactando por impactos.

Por lo que en base a los puntos anteriormente expuestos y tomando en cuenta todos los demás resultados obtenidos en esas investiga-- ciones se puede llegar a las siguientes conclusiones:

1. Las pruebas de compactación de laboratorio solo son-- estándares de comparación y el grado de compactación exigido a diferentes materiales y capas se basa en - correlaciones de los resultados obtenidos en el com-- portamiento real.
2. En cuanto a la estructura se ha visto que ni la com-- pactación dinámica ni la estática producen estructu-- ras semejantes a las del campo ya que con el tiempo-- se producen cambios estructurales por fenómenos físi-- co químicos que ocasionan que el VRS de campo sea -- mayor al VRS obtenido en especímenes compactados es-- táticamente y mucho mayor que los obtenidos en espe-- címenes compactados dinámicamente.
3. Además, principalmente para proyecto, precisamente - por los resultados de pesos volumétricos secos obte-- nidos en los especímenes compactados por los dos - - métodos, las especificaciones marcan que para mate-- riales inertes y granulares se utilice la prueba - - Porter estándar y para materiales arcillosos la prueba

Proctor. Por otra parte intervienen también factores como el tiempo para el desarrollo de la prueba y su costo, siendo más económica y rápida la prueba estática.

Resumiendo lo anterior tenemos que aunque en realidad ninguno de los dos tipos de compactación reproduce la estructura que el suelo adquiere con el tiempo y por lo tanto, los resultados obtenidos en el laboratorio en uno u otro caso son solo valores índice que deben correlacionarse con el comportamiento real y solo es necesario que esta correlación sea la más exacta posible independientemente de la prueba que se trate.

Como se puede observar, las conclusiones difieren sustancialmente, por lo que se han desarrollado varias investigaciones para definir el punto hasta el cual conviene aplicar una u otra forma de compactación.

Esta tesis se basó en un programa desarrollado en diferentes unidades de laboratorios de centros de SAHOP, en el que el objetivo fundamental de la investigación se dirigió hacia la determinación de las relaciones que pudieran existir entre los valores relativos de soporte y variando las respectivas humedades de los suelos compactados en el laboratorio mediante la aplicación de presiones estáticas y de impacto según las técnicas sugeridas por O. J. Porter y R. R. Proctor respectivamente.

Por lo tanto tratará de servir para conocer los diferentes aspectos técnicos que representa la aplicación de las pruebas Porter y Proctor SOP en relación con las pruebas AASHTO estandar y modificada de tres capas, por lo que se refiere fundamentalmente a la determinación del valor relativo de soporte (VRS) para el diseño de

Proctor. Por otra parte intervienen también factores como el tiempo para el desarrollo de la prueba y su costo, siendo más económica y rápida la prueba estática.

Resumiendo lo anterior tenemos que aunque en realidad ninguno de los dos tipos de compactación reproduce la estructura que el suelo adquiere con el tiempo y por lo tanto, los resultados obtenidos en el laboratorio en uno u otro caso son solo valores índice que deben correlacionarse con el comportamiento real y solo es necesario que esta correlación sea la más exacta posible independientemente de la prueba que se trate.

Como se puede observar, las conclusiones difieren sustancialmente, por lo que se han desarrollado varias investigaciones para definir el punto hasta el cual conviene aplicar una u otra forma de compactación.

Esta tesis se basó en un programa desarrollado en diferentes unidades de laboratorios de centros de SAHOP, en el que el objetivo fundamental de la investigación se dirigió hacia la determinación de las relaciones que pudieran existir entre los valores relativos de soporte y variando las respectivas humedades de los suelos compactados en el laboratorio mediante la aplicación de presiones estáticas y de impacto según las técnicas sugeridas por O. J. Porter y R. R. Proctor respectivamente.

Por lo tanto tratará de servir para conocer los diferentes aspectos técnicos que representa la aplicación de las pruebas Porter y Proctor SOP en relación con las pruebas AASHTO estandar y modificada de tres capas, por lo que se refiere fundamentalmente a la determinación del valor relativo de soporte (VRS) para el diseño de

pavimentos.

Además aplicando los mismos tipos de pruebas se determinará la expansión, con objeto de conocer la variación de este valor en especímenes compactados dinámica y estáticamente.

A continuación se da una relación de las unidades de laboratorios de Centros SAHOP con su correspondiente número de indentificación dentro del presente trabajo:

1. Cd. Victoria
2. Chilpancingo
3. Jalapa
4. Mérida
5. Mexicali
6. Puebla
7. Querétaro
8. San Luis Potosí
9. Tlalnepantla
10. Villahermosa
11. Zacatecas

III. TIPOS DE MATERIALES UTILIZADOS

III.1 Descripción. Se ensayaron cuatro tipos diferentes de materiales representativos de la región, de los cuales se tiene experiencia con cuanto a su utilización y comportamiento en terracerías; - estos materiales fueron de la siguiente naturaleza teniendo cuidado de que quedaran bien definidos, evitando casos frontera.

1. Material fino arcilloso (CL, OL, MH, CH₁, uOH₁)
2. Material fino arenoso (ML, SM, SW, o SP)
3. Material granular con finos arenosos (GM, GP o GW)
4. Material granular con finos arcillosos (GC o SC)

A cada material se le determinaron sus características físicas como son: granulometría, plasticidad, etc. Asimismo, se obtuvieron los - datos de PVSM y VRS de acuerdo a las correlaciones que se pretenden obtener, al final de este capítulo se encuentran las tablas con los resultados de las características físicas.

Con los valores obtenidos, se dibujaron gráficas y se calcularon los valores medios (\bar{X} , \bar{Y}), la desviación estándar (S_x , S_y), el coeficiente de correlación (r), las rectas de regresión ($Y = mx + b$, $X = ly + a$) y el valor "t" de Student, para las diferencias numéricas de los valores.

El estudio se dividió en tres partes que se encuentran en los capítulos siguientes; cada capítulo consta de gráficas, valores estadísticos, tablas de resumen y hojas de conclusiones.

III.2 Tratamiento de los materiales. A continuación se presenta en forma detallada el tratamiento que se les dió a los materiales.

III.2. 1) Cada tipo de material se preparó de acuerdo con las normas establecidas en la cláusula 108-04, de las especificaciones correspondientes a la versión actualizada a -- Diciembre de 1974, que se distribuyó a las Unidades de Laboratorios de Centros SOP, haciéndose notar que las pruebas AASHTO que se indicaron en este programa, se hicieron de dos maneras, es decir, los materiales para determinar los pesos volumétricos secos máximos y los VRS correspondientes, cuando tuvieron retenido en la malla de 3/4", se prepararon como se indica enseguida:

a) Las pruebas se hicieron con el material que pasó la malla de 3/4", eliminándose el retenido correspondiente en caso de que existiera.

b) Con el retenido en la mencionada malla de 3/4", se hizo la corrección granulométrica que indican las Especificaciones, aclarándose que esta operación se efectuó

considerando exclusivamente la fracción inferior a la malla de 2".

Por otra parte, en lo relacionado con el PVSM Porter -- este se hizo con la fracción que pasó la malla de 1", -- como está especificado, sin aplicar corrección granulométrica; respecto a las pruebas Porter modificada y -- Porter estándar para determinar el VRS, se efectuaron de dos maneras, preparando en cada caso los materiales como se indica a continuación:

a) Cribando el material por la malla de 1" y eliminando el retenido correspondiente, el cual no se tomó en cuenta para ningún aspecto.

b) Cualquier retenido que se encontró en la malla de 1", inclusive inferior al 15%, se incorporó en un porcentaje equivalente, en la fracción que pasó dicha malla, con material cuyos tamaños se encontraban entre -- las mallas de 1" y No. 4; una vez hecha esta corrección granulométrica, se hicieron las pruebas respectivas. Se aclara que la citada corrección se efectuó considerando exclusivamente la fracción inferior a la malla de 2".

NOTA: Las referencias a las Especificaciones, que se hagan en lo sucesivo, serán respecto a la versión actualizada a diciembre de 1974, que se entregó a las Unidades de Laboratorios.

A continuación, se efectuaron a cada uno de los materiales, las -- pruebas necesarias para obtener su clasificación SOP, la Porter -- estándar saturada (VRS y expansión), y las pruebas de compactación que le correspondían según sus características y que se --

enumeran enseguida, utilizando preferentemente el compactador automático para llevar a cabo las pruebas dinámicas, en cuyo caso se hizo la indicación correspondiente en el reporte.

TIPO DE PRUEBA	INCISO
AASHTO estandar. Variantes B o D.	108-11.2
Proctor SOP	108-11.3
AASHTO Modificada tres capas. variantes B o D.	108-11.4
Compactación por carga estática (Porter)	108-11.6

Se tomó en cuenta que si el suelo era de partículas gruesas (más de la mitad se retiene en la malla No. 200), se efectuó la prueba AASHTO modificada tres capas y si el suelo era de partículas finas (más de la mitad para la malla No. 200), se hizo la prueba AASHTO estandar; además en el caso de estas dos pruebas, si las muestras presentaban retenido en la malla de 3/4", las pruebas se hicieron de dos maneras, preparando los materiales como se indica al principio de este inciso.

Todos los aspectos relacionados con la prueba Proctor SOP, se apegaron a los lineamientos indicados en las Especificaciones.

III.2.2) De cada material se obtuvieron nueve porciones representativas de 7.5 Kgs. cada una, para integrar 3 series de 3 porciones. A la primera serie se le incorporó en forma homogénea la humedad óptima determinada con la prueba --

AASHTO estandar o AASHTO modificada tres capas, dejando reposar en charolas las porciones correspondientes, cubriéndolas con lonas humedecidas, durante un lapso de - 24 horas.

Una vez cumplido el período de reposo mencionado, se ve rificó que la humedad que contenían las porciones corres pondiera a la óptima respectiva, haciéndose en su caso los ajustes necesarios para cumplir con esta condición.

Con cada una de las tres porciones de esta primera serie, se elaboró un espécimen que se compactó dinámicamente de acuerdo al inciso 108-11.2 ó 108-11.4, con la salvedad de que el primer espécimen se integró con 10 golpes por capa, el segundo con 30 por capa y el tercero con 65 -- por capa.

Inmediatamente después de elaborados cada uno de los -- especímenes, se procedió a invertirlos y una vez coloca das las placas de carga respectivas, se efectuó la pene tración en la forma indicada en los subpárrafos 6 y 7, - párrafo D del inciso 108-15.2, para determinar el VRS en cada espécimen.

Con los datos obtenidos se elaboró una gráfica de PVS- VRS, en la cual se determinaron por interpolación los- VRS correspondientes al 100%, 95% y 90% del PVSM de la prueba AASHTO estándar o AASHTO modificada tres capas- según correspondiera.

A la segunda serie de tres porciones, se le aplicó la -

misma secuela antes mencionada con la única excepción - de que la humedad de prueba fué la correspondiente a la óptima más 3%.

Los especímenes de la tercera serie, se integraron de - la misma manera que los de la primera serie, es decir, - con la humedad óptima y a continuación se sumergieron - en agua, con las placas de carga colocadas, durante un - período de cuatro días. A continuación, se determinó la - expansión como se indica en el inciso 108-15.2, y el -- VRS tal como se explicó anteriormente.

El VRS obtenido con cualesquiera de las variantes des-- critas, se denominó VRS-SOP, que básicamente se refiere a pruebas de compactación dinámica.

III.2.3) De cada tipo de material, se obtuvieron en forma repre-- sentativa, otras nueve porciones de 6 Kgs.cada una, para formar tres nuevas series.

A la primera serie se le incorporó en forma homogénea la humedad óptima determinada con la prueba AASHTO estándar o con la prueba AASHTO modificada tres capas, según co-- rrespondiera, dejando reposar las muestras cubriéndolas con una lona humedecida.

Una vez cumplido el período de reposo mencionado, se ve -- rificó que la humedad que contenía era la óptima, ha -- ciendo en caso contrario los ajustes para cumplir con - esta condición.

Con cada una de las tres porciones de esta primera serie, se efectuó la prueba Porter modificada, siguiendo el -- procedimiento descrito en el inciso 108-15.3, para re-- producir el 90%, 95% y 100% del PVSM determinado por el método AASHTO estándar o el AASHTO modificado tres capas, según correspondiera; además de penetrar los especímenes en la cara superior, como está especificado, esta operación también se hizo en la cara inferior.

Después de penetrar el espécimen, se determinó la humedad de una muestra tomada en su parte superior y otra - de la inferior, en un espesor no mayor de 3 cms.

Para la segunda serie se siguió la misma secuela antes-- descrita, con la diferencia de que la humedad de prueba-- fué la humedad óptima más 3%.

En la tercera serie se realizó el procedimiento indica-- do para la primera serie, pero antes de proceder a la - penetración de los especímenes, estos se sumergieron en-- agua durante un período de cuatro días. A continuación-- se determinó la expansión como se indica en el inciso - 108-15.2, y el VRS tal como se explicó anteriormente, - penetrando el espécimen y tomando la humedad, tanto en - la cara superior como en la inferior.

- III.2.4) A cada tipo de material se le efectuó también la prueba Porter modificada, variante II, de acuerdo al inciso -- 108-5.3, reproduciendo el 90%, 95% y 100% del PVSM obtenido con las pruebas Porter o Proctor SOP, según correspondiera, obteniéndose el VRS penetrando el espécimen -

en sus caras superior e inferior, determinando humedades en ambas caras, como se indicó antes.

III.3 Presentación de resultados. Se reportaron en forma tabulada (Ver cuadros anexos), los resultados que se indican a continuación, obtenidos en cada uno de los materiales:

Clasificación SOP.

Clasificación visual del suelo.

Tamaño máximo.

% pasa malla No. 4

% pasa malla No. 200

Límite líquido.

Índice plástico.

Contracción lineal.

VRS estándar (saturado)

Expansión.

Peso volumétrico seco y suelto.

PVSM Porter y Proctor SOP y humedad óptima.

PVSM AASHTO estándar y humedad óptima.

PVSM AASHTO modificada tres capas y humedad óptima.

VRS-SOP, en sus tres series.

VRS Porter modificada, aplicando el PVSM AASHTO estándar.

VRS Porter modificada, aplicando el PVSM AASHTO modificada tres capas.

VRS Porter modificada.

Expansión AASHTO estándar.

Expansión AASHTO modificada tres capas.

Expansión Porter modificada, aplicando el PVSM AASHTO - que corresponda según el tipo de suelo.

Una recomendación dada fué que se describieran brevemente los detalles más significativos que se encontraran al efectuar las pruebas AASHTO y las tradicionales Porter y Proctor SOP, y sus repercusiones posibles en la compactación de las terracerías y en el diseño de pavimentos.

Además se sugirió que se hicieran los comentarios que se juzgaran convenientes respecto a los aspectos de mayor significación por lo que se refiere a utilización del equipo, procedimientos de prueba, tiempo de ejecución de cada prueba, causas de error, ventajas o desventajas de las técnicas descritas y todas aquellas observaciones que se consideraran útiles para evaluar los métodos aplicados.

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CORRELACION DE METODOS VRS SOP Y VRS PORTER MODIFICADO
UNIDADES DE LABORATORIOS DE CENTROS S.A.H.O.P.

TIPO DE MATERIAL: FINO ARENOSO

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	CD. VICTORIA TAMS		CHILPANCINGO, GRO.		JALAPA, VER.		MÉRIDA, YUC.		MEXICALI, B.C.		PUEBLA, PUE.		QUERETARO, QRO.		SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.		TLAXIAPALTECA, MEK.		VILLAHERMOSA, TAB.		ZACATECAS, ZAC.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
CLASIFICACION SOP	SM		1114 200 MESH 0.2		SM		SM		SM		SM		SM		SP-5M		SM		SP-5M		SP	
CLASIFICACION VISUAL	ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA		ARENA LIMOSA	
TAMANO MAXIMO (Pis.)	14.10		14.10		14.10		14.10		14.10		14.10		14.10		3"		3/4"		3/4"		3/4"	
% RETENIDO EN 3/4"																						
% RETENIDO 3/4"																						
PASA MALLA Num. 4 (%)	100.0		100.0		100.0		100.0		100.0		100.0		54.0		54.0		76.0		77.0		63.0	
PASA MALLA Num. 200 (%)	27.0		2.0		27.0		27.0		27.0		27.0		14.0		6.0		13.0		5.0		4.0	
LIMITE LIQUIDO (%)	25.0		25.0		24.9		20.0		20.0		24.6		31.0		21.0		26.0		20.0		19.0	
MOHNE PLASTICO (%)	5.0		N.A.		5.9		N.A.		N.A.		14.4		14.4		40 PLASTICO		3.5		N.A.		0.0	
CONTRACCION LINEAL (%)	0.0		0.0		0.0		0.0		0.0		0.1		0.7		0.7		1.5		0.0		0.0	
PESO VOL. SEC. Y SUELO (Kg./cm ³)	1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0		1225.0	
GRANUL. CORREG. (1) GRANUL. NATURAL (2)																						
PVSM PORTER W ₀	1730-13.5		1720-14.5		1720-14.5		1720-14.5		1720-14.5		1720-14.5		1730-13.5		1732-7.2		1718-10.5		1770-10.0		2040-7.0	
PVSM PROCTOR W ₀	---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---	
PVSM AASHTO ESTANDAR W ₀	---		---		---		---		---		---		---		---		---		---		---	
PVSM AASHTO MODIFICADA W ₀	1920-15.5		1920-15.5		1924-12.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4		1920-14.4	
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0		24.0	
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0		21.0	
VRS-SOP (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0		18.0	
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	X		X		X		X		X		X		X		X		X		X		X	
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9		13.9	
VRS-SOP (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7		12.7	
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ SATURADO) W	14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7	
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ SATURADO) W	14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7	
VRS-SOP (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀ SATURADO) W	14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7		14.0-17.7	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S	25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4		25.7-14.4	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S	24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S	20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S	17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0		17.3-14.0	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S	15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.L	14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0		14.4-7.0	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.L	12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0		12.4-14.0	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.L	10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3		10.2-12.3	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S	22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0		22.0-17.0	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S	20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7		20.2-14.7	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S	17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3	
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.L	20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0		20.2-17.0	
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.L	17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3		17.3-12.3	
VRS-PM (90% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.L	15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3		15.0-12.3	
VRS-PM (100% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.S	27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7		27.0-14.7	
VRS-PM (95% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.S	24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5		24.3-12.5	
VRS-PM (90% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.S	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (100% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (95% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
VRS-PM (90% PVSM PORTER 0 PROCTOR W ₀) W.C.L	22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4		22.0-12.4	
% EXPANSION (100% PVSM AE 0 AM)	0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17		0.17	
% EXPANSION (95% PVSM AE 0 AM)	0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22		0.22	
% EXPANSION (90% PVSM AE 0 AM)	0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27		0.27	
% EXPANSION PM (100% PVS 0 AM)	0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47	
% EXPANSION PM (95% PVS 0 AM)	0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47		0.47	
% EXPANSION PM (90% PVS 0 AM)	0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55		0.55	
VRS-PE W.C.S	42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3		42.6-15.3	
VRS-PE W.C.L	50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6		50.7-12.6	
% EXPANSION PE	0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44		0.44	

CLAVE-MS = VALOR RELATIVO DE SOPORTE (%)
 PVSM = PASO VOLUMETRICO SECO MAXIMO (Kg./L)
 AE = AASHTO ESTANDAR
 AM = AASHTO MODIFICADA
 W₀ = HUMEDAD OPTIMA
 W = HUMEDAD OBTENIDA EN LA CARA SUPERIOR O INFERIOR
 C.S. = CARA SUPERIOR
 C.L. = CARA INFERIOR
 PM = PORTER MODIFICADA
 PE = PORTER ESTANDAR

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CORRELACION DE METODOS VRS SOP y VRS PORTER MODIFICADO
UNIDADES DE LABORATORIOS DE CENTROS S. A. H. O. P.

TIPO DE MATERIAL: *KL 400/1000*

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES	CD. VICTORIA TAMS.		CHILPANCIÑO, GRO.		JALAPA, VER.		MERIDA, YUC.		MEXICALI, B.C.		PUEBLA, PUE.		QUERETARO, QRO.		SAN LUIS POTOSÍ, S.L.P.		TLALNEPANTLA, MEX.		VILLAHERMOSA, TAB.		ZACATECAS, ZAC.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
CLASIFICACION SOP	CH																					
CLASIFICACION VISUAL	ARCILLA DE 200/50																					
TAMAÑO MÁXIMO (Fig.)	No. 10																					
% RETENIDO EN 1"																						
% RETENIDO 3/4"																						
PASA MALLA Num. 4 (%)	100.0																					
PASA MALLA Num. 200 (%)	95.0																					
LÍMITE LÍQUIDO (%)	60.0																					
ÍNDICE PLÁSTICO (%)	37.0																					
CONTRACCIÓN LINEAL (%)	14.6																					
PESO VOL. SEC. Y SUELTO (Kg./cm ³)	1.700																					
GRANUL. CORREG. (1) GRANUL. NATURAL (2)																						
PVSM PORTER W ₀																						
PVSM PROCTOR W ₀	1640 - 21.3																					
PVSM AASHTO ESTANDAR W ₀	1620 - 20.3																					
PVSM AASHTO MODIFICADA W ₀																						
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	15.7																					
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	10.7																					
VRS-SOP (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀)	8.3																					
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	2.6																					
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	5.4																					
VRS-SOP (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)	5.0																					
VRS-SOP (100% PVSM AE 0 AM Y SATURADO) W	8.2 - 22.3																					
VRS-SOP (95% PVSM AE 0 AM Y SATURADO) W	4.2 - 27.0																					
VRS-SOP (80% PVSM AE 0 AM Y SATURADO) W	2.6 - 29.7																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.	11.2 - 21.4																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.	9.1 - 20.1																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.	4.3 - 22.0																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.I.	4.3 - 19.9																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.I.	7.2 - 20.0																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀) W.C.I.	5.1 - 15.9																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.	7.5 - 23.0																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.	5.1 - 23.2																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.	3.1 - 23.0																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.I.	5.1 - 22.4																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.I.	4.0 - 31.0																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.I.	3.7 - 23.1																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S.	3.8 - 23.5																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S.	4.7 - 25.0																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.S.	3.1 - 24.1																					
VRS-PM (100% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.I.	9.9 - 20.0																					
VRS-PM (95% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.I.	5.1 - 24.4																					
VRS-PM (80% PVSM AE 0 AM SATURADO) W.C.I.	2.0 - 24.3																					
VRS-PM (100% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.S.	1.9 - 27.2																					
VRS-PM (95% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.S.	5.4 - 27.4																					
VRS-PM (80% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.S.	1.1 - 27.5																					
VRS-PM (100% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.I.	7.2 - 27.1																					
VRS-PM (95% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.I.	4.4 - 27.4																					
VRS-PM (80% PVSM PORTER 2 PROCTOR) W.C.I.	2.6 - 23.9																					
% EXPANSION (100% PVSM AE 0 AM)	1.4																					
% EXPANSION (95% PVSM AE 0 AM)	1.2																					
% EXPANSION (80% PVSM AE 0 AM)	1.2																					
% EXPANSION PM (100% PVS AE 0 AM)	2.6																					
% EXPANSION PM (95% PVS AE 0 AM)	1.9																					
% EXPANSION PM (80% PVS AE 0 AM)	3.7																					
VRS - W.C.S.	13.0 - 25.5																					
VRS - W.C.I.	14.8 - 15.3																					
% EXPANSION PE	3.0																					

CLAVE - W₀ = VALOR RELATIVO DE SOPORTE (%)
 PVSM = PESO VOLUMÉTRICO SECO MEDIO (Kg./cm³)
 AE = AASHTO ESTANDAR
 AM = AASHTO MODIFICADA
 W₀ = HUMEDAD OPTIMA
 W = HUMEDAD OBTENIDA EN LA CARA SUPERIOR O INFERIOR
 C.S. = CARA SUPERIOR
 C.I. = CARA INFERIOR
 PM = PORTER MODIFICADA
 PE = PORTER ESTANDAR

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CORRELACION DE METODOS VRS SOP y VRS PORTER MODIFICADO.
UNIDADES DE LABORATORIOS DE CENTROS S. A. H. O. P.

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	CD. VICTORIA TAMS.		CHILPANCINGO, GRO.		JALAPA, VER.		MERIDA, YUC.		MEXICALI, B.C.		PUEBLA, PUE.		QUERETARO, QRO.		SAN LUIS POTOSI, S.L.P.		TLALNEPANTLA, MEX.		VILLAHERMOSA, TAB.		ZACATECAS, ZAC.	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
CLASIFICACION SOP																						
CLASIFICACION VISUAL																						
TAMANO MAXIMO (Pig)																						
% RETENIDO EN I"																						
% RETENIDO 3/4"																						
PLA MALLA Num 4 (%)																						
PLA MALLA Num 200 (%)																						
LIMITE LIQUIDO (%)																						
INDICE PLASTICO (%)																						
CONTRACCION LINEAL (%)																						
PESO VOL. SEC. Y SUELTO (Kg/cm ³)																						
GRANUL. CORREG. (1) GRANUL. NATURAL (2)																						
VRS-PORTER W ₀																						
VRS-PROCTOR W ₀																						
VRS-AASHTO ESTANDAR W ₀																						
VRS-AASHTO MODIFICADA W ₀																						
VRS-SOP (100% PVSAM AE 0 AM Y W ₀)																						
VRS-SOP (95% PVSAM AE 0 AM Y W ₀)																						
VRS-SOP (90% PVSAM AE 0 AM Y W ₀)																						
VRS-SOP (100% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)																						
VRS-SOP (95% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)																						
VRS-SOP (90% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%)																						
VRS-SOP (100% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W																						
VRS-SOP (95% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W																						
VRS-SOP (90% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W																						
VRS-PM (100% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.																						
VRS-PM (95% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.																						
VRS-PM (90% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.S.																						
VRS-PM (100% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L.																						
VRS-PM (95% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L.																						
VRS-PM (90% PVSAM AE 0 AM Y W ₀) W.C.L.																						
VRS-PM (100% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.																						
VRS-PM (95% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.																						
VRS-PM (90% PVSAM AE 0 AM Y W ₀ + 3%) W.C.S.																						
VRS-PM (100% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.S.																						
VRS-PM (95% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.S.																						
VRS-PM (90% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.S.																						
VRS-PM (100% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.L.																						
VRS-PM (95% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.L.																						
VRS-PM (90% PVSAM AE 0 AM Y SATURADO) W.C.L.																						
VRS-PM (100% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.S.																						
VRS-PM (95% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.S.																						
VRS-PM (90% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.S.																						
VRS-PM (100% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.L.																						
VRS-PM (95% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.L.																						
VRS-PM (90% PVSAM PORTER 0 PROCTOR) W.C.L.																						
% EXPANSION (100% PVSAM AE 0 AM)																						
% EXPANSION (95% PVSAM AE 0 AM)																						
% EXPANSION (90% PVSAM AE 0 AM)																						
% EXPANSION PM (100% PVS AE 0 AM)																						
% EXPANSION PM (95% PVS AE 0 AM)																						
% EXPANSION PM (90% PVS AE 0 AM)																						
VRS-PE W.C.S.																						
VRS-PE W.C.L.																						
% EXPANSION PE																						

CLAVE-VRS = VALOR RELATIVO DE SOPORTE (%)
 PVSAM = PISO VOLUMETRICO SECO MINIMO (%)
 AE = AASHTO ESTANDAR
 AM = AASHTO MODIFICADA
 W₀ = HUMEDAD OPTIMA
 W = HUMEDAD OBTENIDA EN LA CARA SUPERIOR O INFERIOR
 C.S. = CARA SUPERIOR
 C.I. = CARA INFERIOR
 PM = PORTER MODIFICADA
 PE = PORTER ESTANDAR

CARACTERISTICAS FISICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CORRELACION DE METODOS VRS SOP y VRS PORTER MODIFICADO.
UNIDADES DE LABORATORIOS DE CENTROS S. A. H. O. P.

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES	TIPO DE MATERIAL											
	CD. VICTORIA TAMS.	CHILPANCIINGO, GRO.	JALAPA, VER.	MERIDA, YUC.	MEXICALI, B.C.	PUEBLA, PUE.	QUERETARO, QRO.	SAN LUIS POTOSI, S.L.P.	TLALNEPANTLA, MEX.	VILLAHERMOSA, TAB.	ZACATECAS, ZAC.	
CLASIFICACION SOP			55	55	55	55	55	55	55	55	55	
CLASIFICACION VISUAL			CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	CONCRETO	
TAMANO MAXIMO (Pig)			20	20	20	20	20	20	20	20	20	
% RETENIDO EN 1"												
% RETENIDO 3/4"												
PRISA MALLA Num. 4 (%)			57.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	51.0	
PRISA MALLA Num. 200 (%)			24.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0	
LIMITE LIQUIDO (%)			30.0	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	50.1	
INDICE PLASTICO (%)			18.0	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	27.5	
CONTRACCION LINEAL (%)			6.1	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	
PE SO VOL. SEC Y SUELO (%/cm ³)			1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	1320.0	
GRANUL. CORREG. (1) GRANUL. NATURAL (2)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
PVSM PORTER W _o	2075 - 19.0	2075 - 9.7		175 - 19.0		2000 - 9.8		1640 - 21.0		1710 - 15.0		2100 - 11.1
PVSM PROCTOR W _o										1910 - 11.5		1610 - 21.5
PVSM AASHTO ESTANDAR W _o										1820 - 11.5		
PVSM AASHTO MODIFICADA W _o												
VRS-SOP (100% PVSM AE 6 AM Y W _o)	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	
VRS-SOP (95% PVSM AE 6 AM Y W _o)	+	30.0	20.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	
VRS-SOP (90% PVSM AE 6 AM Y W _o)	+	12.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
VRS-SOP (100% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%)	+	+	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	14.0	
VRS-SOP (95% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%)	+	5.5	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	
VRS-SOP (90% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%)	+	+	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
VRS-SOP (100% PVSM AE 6 AM Y W _o SATURADO) W	22.4	+	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	
VRS-SOP (95% PVSM AE 6 AM Y W _o SATURADO) W	4.0	12.5	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	
VRS-SOP (90% PVSM AE 6 AM Y W _o SATURADO) W	+	5.5	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.S.	40.4 - 12.5	42.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	30.0 - 14.5	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.S.	25.0 - 13.5	31.0 - 14.0	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	18.0 - 15.4	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.S.	15.0 - 12.0	22.0 - 13.1	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	10.0 - 12.7	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.L.	49.1 - 15.4	45.0 - 14.7	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.L.	28.0 - 12.7	32.0 - 13.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM Y W _o) W.C.L.	8.4 - 12.0	14.0 - 13.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.S.	43.9 - 15.7	39.0 - 15.0	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	11.0 - 13.2	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.S.	24.0 - 15.5	18.0 - 15.1	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	7.0 - 11.0	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.S.	2.0 - 15.4	7.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	2.0 - 15.0	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.L.	22.7 - 15.0	18.0 - 15.7	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	10.0 - 12.1	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.L.	12.4 - 16.4	16.0 - 14.2	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	7.0 - 12.0	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM Y W _o + 3%) W.C.L.	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	5.0 - 15.7	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.S.	37.1 - 13.1	24.0 - 23.4	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.S.	27.0 - 13.5	20.0 - 14.0	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.S.	14.0 - 12.7	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	
VRS-PM (100% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.L.	50.2 - 15.7	45.0 - 14.7	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	
VRS-PM (95% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.L.	28.0 - 12.7	32.0 - 13.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	16.0 - 14.1	
VRS-PM (90% PVSM AE 6 AM SATURADO) W.C.L.	7.1 - 12.7	14.0 - 13.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	4.0 - 12.0	
VRS-PM (100% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.S.	49.1 - 15.4	45.0 - 14.7	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	26.0 - 15.4	
VRS-PM (95% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.S.	37.1 - 13.1	24.0 - 23.4	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	22.0 - 12.8	
VRS-PM (90% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.S.	14.0 - 12.7	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	10.0 - 12.0	
VRS-PM (100% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.L.	54.0 - 15.5	49.0 - 14.7	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	28.0 - 15.4	
VRS-PM (95% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.L.	41.0 - 15.7	36.0 - 14.7	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	18.0 - 14.8	
VRS-PM (90% PVSM PORTER 4 PROCTOR) W.C.L.	11.0 - 12.7	12.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	11.0 - 12.7	
% EXPANSION (100% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
% EXPANSION (95% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
% EXPANSION (90% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
% EXPANSION PM (100% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
% EXPANSION PM (95% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
% EXPANSION PM (90% PVSM AE 6 AM)			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
VRS-PE W.C.S.	20.1 - 12.1	20.7 - 11.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	25.0 - 12.1	
VRS-PE W.C.L.	23.0 - 11.7	27.0 - 10.9	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	23.0 - 11.3	
% EXPANSION PE			0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	

CLAVE - W_o = VALOR RELATIVO DE SOPORTE (%)
 PVSM = PRISO VOLUMETRICO SECO MEDIO (Pig)
 AE = AASHTO ESTANDAR
 AM = AASHTO MODIFICADA
 W_o = HUMEDAD OPTIMA
 W = HUMEDAD OBTENIDA EN LA CARA SUPERIOR O INFERIOR
 C.S. = CARA SUPERIOR
 C.L. = CARA INFERIOR
 PM = PORTER MODIFICADA
 PE = PORTER ESTANDAR

IV. CORRELACION DE VALORES RELATIVOS DE SOPORTE OBTENIDOS DINAMICA Y ESTATICAMENTE

Esta comparación se hace para observar si existe o no una variación significativa entre los VRS en especímenes elaborados con carga dinámica y carga estática, por ser el VRS un parámetro indicador de resistencia muy importante para el diseño de pavimentos.

Primeramente se analizaron las combinaciones que a continuación se describen con sus respectivos resultados.

IV.1 Correlación de VRS en especímenes elaborados con carga dinámica y carga estática a igualdad de PVS y humedad.

En los materiales arenosos, finos y granulares, los VRS obtenidos en especímenes elaborados con carga estática son mayores a los --

VRS determinados en especímenes fabricados con carga dinámica. -- Así mismo, aun cuando la correlación lineal es buena, no se recomienda aplicarla, debido a que se considera que el error estándar de la estimación es alto.

En los materiales arcillosos, finos y granulares, en general los valores promedio son semejantes, pero existe una alta desviación-estándar.

Por lo anterior, para los materiales no debe obtenerse un valor - en función del otro conocido.

De acuerdo a la información proporcionada por las Unidades de Laboratorios participantes, los materiales arenosos, presentan dificultad para la compactación dinámica, por lo tanto, se considera que el acomodo que se logra con este tipo de compactación influye en la disminución del VRS.

IV.2 Correlación entre el VRS-SOP y el VRS Porter modificado que está vigente en las especificaciones generales de la SAHOP.

a) Correlación separada por tipos de material, grados - de compactación y humedades.

En todos los materiales, los VRS obtenidos son especímenes compactados al 90% y con humedad óptima más-3% son del mismo orden, pero la tolerancia, medida - por la desviación estándar es muy alta.

En el material fino arcilloso, los VRS determinados-

con ambos métodos en general son del mismo orden, pero la desviación estándar es muy alta.

En todos los materiales, excepto para los granulares con finos arenosos, el VRS-PM, que se realizó a la compactación del 95% y con humedad óptima más 1.5%, resulta del mismo orden al VRS-SOP al 95% pero con humedad óptima, así mismo, la desviación estándar es muy alta.

En todos los casos, se observa la tendencia de ser mayor el VRS-PM, sin embargo, en general no existe o es mala la correlación lineal.

Se hace notar, que el número de datos es bajo, debido a que en el 23% de los casos los VRS-SOP no se pudieron obtener, ya que el rango que se obtuvo de PVS, fue reducido en las pruebas dinámicas efectuadas con energías entre 10 y 65 golpes por capa.

b) Correlación general, separada por tipos de materiales.

Para todos los materiales a igualdad de grado de compactación, con respecto a su prueba y las humedades indicadas en las gráficas respectivas, el VRS Porter modificado es mayor que el VRS-SOP y aún cuando la correlación lineal en general es buena, no se recomienda utilizarla, debido a que el error de la estimación es alto.

Por otra parte, se aclara que para el caso de proyecto de espesores, no es aplicable esta correlación, ya que el VRS-SOP de diseño es tomado de un rango, a criterio del proyectista.

Se hace notar, que de acuerdo con la información de las Unidades de Laboratorios participantes, el tiempo de duración de las pruebas VRS-SOP es notablemente mayor que el método de Porter Modificado.

IV.3 Además, con el objeto de complementar lo expuesto y sobre todo para comprender mejor la relación que pueda existir entre las pruebas estática y dinámica, se compararon los VRS de los cuatro tipos de materiales analizando 3 casos, en los cuales se mantuvo constante la humedad (W_0 , $W_0 + 3\%$ y SATURADO) para variar los PVSM, obteniéndose los siguientes resultados.

- ($W_0 - 100\%$, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación son muy altos, aunque los de la prueba estática son casi idénticos a los de la prueba dinámica.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 100% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Como el 93.5% de los puntos caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores, útiles no se debe de sustituir directamente el valor de un VRS estático por uno VRS dinámico ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtenerse un valor a través del otro usando la correlación ya que en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

- (Wo + 3% - 100%, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación son muy altos, y en estos casos los de la prueba dinámica son mayores que los de la prueba estática con una diferencia -- promedio de 7.4%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 100% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 91.5% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS Dinámico por un VRS Estático, ni viceversa.

No es recomendable obtener un valor a través del otro usando la correlación debido a que ésta en promedio es regular, además de que la variabilidad es demasiado alta.

- (SATURADO - 100%, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación son muy altos, y en -- estos casos los de la prueba dinámica son mayores -- que los de la prueba estática con una diferencia pro medio de 4.5%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 100% de los casos es mayor el - VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el -- 85% del total, por lo que no se debe sustituir direc tamente el valor de un VRS-Dinámico por un VRS-Está tico, ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproxima ción al obtenerse un valor a través del otro, usando la correlación ya que en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará -- con precaución ya que la variabilidad es demasiado - alta.

CONCLUSION:

En general los coeficientes de variación son muy altos, siendo -- mayor el V de la prueba Dinámica el 55.6% de las veces con una di ferencia promedio de 9.06 y menor al 44.4% restante, con una diferen cia promedio de 2.38%. Con lo anterior se obsrva que el V Dinámico es mayor que el V Estático casi en la misma proporción que en el - caso en el cual el V Dinámico es menor que el V Estático y que a - pesar de ello, en el primer caso se tiene una diferencia promedio-

menor que en el segundo, por lo que se puede concluir que la variabilidad en los especímenes compactados estáticamente es menor que en los compactados dinámicamente.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 100% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son en promedio el 90% del total, - por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un URS - Dinámico por uno estático, ni viceversa.

Por otra parte aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtenerse un valor a través del otro usando la correlación ya que en promedio esta ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es muy alta.

CORRELACION USANDO LOS 4 TIPOS DE MATERIALES
 PARA (100%, 95% y 90% PVSM) y (Wo, Wo + 3% y SATURADO)
 VRS - PM Vs VRS - SOP

HUMEDAD	COMPACTACION (%)	VALORES -PROMEDIO ± DESVIACION ESTANDAR			SIGNIFICACION DE LAS DIFERENCIAS APLICANDO LA DISTRIBUCION "t" DE STUDENT	COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r)	CORRELACION LINEAL	RECTA DE REGRESION Y = mx + b	COEFICIENTE DE VARIACION			
		VRS - PM $\bar{X} \pm Sx$	VRS - SOP $\bar{Y} \pm Sy$	DIFERENCIAS (X-Y) $\bar{d} \pm Sd$					PM V1 (%)	SOP V2 (%)	COMPARACION DE V1 y V2	DE LAS DIFERENCIAS (%)
Wo	100	64.67 - 53.69	42.20 - 34.29	22.47 - 25.53	AS	0.9088	MB	0.58 X + 5.12	83.0	81.3	V1 > V2	39.5
	95	37.49 - 26.82	29.70 - 20.60	8.32 - 15.63	AS	0.8059	B	0.62 X + 6.49	71.5	69.4	V1 > V2	41.7
	90	18.75 - 13.72	18.00 - 13.87	0.75 - 10.35	NS	0.7186	R	0.73 X + 4.38	73.2	77.1	V1 < V2	55.2
Wo + 3%	100	42.46 - 41.81	23.68 - 25.81	18.78 - 29.46	S	0.7166	R	0.44 X + 4.90	97.7	109	V1 < V2	69.4
	95	26.87 - 21.58	20.00 - 18.90	6.87 - 14.69	S	0.7444	R	0.65 X + 2.49	80.3	94.5	V1 < V2	54.7
	90	14.18 - 13.20	11.82 - 10.63	2.36 - 7.13	N.S.	0.8429	B	0.68 X + 2.21	93.2	89.9	V1 > V2	50.3
SATURADO	100	50.26 - 50.17	37.89 - 40.18	12.37 - 22.81	A.S.	0.8957	B	0.72 X + 1.84	99.8	106	V1 < V2	45.4
	95	31.63 - 30.85	23.56 - 22.41	8.07 - 17.83	P.S.	0.8215	B	0.60 X + 4.69	97.5	95.1	V1 > V2	56.4
	90	12.99 - 12.73	10.94 - 11.78	2.05 - 8.69	N.S.	0.7511	R	0.70 X + 1.92	98	107.7	V1 < V2	66.9

NOTACION: S= SIGNIFICATIVA
 PS= PROBABLEMENTE SIGNIFICATIVA
 NS= NO SIGNIFICATIVA
 AS= ALTAMENTE SIGNIFICATIVA

MB = MUY BUENA
 B = BUENA
 R = REGULAR
 M = MALA

4 TIPOS DE MATERIALES
 PARA 100 % PUSM - AE o AM y Wo
 URS - PM Us URS - SOP

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	73.5	66	7.5
2	113.8	69	44.8
3	15.4	10	5.4
4	62.5	17.8	44.7
5	167.28	104	63.28
6	162	96	66
7	64.7	15.5	49.2
8	18.2	15.7	2.5
9	8.1	12.8	4.7
10	8.8	10.8	2
11	2.4	20	17.6
12	5.1	1.6	3.5
13	26.5	11.6	14.9
14	16.2	10.8	5.4
15	18.2	10.2	8
16	49.2	28	21.2
17	30.7	27	3.7
18	95.6	83	12.6
19	35	52	17
20	26.54	12.1	14.44
21	62.5	53	9.5
22	48.5	35.8	12.7
23	88.2	68	20.2
24	130	104	26
25	55	6.3	48.7
26	96.94	64.5	32.44
27	165	93	72
28	165	83	82
	1810.86	1181.5	629.36

$$\begin{array}{lll}
 x = 1810.86 & y = 1181.5 & r = 0.9088 \\
 \bar{x} = 64.6736 & \bar{y} = 42.1964 & \\
 S_x = 53.69252657 & S_y = 34.2954 & \\
 S_{y/x} = 14.28 & S_{x/y} = 22.3551 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 Y = 0.5788 X + 5.1213 & x = 0 \quad y = 5.1213 \\
 & x = 20 \quad y = 16.6973
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 X = 1.4271 Y + 3.9465 & y = 0 \quad x = 3.9465 \\
 & y = 20 \quad x = 32.4885
 \end{array}$$

$$\bar{d} = \frac{629.36}{28} = 22.47$$

$$S_d = 25.5310$$

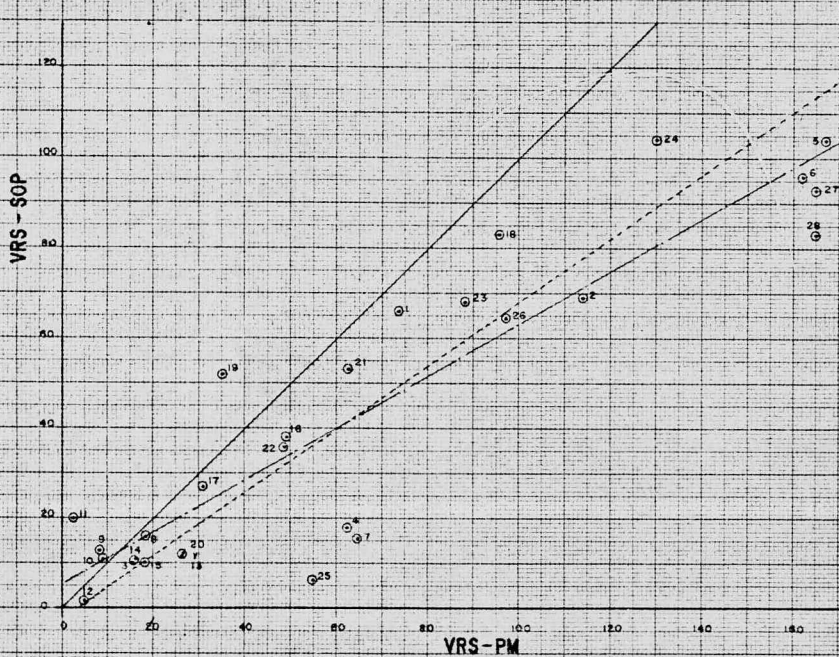
$$t_c = 4.6586$$

Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 27 grados de libertad $t_t = 2.77 < t_c \therefore$ las diferencias son altamente significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 100% PVSM - AE o AM y W₀

VRS-PM Vs VRS-SOP



$Y = 0.579 X + 5.121$

$X = 1.427 Y + 3.947$

RECTA DE VALORES IGUALES

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 90 % PUSM - AE o AM y $W_0 + 3\%$

URS - PM Us URS - SOP

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	16.1	12.7	3.4
2	7.3	7.5	0.2
3	22.3	19.0	3.3
4	17.7	0.5	17.2
5	7.36	5.2	2.16
6	61.5	35.5	26.0
7	16.35	15.0	1.35
8	6.8	2.6	4.2
9	5.1	5.0	0.1
10	3.7	5.0	1.3
11	3.9	5.6	1.7
12	11.2	11.9	0.7
13	2.5	1.85	0.75
14	6.6	4.0	2.6
15	5.1	6.5	1.4
16	6.5	5.3	1.2
17	8.0	8.0	0.0
18	11.8	14.0	2.2
19	22.6	12.0	10.6
20	10.3	8.0	2.3
21	41.0	48.0	7.0
22	8.8	12.0	3.2
23	10.35	18.8	8.45
24	13.6	12.0	1.6
25	27.9	19.5	8.4

$$\begin{aligned}
 x &= 354.46 & y &= 295.45 \\
 \bar{x} &= 14.1784 & \bar{y} &= 11.818 \\
 S_x &= 13.22141403 & S_y &= 10.63138906 \\
 S_{y/x} &= 5.7211 & S_{x/y} &= 7.1149
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 y &= 0.6777 x + 2.2086 & x &= 0 & y &= 2.21 \\
 & & x &= 20 & y &= 15.7625
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x &= 1.0482 y + 1.7908 & y &= 0 & x &= 1.79 \\
 & & y &= 20 & x &= 22.75
 \end{aligned}$$

$$r = 0.8429$$

$$\bar{d} = \frac{59.01}{25} = 2.3604$$

$$s = 7.1333$$

$$t_c = 1.6545$$

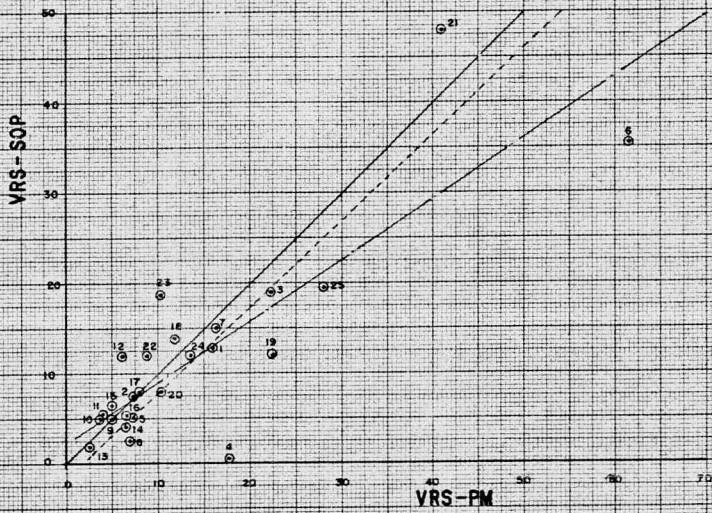
Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 24 grados de libertad $Tt_1 = 2.80 > t_c$. las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación de 0.05 y 24 grados de libertad $Tt_2 = 2.06 > t_c$. las diferencias no son significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 90% PVSM -AE o AM y Wo + 3%

VRS-PM Vs VRS-SOP



— $Y = 0.578 X + 2.209$

- - - $X = 1.048 Y + 1.791$

- - - RECTA DE VALORES IGUALES

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 100 % PUSM - AE o AM y SATURADO

URS - PM Us URS - SOP

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	44.1	44.5	0.4
2	133.9	54.0	79.9
3	4.9	7.0	2.1
4	31.6	4.9	26.7
5	119.12	115.0	4.12
6	137.5	135.0	2.5
7	52.5	21.4	31.1
8	6.5	9.2	2.7
9	4.0	4.6	0.6
10	3.8	9.7	5.9
11	2.6	1.4	1.2
12	4.0	4.9	0.9
13	6.1	7.6	1.5
14	11.4	8.5	2.9
15	2.2	9.5	7.3
16	18.7	31.0	12.3
17	4.0	13.8	9.8
18	27.0	17.0	10.0
19	15.37	15.8	0.44
20	51.4	34.0	17.4
21	38.2	16.2	22.0
22	78.7	65.0	13.7
23	108.0	93.0	15.0
24	88.0	34.0	54.0
25	103.0	103.0	0.0
26	153.41	116.0	37.41
27	107.0	47.0	60.0

$$x = 1356.99$$

$$y = 1023.0$$

$$\bar{x} = 50.25888889$$

$$\bar{y} = 37.88888889$$

$$S_x = 50.1695021$$

$$S_y = 40.18013605$$

$$S_{y/x} = 17.8696$$

$$S_{x/y} = 22.3123$$

$$y = 07173 x + 1.8370$$

$$\begin{array}{ll} x = 0 & y = 1.84 \\ x = 20 & y = 16.18 \end{array}$$

$$x = 1.1183 y + 7.8864$$

$$\begin{array}{ll} y = 0 & x = 7.89 \\ y = 20 & x = 30.25 \end{array}$$

$$r = 0.8957$$

$$\bar{d} = \frac{333.99}{27} = 12.37$$

$$s = 22.8133$$

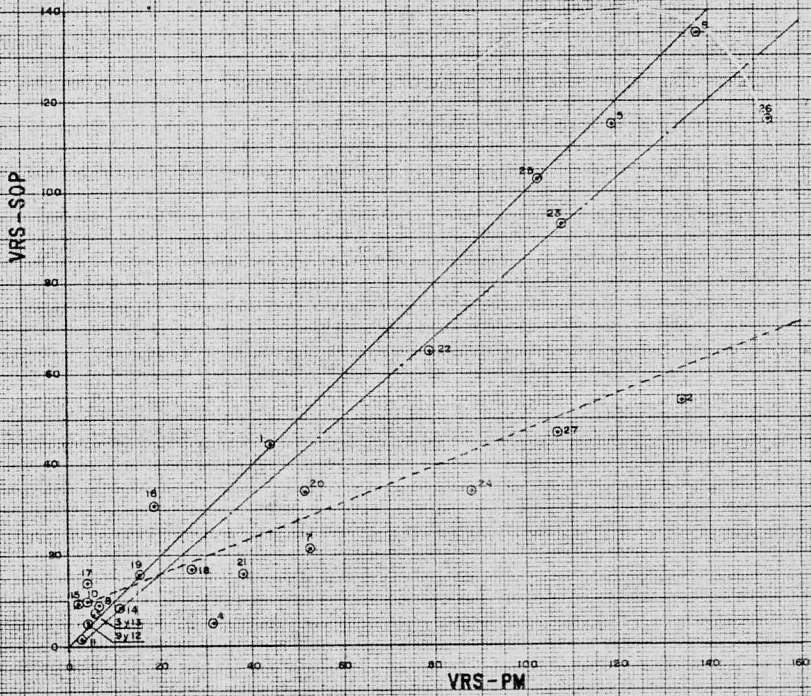
$$t_c = 2.8175$$

Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 26 grados de libertad $T_t = 2.78 < t_c$.∴ las diferencias son altamente significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 100 % PVSM-AE o AM y SATURADO

VRS-PM Vs VRS-SOP



$Y = 0.717X + 1.837$

$X = 1.118Y + 7.886$

RECTA DE VALORES IGUALES

MATERIAL FINO ARENOSO

PARA 100% - 95% - 90% PUSM - AE o AM y Wo

PENETRACION: CARA INFERIOR Us CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	45.5	66	20.5
2	79.4	69	10.4
3	12.9	10	2.9
4	44.11	17.8	26.31
5	133.82	104	29.82
6	126.5	96	30.5
7	27.2	15.5	11.7
8	53.1	41	12.1
9	12.5	16	3.5
10	56.9	59	2.1
11	12.4	8.5	3.9
12	25.73	15.6	10.13
13	69.5	61.5	8
14	64	42	22
15	10.7	5.3	5.4
16	23.9	23.5	0.4
17	7.4	7.2	0.2
18	31.2	42	10.8
19	2.9	5.2	2.3
20	10.29	11.5	1.21
21	36.7	41.5	4.8
22	24.53	19.5	5.03
23	5.8	3	2.8

$$y = 0.7795 x + 2.86056$$

x = 0	y = 2.86
x = 20	y = 18.45

$$x = 1.472 y + 0.9346$$

y = 0	x = 0.93
y = 20	x = 23.88

$$\bar{d} = 5.9295$$

$$s = 12.4580$$

$$t_c = 2.2826$$

Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 22 grados de libertad $T_t = 2.82 \doteq t_c$.'. las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación de 0.05 y 22 grados de libertad $T_t = 2.07 < t_c$.'. las diferencias son significativas en este nivel.

.'. los resultados son probablemente significativos.

$$x = 916.98$$

$$y = 780.6$$

$$\bar{x} = 39.8687$$

$$\bar{y} = 33.9391$$

$$S_x = 35.8936$$

$$S_y = 29.5881$$

$$S_{y/x} = 9.6219$$

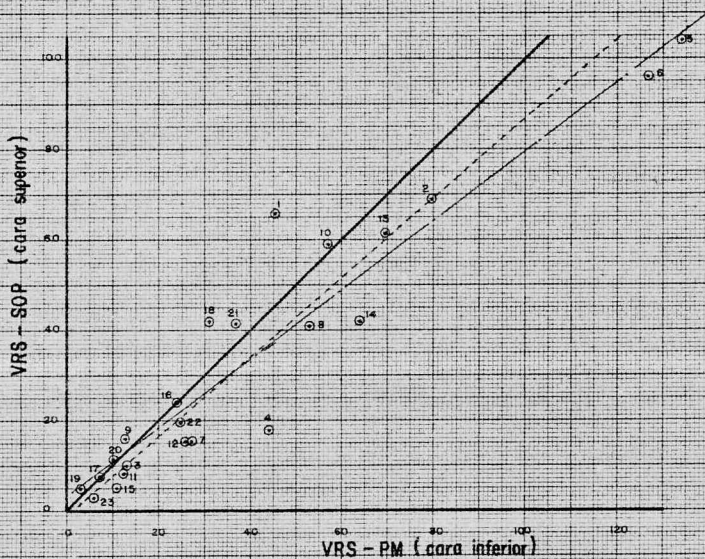
$$S_{x/y} = 11.6724$$

$$r = 0.9456$$

MATERIAL FINO ARENOSO

PARA 100% - 95% - 90% PVSM - AE o AM y Wo

PENETRACION: CARA INFERIOR vs CARA SUPERIOR



$Y = 0.779 X + 2.861$

$X = 1.147 Y + 0.935$

RECTA DE VALORES IGUALES

IV.4 Finalmente se hicieron las comparaciones de los VRS obtenidos al penetrar las cara superior e inferior para los casos que a continuación se enumeran con sus respectivas conclusiones:

- a) Correlación entre el VRS, efectuando la penetración primero en la cara superior y a continuación en la inferior, de un mismo espécimen compactado estáticamente.

El VRS obtenido con la cara superior es más alto que el VRS determinado en la cara inferior y aún cuando la correlación lineal es excelente, debido a la elevada dispersión, no se recomienda aplicar esta correlación, o bien hacerla en casos muy especiales.

Se supone que las diferencias en los resultados se deben a que la penetración en la cara superior produce falla en el espécimen y al voltearlo y efectuar la penetración en la cara inferior, se obtienen resistencias menores. (Ver tabla 4-a)

- b) Correlación de VRS obtenidos en la cara inferior de un espécimen compactado estáticamente contra el VRS obtenido en la cara superior de un espécimen compactado dinámicamente. Esto se hizo para cada uno de los cuatro tipos de materiales y con las características de un mismo PVSM (100% - 95% - 90%) y distintas condiciones de humedad (W_o , $W_o + 3\%$ y SATURADO) encontrándose los siguientes resultados.

- Material fino arenoso.

Sus coeficientes de variación (v) son muy altos y en estos casos los de la prueba dinámica son mayores que los de la prueba estática con una diferencia promedio de 4.4%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 66.7% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 92.9% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS-Dinámico por un VRS-Estático, ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtener un valor a través del otro usando la correlación ya que en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarse se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

- Material fino arcilloso.

Sus coeficientes de variación son muy altos, y en estos casos los de la prueba estática son mayores que los de la prueba dinámica con una diferencia promedio de 10.7%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas,

se observa que en el 66.7% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 89% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS Dinámico por un VRS Estático ni viceversa.

No es recomendable obtener un valor a través del otro usando la correlación debido a que ésta en promedio es regular, además de que la variabilidad es demasiado alta.

- Material granular con finos arcillosos.

Sus coeficientes de variación (v) son altos, y en estos casos los de la prueba estática son mayores que los de la prueba dinámica con una diferencia de promedio de 2%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 66.7% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 91.2% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS Dinámico por un VRS Estático, ni viceversa.

No es recomendable obtener un valor a través del otro usando la correlación debido a que ésta en promedio es regular además de que la variabilidad es demasiado alta.

- Material granular con finos arenosos.

Sus coeficientes de variación son altos, y en estos casos los de la prueba estática son mayores que los de la prueba dinámica con una diferencia promedio de 3%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 100% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 92.2% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS dinámico por un VRS estático, ni viceversa.

No es recomendable obtener un valor a través del otro usando la correlación debido a que ésta en promedio es regular, además de que la variabilidad es demasiado alta.

CONCLUSION:

En general los coeficientes de variación son muy altos, siendo mayor el (V) de la prueba estática el 66.7% de las veces con una

diferencia promedio de 7.35% y menor el 33.3% restante con una diferencia promedio de 2.38%. Con lo anterior se observa que el (V) estático es mayor que el (V) dinámico y que a pesar de ello la -- variabilidad es semejante en ambas pruebas.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 75% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son en promedio el 91.3% del total-- por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS-- dinámico por un estático, ni viceversa.

Además no es recomendable obtener un valor a través del otro-- usando la correlación debido a que ésta en general es regular -- y de que la variabilidad es demasiado alta.

c) Correlación de VRS obtenidos en la cara inferior de un espécimen compactado estáticamente contra el VRS obtenido en la cara superior de un espécimen compactado dinámicamente, lo cual se hizo para los cuatro tipos de materiales analizando 3 casos en los que se mantuvo constante la humedad (W_o , $W_o + 3\%$ y SATURADO) variando los PVSM, y se obtuvieron los siguientes -- resultados.

- ($W_o - 100\%$, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación son muy altos, y en -- estos casos los de la prueba dinámica son mayores -- que los de la prueba estática con una diferencia pro medio de 5.9%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 66.7% de los casos es mayor el VRS-SOP que el VRS-PM.

Como el 90% de los puntos caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales, no se debe sustituir directamente el valor de -- un VRS Estático por uno VRS Dinámico ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtener un valor a través del otro usando la correlación ya que en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

- (Wo + 3% - 100%, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación (V) son muy altos, y en estos casos los de la prueba dinámica son menores que los de la prueba estática con una diferencia promedio de 13%.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 66.7% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 90.7% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS dinámico por uno - VRS estático, ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtenerse un valor a través del otro usando la correlación ya que en promedio ésta es buena no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

-(SATURADO - 100%, 95% y 90% PVSM)

Sus coeficientes de variación (V) son muy altos, y en estos casos los de la prueba dinámica son menores que los de la prueba estática con una diferencia promedio de 12%.

Comparando los valores VRS promedio, los puntos - que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son el 93.2% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS Dinámico por uno VRS - Estático, ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtenerse un valor a través del otro, - usando la correlación ya que en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de - - usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

CONCLUSION:

En general los coeficientes de variación (v) son muy altos, siendo mayor el (v) de la prueba dinámica el 88.9% de las veces con una diferencia promedio de 0.1%. Con lo anterior se deduce que -- aunque la variabilidad en ambas pruebas es muy alta, lo es mucho más con la prueba dinámica que en la estática.

Comparando los valores VRS promedio de ambas pruebas, se observa que en el 56% de los casos es mayor el VRS-PM que el VRS-SOP.

- Los puntos que caen fuera de la franja de tolerancia con respecto a la recta de valores iguales son en promedio el 91.3% del total, por lo que no se debe sustituir directamente el valor de un VRS - Dinámico por uno Estático ni viceversa.

Aunque para estos casos se puede tener una aproximación al obtenerse un valor a través del otro usando la correlación ya que -- en promedio ésta es buena, no se recomienda hacerlo, y en caso de usarla se hará con precaución ya que la variabilidad es demasiado alta.

VRS - PM (100% - 95%- 90% PVSM AEO AM y Wo) DE UN MISMO ESPECIMEN

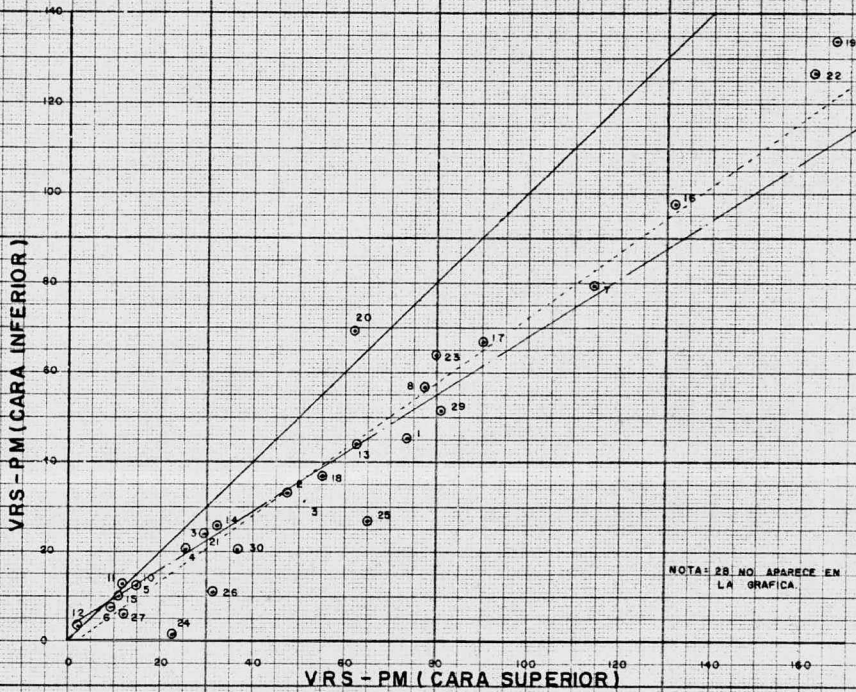
PENETRACION: CARA SUPERIOR (X) Vs CARA INFERIOR (Y)

MATERIAL	VALORES PROMEDIO \pm DESVIACION ESTANDAR			SIGNIFICACION DE LAS DIFERENCIAS APLICANDO LA DISTRIBUCION "t" DE STUDENT	COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r)	CORRELACION LINEAL	RECTA DE REGRESION
	VRS - PM		DIFERENCIAS INDIVIDUALMENTE $\bar{d} \pm Sd$				
	PENETRACION DE LA CARA						
	SUPERIOR $\bar{X} \pm Sx$	INFERIOR $\bar{Y} \pm Sy$					
FINO ARENOSO	60.12 \pm 50.87	42.25 \pm 35.25	17.87 \pm 21.15	ALTAMENTE SIGNIFICATIVAS	0.943	EXCELENTE	Y = 0.654 X + 2.95
FINO ARCILLOSO	13.55 \pm 7.56	11.66 \pm 6.98	1.89 \pm 1.49	ALTAMENTE SIGNIFICATIVAS	0.982	EXCELENTE	Y = 0.907 X + 0.627
GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS	33.15 \pm 19.96	28.12 \pm 18.11	5.03 \pm 4.39	ALTAMENTE SIGNIFICATIVAS	0.9780	EXCELENTE	Y = 0.887 X - 1.286
GRANULAR CON FINOS ARENOSOS	68.8 \pm 46.50	50.49 \pm 33.71	18.31 \pm 19.22	ALTAMENTE SIGNIFICATIVAS	0.933	EXCELENTE	Y = 0.677 X + 3.93

MATERIAL FINO ARENOSO

VRS - PM (100% - 95% - 90% PVSM - AE o AM y W_a)

PENETRACION: CARA SUPERIOR Vs CARA INFERIOR



NOTA: 28 NO APARECE EN LA GRAFICA.

— $Y = 0.654 x + 2.95$

- - - $X = 1.36 y + 2.62$

— RECTA DE VALORES IGUALES

MATERIAL FINO ARENOSO

VRS - PM (100% - 95% 90% PVSM - AE o AM y Wo)

PENETRACION: Cara Superior Vs Cara Inferior

	CARA SUPERIOR (X)	CARA INFERIOR (Y)	DIFERENCIAS d
1	73.5	45.5	28.0
2	47.5	33.1	14.4
3	29.4	23.9	5.5
4	25.7	20.6	5.1
5	15.1	12.5	2.6
6	9.6	7.4	2.2
7	113.8	79.4	34.4
8	77.6	56.9	20.7
9	51.0	31.2	19.8
10	15.0	12.9	2.5
11	11.9	12.4	- 0.5
12	2.4	2.9	- 0.5
13	62.5	44.1	18.4
14	32.4	25.7	6.7
15	11.0	10.3	0.7
16	131.5	97.5	34.0
17	90.0	67.1	22.9
18	55.0	36.7	18.3
19	167.3	133.8	33.5
20	61.8	69.5	- 7.7
21	29.6	24.5	5.1
22	162.0	126.5	35.5

23	80.2	64.0	16.2
24	22.8	1.4	21.4
25	64.7	27.2	37.5
26	31.6	10.7	20.9
27	12.1	5.8	6.3
28	198.5	92.0	106.5
29	81.0	51.5	29.5
30	36.8	20.6	16.2

$$\begin{aligned} X &= 1803.7 & Y &= 1267.6 \\ \bar{X} &= 60.12 & \bar{Y} &= 42.25 \\ S_x &= 50.87 & S_y &= 35.25 \\ S_{y/y} &= 11.71 & S_{x/y} &= 16.90 \end{aligned}$$

$$r = 0.943$$

$$Y = 0.654 X + 2.95$$

$$X = 1.36 Y + 2.62$$

$$\bar{d} = 17.87$$

$$S_d = 21.155$$

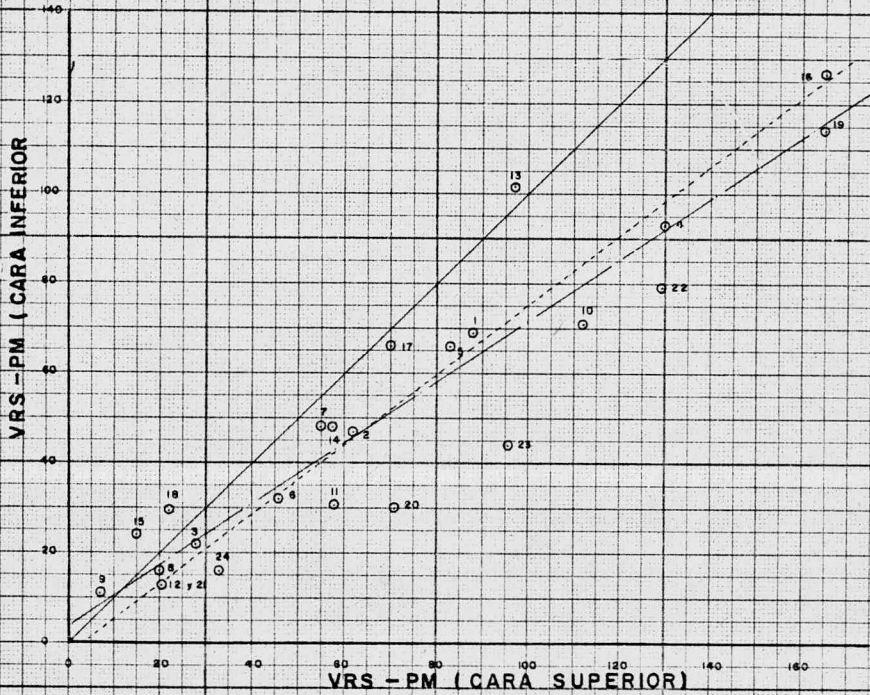
$$t_c = 4.63$$

Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 y para-29 grados de libertad se tiene que $T_t = 2.76$ o sea que $T_c > t_t$, lo cual indica que las diferencias son altamente significativas.

MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VRS - PM (100%-95%-90% PYSM - AE o AM y Wo)

PENETRACION: CARA SUPERIOR Vs CARA INFERIOR



— Y = 0.677x + 3.93

- - - X = 1.288y + 3.79

— RECTA DE VALORES IGUALES

MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VRS - PM (100% - 95% 90% PVSM - AE o AM y Wo)

PENETRACION: Cara Superior Vs Cara Inferior

	CARA SUPERIOR (x)	CARA INFERIOR (y)	DIFERENCIAS (d)
1	88.2	68.8	19.4
2	62.0	47.0	15.0
3	28.0	22.0	6.0
4	130.0	93.0	37.0
5	83.0	66.0	17.0
6	46.0	32.0	14.0
7	55.0	48.0	7.0
8	19.9	16.2	3.7
9	7.3	11.0	- 3.7
10	112.0	70.9	41.1
11	57.8	30.4	27.4
12	20.6	13.2	7.4
13	96.9	101.6	- 4.7
14	57.4	48.0	9.4
15	15.0	24.3	- 9.3
16	165.0	126.5	38.5
17	70.0	66.2	3.8
18	22.1	29.4	- 7.3
19	165.0	114.0	51.0
20	71.3	30.0	41.3
21	20.6	13.6	7.0
22	129.5	79.3	49.2

23	95.5	44.1	51.4
24	33.1	16.2	16.9

$$\begin{aligned} X &= 1651.2 & Y &= 1211.70 \\ \bar{X} &= 68.8 & \bar{Y} &= 50.49 \\ S_x &= 46.50 & S_y &= 33.71 \\ S_{y/x} &= 12.09 & S_{x/y} &= 16.68 \end{aligned}$$

$$r = 0.93$$

$$Y = 0.677 X + 3.93$$

$$X = 1.288 Y + 3.79$$

$$\bar{d} = 18.31$$

$$S_d = 19.22$$

$$T_c = 4.65$$

Con un ensayo bilateral al nivel de significación del 0.01 y -- para 23 grados de libertad se tiene que $t_t = 2.81$ ó sea que $t_c > t_t$ lo cual indica que las diferencias son altamente significativas.

CORRELACION USANDO LOS 4 TIPOS DE MATERIALES
PARA (100%, 95% y 90% PVSM) y)Wo, Wo ± 3%y SATURADO)

VRS - PM Vs VRS - SOP
(CARA INFERIOR) (CARA SUPERIOR)

HUMEDAD	COMPACTACION (%)	VALORES PROMEDIO ± DESVIACION ESTANDAR			SIGNIFICACION DE LAS DIFERENCIAS APLICANDO A DISTRIBUCION "t" DE STUDENT	COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r)	CORRELACION LINEAL	RECTA DE REGRESION Y = m x + b	COEFICIENTE DE VARIACION (v)			
		VRS - PM $\bar{X} \pm S_x$	VRS - SOP $\bar{Y} \pm S_y$	DIFERENCIAS (X-Y) $\bar{d} \pm S_d$					PM V1 (%)	SOP V2 (%)	COMPARACION DE V1 y V2	DE LAS DIFERENCIAS (%)
Wo	100	51.15 - 40.68	42.20 - 34.29	8.95 - 16.83	A.S.	0.9131	MB	0.77 X + 2.83	79.5	81.3	V1 < V2	32.9
	95	29.45 - 20.47	29.70 - 20.60	-0.88 - 10.82	N.S.	0.8616	B	0.87 X + 3.13	69.5	69.4	V1 > V2	36.7
	90	14.41 - 9.23	17.33 - 13.86	-2.91 - 9.16	N.S.	0.7560	R	1.14 X + 0.95	64.1	80.0	V1 < V2	63.6
Wo + 3%	100	34.69 - 32.88	23.68 - 25.81	11.01 - 16.90	P.S.	0.8611	B	0.68 X + 0.23	94.8	109.0	V1 < V2	48.7
	95	22.41 - 16.61	20.00 - 18.89	2.41 - 12.15	N.S.	0.7731	R	0.88 X + 0.28	74.1	94.5	V1 < V2	54.2
	90	10.34 - 9.14	11.42 - 10.61	-1.08 - 4.76	N.S.	0.8944	B	1.04 X + 0.69	88.4	92.9	V1 < V2	46.0
SATURADO	100	41.58 - 40.18	37.89 - 40.18	3.69 - 19.62	N.S.	0.8807	B	0.88 X + 1.27	96.6	106.0	V1 < V2	47.2
	95	24.30 - 20.35	23.56 - 22.41	0.75 - 8.66	N.S.	0.9225	MB	1.02 X + 1.13	83.7	95.1	V1 < V2	35.6
	90	9.59 - 8.77	10.94 - 11.78	-1.34 - 6.32	N.S.	0.850	B	1.14 X + 0.01	91.4	107.7	V1 < V2	65.9

NOTACION: AS = ALTAMENTE SIGNIFICATIVA
PS = PROBABLEMENTE SIGNIFICATIVA
NS = NO SIGNIFICATIVA

MB = MUY BUENA
B = BUENA
R = REGULAR

MATERIAL FINO ARCILLOSO

PARA 100% - 95% - 90% PUSM - AE o AM y $W_0 + 3\%$ PENETRACION: CARA INFERIOR U_s CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	6.2	2.6	3.6
2	6.1	8.6	-2.5
3	6.1	7.7	-1.6
4	15.4	15	0.4
5	12.2	17	-4.8
6	11.8	8.9	2.9
7	14.6	11.1	3.5
8	5.8	5.4	0.4
9	4	7.7	-3.7
10	4.8	6.7	-1.9
11	14.6	13.5	1.1
12	2.9	2.2	0.7
13	7.3	6.3	1
14	9.2	6.2	3
15	8.1	6.7	1.4
16	9.9	9.8	0.1
17	3.7	5	-1.3
18	3.3	5	-1.7
19	3.3	5.6	-2.3
20	4	11.9	-7.9
21	2.9	1.85	1.05
22	5.5	4	1.5
23	5.1	6.5	-1.4
24	5.1	5.3	-0.2
25	7.1	8	-0.9

$$\begin{array}{lll}
 x = 179 & y = 188.55 & r = 0.7579 \\
 \bar{x} = 7.16 & \bar{y} = 7.542 & \\
 S_x = 3.8621 & S_y = 3.8221 & \\
 S_{y/x} = 2.4933 & S_{x/y} = 2.5194 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 y = 0.75 x + 2.1714 & x = 0 & y = 2.17 \\
 & x = 20 & y = 14.17
 \end{array}$$

$$\begin{array}{lll}
 x = 0.7659 y + 1.3839 & y = 0 & x = 1.38 \\
 & y = 20 & x = 16.70
 \end{array}$$

$$\bar{d} = -0.382$$

$$s = 2.6735$$

$$t_c = -0.7144$$

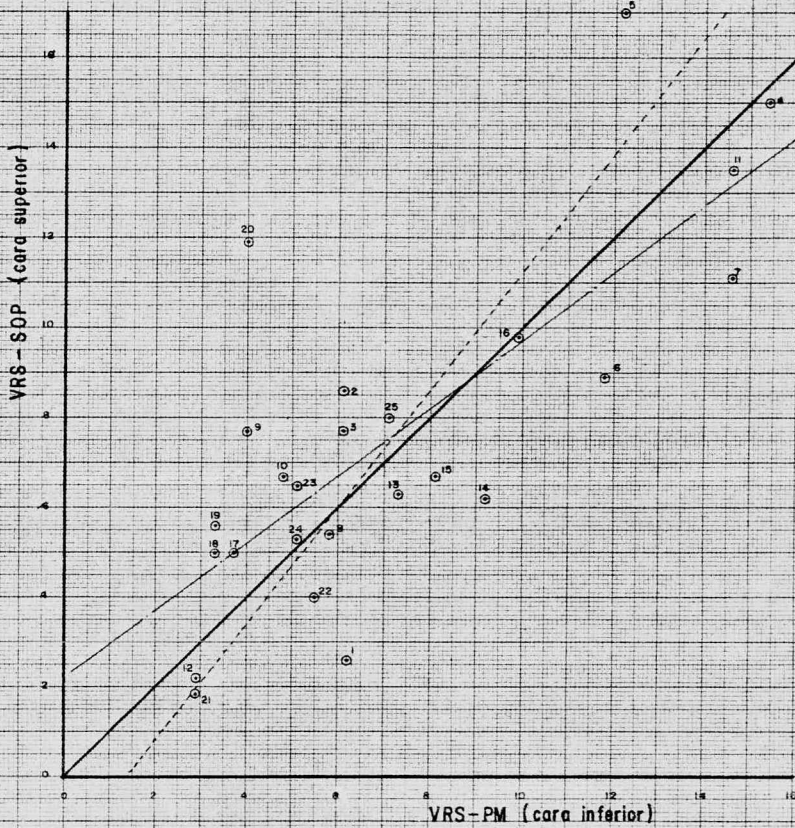
Con un ensayo bilateral al nivel de significación de 0.01 y 24 grados de libertad $Tt_2 = 2.80 > t_c$. las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación de 0.05 y 24 grados de libertad $Tt_2 = 2.06 > t_c$. las diferencias no son significativas.

MATERIAL FINO ARCILLOSO

PARA 100 % - 95 % - 90 % PVSM - AE o AM y $W_0 + 3\%$

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



— $Y = 0.750 X + 2.171$

- - - $X = 0.766 Y + 1.384$

— RECTA DE VALORES IGUALES

MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
 PARA 100% - 95% - 90% PUSM - AE o AM y Wo
 PENETRACION: CARA INFERIOR Us CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	45.2	28	17.2
2	31.3	27	4.3
3	91.2	83	8.2
4	26	52	26
5	26.54	12.1	14.44
6	47.1	53	5.9
7	35.3	35.8	0.5
8	32	20	12
9	20.1	24	3.9
10	48.6	58	9.4
11	19.8	45.5	25.7
12	32.4	44.5	12.1
13	13.3	8.4	4.9
14	26.4	3	23.4
15	16.9	27.5	10.6
16	14.7	12	2.7
17	13.5	8	5.5
18	26.7	35	8.3
19	12.5	37	24.5
20	18.7	23.5	4.8
21	8.16	5.6	2.56
22	19.7	15	4.7

$$x = 626.1$$

$$y = 657.9$$

$$r = 0.7599$$

$$\bar{x} = 28.4591$$

$$\bar{y} = 29.9045$$

$$S_x = 18.0342$$

$$S_y = 20.1255$$

$$S_{y/x} = 20.0171$$

$$S_{x/y} = 15.8105$$

$$y = 0.8480 x + 5.7708 \quad \begin{array}{l} x = 0 \quad y = 5.7708 \\ x = 20 \quad y = 22.7311 \end{array}$$

$$x = 0.6809 y + 8.0961 \quad \begin{array}{l} y = 0 \quad x = 8.0961 \\ y = 20 \quad x = 21.7148 \end{array}$$

$$\bar{d} = -1.4455$$

$$s = 13.3655$$

$$t_c = 0.5072$$

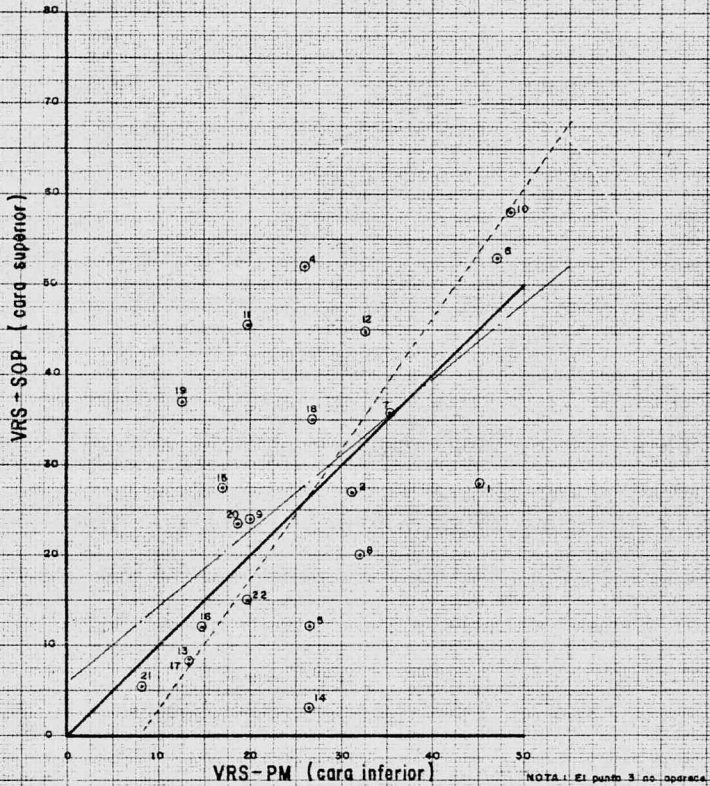
Con un ensaye bilateral al nivel significación de 0.01 y para 21 grados de libertad se tiene que $Tt_1 = 2.83 > t_c$. las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación del 0.05 y para 21 grados de libertad se tiene que $Tt_2 = 2.08 > t_c$. las diferencias no son significativas.

MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS

PARA 100% - 95% - 90% PVSMAE o AM y Wo

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

PARA 100% - 95% - 90% - PUGM - AE c AM - SATURADO

PENETRACION: CARA INFERIOR Us CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	72.5	65	7.5
2	78	93	-15
3	51.5	34	17.5
4	60.8	103	-42.2
5	158.12	116	42.12
6	92	47	45
7	42.6	43	-0.4
8	47	59	-12
9	22	20	2
10	49	59	-10
11	30	8	22
12	31.6	26	5.6
13	26	33	-7
14	5.9	11.2	-5.3
15	18.4	26	-7.6
16	12.1	0	12.1

$$\bar{x} = 797.52$$

$$\bar{y} = 743.2$$

$$r = 0.8238$$

$$\bar{x} = 49.845$$

$$\bar{y} = 46.45$$

$$S_x = 37.7764$$

$$S_y = 34.2771$$

$$S_{y/x} = 19.43035$$

$$S_{x/y} = 21.4139$$

$$y = 0.7475 x + 9.1907$$

$$\begin{aligned} x = 0 & \quad y = 9.1907 \\ x = 20 & \quad y = 24.1408 \end{aligned}$$

$$x = 0.9079 y + 7.6724$$

$$\begin{aligned} y = 0 & \quad x = 7.6724 \\ y = 20 & \quad x = 25.8307 \end{aligned}$$

$$\bar{d} = 3.395$$

$$s = 21.6453$$

$$t_c = 0.6274$$

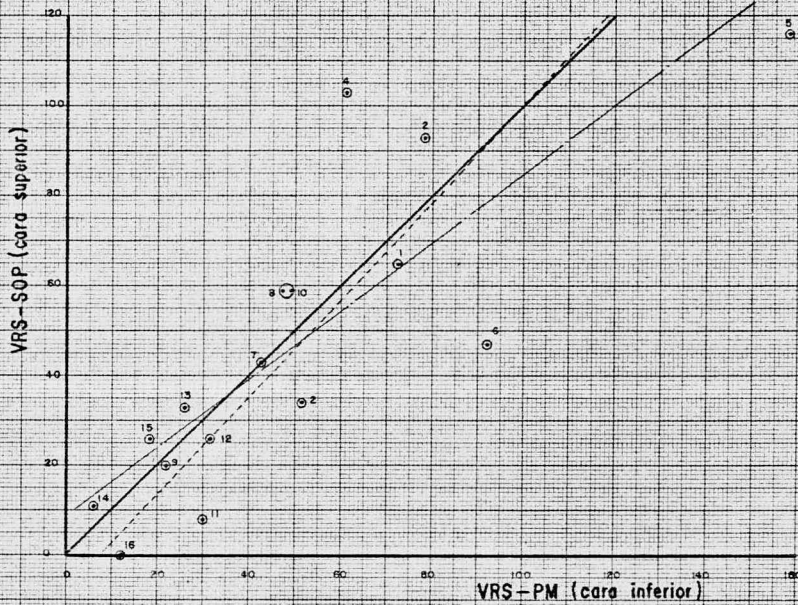
Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 15 grados de libertad $Tt_1 = 2.95 > t_c$. . las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación de 0.05 y 15 grados de libertad --
 $Tt_2 = 2.13 > t_c$. . las diferencias no son significativas.

MATERIAL GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

PARA 100 % - 95% - 90 % PVSM - AE o AM SATURADO

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



$Y = 0.748 X + 9.191$

$X = 0.908 Y + 7.672$

RECTA DE VALORES IGUALES

CORRELACION PARA CADA TIPO DE MATERIAL
 PARA UN MISMO PVSM (100%, 95%, 90% PVSM AE o AM) y (Wo, Wo + 3% SATURADO)
 VRS - PM Vs VRS-SOP
 (CARA INFERIOR) (CARA SUPERIOR)

MATERIAL	HUMEDAD	VALORES PROMEDIO + DESVIACION ESTANDAR			SIGNIFICACION DE LAS DIFERENCIAS APLICANDO LA DISTRIBUCION "t" DE STUDENT	COEFICIENTE DE CORRELACION LINEAL (r)	CORRELACION LINEAL	RECTA DE REGRESION Y = m x + b	COEFICIENTE DE VARIACION (V)			
		VRS - PM $\bar{X} \pm S_y$	VRS - SOP $\bar{Y} \pm S_y$	DIFERENCIAS (X-Y) $\bar{d} \pm S_d$					PM V1 (%)	SOP V2 (%)	COMPARACION DE V1 Y V2	DE LAS DIFERENCIAS
FINO ARENOSO	Wo	39.87 - 35.89	33.94 - 29.59	5.93 - 12.46	P.S.	0.9456	MB	0.78 X + 2.86	90	87.2	V1 > V2	31.3
	Wo + 3%	25.65 - 24.63	17.73 - 17.80	7.92 - 15.98	P.S.	0.7618	R	0.55 X + 3.60	96	100.4	V1 < V2	62.3
	SATURADO	36.32 - 31.38	36.36 - 35.67	-0.04 - 14.76	N.S.	0.9108	MB	1.04 X + 1.24	86.4	98.1	V1 < V2	40.6
FINO ARCILLOSO	Wo	10.39 - 5.77	9.42 - 4.19	0.97 - 4.34	N.S.	0.6615	M	0.48 X + 4.43	55.5	44.5	V1 > V2	41.8
	Wo + 3%	7.16 - 3.86	7.54 - 3.80	-0.38 - 2.67	N.S.	0.7579	R	0.75 X + 2.17	53.9	50.7	V1 > V2	37.3
	SATURADO	5.25 - 3.76	4.98 - 2.68	-0.27 - 2.92	N.S.	0.6358	M	0.46 X + 2.60	71.6	53.8	V1 > V2	55.6
GRANULAR CON FINOS ARENOSOS	Wo	28.46 - 18.03	29.90 - 20.13	-1.45 - 13.37	N.S.	0.7599	R	0.85 X + 5.77	63.4	67.3	V1 < V2	47
	Wo + 3%	15.4 - 9.76	11.92 - 7.05	3.48 - 7.02	N.S.	0.6955	M	0.50 X + 4.20	63.4	59.1	V1 > V2	45.6
	SATURADO	16.61 - 9.76	15.49 - 8.25	1.12 - 8.23	N.S.	0.5934	M	0.50 X + 7.15	58.8	53.3	V1 > V2	49.5
GRANULAR CON FINOS ARENOSOS	Wo	52.31 - 35.13	49.55 - 27.24	2.76 - 21.18	N.S.	0.7982	R	0.62 X + 17.17	67.2	55	V1 > V2	40.5
	Wo + 3%	41.75 - 24.78	38.5 - 24.79	3.25 - 18.32	N.S.	0.7270	R	0.73 X + 8.13	59.4	64.4	V1 < V2	43.9
	SATURADO	49.85 - 37.78	46.45 - 34.28	3.39 - 21.64	N.S.	0.8238	B	0.75 X + 9.19	75.8	73.8	V1 > V2	43.4

NOTACION: PS = PROBABLEMENTE SIGNIFICATIVA
 NS = SIGNIFICATIVA

MB = MUY BUENA
 B = BUENA
 R = REGULAR
 M = MALA

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 100% PUSM - AE o AM y Wo

PENETRACION: CARA INFERIOR Us CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	45.5	66	-20.5
2	79.4	69	10.4
3	12.9	10	2.9
4	44.11	17.8	26.31
5	133.82	104	29.82
6	126.5	96	30.5
7	27.2	15.5	11.7
8	14.3	15.7	-1.4
9	6.5	12.8	-6.3
10	7.6	10.8	-3.2
11	19.8	20	-0.2
12	5.9	1.6	4.3
13	25.6	11.6	14
14	16.9	10.8	6.1
15	14.5	10.2	4.3
16	45.2	28	17.2
17	31.3	27	4.3
18	91.2	83	8.2
19	26	52	-26
20	28.54	12.1	14.44
21	47.1	53	-6.9
22	35.3	35.8	-0.5
23	68.8	68	0.8
24	93	104	-11
25	45	6.3	38.7
26	101.64	64.5	37.14
27	126.5	93	33.5
28	114	83	31

$$\begin{array}{lll}
 x = 1432.11 & y = 1101.5 & r = 0.9131 \\
 \bar{x} = 51.1468 & \bar{y} = 42.1964 & \\
 S_x = 40.6852 & S_y = 34.2954 & \\
 S_{y/x} = 13.9809 & S_{x/y} = 16.5858 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 y = 0.7697 x + 2.8277 & \begin{array}{ll} x = 0 & y = 2.83 \\ x = 20 & y = 18.22 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 x = 1.0833 y + 5.4369 & \begin{array}{ll} y = 0 & x = 5.44 \\ y = 20 & x = 27.10 \end{array}
 \end{array}$$

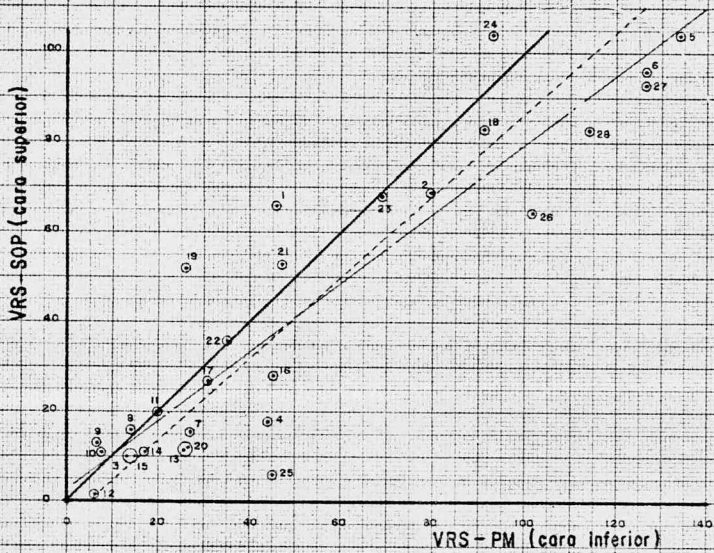
$$\begin{array}{l}
 \bar{d} = 8.9504 \\
 s = 16.8298 \\
 t_c = 2.3141
 \end{array}$$

Con un ensaye bilateral para el nivel de significación de 0.01 y 27 grados de libertad $T_t = 2.77 < t_c$. las diferencias son altamente significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 100 % PVSM - AE o AM y Wo

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



Y = 0.770 X + 2.828

X = 1.083 Y + 5.437

RECTA DE VALORES IGUALES

4 TIPOS DE MATERIALES.

PARA 90% PUSM - AE o AM y $W_o + 3\%$

PENETRACION : CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR.

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	11.3	12.7	- 1.4
2	5.1	7.5	- 2.4
3	21.7	19	2.7
4	3.1	0.5	2.6
5	6.61	5.2	1.41
6	38.61	35.5	3.1
7	19.42	15	4.42
8	5.8	2.6	3.2
9	3.7	5	- 1.3
10	3.3	5	- 1.7
11	3.3	5.6	- 2.3
12	4.0	11.9	- 7.9
13	2.9	1.85	1.05
14	5.5	4	1.5
15	5.1	6.5	- 1.4
16	5.1	5.3	- 0.2
17	7.1	8	- 0.9
18	8.2	14	- 5.8
19	16.6	12	4.6
20	9.1	8	1.1
21	0.0	1.55	- 1.55
22	30.0	48	-18
23	11.2	12	- 0.8
24	10.35	18.8	- 8.45
25	11.8	12	- 0.20
26	20	19.5	0.5

$$\begin{array}{lll}
 x = 268.88 & y = 297 & r = 0.8944 \\
 \bar{x} = 10.3415 & \bar{y} = 11.4231 & \\
 S_x = 9.1389 & S_y = 10.6096 & \\
 S_{y/x} = 4.7272 & S_{x/y} = 4.0499 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 y = 1.0383 x + 0.6850 & \begin{array}{ll} x = 0 & y = 0.685 \\ x = 20 & y = 21.45 \end{array}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 x = 0.7706 y + 1.5571 & \begin{array}{ll} y = 0 & x = 1.56 \\ y = 20 & x = 16.97 \end{array}
 \end{array}$$

$$\bar{d} = -1.0815$$

$$s = 4.7578$$

$$t_c = -1.1591$$

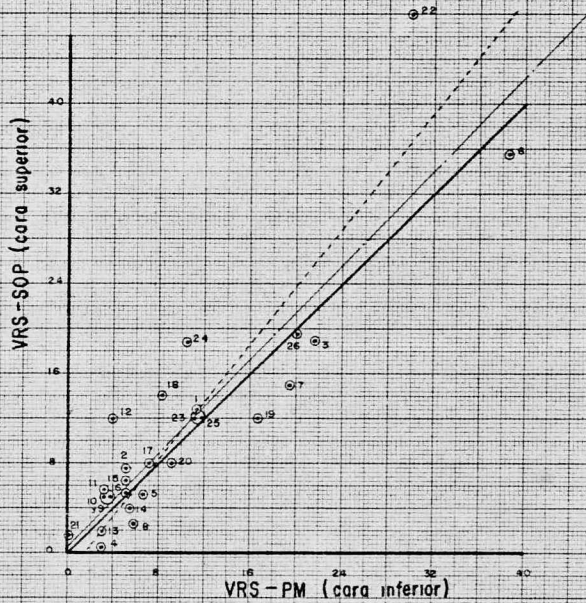
Con un ensaye bilateral al nivel de significación de 0.01 y 25 grados de libertad $t_{t1} = 2.79 > t_c$. las diferencias no son significativas.

Para el nivel de significación de 0.05 y 25 grados de libertad $T_{t2} = 2.06 > t_c$. las diferencias no son significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 90% PVSM-AE o AM y Wo + 3%

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



■ $Y = 1.038 X + 0.685$

- - - $X = 0.771 Y + 1.557$

— RECTA DE VALORES IGUALES

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 95 % PUSM - AE o AM - SATURADO

PENETRACION: CARA INFERIOR U_s CARA SUPERIOR

	ESTATICA (x)	DINAMICA (y)	DIFERENCIA (d)
1	26.4	28.2	-1.8
2	43.2	51	-7.8
3	2.8	5.6	-2.8
4	11.8	4.8	7
5	59.9	71	-11.1
6	67.65	72.5	-4.85
7	50	61	-11
8	15	10	6
9	70.5	49	21.5
10	5.1	4.2	0.9
11	2.2	3.2	-1
12	2.8	7.8	-5
13	2.6	1.1	1.5
14	4	4.8	-0.8
15	8.2	6.9	1.3
16	5.9	5.5	0.4
17	10.9	4.9	6
18	20.6	12.5	8.1
19	7.8	19	-11.2
20	10.5	8.3	2.2
21	23.5	26	-2.5
22	31.7	15	16.7
23	6.1	9.8	-3.7
24	23.5	16.2	7.3
25	17.6	17	0.6
26	42.6	43	-0.4
27	47	59	-12
28	22	20	2
29	49	59	-10
30	30	8	22
31	31.6	26	5.6

$$\begin{array}{lll}
 x = 753.45 & y = 730.3 & r = 0.9225 \\
 \bar{x} = 24.3048 & \bar{y} = 23.5581 & \\
 S_x = 20.3552 & S_y = 22.4097 & \\
 S_{y/x} = 8.6526 & S_{x/y} = 7.8694 &
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 y = 1.0156 x - 1.125 & x = 0 \quad y = -1.13 \\
 & x = 20 \quad y = 19.19
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 x = 0.8379 x + 4.566 & y = 0 \quad x = 4.57 \\
 & y = 20 \quad x = 21.32
 \end{array}$$

$$\bar{d} = 0.7468$$

$$s = 8.6584$$

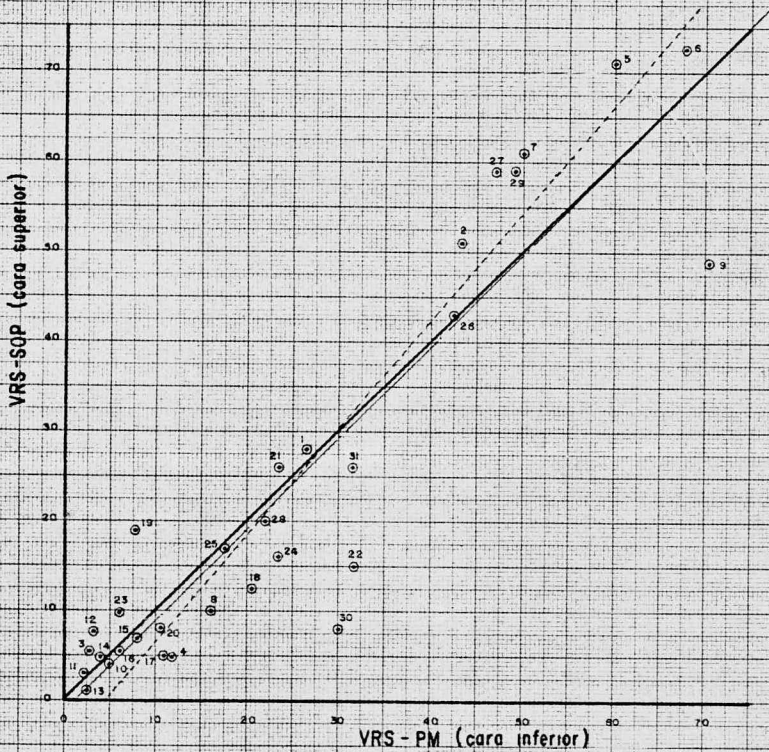
$$t_c = 0.4802$$

Con un ensayo bilateral para los niveles de significación de 0.01 y 0.05, y para 30 grados de libertad se tiene que $Tt_1 = 2.75 > t_c$ y $Tt_2 = 2.04 > t_c$. las diferencias para ambos niveles no son significativas.

4 TIPOS DE MATERIALES

PARA 95% PVSM - AE o AM SATURADO

PENETRACION: CARA INFERIOR Vs CARA SUPERIOR



————— $Y = 1.016 X - 1.125$

- - - - - $X = 0.838 Y + 4.566$

————— RECTA DE VALORES IGUALES

V. CORRELACION DE VALORES RELATIVOS DE SOPORTE OBTENIDOS ESTATICA Y DINAMICAMENTE CONTRA LAS EXPANSIONES

V.1 Como se sabe la calidad mínima necesaria de los materiales -- que se utilizan en la estructuración de una obra vial, depende de la localización de la capa; así por ejemplo para determinar la -- aceptabilidad o no de los materiales necesarios para la formación de la capa subrasante se necesita que el VRS mínimo sea de 8% y la expansión de 3% máxima de tal manera que con estas característi-- cas de resistencia y deformación se asegura un buen comportamien-- to de los materiales durante la vida útil de la obra.

Por otro lado, para que los materiales aumenten su capacidad para resistir los esfuerzos que se le imponen y para que las deforma-- ciones que se provoquen estén dentro de lo tolerable, se les suje-- ta al tratamiento de compactación; sin embargo algunos materiales como los finos plásticos, al ser compactados aumentan su capacidad

de expansión en presencia de agua por lo que la medida de esta capacidad es indispensable para clasificar a los materiales y así poder saber si es conveniente o no su uso.

En los estudios que se están analizando se obtuvieron los datos correspondientes a la expansión obtenida de la prueba Porter Estándar y dada la importancia de esta característica se trató de encontrarle una posible relación con los VRS obtenidos con especímenes compactados estática y dinámicamente.

Además, dado que a simple vista no hay una correlación lineal entre los puntos graficados, se aplicó una correlación no lineal de tipo exponencial.

V.2 Presentación de resultados.

De los resultados obtenidos al hacerse esta correlación, se puede observar que la correlación en el caso de VRS obtenido dinámicamente contra la expansión es mala o no existe y para el caso de VRS obtenido estáticamente contra la expansión es en general regular teniéndose en ambos casos coeficientes de variación muy altos, por lo que se puede concluir que a pesar de que con ninguna de las dos pruebas se obtiene una buena correlación, la prueba estática es más consistente ya que presenta menos variabilidad.

Además en general se observa que para valores de VRS mayores a 10% la expansión tiende a valores mínimos.

Por otra parte, es probable que si se aplica alguna otra correlación de tipo no lineal para tratar de ajustar los valores a una curva hiperbólica, pero cuyo desarrollo queda fuera de los alcances de -

ésta tesis, el resultado mejore considerablemente.

A continuación se muestra una tabla con el resumen de los resultados obtenidos y además algunos ejemplos de las gráficas obtenidas.

CORRELACION USANDO LOS 4 TIPOS DE MATERIALES
 PARA (100%, 95% Y 90% PVSM) Y SATURADOS
 VRS DINAMICO VS % EXPANSION

COMPACTACION (%)	VALORES PROMEDIO \pm DESVIACION ESTANDAR		COEFICIENTE DE VARIACION		COEFICIENTE DE CORRELACION	CORRELACION
	VRS - SOP $\bar{X} \pm S_x$	EXPANSION $\bar{Y} \pm S_y$	SOP V1 (%)	EXPANSION V2 (%)		
100	38.72 - 40.74	1.17 - 1.93	105.2	165	- 0.4942	MALA
95	23.48 - 22.79	1.23 - 1.98	97.1	161	- 0.5022	MALA
90	11.24 - 11.88	1.11 - 1.82	105.7	164	- 0.3081	-

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS - SOP (95% - PUSM - AE o AM SATURADO) Vs % EXPANSION

	VRS - DINAMICO (x)	% EXPANSION (y)
1	28.2	0.22
2	51	0.2
3	5.6	0
4	4.8	0
5	71	0
6	72.5	0
7	61	0.01
8	10	0
9	49	0
10	4.2	1.2
11	3.2	3.7
12	7.8	1.7
13	1.1	7.9
14	4.8	4.2
15	6.9	5.06
16	5.5	2.3
17	4.9	4
18	12.5	0.87
19	19	0.27
20	8.3	3.4
21	26	0.78
22	15	0
23	9.8	0.24
24	16.2	0
25	17	0.76
26	43	0
27	59	0
28	20	0
29	59	0
30	8	0

$$x = 704.3 \quad y = 36.81$$

$$\bar{x} = 23.4767 \quad \bar{y} = 1.2270$$

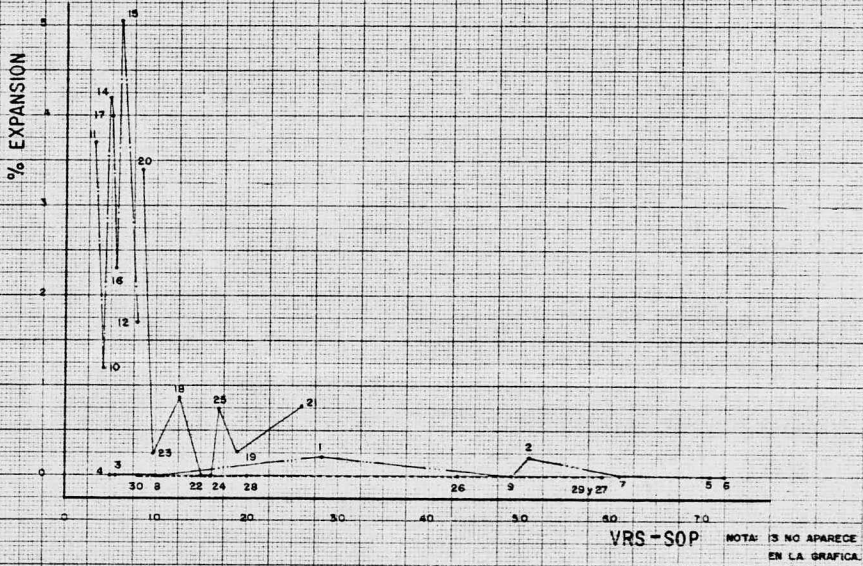
$$S_x = 22.7882 \quad S_y = 1.9785$$

$$r = -0.502246407$$

$$y = 9.393315207 x - 2.738115929$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-SOP (95% PVSM-AE o AM SATURADO) Vs % EXPANSION



VRS-SOP NOTA: IS NO APARECE EN LA GRAFICA

- MAT. FINO ARENOSO
- - - MAT. FINO ARCILLOSO
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- · - · - MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

CORRELACION USANDO LOS 4 TIPOS DE MATERIALES
 PARA (100%, 95% Y 90% PVSM) Y SATURADOS
 VRS ESTATICO VS % EXPANSION

COMPACTACION (%)	VALORES PROMEDIO \pm DESVIACION ESTANDAR		COEFICIENTE DE VARIACION		COEFICIENTE DE CORRELACION	CORRELACION
	VRS - PM $\bar{X} \pm S_x$	EXPANSION $\bar{Y} \pm S_y$	PM V1 (%)	EXPANSION V2 (%)		
100	49.37 - 46.09	1.95 - 3.26	93.4	167.2	- 0.6871	REGULAR
95	31.24 - 30.12	1.38 - 2.39	96.4	173.2	- 0.6726	REGULAR
90	15.12 - 12.87	1.41 - 2.44	85.1	173.0	- 0.6898	REGULAR

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS - PM (95% - PUSM - AE o AM SATURADO) Vs % EXPANSION

	VRS - ESTADICO (x)	% EXPANSION (y)
1	27.6	0.47
2	10.6	0
3	62.7	0.3
4	4.2	0
5	17.64	0
6	73.5	0
7	62.5	0
8	70.7	0
9	35.9	0
10	129	0
11	4.7	1.9
12	2.9	4
13	3	2.2
14	1.7	7.9
15	4	8.6
16	3.7	4.2
17	5.9	2.1
18	1.3	6.5
19	7	0.5
20	22.1	0.96
21	11.4	0.88
22	2.4	4.2
23	25.7	0.79
24	26.6	0.1
25	38.2	0.08
26	20.6	0.04
27	46.1	0
28	56	0
29	25.7	0
30	39.4	0
31	79.5	0
32	45.5	0
33	61	0.02

$$\bar{x} = 1030.64$$

$$\bar{y} = 45.71$$

$$s_x = 31.2376$$

$$s_y = 1.3852$$

$$r = -0.6726168$$

$$s_x = 30.1175$$

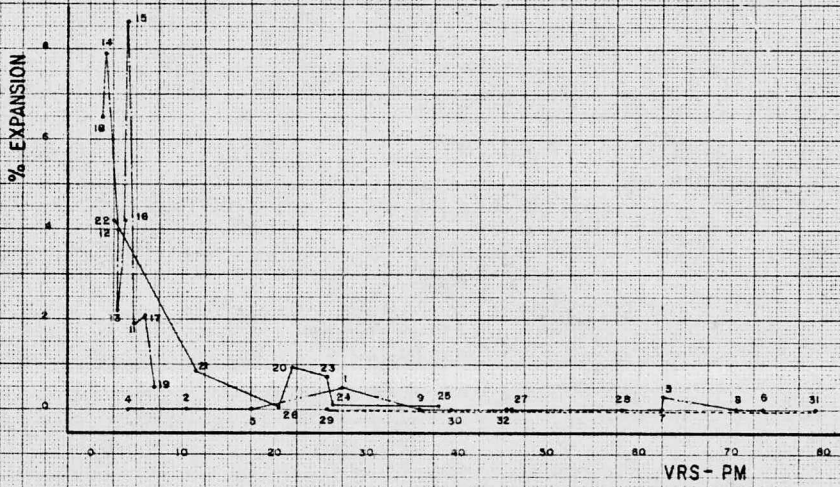
$$s_y = 2.3667$$

$$y = 36.06591841 x$$

$$-2.036101181$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-PM (95% PVSM - AE o AM SATURADO) Vs % EXPANSION



VRS-PM

NOTA: LO NO APARECE EN LA GRAPICA

- MAT. FINO ARENOSO
- MAT. FINO ARCILLOSO
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VI. CORRELACION DE VALORES RELATIVOS DE SOPORTE OBTENIDOS ESTATICA Y DINAMICAMENTE CONTRA LA CONTRACCION LINEAL

VI.1 Para complementar lo relativo a la posible relación que pudiera existir entre el VRS y la compresibilidad de un material, se hizo la correlación entre el VRS obtenido estática y dinámicamente - contra la contracción lineal.

Esta correlación se hizo también tomando en cuenta las diferencias que existen entre la prueba de expansión y la de contracción lineal; ya que como sabemos la primera se usa para materiales que pasan totalmente la malla de 25.4 mm (1"), con retenido en la malla No. 4 mayor a 20% o a cualquier tipo de materiales inertes, mientras que la segunda solo se usa para los materiales que pasan la malla 40, los cuales son importantes en cuanto a su capacidad plástica.

Además la prueba de contracción lineal es la más empleada para determinar la plasticidad ya que a diferencia de los límites de - -

Atterberg que miden la variación del contenido de humedad, en esta prueba se mide la variación de la longitud, lo cual hace que se entienda mejor el concepto de plasticidad.

VI.2 Presentación de Resultados. Los resultados obtenidos al hacer se las correlaciones de VRS contra la contracción, mostraron que éstas en general son malas, tanto para el caso de VRS obtenido es táticamente como para el VRS obtenido dinámicamente, teniéndose además coeficientes de variación muy altos. Por lo tanto se concluye que no se debe usar ninguna correlación de VRS obtenidos -- tanto estática como dinámicamente contra las pruebas de expansión en general.

Estos resultados son lógicos puesto que el VRS se obtiene de todo el material y la plasticidad en este caso la contracción lineal se obtiene solo a través de la porción que pasa la malla 40.

A continuación se muestran algunos ejemplos de las gráficas obtenidas con sus respectivos resultados, considerándose innecesario, poner todos los resultados por ser semejantes en general a los obtenidos en el capítulo anterior.

4 TIPOS DE MATERIALES.

108

VRS - PM (100% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

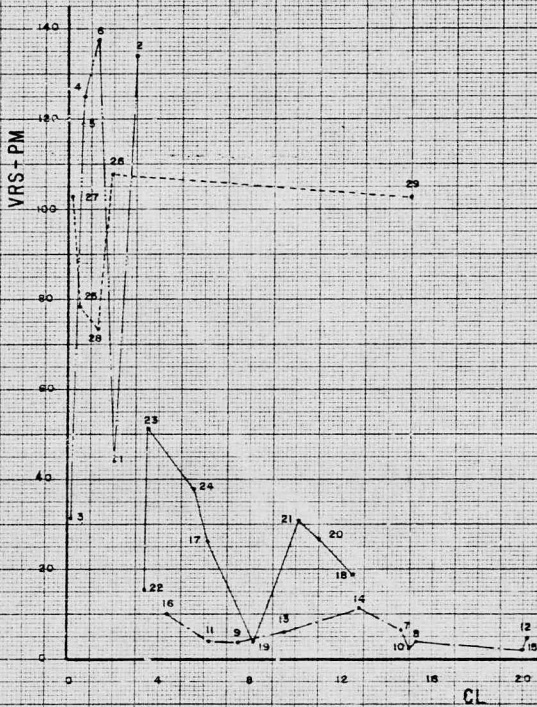
	CL (X)	ESTATICO (Y)
1	2	44.1
2	3	133.9
3	0.1	31.6
4	0.7	125
5	0.65	119.12
6	1.3	137.5
7	14.6	6.5
8	15.3	4
9	7.5	3.8
10	15	2.6
11	6.2	4
12	20.2	4.8
13	9.5	6.1
14	12.8	11.4
15	20	2.2
16	4.4	10.3
17	6.1	16.4
18	12.5	18.7
19	8.2	4
20	11	27
21	10.1	31
22	3.4	15.36
23	3.5	51.4
24	5.5	38.2
25	0.5	78.7
26	1.9	108
27	0.2	103
28	1.3	73.6
29	15	102

VRS - ESTATICO

$$\begin{aligned}
 x &= 212.45 & y &= 1325.28 \\
 \bar{x} &= 7.3259 & \bar{y} &= 45.6993 \\
 S_x &= 6.1991 & S_y &= 46.6782 \\
 r &= 0.6551 \\
 y &= 53.14713135 & x &= 0.5333918145 \\
 x &= 31.85019977 & y &= 0.6721692339
 \end{aligned}$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-PM (100% PVSM-AE ó AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL



- MAT. FINO ARENOSO
- - - - - MAT. FINO ARCILLOSO
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- - - - - MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VRS - SOP (100% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

	CL (X)	DINAMICO (Y)
1	2	44.5
2	3	54
3	0.1	4.9
4	0.7	+
5	0.65	115
6	1.3	135
7	14.6	9.2
8	15.3	4.6
9	7.5	9.7
10	15	1.4
11	6.2	4.9
12	20.2	+
13	9.6	7.6
14	12.8	8.5
15	20	9.5
16	4.4	+
17	6.1	+
18	12.5	31
19	8.2	13.8
20	11	17
21	10.1	+
22	3.4	15.8
23	3.5	34
24	5.5	16.2
25	0.5	65
26	1.9	93
27	0.2	103
28	1.3	+
29	15	-

VRS - DINAMICO

$$\bar{x} = 154.65$$

$$\bar{y} = 797.6$$

$$s_x = 7.0295$$

$$s_y = 36.2545$$

$$s_{x^2} = 5.9820$$

$$s_{y^2} = 40.527$$

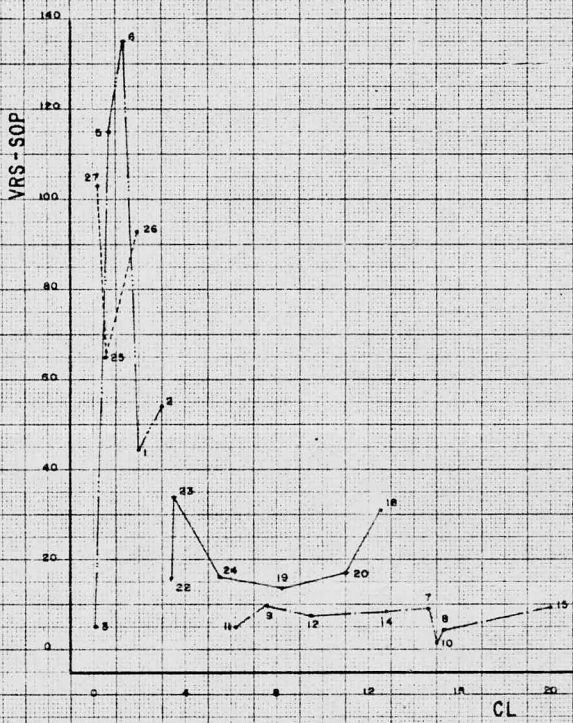
$$r = -0.6335$$

$$y = -4.2927 x + 66.4305$$

$$x = -0.0935 y + 10.4204$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS - SOP (100 % PVSM-AE o AM SATURADO) vs CONTRACION LINEAL



- MAT. FINO ARENOSO
- MAT. FINO ARCILLOSO
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- - - - MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

4 TIPOS DE MATERIALES.

VRS - PM (95% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

	CL (X)	ESTATICO (Y)
1	2	27.6
2	3	62.7
3	0.1	17.64
4	0.7	73.5
5	0.65	62.5
6	1.3	70.7
7	14.6	4.7
8	15.3	2.9
9	7.5	3
10	15	1.7
11	6.2	4
12	20.2	3.1
13	9.5	5.1
14	12.8	5.9
15	20	1.3
16	4.4	7
17	6.1	22.1
18	12.5	11.4
19	8.2	2.4
20	11	25.7
21	10.1	26.6
22	3.4	5.17
23	3.5	38.2
24	5.5	20.6
25	0.5	46.1
26	1.9	58
27	0.2	39.4
28	1.3	79.5
29	15	61

VRS - ESTATICO

$$x = 212.45 \quad y = 789.51$$

$$\bar{x} = 7.3259 \quad \bar{y} = 27.2245$$

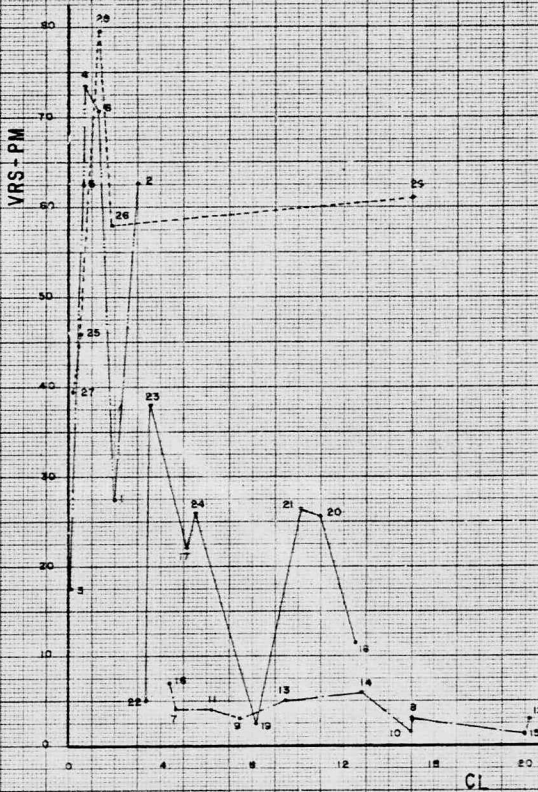
$$S_x = 6.1991 \quad S_y = 26.0371$$

$$r = 0.7523$$

$$y = 39.57539475 x - 0.6793181615$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-PM (95% PVSU - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL



- MAT. FINO ARENOSO
- - - MAT. FINO ARCILLOSO
- · - MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- · · MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

4 TIPOS DE MATERIALES.

VRS - SOP (95% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

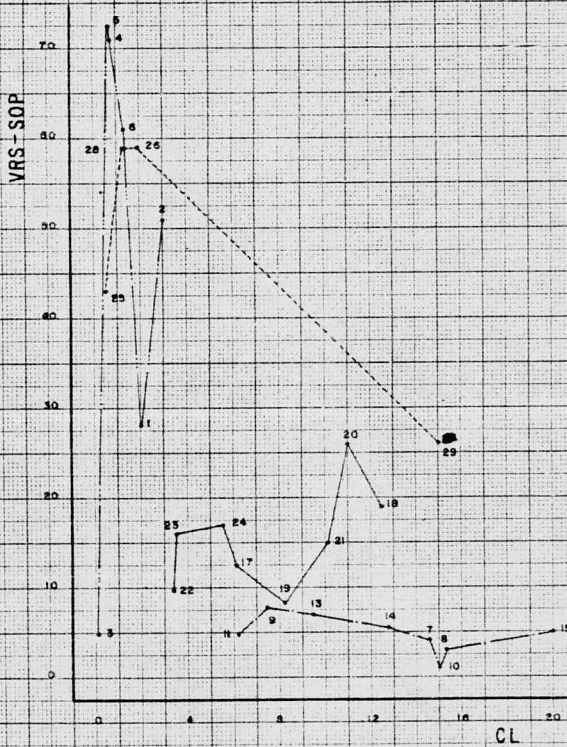
	CL (X)	DINAMICO (Y)
1	2	28.2
2	3	51
3	0.1	4.8
4	0.7	71
5	0.65	72.5
6	1.3	61
7	14.6	4.2
8	15.3	3.2
9	7.5	7.8
10	15	1.1
11	5.2	4.8
12	20.2	+
13	9.5	6.9
14	12.8	5.5
15	20	4.9
16	4.4	+
17	6.1	12.5
18	12.5	19
19	8.2	8.3
20	11	26
21	10.1	15
22	3.4	9.8
23	3.5	15.2
24	5.5	17
25	0.5	43
26	1.9	59
27	0.2	+
28	1.3	59
29	15	26

VRS - DINAMICO

$$\begin{aligned}
 x &= 187.65 & y &= 637.7 \\
 \bar{x} &= 7.2173 & \bar{y} &= 24.5259 \\
 S_x &= 5.8331 & S_y &= 23.3522 \\
 r &= -0.6355 \\
 y &= -2.3444 x + 42.8906 \\
 x &= -0.1508 y + 11.1111
 \end{aligned}$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-SOP (95% PVSM-AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL



- MAT. FINO ARENOSO
- . - . - MAT. FINO ARCILLOSO
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

4 TIPOS DE MATERIALES.

VRS - PM (90% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

	CL (X)	ESTATICO (Y)
1	2	13.6
2	3	23.9
3	0.1	11
4	0.7	43.2
5	0.65	25.73
6	1.3	22.8
7	14.6	3.1
8	15.3	1.8
9	7.5	1.6
10	15	1.3
11	6.2	1.8
12	20.2	3.3
13	9.5	3.1
14	12.8	4.4
15	20	1
16	4.4	5.1
17	5.1	8.1
18	12.5	7.8
19	8.2	2
20	11	11.8
21	10.1	14.7
22	3.4	3.09
23	3.5	14.7
24	5.5	25
25	0.5	26.5
26	1.9	36
27	0.2	9.2
28	1.3	40.5
29	15	32.4

VRS - ESTATICO

$x = 212.45$

$y = 398.52$

$\bar{x} = 7.3259$

$\bar{y} = 13.7421$

$S_x = 6.1991$

$S_y = 12.8804$

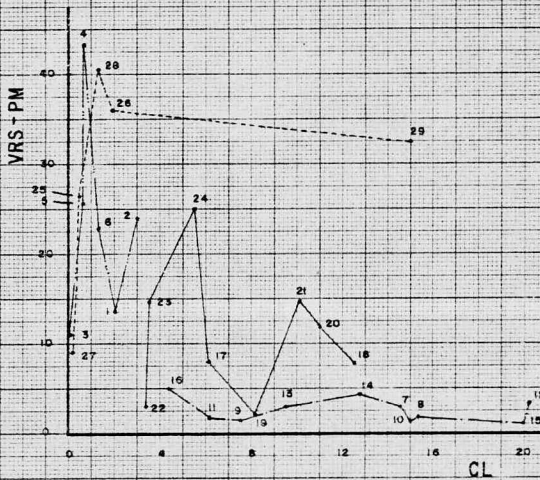
$r = - 0.5507791973$

$y = 14.82969453$

$x = - 0.4545607371$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS - PM (90% PVSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL



————— MAT. FINO ARENOSO
 - - - - - MAT. FINO ARCILLOSO
 - · - · - MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
 ······ MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VRS - SOP (90% PUSM - AE o AM SATURADO) Vs CONTRACCION LINEAL.

	CL (X)	DINAMICO (Y)
1	2	16.2
2	3	31
3	0.1	2.6
4	0.7	45
5	0.65	28.5
6	1.3	+
7	14.6	2.6
8	15.3	1.8
9	7.5	5.1
10	15	0.8
11	6.2	2.6
12	20.2	6.7
13	9.5	6.1
14	12.8	3.2
15	20	1.8
16	4.4	5
17	6.1	5.5
18	12.5	11
19	8.2	3.5
20	11	26.6
21	10.1	12.5
22	3.4	4
23	3.5	+
24	5.5	10.5
25	0.5	-
26	1.9	33
27	0.2	+
28	1.3	26
29	15	-

VRS - DINAMICO

$$x = 191.95 \quad y = 291.6$$

$$\bar{x} = 7.9979 \quad \bar{y} = 12.15$$

$$S_x = 6.1076 \quad S_y = 12.6231$$

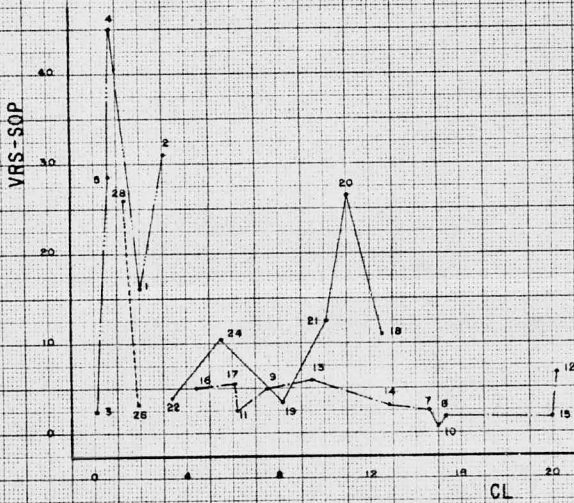
$$r = 0.5377$$

$$y = - 1.1025 x + 20.9679$$

$$x = - 0.2622 y + 11.1842$$

4 TIPOS DE MATERIALES

VRS-SQP (90% PVSM-AE o AM SATURADO) Vs CONTRACION LINEAL



- MAT. FINO ARENOSO
- - - MAT. FINO ARCILLOSO
- · · MAT. GRANULAR CON FINOS ARCILLOSOS
- · - MAT. GRANULAR CON FINOS ARENOSOS

VII. CONCLUSIONES

La mejor correlación de VRS obtenidos estática y dinámicamente se presenta en los materiales arcillosos que son los que mayor influencia y problemas causan en el diseño de los pavimentos, pero en general los resultados obtenidos son semejantes en ambos métodos, es decir presentan la misma sensibilidad a las diferentes variantes que se encuentran.

Para el caso de materiales arenosos y granulares, las diferencias en los resultados son significativas, pero estas diferencias no influyen en el diseño de los pavimentos, debido a que las variaciones en los VRS no implican cambios sustanciales en los espesores, ya que los VRS que se obtienen en estos materiales son generalmente altos, por lo que los espesores de las capas que forman el pavimento están regidos no tanto por los valores de resistencia que se obtengan sino por los valores mínimos especificados para cada capa.

Además, para materiales inertes gruesos o finos, es difícil la compactación dinámica ya que la humedad se acumula en la parte inferior y al golpear el material en un punto, el material del lado opuesto sufre desacomodo (bufamiento), por lo tanto, se considera que el acomodo que se logra con este tipo de compactación influye en la disminución del VRS.

De acuerdo a los resultados obtenidos, la prueba que implica el VRS-SOP, no ofrece ventajas con respecto a las pruebas Porter Modificada, ya que como se explicó anteriormente, para valores iguales de VRS los coeficientes de variabilidad son mayores para la prueba dinámica que para la estática, lo cual se puede deber a que para este último caso la elaboración de los especímenes es menos compleja.

Lo anterior, aunado a la experiencia del personal, el tiempo de ejecución de las pruebas que es de 3 a 7 veces mayor en las pruebas dinámicas (principalmente si se saturan los especímenes) que en las estáticas y la disponibilidad de equipo, ya que para el primer caso es mayor que en el segundo, por lo que el costo también aumenta considerablemente, hace recomendable que se sigan aplicando los métodos de compactación Porter y Proctor-SOP así como los Porter Modificado y Porter Estandar para obtener los valores relativos de soporte, tanto para proyecto como para definir la calidad del material.

Por otra parte se hace notar que se tomaron en cuenta todos los datos que enviaron las Unidades de Laboratorios, aún cuando hay algunos que no coinciden con la tendencia general; aclarándose que si se eliminaran estos resultados incongruentes, se enfatizarían las conclusiones obtenidas.

De todo lo anterior se concluye que los resultados de ambos métodos solo pueden usarse con valores índice, por lo que no se justifica - efectuar cambios a los procedimientos de proyecto de pavimentos - - mientras que no se introduzcan avances verdaderamente notables para que se pueda dejar de lado la experiencia acumulada.

B I B L I O G R A F I A

- F. OLIVERA B. Tecnología para el Proyecto de Pavimentos Flexibles. ENEP Aragón UNAM. - 1981.
- E.J. YODER AND WITCZAK. Principles of Paviment Design. E. J. -- Yoder, 2a. Edición.- 1975.
- Especificaciones Generales de Construcción. Secretaría de Obras Públicas. Parte IX.
- PADRON, OROPEZA Y GUZMAN. Influencia de la Humedad y Tipo de -- Compactación en las Resistencias a la Penetración para Obtener el Valor Relativo de Soporte. V Congreso Panamericano de Carreteras. Lima, Perú. - 1951.
- URQUIJO IBARROLA Y BURGOS. Estudio de Correlaciones de Pesos -- Volumétricos Secos y Valores Relativos Elaborados Estática y -- Dinámicamente. Interpretación de los Resultados de Pruebas Efectuadas en Diferentes Unidades de Laboratorios SAHOP. - 1978.
- F. OLIVERA Y FERNANDEZ. Especímenes Compactados Estática y Dinámicamente para obtener el CBR Dentro de la Tecnología del Pro-- yecto de Pavimentos Flexibles. Memorias del 2o. Simposio Colombiano Sobre Ingeniería de Pavimentos. Popayán Colombia. - 1977.
- L. M. AGUIRRE M. Correlación Entre las Pruebas Estáticas y Dinámicamente de Compactación de Suelos en el Laboratorio. Facultad de Ingeniería. División del Doctorado UNAM. - 1964.

- RICO RODRIGUEZ, BALCAZAR, VILLEGAS, GIL VALDIVIA. Informe presentado por el Grupo de Trabajo de la Comisión de Especificaciones Técnicas con Relación a la Revisión del Cuadro No. 2 del inciso 90-03.1, del Libro Primero de la parte octava de las Especificaciones Generales de Construcción. - 1973.
- RICO RODRIGUEZ. La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres. Editorial Limusa, Vol. 1.- 1980.
- F. OLIVIERA B. Control General de Calidad. SAHOP.
- A.V. FEIGENBRUN. Control Total de Calidad. Editorial Continental. - 1981.
- EUGENE L. GRANT. Control de Calidad Estadístico. Editorial Continental. - 1981.
- A. MORENO B. y F. J. JAUFFRED. Elementos de Probabilidad y Estadística. Representaciones y Servicios de Ingeniería. - 1976.
- MURRAY R. SPIEGEL. Estadística. Mc. Graw-Hill. - 1981.
- OLIVERA RICARDO B. Apuntes de Control de Calidad.