

113
2 eje.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"EL CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS

T E S I S

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

LEONARDO FRANCISCO SANCHEZ ESPEJEL

DIRECTOR DE TESIS: AGUSTIN DEMENEGHI COLINA

MEXICO, D. F.

1994



ESTS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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 está 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-038

Señor:
SANCHEZ ESPEJEL LEONARDO FRANCISCO.
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor Ing. Agustín Deméneghi Colina, y que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

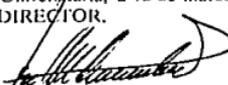
"EL CONTROL DE CALIDAD EN LA CONSTRUCCION DE AUTOPISTAS"

- I.- INTRODUCCION
- II.- NIVEL, CONTROL DE CALIDAD Y CARACTERISTICAS A MEDIR
- III.- ETAPAS DEL CONTROL DE CALIDAD
- IV.- ENFOQUE GEOTECNICO DE MATERIALES
- V.- CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO
- VI.- CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 12 de marzo de 1992.
EL DIRECTOR.


ING. JOSE MANUEL COVARRUBIAS SOLIS

JMCS/CRRC/rmf/a

AGRADECIMIENTOS:

A DIOS: a quien debo mucho y agradezco todo lo que me a dado.

A MI PAPÁ: ejemplo y guía de mi vida, con cariño e infinito agradecimiento por el esfuerzo realizado y el apoyo dado para brindarme una educación y por su gran empeño en ver consumado este trabajo.

A MI MAMÁ: con amor y veneración por su paciente y constante labor en la formación y cuidado de sus hijos y por todos los desvelos y sufrimientos recibidos siempre con cariño por el bien de un hijo.

A MIS HERMANOS LOLITA, ISIDORO, GUSTAVO Y JORGE: por su decidido apoyo, por la confianza que siempre me han brindado, por la amistad y el gran cariño que nos tenemos, ya que sin ellos me hubiera sido imposible alcanzar este objetivo.

A GABY: por su entusiasmo, alegría, perseverancia y amor que tanto me han ayudado para superar los problemas y lograr el propósito de una meta.

AL ING. RAÚL VICENTE OROZCO SANTOYO: con un gran sentido de estimación y afecto agradeciendo su gran colaboración y dirección para la realización del presente trabajo y por su apoyo incondicional para la continuación de mis estudios posteriores.

AL ING. VÍCTOR TORRES ALCALÁ: por sus enseñanzas al compartir su gran experiencia a través de los numerosos viajes que hicimos por los caminos de México.

AL ING. AGUSTÍN DEMÉNEGHI COLINA: por su orientación y consejos con los que logré presentar este trabajo, así como su gentileza y flexibilidad para dirigirlo.

Mi gratitud sincera a los ingenieros de la División de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica de la Facultad de Ingeniería, por las facilidades presentadas para el desarrollo y presentación de este trabajo.

A todos mis familiares, compañeros y amigos por su paciencia, amistad y confianza que me han brindado desde el inicio de mis estudios.

INDICE

	Pag.
Capítulo I Introducción	1
Capítulo II Nivel, Control de Calidad y Características a Medir	6
2.1 Control de calidad	6
2.2 Nivel de calidad	10
2.3 Características a medir	11
2.3.1 Materiales para terracerías	11
2.3.1.1 Contenido de agua o humedad (w)	11
2.3.1.2 Grado de saturación (S_r)	12
2.3.1.3 Peso volumétrico seco (γ_d)	12
2.3.1.4 Peso específico de sólidos (γ_s)	12
2.3.1.5 Relación de vacíos (e)	13
2.3.1.6 Porosidad de la mezcla (n)	13
2.3.1.7 Compacidad (C)	13
2.3.1.8 Composición granulométrica (granulometría)	14
2.3.1.9 Límites de consistencia	15
2.3.1.9.1 Límite líquido (LL)	15
2.3.1.9.2 Límite plástico (LP)	15
2.3.1.9.3 Índice plástico (I_p)	16
2.3.1.10 Contracción lineal	16
2.3.1.11 Compactación	17
2.3.2 Materiales para sub-bases y bases de pavimentación	18
2.3.2.1 Características generales	18
2.3.3 Materiales pétreos para carpetas asfálticas	19
2.3.3.1 Características generales	19

2.3.3.2	Composición granulométrica	19
2.3.3.3	Pruebas de desgaste	20
2.3.3.4	Determinación de la pérdida por intemperismo acelerado	21
2.3.3.5	Pruebas de afinidad entre el material pétreo y el asfalto	21
2.3.4	Asfaltos y productos asfálticos	22
2.3.4.1	Características generales	23
2.3.5	Mezclas y carpetas asfálticas	24
2.3.5.1	Método Marshall para la determinación de los valores de estabilidad y de flujo en mezclas asfálticas	25
2.3.5.2	Permeabilidad en carpetas	25
2.3.5.3	Contenido de asfalto en mezclas y carpetas construidas	26
2.3.5.4	Determinación de la humedad y de los solventes en mezclas asfálticas	26
Capítulo III	Etapas del Control de Calidad	27
3.1	Generalidades	27
3.2	Etapa de previsión	27
3.3	Etapa de acción	28
3.4	Etapa de historia	30
3.5	La supervisión "El eslabón perdido en las etapas de control de calidad"	31
3.5.1	El problema de la supervisión	31
Capítulo IV	Enfoque Geotécnico de Materiales	34
4.1	Generalidades	34
4.1.1	Relación entre compactación, porosidad de la mezcla y relación de vacíos	35
4.1.2	Cambios volumétricos por saturación	37

4.2 Pruebas auxiliares en el control de calidad	39
4.2.1 Determinación del peso volumétrico	39
4.2.2 Determinación del peso específico	43
4.2.3 Determinación de la composición granulométrica	43
4.2.4 Determinación de los límites de consistencia	45
4.2.4.1 Prueba para determinar el límite líquido	45
4.2.4.2 Prueba para determinar el límite plástico	47
4.2.4.3 Determinación del índice plástico	49
4.2.4.4 Determinación de la contracción lineal	49
4.2.5 Determinación de la compactación en suelos	50
4.2.6 Pruebas de valor relativo de soporte (VRS)	55
4.2.6.1 Prueba estándar de valor relativo de soporte (prueba de "California" o "Porter")	55
4.2.6.2 Prueba modificada de valor relativo de soporte para diferentes grados de compactación	58
4.2.6.3 Prueba directa de valor relativo de soporte	63
4.2.7 Prueba de desgaste	64
4.2.8 Determinación de la pérdida por intemperismo acelerado en material pétreo	66
4.2.9 Pruebas de afinidad entre el material pétreo y el asfalto	68
4.2.10 Método Marshall para la determinación de valores de estabilidad y de flujo en mezclas asfálticas	72
4.2.11 Prueba de permeabilidad en carpetas	77
4.2.12 Determinación del contenido de asfalto en mezclas y en carpetas construidas	78
4.2.13 Determinación de la humedad y de los solventes en mezclas asfálticas	80

Capítulo V Criterios de Aceptación y Rechazo	83
5.1 Generalidades	83
5.2 Control estadístico de proceso (etapa de historia)	83
5.2.1 Cartas de control para variables	85
5.2.2 Cartas de control para atributos	97
5.2.3 Límites de tolerancia	97
5.2.4 Muestreo de aceptación	99
5.2.5 Comentarios en torno al uso de cartas de control	100
5.3 Equipos nucleares y diagramas CAS (etapa de acción)	101
5.4 El tablero de control (todas las etapas conjugadas)	104
5.4.1 Perspectiva del cliente: ¿Cómo nos ven los clientes?	105
5.4.2 Perspectiva interna del negocio: ¿En qué debemos lograr la excelencia?	106
5.4.3 Perspectiva de innovación y aprendizaje: ¿Podemos continuar mejorando y generar valor?	107
5.4.4 Perspectiva financiera: ¿Qué opinan los accionistas?	108
Capítulo VI Conclusiones	111
6.1 1º Cambio en la cultura de trabajo	111
6.1.1 El cuadro de clasificación de la madurez de la calidad de Crosby	112
6.2 2º Adoptar un modelo de calidad por servicio	114
6.2.1 Generalidades	114
6.2.2 El programa general y comentarios	117
6.2.2.1 Sensibilización	117
6.2.2.2 Auditoría de clientes externos e internos	119
6.2.2.3 Revisión de procesos y procedimientos internos	121
6.2.2.4 Subcontratistas y proveedores	123
6.2.2.5 Reapreciación	124
Referencias	

Capítulo I: INTRODUCCION

El mundo actual está marcado por el signo del cambio. La globalización de la economía plantea nuevos desafíos a las empresas, sin importar su tamaño ni su giro de actividad. México se encuentra en la antesala de un Tratado de Libre Comercio (TLC) con Estados Unidos y Canadá. Este contexto plantea, entre otras, dos interrogantes para las organizaciones mexicanas: ¿Cómo ser altamente competitivas? ¿Cómo mantener e incrementar su participación en el mercado?

La búsqueda de las respuestas a éstas y otras preguntas ha impulsado a muchos ejecutivos a buscar nuevos enfoques y estrategias para sus negocios. La CALIDAD así ha adoptado carta de naturalización.

En el desarrollo de este trabajo, habrá temas sobre calidad que bien pueden ser aplicados a cualquier tipo de sector, es decir desde la industria de la extracción, transformación y hasta el comercio; lo mismo en cualquier producto o servicio. Sin embargo me enfocaré específicamente a la construcción de autopistas, debido en primera instancia, a que es responsabilidad directa de la ingeniería civil y en segunda por el gran auge que han tenido en estos últimos años.

El crecimiento económico del país, el notable aumento del número y peso de vehículos motorizados y el gran incremento de la población, hacen necesario adecuar las carreteras que prestan un nivel de servicio insuficiente por haber sido rebasada su capacidad de tránsito y de carga.

Como solución alterna, se requiere construir nuevas carreteras de mejores especificaciones que las actuales, es decir con un nivel de calidad más alto que el tradicional. Esto permite que la construcción no interfiera con el tránsito actual. Además, se puede cobrar una cuota por circular en una carretera que ofrece mayor seguridad, comodidad, ahorro de tiempo y, como consecuencia, economía en los costos de transporte.

Habiendo carreteras de cuota, además de las convencionales (originales o modernizadas), se satisface el precepto constitucional del libre tránsito por los caminos del país, ya que el usuario puede elegir la opción que más le acomode.

En la actualidad, en varias regiones de nuestro país se está llevando a cabo una intensa actividad de construcción de carreteras de cuota con excelentes especificaciones. Además existen numerosas carreteras de este tipo, unas construidas recientemente y otras (la mayoría de hace algunas décadas), que requieren rehabilitaciones periódicas en tramos de longitud importante.

Lo anterior nos lleva a considerar lo siguiente: aceptando los hechos tal como se presentan en la realidad, debemos reconocer que por lo general, el principal interés de los ingenieros constructores de obras civiles es conseguir la mayor eficiencia en los procesos constructivos, para lograr el máximo beneficio económico posible. El afán de lucro es válido, pero en muchos casos lleva a un grave descuido de la calidad de la obra

En la actualidad se ha limitado el control de calidad a recopilaciones de resultados de laboratorio de las características de los materiales utilizados, para formar una reseña histórica; pero no ha participado, en general, en la corrección oportuna de desviaciones del proceso constructivo ni en señalar discrepancias respecto al proyecto. Si a todo lo anterior se agrega la falta de autoridad del controlador de calidad, resulta la situación que se presenta comúnmente: la aceptación de las obras con serias deficiencias.

Cuando mencionamos la palabra calidad, normalmente la relacionamos con altos costos. Esto es erróneo, pues el fin de utilizar un control de calidad, es adecuarlo a la necesidad e importancia de la obra que ejecutemos, siguiendo algunas normas preestablecidas y teniendo un criterio fijo.

“Practicar el control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener una obra de calidad que sea la más económica, la más útil y siempre satisfactoria para el usuario”(Ref.1).

Para alcanzar esta meta, es preciso que en la empresa todos promuevan y participen en el control de calidad, incluyendo en esto a los altos ejecutivos así como a todas las divisiones de la empresa y a todos los empleados. La calidad de una empresa se refleja desde la actitud de superación personal siempre presente, desde el dueño (o propietario) hasta el último de los empleados (Ref.2).

Al margen de la definición, quisiera esbozar algunos puntos relacionados con el control de calidad:

1) Hacemos control de calidad con el fin de construir obras que satisfagan los requisitos de los usuarios. No se trata sólo de cumplir una serie de normas o especificaciones nacionales. Esto sencillamente no basta. Las “Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas” (Ref.3) no son perfectas, como tampoco lo son las normas fijadas por la Organización Internacional para la Normalización (ISO). Como todos los documentos importantes sabemos que tienen muchos defectos, aunque es lo mejor de lo que se dispone en el ámbito en forma escrita. Los usuarios no siempre estarán satisfechos con un obra que cumpla las normas de la SCT. También debemos recordar que las exigencias de los usuarios varían de un año a otro. Aún cuando se modifiquen las normas de construcción, éstas generalmente no se mantienen al día con los requisitos de los usuarios; siempre hay un retraso considerable entre las innovaciones y la normatización de estas.

2) Debemos hacer hincapié en la orientación hacia el usuario. Hasta ahora los constructores han pensado que les hacen un favor a los usuarios haciéndoles sus obras. Llamémoslo un tipo de operación de “salida de obras”. Lo que ahora se propone es un sistema de “entrada de merca-

dos" donde los requisitos del usuario sean de primordial importancia. En términos prácticos, propongo que los constructores estudien las opiniones y requisitos de los usuarios y que los tengan en cuenta al diseñar, construir y mantener sus obras. Al desarrollar una nueva obra, el constructor debe prever los requisitos y las necesidades de los usuarios. Es él quien tiene el derecho de escoger las obras, y en este caso en especial, escoger la carretera que le sea más conveniente. Recuérdese que el usuario prefiere ir sobre una "mesa de billar" y paga por darse ese gusto (Ref.4).

3) Es importante la interpretación que demos a la palabra "calidad". En las definiciones anteriores se interpreta como "calidad de obra", pero aquí se le dará un sentido más amplio.

En su interpretación más amplia, calidad significa calidad del trabajo, calidad del servicio, calidad de la información, calidad del proceso, calidad de las personas incluyendo a los trabajadores, ingenieros, gerentes y ejecutivos, calidad del sistema, calidad de las empresas constructoras y supervisoras, calidad de los objetivos, etc. Nuestro enfoque básico es controlar la calidad en todas sus manifestaciones (Ref. 1).

4) Por muy buena que sea la calidad, la obra no podrá satisfacer al usuario si el precio es excesivo. En otras palabras, no podemos definir la calidad sin tener en cuenta el costo. Esto cobra importancia al planear y diseñar la calidad. No puede haber un control de calidad que haga caso omiso del precio, las utilidades y el control de costos. Lo mismo puede decirse del "volumen" de producción. Si una constructora no puede dar cifras para la cantidad ejecutada, la cantidad de errores o de correcciones necesarias, no podrá determinar su porcentaje defectuoso (fracción defectuosa) ni la tasa de correcciones. Sin estos datos no podrá hacer un Control de Calidad adecuado. Una oferta insuficiente de un obra que tiene demanda será perjudicial para los usuarios. Una oferta excesiva significa desperdicio de mano de obra, maquinaria y energía. El control de costos y el control de calidad son dos caras de la misma moneda. Para hacer un buen control de costos hay que aplicar un buen control de calidad. Cuando el control se ha de extender al "volumen" de pro-

ducción, no se puede hacer un buen control de la producción si hay fluctuaciones en el porcentaje defectuoso o si es preciso rechazar algo terminado. Hay que esforzarse siempre por ofrecer una obra de calidad justa a un costo justo y en la demanda justa.

Cuando todas las divisiones y todos los empleados de una empresa (incluyendo al propietario) ya sea constructora, supervisora, de proyecto o de servicios y asesoría, participan en el control de calidad, deben aplicar este control en su sentido más amplio, que incluye el control de costos y de demandas. De lo contrario, no se podrá lograr un buen control de calidad, ni siquiera en su sentido más estrecho.

No basta cambiar una vez. La mejora de los procesos constructivos, así como de los sistemas y procedimientos vigentes dentro de las organizaciones, debe ser continua. La implantación de procesos de mejora de la calidad no da frutos de la noche a la mañana. La obtención de resultados se da sólo con el tiempo (Ref.5). No olvidemos el refrán que dice "La calidad se recuerda mucho tiempo después de que el precio se olvida" (William Royce).

Capítulo II: NIVEL, CONTROL DE CALIDAD Y CARACTERÍSTICAS A MEDIR

2.1 CONTROL DE CALIDAD

Uno de los conceptos menos entendidos en la actualidad es el de calidad. En el desarrollo de este trabajo trataremos de explicar lo que tradicionalmente se entiende por calidad y posteriormente qué es lo que realmente debe entenderse por "CALIDAD".

Algunas ideas que permanecen en la industria de la construcción son:

- 1.-La calidad en una autopista son las normas y las especificaciones, generalmente fijadas por la SCT y adecuadas por el que la construye.
- 2.-Está relacionado con finura o refinamiento y por lo tanto, con alto costo.
- 3.-Es algo que cuesta y restringe los ritmos de producción, por lo que es antagónico con la productividad y por lo tanto con las utilidades.
- 4.-Es algo sumamente difícil de lograr y sólo a través de un gran cuerpo de inspectores o supervisores se puede llegar a obtenerla. A mayor inspección mayor calidad.
- 5.-Es satisfacer especificaciones.

Por lo tanto podemos concluir que para lograr alta calidad se requiere:

- a) Un ejército de inspectores
- b) Disminuir el ritmo de producción

- c) Un alto costo y consecuentemente un alto precio
- d) Y como resultado se opone a la productividad y a las utilidades

Son interesantes en verdad estos conceptos tradicionales, que han logrado justamente lo contrario a lo que se pretendía.

La falta de claridad de conceptos nos ha llevado a la crisis que actualmente sufrimos. Buscamos la eficiencia en la productividad como meta y, para lograrla, creemos que la tecnología es la herramienta que, en esta búsqueda, no tenemos: ni fundamento, ni metodología científica. Desde hace más de treinta años han proliferado los Centros de Productividad (México no es la excepción) y hoy tres décadas después, la productividad ha decrecido en lugar de haber aumentado. Sin embargo, seguimos aferrados en tal búsqueda.

Lo más interesante de todo es que la más alta administración no ha cumplido con su responsabilidad social, que es la de mantener los empleos; ni siquiera muchos de esos Centros se interesaron por averiguar qué estaba sucediendo con los países que estaban a la vanguardia en este campo.

La intención de este trabajo es clarificar conceptos. No hay que olvidar que las épocas de crisis son los tiempos de grandes oportunidades para las personas que piensan y que desean hacer las cosas de manera diferente. ¡La necesidad es la madre de la creatividad!.

Producir con calidad es el fin de toda empresa constructora o de servicio. La calidad y la producción no deben darse en forma aislada. Este proceso es integral y, por lo tanto, no es sólo responsabilidad de un departamento de control de calidad, de producción o de diseño; la calidad es responsabilidad de todos y cada uno de los miembros de una organización y empieza por el de mayor jerarquía.

Hay que tener muy en cuenta que la calidad, aunque eleva los costos de producción, disminuye los costos de mantenimiento de una manera incomparable: Lo que tiene un alto costo es la mala calidad.

Veamos ahora los verdaderos conceptos de calidad.

1.-La calidad la fija el cliente y en último término el usuario. Es construir obras o dar servicios que llenen las expectativas y exigencias de los usuarios.

2.-La supervisión y la inspección no crean calidad; son tardías y sólo detectan errores y defectos. La calidad debe estar integrada en la obra o el servicio. La inspección no detecta causas, sólo efectos (defectos) y es costosa además: Si la calidad no está integrada en la obra, se requeriría de una gran cantidad de mano de obra improductiva (inspectores). A través de la supervisión, lo único que se quiere lograr es cuidar que se cumpla con el nivel de calidad impuesto; por otro lado, debe ser eficaz y no prepotente.

3.-La productividad sólo se da como consecuencia de la calidad y no a la inversa. Productividad es sinónimo de eficiencia, y ésta es sólo consecuencia (efecto), no causa. La única forma de evitar errores, desperdicios y trabajos mal hechos, es hacer siempre bien las cosas a la primera vez; esto es calidad; es prevenir errores, no cometerlos para luego detectarlos.

4.-El construir con calidad es la única manera de ser competitivos y permanecer en el mercado.

5.-La calidad empieza por la educación y termina con la muerte.

El hacer las cosas bien a la primera vez implica una capacitación en técnicas modernas de calidad, que son la herramienta fundamental para prevenir errores, a través del autocontrol, a fin de determinar y corregir las causas oportunamente.

Existen las técnicas conocidas como "Control Estadístico de la Calidad" y que fueron publicadas por primera vez en 1931 por un investigador de los laboratorios de Teléfonos Bell, Dr. Walter A. Shewart. La estadística, desde su establecimiento en Francia a fines del siglo XVII por Blas Pascal, tuvo aureola de complejidad y poco de práctica. Shewart, sin lugar a dudas, con sus "Gráficas de Control" ha desarrollado una arma poderosa y a la vez sencilla, lo cual nos permite:

- a) Conocer las causas de problemas y corregirlas, manteniendo así los procesos y trabajos bajo control
- b) Entender a personas, procesos y máquinas, pues de otra manera somos sordos a todos ellos.
- c) Definir comunicaciones en lenguaje desprovisto de subjetividades y adivinanzas (yo creo, yo pienso, mi experiencia me dice, mis conocimientos me dicen, etc.)
- d) Averiguar los límites de variabilidad de procesos de maquinaria, materias primas y servicios, a fin de satisfacer expectativas de los usuarios (esto conduce al concepto de "habilidad").
- e) Nos permite, en conclusión, llevar a cabo una administración básica en metodología científica y en el respeto al ser humano, buscando siempre la mejora que nunca termina. Sólo procesos y productos que están bajo control pueden ser susceptibles de mejorarse.
- f) La calidad significa una variabilidad controlada y luego mejorada; y ésta no puede darse con insumos de variabilidad no controlada.

Por consiguiente, calidad es principio y fin de toda actividad humana. Consiste en entender que nuestra misión en la tierra es servir, "darnos" en la mejor forma posible y considerar que todos los demás recursos (económicos, conocimientos, etc.) sólo son herramientas. Mientras el cambio no se dé personalmente, ni la tecnología ni la herramienta estadística servirán de algo.

2.2 NIVEL DE CALIDAD

Cuando se concibe y desarrolla un Proyecto, el proyectista debe establecer con toda claridad el Nivel de Calidad que debe asegurar el constructor de la obra.

El Nivel de Calidad implica establecer el criterio de aceptación y rechazo, mediante el valor medio de la característica a medir y su desviación estándar o coeficiente de variación (como medidas de dispersión de valores, con respecto al medio), así como la probabilidad de falla en los ensayos (cada ensayo es el promedio de 2 valores, como mínimo, de la característica medida).

Se puede establecer que el control de calidad es un sistema integrado de actividades, factores, influencias, procedimientos, equipos y materiales, que afectan al establecimiento y posteriormente al logro del Nivel de Calidad estipulado, para que una obra cumpla con su propósito. En este sistema intervienen, entre otros, el proyectista, el supervisor y el constructor.

2.3 CARACTERÍSTICAS A MEDIR

Existen las características básicas y las secundarias a éstas. Entre las características básicas se tienen, por ejemplo:

2.3.1 Materiales Para Terracerías

Las terracerías se construyen, en su gran mayoría, con los suelos del terreno en el cual se aloja la carretera, formándose cortes y terraplenes; sin embargo, en terreno plano generalmente se requiere una rasante a un nivel más elevado, lo que da lugar a la formación de terraplenes en longitudes considerables y el material necesario se toma de zonas lo más cercanas posibles, denominándose bancos de préstamo.

La distancia a la cual se fijan dichos bancos de préstamo debe ser mínima y se establece para cada proyecto en particular. En otras ocasiones, bien sea por que el proyecto prevé préstamos de ajuste, o bien por que el material encontrado no reúne las características adecuadas, se fijan bancos de préstamo más alejados, cuya ubicación queda supeditada a diversos factores de carácter técnico y económico. Esta situación también se presenta cuando se requiere material para formar la capa sustrante o capa superior de las terracerías, cuya construcción demanda materiales seleccionados.

2.3.1.1 Contenido de Agua o Humedad (w)

Es la relación entre el peso del agua contenida en el suelo (W_w) y el peso de su fase sólida (W_s), expresada en porcentaje:

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

2.3.1.2 Grado de Saturación (S_r)

Es la relación entre el volumen de agua (V_w) y el volumen de vacíos (V_v), expresada en porcentaje:

$$S_r = \frac{V_w}{V_v}$$

2.3.1.3 Peso Volumétrico Seco (γ_d)

Es la relación entre el peso de los sólidos contenidos en el suelo (W_s) y el volumen total de la masa de suelo (V_T), expresada en porcentaje:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V_T}$$

2.3.1.4 Peso Específico de Sólidos (γ_s)

Es una característica física de la roca que depende de la composición mineralógica y de su textura.

El peso específico real sería la media del peso específico de cada una de las partículas que componen la roca, determinado aisladamente. En la práctica se obtiene el peso específico aparente de los fragmentos de la roca, en cuya determinación se hace caso omiso de los huecos que tenga el material interiormente y, por lo tanto, variará en más o en menos, según la compacidad del material y el tamaño de las partículas que se empleen. Dentro de esta determinación hay variantes, según se consideren o no los huecos internos o los superficiales a los que tiene acceso el agua; se pueden obtener pesos específicos como los siguientes: aparente con agregado seco, aparente con agregado saturado y superficie seco y real (sin saturar la superficie). La expresión general es la siguiente:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

2.3.1.5 Relación de Vacíos (e)

Es la relación entre el volumen de la parte líquida más la gaseosa (volumen de vacíos, V_v) y el volumen de sólidos (V_s).

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

2.3.1.6 Porosidad de la mezcla (n)

Es la relación entre el volumen de vacíos (V_v) y el volumen total (V_T).

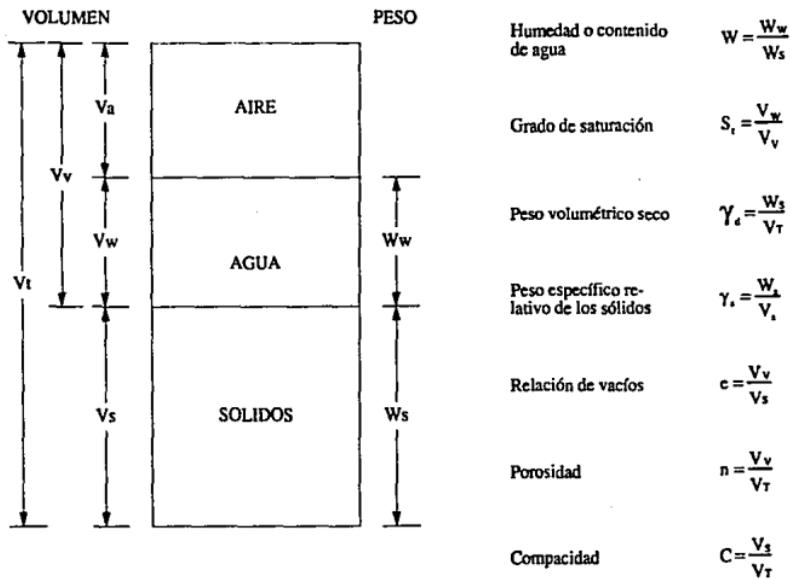
$$n = \frac{V_v}{V_T}$$

2.3.1.7 Compacidad (C)

Es la relación que existe entre el volumen de sólidos (V_s) y el volumen total (V_T), expresada en porcentaje:

$$C = \frac{V_s}{V_T}$$

En la lámina Nº 1 se ilustran gráficamente las definiciones básicas de mecánica de suelos que hemos mencionado.



DEFINICIONES FUNDAMENTALES

Entre otras características, las siguientes son las más importantes en lo que se refiere al tema de esta tesis:

2.3.1.8 Composición granulométrica (granulometría)

El análisis granulométrico de un suelo tiene por objeto comprobar si la proporción de los distintos tamaños (composición granulométrica) es la debida para ajustarse al fin que se destine. La graduación de los tamaños entre límites determinados tiene gran importancia para la calidad de las diferentes capas de terracerías y/o pavimentos y es prescripción que se impone en los distintos pliegos de condiciones (documentos de concurso) para cada tipo de utilización. En general, la granulometría se refiere a la determinación de los tamaños de las partículas que forman el suelo, por el procedimiento de cribado; es decir, tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y pesando las porciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos como porcentajes de la muestra total, para obtener su composición granulométrica.

Con este procedimiento, es posible clasificar las partículas hasta un tamaño de 74 micras o milésimas de milímetro, que corresponde a la abertura de la malla N° 200.

La granulometría de un material representa gráfica o numéricamente la distribución de los diferentes tamaños de partículas que la componen. Se acostumbra trazar la línea que representa la composición granulométrica en una gráfica semilogarítmica, cuyas abscisas son las aberturas de las mallas en escala logarítmica y las ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas, a escala aritmética.

En general, una sucesión adecuada de tamaños proporciona una buena estabilidad del material porque reduce la cantidad de vacíos al permitir que los huecos dejados por las partículas mayores los ocupen las partículas de tamaños menores. Sin embargo con las granulometrías discontinuas se logran mayores compacidades que con las continuas.

La determinación de tamaños de las partículas que se realiza por medio de cribas y, en el caso de que dichas partículas tengan forma de placa o aguja, presentarán una gran cantidad de vacíos, aunque su curva granulométrica indique lo contrario.

2.3.1.9 Límites de consistencia

Esta característica tiene por objeto determinar la plasticidad de la porción del material que pasa la malla Nº 40 en un suelo, entendiéndose por plasticidad la propiedad que tienen las arcillas de cambiar su forma sin agrietarse, cuando se les amasa. Se acostumbra llamar "arcilla" a las partículas que tienen un diámetro menor de 0.006 de milímetro (6 micras) y presentan además la propiedad de ser plásticas cuando se encuentran con cierto grado de humedad.

La porción de suelo que pasa la malla Nº 40 (0.42 mm), presenta una consistencia plástica, para humedades comprendidas entre dos valores extremos: el límite plástico (LP) y el límite líquido (LL), cuya amplitud se mide por el índice plástico (I_p).

2.3.1.9.1 Límite líquido (LL)

El límite líquido de un suelo se define como el contenido de agua en el cual se considera que existe una división entre la consistencia plástica y la semilíquida. En suelos de características arenosas, el límite líquido se expresa por la humedad que contiene el suelo en el estado que separa las consistencias plástica y semilíquida.

2.3.1.9.2 Límite Plástico (LP)

El límite plástico es el contenido de agua correspondiente al estado en que se considera que existe división entre las consistencias plástica y semisólida de un suelo.

En los suelos de características arenosas, el límite plástico coincide con el límite líquido.

2.3.1.9.3 Índice Plástico (I_p)

El índice plástico o índice de plasticidad es la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico del suelo.

$$I_p = LL - LP$$

2.3.1.10 Contracción lineal

La contracción lineal de un suelo es la reducción de volumen del mismo, medida en una de sus dimensiones y expresada como porcentaje de la dimensión original, cuando la humedad se reduce desde la correspondiente al límite líquido hasta la del límite de contracción. Puede observarse que los suelos de alto índice plástico se afectan notablemente por la variación en su humedad, ya que aumentan de volumen con incrementos de humedad y se contraen cuando ésta disminuye. Estos cambios volumétricos perjudican la estabilidad de la terracería, puesto que durante la sequía, cuando disminuya la humedad, se producen contracciones en el material que dan lugar a la formación de grietas, que son entrada fácil del agua durante la temporada de lluvias con la consiguiente pérdida de resistencia.

Los suelos de características arenosas no presentan consistencia plástica y pasan de la consistencia semisólida a la consistencia semilíquida, en cuyo caso el límite líquido constituye la separación entre ambas consistencias. Se aclara que entre las consistencias plástica y semilíquida existe una zona de transición; el límite líquido es una forma arbitraria pero práctica de hacer la separación entre ambas consistencias.

Un límite líquido alto se obtiene por la presencia de partículas finas con una gran superficie total y numerosos huecos capilares que requieren gran cantidad de agua, condición que tiende a producir baja resistencia.

La contracción lineal es una función de la plasticidad del suelo y es nula para los suelos que tienen características arenosas, aumentando a medida que el suelo es más plástico.

2.3.1.11 Compactación

Es la determinación del peso por unidad de volumen de un suelo que ha sido compactado por un procedimiento definido, para distintos contenidos de agua.

La prueba tiene dos objetivos principales:

- a) Determinar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material y la humedad óptima a que deberá compactarse.
- b) Determinar el grado de compactación que alcanza el material durante la construcción relacionando el peso volumétrico máximo.

La prueba de compactación reproduce en el laboratorio el tipo de compactación que se logra con los rodillos "pata de cabra" y los rodillos lisos (fijos o vibratorios). En los suelos, la humedad proporciona una lubricación entre sus partículas que les permite cierto acomodo cuando se compactan; con el mismo esfuerzo de compactación los incrementos de humedad permiten un mejor acomodo de las partículas produciendo un mayor peso volumétrico cuando se tiene cierta humedad denominada "Humedad Óptima", a lo cual debe tenderse en la obra para lograr una adecuada compactación.

La prueba se limita a los suelos que pasan totalmente por la malla N° 4 ó cuando más contenga un 10 % de retenido en esta malla, pero pasando en su totalidad por la malla de 3/8" (9.52 mm). No se utiliza para materiales tales como arenas de río, arenas de mina o producto de trituración, tezontles francamente arenosos y en general para todos aquellos materiales que carecen de cementación, debido a sus resultados inciertos, ya que dichos materiales (una vez satisfecha su absorción) no retienen el agua agregada y se escurre al fondo del molde de prueba.

2.3.2 Materiales Para Sub-bases y Bases de Pavimentación

Son materiales pétreos seleccionados por sus características físicas para emplearse en las capas de sub-base y de base.

Generalmente se obtienen de bancos cercanos a la obra y pueden utilizarse en su estado natural o después de sujetarse a tratamientos tales como la eliminación a mano de fragmentos gruesos, disgregado, trituración, molienda, lavado y mezcla con otros materiales que mejoren sus características. Las principales fuentes son los playones de ríos y arroyos, depósitos de arrastre fluvial, glacial o eyección de los volcanes, mantos y fragmentos de roca.

2.3.2.1 Características Generales

En el caso de las capas de sub-base y base se deben de tener en cuenta algunas propiedades que ya mencionamos para el caso de las terracerías, como son:

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| a) Contenido de agua | f) Porosidad |
| b) Grado de saturación | g) Compacidad |
| c) Peso volumétrico seco | h) Composición granulométrica |
| d) Peso específico | i) Compactación |
| e) Relación de vacíos | |

2.3.3 Materiales Pétreos para Carpetas Asfálticas

En términos generales, estos materiales se obtienen de bancos cercanos a la obra y requieren tratamientos similares a los que se aplican a los materiales para sub-base y base; sin embargo, los materiales pétreos para carpetas asfálticas son más seleccionados y sus requisitos tienen una calidad más estricta.

2.3.3.1 Características Generales

En el caso de los materiales pétreos para carpetas asfálticas se deben de tener en cuenta algunas propiedades que ya mencionamos para el caso de las terracerías y las capas de pavimento de sub-base y base, como son:

- a) Contenido de humedad
- b) Grado de saturación
- c) Peso volumétrico seco
- d) Peso específico

2.3.3.2 Composición Granulométrica

En términos generales se realiza esta prueba de manera similar a la que se lleva a cabo sobre los materiales de terracerías, sub-base y base, pero en este caso se tienen algunas modalidades que se describen a continuación:

- a) Sobre el material original o en su estado natural, se hace la determinación granulométrica a fin de comparar la granulometría con la que se proyecta la carpeta, de manera que

con ello se define el tratamiento a que se sujetará dicho material original. Tratándose de rocas es necesario someterlas al tratamiento de trituración, de preferencia en un equipo semejante al que se va utilizar en la obra, con el fin de tener idea de la composición granulométrica que se puede obtener y la forma en que rompe el material.

b) En una planta de trituración o cribado, la determinación de la composición granulométrica tiene por objeto llevar a cabo un control del material producido tanto para su uso en mezclas asfálticas como en tratamientos superficiales. También cuando el material se clasifica en diferentes tamaños, la granulometría de cada uno de ellos se requiere para hacer la dosificación y obtener la granulometría de proyecto.

c) En la planta de mezclado del material pétreo con el asfalto, o bien, en la carpeta asfáltica ya construida, en cuyo caso se determina la composición granulométrica para fines de comprobación, previa extracción del asfalto mediante métodos que describiré mas adelante.

2.3.3.3 Pruebas de Desgaste

La prueba de desgaste se lleva a cabo para conocer la calidad del material pétreo, en cuanto a su grado de alteración y planos de debilitamiento o cristalización que propician su desintegración.

Se realiza sobre muestras de roca triturada y grava de río triturada o sin triturar.

Cuando estos materiales son heterogéneos en cuanto a su sanidad, se efectúan pruebas tanto del material en conjunto, como separado en partículas sanas y alteradas.

2.3.3.4 Determinación de la pérdida por Intemperismo Acelerado

La prueba de intemperismo acelerado es un índice del grado de alteración que puede alcanzar el material pétreo por la acción de los agentes atmosféricos, lo cual resulta de gran valor cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones ambientales de la región.

Esta prueba se realiza solo cuando se tengan dudas de la calidad del material pétreo que se va a utilizar en la carpeta asfáltica y consiste en determinar la resistencia a la desintegración de dicho material pétreo, producida por los esfuerzos desarrollados al formarse cristales de sulfato de sodio o de magnesio en los huecos o fisuras de las partículas.

Para ello se utiliza una solución saturada de alguna de las sales mencionadas, en agua, de manera que no sólo se obtenga una saturación sino además la presencia en exceso de cristales al momento de hacer la prueba.

2.3.3.5 Pruebas de Afinidad entre el Material Pétreo y el Asfalto

Tiene por objeto determinar el grado de afinidad que existe entre la partícula de agregado pétreo y la película asfáltica que lo cubre, sobre todo cuando interviene el agua de lluvia que se introduce a la carpeta asfáltica. Cuando la partícula tiene mayor afinidad por el agua se desprende la película de asfalto quedando eliminada la adherencia entre ambos, lo que produce inestabilidad en la carpeta. Esta característica es debida a fenómenos de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua, que puede modificarse mediante el empleo de agentes químicos para mejorar la adherencia entre la película de asfalto y la partícula de agregado pétreo.

La falta de adherencia también es originada por la presencia de polvo adherido a la partícula que impide un contacto adecuado del asfalto, por lo cual se recomienda que la prueba se realice en las condiciones con que se pretende utilizar el material pétreo.

La adherencia también puede mejorarse mediante la trituración cuando los materiales pétreos son de caras lisas; desde luego también mediante el lavado para eliminar el polvo adherido. El cambio de producto asfáltico en ocasiones es un medio para mejorar la adherencia.

2.3.4 Asfaltos y Productos Asfálticos

Se entiende por asfalto el residuo de la destilación del petróleo de base asfáltica, que frecuentemente se denomina cemento asfáltico para uso en obras de pavimentación.

Los productos asfálticos se refieren a la mezcla de solventes y asfaltos o emulsiones de asfalto y agua; en el primer caso se obtienen los asfaltos rebajados de los cuales los que mayor uso tienen en las obras de pavimentación son los asfaltos rebajados de fraguado rápido (F.R.) cuyo solvente es la gasolina o nafta y los asfaltos rebajados de fraguado medio (F.M.) cuyo solvente es la kerosina. En el segundo caso se obtienen las emulsiones asfálticas aniónicas o catiónicas, de acuerdo con la carga eléctrica que adquiere la superficie de los glóbulos de asfalto, a través del emulsificante.

Las emulsiones asfálticas son dispersiones de glóbulos de asfalto en agua, es decir, la fase dispersa es el asfalto y la fase continua es el agua; para que la dispersión sea posible se requiere de un emulsificante o agente químico que al rodear el glóbulo de asfalto se convierte en una película protectora que impide la floculación de los glóbulos.

2.3.4.1 Características Generales

En el caso de los asfaltos y productos asfálticos estas características se deben de tomar en cuenta para reducir riesgos en su utilización y mejorar su comportamiento. Las más importantes son:

- a) Punto de ignición.- Tiene por objeto determinar la temperatura crítica para tomar precauciones que reduzcan o eliminen el peligro de incendio durante el calentamiento y manipulación de un producto asfáltico.

- b) Determinación de la viscosidad.- Su objetivo es determinar el grado de fluidez de un asfalto líquido a una determinada temperatura y por consiguiente su manejabilidad. La viscosidad disminuye a medida que aumenta la temperatura.

- c) Destilación de asfaltos rebajados.-Su objetivo es determinar la cantidad de solvente y conocer sus características relativas a volatilización. Al residuo de la destilación se la verifican pruebas de penetración o flotación, ductilidad y solubilidad.

- d) Determinación del contenido de agua de asfaltos rebajados.- Esto tiene por objeto determinar el contenido de agua en asfaltos rebajados, cuya presencia se debe principalmente a deficiencias en el almacenamiento.

- e) Determinación del punto de reblandecimiento de cementos asfálticos.-El cemento asfáltico no se reblandece a una temperatura bien definida, sino que lo hace gradualmente a medida que aumenta la temperatura hasta que tiene la fluidez de un líquido; por tal motivo la determinación del punto de reblandecimiento se efectúa por medio de un método arbitrario que permite obtener datos comparativos.

f) Pruebas de asentamiento en emulsiones asfálticas. - Esto tiene por objeto establecer un índice de estabilidad que la emulsiones tienen para soportar un almacenamiento prolongado y se realiza en un período de cinco días.

g) Pruebas de demulsibilidad en emulsiones asfálticas. - El objeto de esta prueba es obtener un índice de la estabilidad de las emulsiones asfálticas de rompimiento rápido y medio.

h) Determinación del retenido en la malla Nº 20 en emulsiones asfálticas. - El objeto de esta prueba es detectar la presencia de grumos de asfalto en la emulsión que tapen las espreas de la máquina distribuidora a presión.

i) Prueba de miscibilidad con cemento en emulsiones asfálticas de rompimiento lento. - Tiene como objetivo determinar la resistencia a la coagulación de las emulsiones de rompimiento lento, en la misma forma es un índice de su estabilidad.

j) Prueba de destilación en emulsiones asfálticas de rompimiento lento. - En esta prueba se determina el contenido de agua en las emulsiones asfálticas y se obtiene el residuo asfáltico para efectuar las pruebas de penetración y ductilidad.

2.3.5 Mezclas y Carpetas Asfálticas

Las carpetas asfálticas se pueden construir por el sistema de riegos, es decir, mediante uno, dos, o tres riegos de materiales asfálticos, cubiertos sucesivamente con capas de materiales pétreos de diferentes tamaños; se pueden construir también por el sistema de mezcla en el lugar, es

decir en la propia autopista, mediante el mezclado, tendido y compactación de materiales pétreos con un material asfáltico; y también por el sistema de mezclas elaboradas en caliente en una planta estacionara, utilizando exclusivamente cemento asfáltico.

En el sistema de riegos y mezcla en el lugar se utilizan, asfaltos rebajados y emulsiones asfálticas.

2.3.5.1 Método de Marshall para la determinación de los Valores de Estabilidad y de Flujo en Mezclas Asfálticas

Este método se utiliza en el proyecto y en el control de la elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta estacionaria, en caliente, utilizando cemento asfáltico.

La estabilidad y el flujo se determinan sobre especímenes cilíndricos de mezcla asfáltica, compactados axialmente con un sistema determinado y probados a temperatura de 60°C; la estabilidad es la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada normalmente a su eje y el flujo es la deformación vertical producida por dicha carga.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la carpeta asfáltica y el valor de flujo es una medición de la resistencia que ofrece dicha carpeta a la deformación bajo la acción de las cargas de los vehículos.

2.3.5.2 Permeabilidad en Carpetas

Tiene como objetivo determinar la posibilidad de que el agua de lluvia o escurrimientos superficiales de agua, penetren a través de las grietas o intersticios de la carpeta asfáltica con el consiguiente efecto perjudicial.

2.3.5.3 Contenido de Asfalto en Mezclas y Carpetas construidas

El objetivo de esta característica es el de llegar a calcular un cierto porcentaje de contenido de asfalto en la mezcla para los diferentes agregados pétreos que se vayan a utilizar con el fin de lograr una mejor estabilidad y flujo.

2.3.5.4 Determinación de la Humedad y de los Solventes en Mezclas Asfálticas

El objetivo de esta prueba es determinar el momento en que la mezcla tiene la consistencia adecuada para su tendido y compactación, cuando se utilizan asfaltos rebajados. Además del contenido de agua que no debe exceder de ciertos límites.

Capítulo III: ETAPAS DEL CONTROL DE CALIDAD

3.1 Generalidades

El control de calidad implica un mecanismo ágil y oportuno que permita asegurar el nivel de calidad establecido. Para esto, se presentan tres etapas básicas que son :

- a) Etapa de previsión
- b) Etapa de acción
- c) Etapa de historia

3.2 Etapa de Previsión

Se refiere al control de materiales antes de la construcción de algún elemento o estructura, para luego aceptarlos como ingredientes separados. Es muy conveniente que se acepten los materiales precisamente en la fuente de suministro, para evitar desperdicios de tiempo, dinero y energías humanas. ¿Para qué descartar un material al "pie de obra", cuando se sabe que "está mal" desde el origen? Si los materiales son aceptados antes de su transporte, deben también aceptarse en el sitio de la obra o planta, a no ser que sea contaminado con otros materiales, o materias extrañas, por descuido del constructor ; de ser así, se rechaza "por ignominia" hasta que se corrija en la obra (lavado, cribado, etc.).

Lo importante de la previsión del laboratorio estriba en tomar las medidas correctivas oportunas, para tratar de mantener el ingrediente dentro de la zona de aceptación. En caso de que la gráfica de tendencias entre a la zona de corrección, no debe suspenderse el proceso continuo (producción) hasta que entre marcadamente a la zona de rechazo.

Es en esta etapa donde se tienen estudiadas, con mucha antelación, las mezclas básicas para suelos o concretos (hidráulicos o asfálticos). Igualmente, la selección de equipo e instalaciones debe hacerse en esta etapa de previsión.

3.3 Etapa de Acción

Una vez que han sido aceptados los ingredientes en la etapa de previsión, se procede al mezclado de los mismos, para lo cual se necesita tener mucho cuidado. Esto corresponde a la etapa de acción.

Esta etapa se refiere al ajuste y control de materiales durante la construcción de algún elemento o estructura, para aceptarlos como ingredientes mezclados.

Por ser esta etapa de acción la que constituye el auténtico control de calidad, ágil y oportuno, a continuación se ejemplificarán ciertos casos:

a) Capas de suelo compactado.- Cuando se va construir una capa de base, sub-base o subrasante, una vez aprobados los materiales (etapa de previsión), se procede a seguir estrictamente las recomendaciones resultantes de un tramo de prueba, donde se conocerá el grado de homogeneidad esperado; es decir, que al alcanzar el espesor de capa suelta prefijado, con su humedad inicial ya incorporada al material, basta solamente dar el número de pasadas con el equipo compactador (de peso, velocidad y frecuencia de vibración definidos), para asegurar que la capa compacta tendrá el espesor, la compacidad, la humedad y el grado de saturación iniciales que requiere el proyecto.

Es aquí donde se debe tener extremo cuidado en el procedimiento constructivo, para que las cosas salgan bien. Una vez que se inicie el paso del equipo compactador y se sigan al pie de la letra las instrucciones que se den a los operadores y los sobrestantes, los resultados obtenidos tienen que ser exitosos; de no ser así, se harán ajustes posteriores en la capa sobreyacente, pero nunca debe levantarse una capa compactada que ha seguido un buen control en su formación. En otras palabras, al terminarse el proceso constructivo tiene que aceptarse el trabajo y no esperar a las pruebas de mañana, ya que se está invadiendo la etapa de historia.

En esta etapa de acción se utilizan equipos nucleares para el control de humedades y compacidades, por su respuesta casi inmediata.

b) Capas de concreto asfáltico.- Este caso es similar al anterior, sólo que más complicado y costoso. En lugar de agua para compactación se usa cemento asfáltico, pero caliente.

El control y ajuste de materiales es más delicado que en las mezclas de suelo con agua, ya que se requiere una planta especial para fabricar mezcla asfáltica "en caliente".

En resumen, no se va a levantar un tramo de carpeta asfáltica al día siguiente por que las pruebas no dieron. La aceptación se hace durante el proceso constructivo y no después, ya que esto sólo es historia, muy útil desde luego, pero para otros fines. El control de calidad se debe de llevar a cabo en el momento, mediante la utilización de equipos nucleares o nuevos procesos con un tiempo de respuesta inmediato, para poder reaccionar rápidamente.

c) Capas de concreto hidráulico.- También este caso es similar a los anteriores, con la salvedad de que el cementante y el agua inician su reacción química en el momento de mezclarse y ésta continúa hasta que el concreto llega a su madurez y endurecimiento total.

Quando se ha establecido toda la secuencia de actividades del proceso constructivo, al llegar a la etapa de acción, el concreto simplemente sigue al pie de la letra lo que nosotros le imponemos. La dosificación está super estudiada de antemano, a partir de una mezcla básica y durante los colados basta con asegurar la consistencia y la composición del concreto, mediante las pruebas de revenimiento y de inmersión, respectivamente.

La prueba de inmersión consiste en analizar rápidamente (20 minutos) el concreto tierno y comparar su composición con la mezcla de diseño. Si la dosificación real corresponde a la de diseño, podemos asegurar que la resistencia será alcanzada sin el mayor problema, o sea: el concreto se acepta de inmediato. No tenemos que esperar pruebas de "cilindros" a 28, ni a 7, ni a 24 horas o menos. Los equipos nucleares son auxiliares muy valiosos en el control de la relación agua/cemento y consumo unitario del cemento, ya que la respuesta es casi inmediata.

3.4 Etapa de Historia

La etapa de historia sirve para fines estadísticos y de retroalimentación.

Empieza desde que los ingredientes se mezclan y se transforman en otro material, y termina cuando nosotros lo queramos. Es muy importante para los informes de control estadístico de calidad y para el cobro de los servicios de ingeniería.

3.5 La Supervisión, "El eslabón perdido en las etapas de Control de Calidad"

Cuando hablamos de "Control de Calidad" no podemos olvidar a los supervisores, quienes en la mayoría de los casos son los encargados del cumplimiento del nivel de calidad. Tal parece que la anterior afirmación va en contra de lo que hemos tratado de explicar, en cuanto a que el control de calidad debe estar en cada una de las personas que tienen algo que ver con la obra realizada. Sin embargo, no podemos negar que es una realidad y por lo mismo debemos comenzar un cambio de mentalidad en la supervisión.

3.5.1 El problema de la supervisión

La mayoría de los supervisores en la construcción de autopistas en México tienen poca experiencia y algunos nunca fueron constructores. Debido a esto, muchos no tienen autoridad ni conocimiento y para que algo se haga tiene que ordenarlo el supervisor que tenga la mayor experiencia, ya que los primeros son inseguros y no toman decisiones, además de que le temen a los constructores experimentados.

Se les presenta un conflicto, de dualidad, pues ellos conviven con los constructores y se preguntan, cómo mandarlos, vigilarlos, castigarlos, sin que esto fuera visto como traición, ¿Cómo pueden seguir las órdenes de la empresa de "arrear" a los constructores, que no pierdan el tiempo, que construyan la autopista a buen ritmo y con el nivel de calidad preestablecido? "son supervisores, no capataces".

Por si fuera poco, después del trabajo en campo, tienen que hacer trabajo de papeleo, como resúmenes ejecutivos de la bitácora, informes de avance, revisión de pruebas de control de calidad y sus resultados (Etapa de Historia), etc.

Además, ellos son ahora vigilados por los constructores, pues saben perfectamente donde están y a qué hora van a ir a "cuidarlos". Y con todo esto, todavía les pedimos que actúen en las etapas de previsión y acción, pensando que este problema desaparecerá con más supervisores o ayudantes.

Es ahora cuando hay que cambiar, para que todos nos hagamos más responsables y no sólo nos acostumbremos al supervisor que manda. Es tiempo de estar comprometidos e involucramos completamente con la calidad.

El involucrarse con la calidad considera tres elementos:

- a) Identificación del problema
- b) Provisión de soluciones alternativas
- c) Comunicación selectiva a través de la técnica del parafraseo

Identificar el problema puede ser definido como la adquisición de la habilidad de mirar por detrás de lo obvio, que incluye generalidades tales como los tratos de personalidades con nuestra gente. El objetivo es el de identificar el problema en una forma específica que directamente apunte a una acción y puntos específicos en el tiempo. Entonces, podríamos sugerir formas alternativas de comportamiento que son entendibles para el individuo. Ambos, el problema y la solución, deben estar claramente definidos para que el individuo pueda modificar su comportamiento y sea fácilmente observable.

El asesorar no es sólo cuestión de decir a las personas qué es lo que está mal con su comportamiento. Es un proceso de "dar y recibir" para lograr una buena comunicación y comprensión. Una técnica de asesoramiento hablado o parafraseado podrá sacar las percepciones de cada uno.

El parafraseo puede dar un entendimiento completo. El parafrasear es un modelo de comunicación que al principio parecerá incómodo y redundante. El concepto de parafrasear es el de repetir lo que un individuo le haya dicho, usando usted sus propias palabras y verificando un entendimiento similar.

Esto ayuda en la clarificación de la prioridad dada a objetivos conflictivos y da confianza entre las partes y eventualmente prepara la forma de apertura requerida para el cumplimiento en el nivel de calidad con el compromiso de todas las partes y en el tiempo que lo requiera (trabajar dentro de la etapa de acción).

Capítulo IV: ENFOQUE GEOTECNICO DE MATERIALES

4.1 GENERALIDADES:

Para el suscrito, el geotecnista en vías terrestres debe de tratar con tres materiales fundamentales, a saber:

- Suelo
- Concreto asfáltico
- Concreto hidráulico

Es posible unificar el comportamiento de estos materiales mediante la aplicación del concepto de compacidad, íntimamente relacionado con el contenido de líquido que se explicará a continuación, así como el grado de saturación. Todos estos conceptos están inspirados en los esquemas gravimétricos de la Mecánica de Suelos.

Desde el punto de vista geotécnico, es muy conveniente unificar el concepto estructural de los materiales, de acuerdo con las definiciones siguientes:

- a) Mezcla. - Es la reunión física de varios sólidos con un líquido y un gas, homogéneamente distribuidos por un proceso.
- b) Caso de un suelo. - La parte sólida se refiere a las partículas secas del suelo, incluyendo el agua molecular absorbida. La parte líquida corresponde al agua libre o a la capilar. La parte gaseosa se refiere a los vacíos llenos de aire o cualquier otro gas.
- c) Caso de un concreto asfáltico. - La parte sólida corresponde a las partículas de agregado grueso y fino, totalmente secas. La parte líquida consiste en el cemento asfáltico puro. La parte gaseosa se refiere a los huecos llenos de aire o de gas.

Téngase presente que, realmente, la parte líquida puede ser semilíquida, semisólida o sólida, según la "vida" del concreto asfáltico o las condiciones climatológicas actuantes.

d) Caso de un concreto hidráulico.- La parte sólida está constituida por el cementante (cemento Portland y puzolana o ceniza volante) y por los agregados grueso y fino, totalmente saturados y superficialmente secos; el agua incluida dentro de las partículas es únicamente la de absorción. La parte líquida corresponde al agua de mezclado, la cual se combinará con el cementante. Algunos aditivos pueden quedar incluidos en esta parte líquida. La parte gaseosa se refiere a las burbujas de aire incluidas ex profeso o generadas durante el mezclado.

Es importante considerar que la concepción de las partes sólida, líquida y gaseosa, en el concreto hidráulico, es válida solamente para el concreto tierno, ya que una vez que se han iniciado las reacciones de fraguado, la parte líquida se transformará gradualmente en sólida y gaseosa.

4.1.1 Relación entre compactación, porosidad de la mezcla y relación de vacíos.

La compactación, la cual no es más que la relación que existe entre el volumen de sólidos y el volumen total de la masa del suelo, expresada en porcentaje, es un concepto muy útil y práctico en la solución de muchos de los problemas de la geotecnia.

La compactación (C) está ligada íntimamente con la porosidad (n) y la relación de vacíos (e), según se ilustra en la lámina N° 2. Además, hay otras relaciones importantes, como las ilustradas en la lámina N° 3, de las cuales se tomará la siguiente:

$$C = \frac{1}{1 + \left(G_s \times \frac{w}{S_r} \right)}$$

donde:

w = Humedad o contenido de agua, en %

S_r = Grado de saturación, en %

G_s = Peso específico relativo de los sólidos

C = Compacidad, en %

La ecuación anterior también se puede expresar de la siguiente forma:

$$C = \frac{\frac{S_r}{w}}{\frac{S_r}{w} + G_s}$$

Donde el factor (S_r / W) está estrechamente ligado con la succión (s) del suelo.

La representación gráfica de ésta fórmula se designa como el diagrama CAS (Compacidad - Contenido de Agua o Asfalto - Grado de Saturación). En la lámina N° 4 se presenta el caso para $G_s=2.75$.

Igualmente, en las láminas N° 5 y 6 se presentan diagramas gravimétricos con otros valores de G_s . En estos se demuestra que es posible ubicar el estado de un suelo en este gráfico adimensional ($C - S_r - w - G_s$). Los valores más altos de "C" corresponden a suelos muy compactos o a rocas blandas; o sea, queda incluida la transición entre el suelo y las rocas. La roca sana tiene un valor de $C= 100\%$; las lutitas blandas: 80 % a 90 %; los suelos compactos: 50% a 80% y los suelos sueltos: 30% a 50%. Estos valores son en forma muy general.

Como se expone en el párrafo anterior, no es necesario hacer referencia a pruebas o métodos convencionales como la prueba Proctor o la Porter con todas sus variantes.

El diagrama CAS tiene aplicaciones prácticas para muchos materiales, ya sean bases, sub-bases, carpetas, terracerías, cementantes hidráulicos, o bien, mezclas con agua o asfalto para aglutinar, ya que en dicho diagrama se pueden ubicar los estados o condiciones iniciales o finales de esos materiales y además se pueden trazar las curvas de igual propiedad.

Una aplicación importante del uso del diagrama gravimétrico es el de la estimación de cambios volumétricos, como se explica a continuación.

4.1.2 Cambios volumétricos por saturación

El cambio volumétrico que experimenta un suelo fino parcialmente saturado, al pasar de una condición gravimétrica inicial (i) a otra final (f), debido a la migración de agua entre las partículas sólidas del mismo, se puede expresar en las fórmulas indicadas en la lámina N° 7. Tomando la primera de éstas se tiene:

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta C}{\Delta C_f} = \frac{(C_i - C_f)}{C_f}$$

donde:

$(\Delta V/V_0)$ = Cambio volumétrico, en %

C_i = Compacidad inicial, en %

C_f = Compacidad final, en %

Supóngase una muestra de suelo en estado natural, con ciertas condiciones gravimétricas iniciales dadas (C_i , w_i). Si se permite que el suelo absorba toda el agua de que es capaz, bajo la presión de sobrecarga dada (p_g) o de confinamiento (σ_3), al cabo de cierto tiempo la muestra experimentará un cambio volumétrico unitario ($\Delta V/V_0$), cuyo valor máximo es posible estimar.

Cualquier cambio en la succión (s) del suelo conduce al movimiento de la humedad (w) de regiones con baja succión a otras con alta succión. Como resultado, la humedad se redistribuye hasta que un nuevo estado de equilibrio se establece; por lo tanto, la succión y no la humedad es la que controla el volumen y la dirección del flujo del suelo.

Por otro lado, las propiedades fundamentales que gobiernan el comportamiento "macroscópico" de un suelo compactado desde un punto de vista ingenieril, son las siguientes:

- 1.- La estabilidad volumétrica
- 2.- La resistencia al esfuerzo cortante

Ambas propiedades están estrechamente ligadas a las siguientes características:

- a) Contenido de agua (w), dependiente de la succión (s)
- b) Compacidad (C)
- c) Presiones de sobrecarga (p_s) o de confinamiento (σ_3)
- d) Estructura fabricada por el sistema de compactación
- e) Tiempo transcurrido

El efecto que estas características tiene en los cambios volumétricos de los suelos finos parcialmente saturados ha sido estudiado por diversos investigadores.

Desde el punto de vista de estabilidad volumétrica de un terraplén compactado, en el que el nivel de los esfuerzos internos actuantes es muy inferior al de la resistencia al esfuerzo cortante correspondiente, se presentan dos casos:

- 1.- Cuando hay cambios volumétricos debidos solamente a cambios de humedad.
- 2.- Cuando los cambios volumétricos obedecen a otros procesos, como el de consolidación.

En la lámina N° 8 se presenta en forma esquemática el fenómeno de la expansión libre, cuyo efecto contrario, la contracción libre, es también explicable. Se observa que la succión final (s_f) disminuye con relación a la inicial (s_i), aumentando la humedad y el grado de saturación hasta llegar a una compacidad final (C_f) menor que la inicial (C_i).

En el caso de que se permita el acceso de agua, pero se impida el cambio de volumen ($C_f = C_i$), es decir: $\Delta V/V_0 = 0$, se desarrollará una presión interna, cuya equilibrante es la presión externa definida como presión de expansión (lámina N° 9).

4.2 Pruebas Auxiliares del Control de Calidad

En toda obra de ingeniería es esencial el conocimiento de las características de los materiales que se utilizan, cuya determinación debe hacerse con una precisión razonable, en función de los medios disponibles y con la aproximación que se requiera.

Para este fin, se realizan ensayos o análisis sobre muestras de los materiales, cuya magnitud es reducida, en relación con el volumen total utilizado. Estas muestras deben ser representativas en alto grado y su obtención se sujeta a métodos bien definidos y comprobados con resultados confiables.

4.2.1 Determinación del Peso Volumétrico

Para hacer la determinación del peso volumétrico suelto, se toma por cuarteo una cantidad suficiente de muestra seca parcialmente y disgregada, colocándose a continuación sobre un recipiente cilíndrico de lámina, de 25.2 cm de diámetro por 20 cm de altura y dejando caer el material previamente mezclado, desde una altura de 20 cm que se verificará con la ayuda de una regla de esa longitud.

Se enrasa el recipiente con una regla y se pesa en una balanza con aproximación de un gramo y 20 kg de capacidad; a este peso se le descuenta la tara (peso del recipiente) y se divide entre el volumen del mismo que es de 10 lt, para obtener el peso volumétrico suelto. Este peso se corregirá por la humedad del material; el peso volumétrico suelto y seco se calcula aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_d = \frac{P}{V(1+w)}$$

En donde:

γ_d = Peso volumétrico suelto, en kg/m^3

P = Peso del material contenido en el recipiente, en kg

V = Volumen del recipiente o volumen del material, en m^3

w = Humedad del material, en %

La determinación del peso volumétrico seco en el lugar tiene su aplicación principal durante el control de compactación durante la construcción de la terracería y desde luego, para conocer el grado de compactación de las terracerías ya construidas. También se aplica para calcular el abudamiento de los suelos de los préstamos o bancos, al equipo de transporte o el terraplén.

Para hacer esta prueba se hace una pequeña excavación en el suelo cuyo peso volumétrico se desea determinar, utilizando una cuchara de albañil o espátula y una barreta de acero con un extremo terminado en punta y el otro a bisel plano; dicha excavación se procurará hacerla lo más regular posible, de sección sensiblemente circular o cuadrada, con las siguientes dimensiones aproximadas:

De 15 cm de diámetro o lado y 15 cm de profundidad, o bien de profundidad igual al espesor de la capa de suelo, para materiales finos que pasen por la malla N° 4 (4.76 mm).

De 25 cm de diámetro o de lado y de profundidad igual al espesor de la capa de suelo o de 20 cm para materiales de agregado grueso.

El material extraído de la excavación se pesa inmediatamente en una balanza de 20 kgs de capacidad y a continuación se toma una muestra para determinar su humedad en la forma ya indicada.

Cuando se trata de un material fino pero que contenga partículas mayores de 3/8" (9.5 mm) y cuando el suelo es granular con partículas mayores de 1" (2.5 cm), se hace la determinación del peso volumétrico del material que pase dichas mallas y todo el material extraído de la excavación se criba por las mallas correspondientes a los tamaños citados, según el caso, regresando a la excavación las partículas retenidas, a medida que se vacía la arena a dichas excavaciones, para medir únicamente el volumen del material cribado cuyo peso debe restringirse.

El volumen de la excavación se mide generalmente con arena lavada y clasificada entre mallas Nos. 20 y 30 (0.84 y 0.59 mm), en cantidad cuyo volumen sea mayor al de la excavación. Para ello se deja caer la arena desde una altura constante de 10 cm, cuyo control se hace con una regla de esa longitud; una vez que está a punto de llenarse la excavación, se nivela la arena hasta el borde superior dejando una superficie plana con ayuda de una regla.

Se anota el peso de la arena sobrante y por diferencia se obtiene el peso de la arena utilizada y se calcula el volumen de la excavación mediante la siguiente fórmula:

$$V = \frac{P_a}{\gamma_a}$$

En donde:

V = Volumen de la excavación, en metros cúbicos.

γ_a = Peso volumétrico de la arena en kilogramos por metro cúbico.

El peso volumétrico húmedo del suelo se calcula dividiendo el peso del material húmedo de excavación, entre el volumen de la misma.

$$\gamma_w = \frac{P_w}{V}$$

En donde:

γ_w = Peso volumétrico húmedo del suelo en kilogramos por metro cúbico.

P_w = Peso del material húmedo en kilogramos.

Una vez que se determina la humedad que contiene el suelo, se calcula el peso volumétrico seco mediante la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 + w} \times 100$$

En donde:

s = Peso volumétrico seco del suelo, en kilogramos por metro cúbico.

w = Humedad del suelo.

Se puede utilizar aceite en vez de arena y actualmente hay varios sistemas para medir el volumen de la excavación, a base de membranas de hule que se llenen de agua o de agua y aceite.

4.2.2 Determinación del Peso Específico

Esta determinación se puede hacer aisladamente sobre las partículas del material o bien formando un todo globalmente de manera que se tomen en cuenta los vacíos que se tienen cuando la granulometría no da lugar a estructuras densas. Asimismo, las propias partículas están formadas de rocas que tienen huecos y este peso específico puede ser aparente cuando se tomen en cuenta los vacíos saturados de agua o real en el caso de que se tomen en cuenta los vacíos saturados de agua o real en el caso de que se tome en cuenta sólo la materia sólida.

4.2.3 Determinación de la Composición Granulométrica

Esta prueba se refiere a la determinación de los tamaños de las partículas que forman el suelo, por el procedimiento de cribado, es decir, simiendo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada y pesando las porciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos como porcentajes de muestra total, para obtener su composición granulométrica.

Se acostumbra trazar la línea que representa la composición granulométrica, en una gráfica semilogarítmica, cuyas abscisas son las aberturas de las mallas en escala logarítmica y las ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas, a escala aritmética

Una sucesión adecuada de tamaños, proporciona una buena estabilidad del material porque se reduce al mínimo la cantidad de vacíos al permitir que los huecos dejados por las partículas mayores los ocupen las partículas de tamaños menores, en sucesión.

La determinación de tamaños de las partículas que se realiza por medio de cribas o mallas, nos da una idea de ellas, en dos dimensiones únicamente y en el caso de que dichas partículas afecten formas de placas o agujas, no obstante que su curva granulométrica indique una sucesión adecuada de tamaños, presentará una gran cantidad de vacíos.

Las aberturas de las mallas usuales para la determinación de la composición granulométrica, son las siguientes:

<u>Denominación</u>	<u>Abertura en mm</u>
3"	76.0
2"	50.8
1.5"	38.1
1"	25.4
3/4"	19.1
3/8"	9.52
Nº 4	4.76
Nº 10	2.00
Nº 20	0.84
Nº 40	0.42
Nº 60	0.25
Nº 100	0.149
Nº 200	0.074

Debido a que las mallas reducen notablemente su abertura a partir de la malla N° 4, la determinación de la composición granulométrica se hace primero en el material que retiene dicha malla, por medio de cribado seco, utilizando generalmente el material usado para la determinación del peso volumétrico suelto, cantidad en volumen de 10 lt.

Para ello se pesa la muestra y se cierne a través de las cribas de 2", 1-1/2", 1", 3/4", 3/8" y N° 4, impartiendoles un movimiento lateral y vertical, que produzca vibración para mantener el material en constante movimiento. Se pesa cada una de las porciones retenidas en las mallas citadas y también la porción que pasa por la malla N° 4.

A continuación se expresan cada uno de los pesos de las porciones mencionadas, como porcentajes del peso total de la muestra. En seguida se calcula el por ciento retenido acumulativo para cada malla sumando los porcentajes retenidos parciales a ella y de las mallas anteriores; estos porcentajes retenidos parciales de ella y de las mallas anteriores; estos porcentajes retenidos acumulativos se restan de 100 para obtener el porcentaje en peso de partículas que pasan por la misma.

4.2.4 Determinación de los Límites de Consistencia

4.2.4.1 Prueba para determinar el Límite Líquido

Se toma una porción de 150 gr aproximadamente, del material preparado en la forma indicada y se coloca en una cápsula de porcelana manipulándolo con una espátula, sin aplicar presión excesiva, para hacerlo homogéneo. En seguida se coloca en la copa de latón del aparato de Casagrande, en cantidad ligeramente excedida, de manera que al extenderlo por medio de la espátula, se tenga en el centro un espesor de 1 cm; el material se extiende del centro hacia las orillas y

una vez nivelado con la espátula, se procede a dividirlo en mitades utilizando un ranurador especial. En los materiales de características arenosas, se dificulta hacer la ranura en la forma usual, recomendándose hacer el corte de la ranura con sección en "V", utilizando la espátula y comprobando con el ranurador que la ranura es correcta.

Se acciona la manivela, que acoplada a un excéntrico hace que la copa de latón caiga desde una altura de un centímetro, a razón de dos golpes por segundo, el número necesario para que se logre una liga íntima de los bordes inferiores de la ranura, en una longitud de media pulgada (13 mm).

Si el número de golpes es superior a 25, la humedad de la muestra es inferior al límite líquido debiendo entonces retirarse el material de la copa, juntarlo al que se dejó en la cápsula de porcelana y agregarle una pequeña cantidad de agua con un gotero, manipulándolo con la espátula hasta lograr una distribución uniforme del agua agregada.

En el caso de que el número de golpes necesario para cerrar la ranura sea inferior a 25, nos está indicando una humedad superior al límite líquido y se requiere una reducción de la humedad por evaporación removiendo el material constantemente con la espátula. No debe agregarse material seco para disminuir la humedad.

La prueba se repite el número de veces necesario hasta lograr que con 25 golpes se cierre la ranura, de manera que la humedad que tiene la muestra en esas condiciones es la correspondiente al límite líquido. Para determinar dicha humedad, se toma una muestra del material que esta en el centro de la copa, se coloca en una cápsula de aluminio o en un vidrio de reloj y se pesa en una balanza con aproximación de un centésimo de gramo, secándola después durante 20 horas en un horno que mantenga la temperatura entre 100 y 110 °C y pesándola nuevamente después de enfriada.

La humedad se calcula con la siguiente fórmula:

$$w_1 = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_1} \times 100$$

En donde:

w_1 = Humedad del Límite Líquido

P_1 = Peso de la muestra húmeda más el peso del recipiente

P_2 = Peso de la muestra seca más el peso del recipiente

P_1 = Peso del recipiente

Con el fin de facilitar la ejecución de la prueba de Límite Líquido y para que los errores se reduzcan, es conveniente antes de hacer la prueba, verificar la altura de caída y el ajuste correcto de la copa. También deberá marcarse en dicha copa el nivel que debe tener el material para que su altura máxima sea precisamente de un cm, a fin de que se coloque un ligero exceso y no se tengan que colocar dos porciones. Para determinar con precisión la longitud en que se cierra la ranura, deberá separarse cuidadosamente el material con ayuda de la espátula a ambos lados de la parte central de la ranura, para dejar bien definida la zona en que hubo una verdadera liga del material de ambos bordes de la ranura en contacto inmediato con la copa de latón.

Es muy conveniente el uso de un cronómetro para asegurarse de que se dan dos golpes por segundo.

La copa y el ranurador deben limpiarse perfectamente después de cada determinación.

Cuando se observe que la copa o el ranurador, o ambos presentan desgaste debido al uso y sus dimensiones se hayan modificado, deberán desecharse de inmediato.

4.2.4.2 Prueba para determinar el Límite Plástico

Determinación del límite plástico para ejecutar esta prueba se toma una muestra del material tamizado por la malla N° 40 (0.42 mm), al cual se le agregó agua y se dejó reposar durante 24 horas, según se indicó en la determinación del límite líquido. Con esa muestra se forma una pequeña bola

de 12 mm de diámetro aproximadamente, que se moldea con los dedos dándole una forma cilíndrica, manipulando sobre la palma de la mano, aplicando con los dedos la presión necesaria para formar un cilindro que se coloca en una placa de vidrio y sobre la cual se continúa el rodillado ejerciendo una presión muy ligera con la palma de la mano hasta que el cilindro alcanza un diámetro ligeramente mayor de 1/8" de diámetro (3.2 mm).

El rodillado se continúa ahora utilizando una pequeña placa de vidrio de 11 cm x 11 cm x 0.6 cm, que lleva dos cinchos paralelos de alambre de 1/8" de diámetro, hasta alcanzar el diámetro indicado de 1/8". Si al alcanzarse este diámetro el cilindro no se rompe en varias secciones simultáneamente, su humedad es superior al límite plástico y entonces se junta todo el material hasta formar nuevamente una bola manipulando con los dedos para facilitar la pérdida de agua y la distribución uniforme de la humedad, volviendo a repetir todas las operaciones descritas el número de veces que sea necesario hasta que se produzca el rompimiento del cilindro en varios segmentos simultáneamente, al momento de alcanzar el diámetro de 1/8".

Todos los fragmentos en que se ha dividido el cilindro, se toman rápidamente y se colocan en un vidrio de reloj para determinar su humedad con el procedimiento que se describió para el límite líquido.

La humedad correspondiente al límite plástico se calcula con la fórmula:

$$w_p = \frac{P_1 - P_2}{P_2 - P_1} \times 100$$

En donde:

w_p = Humedad del límite plástico

P_1 = Peso de la muestra húmeda más peso del recipiente

P_2 = Peso de la muestra seca más peso del recipiente

P_1 = Peso del recipiente

Los suelos que no pueden rodillarse, es decir, formar cilindros del diámetro señalado con ningún contenido de humedad, se consideran como no plásticos.

Para evitar errores en la prueba, se debe limpiar perfectamente la placa de vidrio eliminando el material que se le adhiere.

4.2.4.3 Determinación del Índice Plástico

El índice plástico es la medida de la amplitud de la consistencia plástica del suelo y se expresa por la diferencia aritmética entre el límite líquido y el límite plástico.

$$I.P. = w_l - w_p$$

4.2.4.4 Determinación de la Contracción Lineal

Para esta determinación se utilizará el material que sobró de la prueba de límite líquido, inmediatamente después de terminada ésta, con el cual se llenará un molde de lámina galvanizada del N° 16 con dimensiones interiores de 10 x 2 x 2 cm que previamente ha sido engrasado interiormente para evitar que se adhiera el material a las paredes. Se llena en tres capas golpeándolo en cada ocasión contra una superficie dura, tomando de sus dos extremos en tal forma, que se deje caer con su base paralela a la superficie sobre la cual se golpea, para que reciba el impacto en toda su base.

Esa operación se continúa hasta la expulsión casi total del aire atrapado; al terminar, se enrasa el material en el molde utilizando una espátula y se deja secar al aire hasta que su color cambie de

oscuro a claro y a continuación se pondrá a secar en el horno por un período de 18 horas, aproximadamente y en seguida se medirá la longitud final de la barra de material seco y la longitud interior del molde, con un calibrador con Vernier tipo Mauser.

La contracción se calcula con la siguiente fórmula:

$$C.L. = \frac{L_1 - K_2}{L_1} \times 100$$

En donde:

C.L. = Porcentaje de contracción lineal, con respecto a la longitud original de la barra de suelo húmedo

L_1 = Longitud del molde o de la barra de suelo húmedo

L_2 = Longitud de la barra de suelo seco

4.2.5 Determinación de la Compactación en Suelos

Esta prueba también se conoce como prueba de compactación "Proctor".

La muestra para esta prueba es de 3 kg aproximadamente, obtenida por cuarteo, del material preparado en la forma descrita; se criba por la Malla N^o 10 disgregando los grumos retenidos para volverlos a cribar hasta que las partículas retenidas en dicha malla no sean disgregables.

Posteriormente se mezclará perfectamente todo el material adicionando la cantidad de agua necesaria para iniciar la prueba, de manera que una vez repartido uniformemente el material tenga una consistencia tal que al comprimirlo en la palma de la mano, no queden partículas adheridas en ella ni la humedad y al mismo tiempo el material comprimido pueda tomarse con los dedos sin que se desmenuce.

El material una vez que reúna las condiciones señaladas, se criba por la Malla N° 4, mezclándolo perfectamente, procediendo después a compactarlo en tres capas en un molde cilíndrico metálico de 4" (10.16 cm) de diámetro interior y 4.6" (11.68 cm) de altura, provisto de una base y de una extensión removible de 2 1/2" (6.35 cm) de altura; la compactación se produce con auxilio de un pisón metálico que pesa 2.5 kg y tiene 2" (5.08 cm) de diámetro en la superficie de apisonado, dejándolo caer de una altura de 30 cm mediante una gúfa que mantiene constante esa altura. Se apisona cada capa con treinta golpes repartidos uniformemente en la superficie.

Compactadas las tres capas se remueve la extensión del molde y se elimina el excedente del material enrasando con una regla metálica de arista afilada dejando una superficie regular; a continuación se pesa el molde con el material y se extrae una muestra pequeña del corazón del espécimen para determinar la humedad en la forma que ya se ha indicado. El material se remueve del molde y se desmenuza hasta que pase de nuevo por la Malla N° 4, agregando en seguida 60 cc de agua para proseguir el proceso descrito, que se repite hasta que la muestra del material se humedezca a tal grado que se presente una disminución apreciable en el peso de suelo húmedo compactado. Generalmente se repite el procedimiento cinco veces.

Se hacen los cálculos siguientes:

$$\gamma_w = \frac{P_1 - P_1}{V}$$

Donde:

γ_w = Peso volumétrico húmedo, en gramos sobre litro o kilogramos sobre metro cúbico.

P_1 = Peso del material compactado más peso del molde en gramos.

P_1 = Peso del molde en gramos.

V = Volumen del molde, en litros.

Se calcula el peso volumétrico seco aplicando la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 + w} \times 100$$

Siendo:

γ_s = Peso volumétrico seco, en gramos sobre litro o kilogramos sobre metro cúbico.

w = Humedad del espécimen compactado.

Con los pesos volumétricos secos y las humedades correspondientes se traza la curva peso volumétrico seco-humedad, en ejes cartesianos, con las humedades en el eje de abscisas a escala aritmética y los pesos volumétricos secos, en escala logarítmica. El punto superior de la curva representa el peso volumétrico seco máximo en las condiciones de la prueba. La humedad correspondiente la "Humedad óptima".

La curva de saturación teórica representa la humedad para cualquier peso volumétrico, que sería necesaria para que todos los vacíos que dejan entre sí las partículas sólidas estuvieran llenas de agua.

El peso volumétrico seco correspondiente a la curva de saturación teórica γ_c , para una humedad determinada, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\gamma_c = \frac{1000D}{100 + w \times D} \times 100$$

Siendo:

γ_c = Peso volumétrico seco de la curva de saturación teórica.

D = Densidad relativa del material que pasa la malla N° 4.

w = Humedad correspondiente a γ_c

En un suelo compactada, para un peso volumétrico seco cualquier γ_c y una humedad determinada, "w", se puede conocer el por ciento de huecos llenos de aire en función de la curva de saturación teórica con la siguiente fórmula:

$$V_a = 100 \times \left(1 - \frac{\gamma_s}{\gamma_c} \right)$$

Donde:

V_a = Volumen de los huecos llenos de aire, expresado en por ciento.

γ_s = Peso volumétrico seco del suelo compactado, correspondiente a una humedad W.

γ_c = Peso volumétrico seco sobre la curva teórica de saturación correspondiente a la humedad W.

Para los suelos de agregados gruesos hasta de 1" (2.54 cm), la diferencia que existe es respecto al tipo de compactación que ahora es estática. La humedad óptima es la humedad mínima requerida para alcanzar el peso volumétrico máximo cuando el suelo se compacta con una carga unitaria de 140.6 kg / cm².

Se procede incorporando cierta cantidad de agua, cuyo volumen se registra, a la muestra de 4 kg, distribuyéndola uniformemente para colocarla en tres capas dentro de un molde metálico cilíndrico de 6.2" (15.75 cm) de diámetro interior y 5" (12.70 cm) de altura provisto de una base y una extensión removible de 3" (7.62 cm) de altura, golpeando 25 veces cada capa con una varilla metálica de 3/4" (1.9 cm) de diámetro y 30 cm de altura con punta de bala.

Una vez colocada la última capa, se compactará el material aplicando carga uniforme y lenta en una máquina de compresión, mediante una placa circular con diámetro de 15.5 cm ligeramente inferior al diámetro interior del molde cilíndrico, hasta alcanzar la presión de 140 kg/cm² en un tiempo de cinco minutos; esta carga deberá mantenerse durante un minuto, procediendo después a descargar lentamente en otro minuto.

Si al llegar a la carga máxima, aproximadamente 27 toneladas, no se humedece la base del molde, la humedad del espécimen es inferior a la óptima. Se tomará otra porción de 4 kg y se le adicionará una cantidad de agua igual a la del espécimen anterior más 80 cm³, repitiendo el procedimiento. Si al aplicar la carga máxima se humedece la base del molde por haberse iniciado la expulsión del agua, el material se encuentra con humedad ligeramente mayor que la óptima.

Para fines prácticos se considera que se tiene humedad óptima cuando se inicia el humedecimiento de la base del molde.

Una vez conseguido lo anterior, se determina la altura del espécimen restando de la altura total del molde, la lectura obtenida de la superficie superior del espécimen al borde superior del molde, dato que servirá para calcular el volumen.

Se pesa a continuación el molde con el espécimen y se calcula el peso volumétrico con la siguiente fórmula:

$$\gamma_w = \frac{P_1 - P_1}{V}$$

Siendo:

γ_w = Peso volumétrico húmedo, en gramos sobre litro o kilogramos sobre metro cúbico.

P_1 = Peso del espécimen húmedo más el peso del molde en gramos.

P_1 = Peso del molde en gramos.

V= Volumen del espécimen, en litros.

Se extrae el espécimen del molde y se seca a una temperatura constante. Se deja enfriar y se pesa para calcular la humedad con la fórmula siguiente:

$$w = \frac{P_1 - P_1 - P_1}{P_s} \times 100$$

Siendo:

w = Contenido de humedad.

P_s = Peso del material seco en gramos.

El peso volumétrico seco se calculará con la fórmula:

$$\gamma_s = \frac{\gamma_w}{100 + w} \times 100$$

Siendo:

γ_s = Peso volumétrico seco, en gramos sobre litro o kilogramos sobre metro cúbico.

4.2.6 Pruebas de Valor Relativo de Soporte (VRS)

4.2.6.1 Prueba Estándar de Valor Relativo de Soporte (Prueba de "California" o "Porter")

Como ya he mencionado al principio de éste capítulo, cuando se habla de la compactidad y el diagrama CAS, afirmo que es mucho mejor usarlos en sustitución de las pruebas de VRS y Porter, en cualquier variante; sin embargo escribiré el procedimiento para hacerlas, debido más que nada por su gran popularidad.

El material para esta prueba es de tamaño máximo de 1", pero en este caso si la muestra original tiene un contenido menor del 15% en peso de material retenido en la Malla de 1" (2.54 cm), se utiliza el material que pasó dicha malla; cuando el retenido es mayor del 15 % se sustituye por una cantidad igual en peso de material pétreo que pase la malla de 1" y se retenga en la malla N° 4, que se tomará de otra muestra.

La prueba se realiza con una porción de 4 kg de material y consiste en medir la resistencia a la penetración de un espécimen compactado a la humedad óptima con una carga unitaria de 140.6 kg/cm², como se ha descrito, después de haberse saturado en agua hasta lograr su máxima expansión.

Antes de proceder a la saturación del espécimen, se le colocan una o dos hojas de papel filtro en la cara superior, en seguida se coloca una placa metálica circular perforada, provista de un vástago desplazable situado en el centro, sobre el que se apoya el "pie" de un extensómetro de carátula que está sostenido por un trípode metálico que a su vez se apoya sobre los bordes del molde.

Previamente se han colocado sobre la placa perforada, dos placas de carga metálicas y circulares, con diámetros ligeramente menor que el diámetro inferior del cilindro, con un orificio central de 5.2 cm de diámetro y peso total de 6 kg.

El espécimen preparado, en esa forma se introduce en un tanque con agua a nivel apropiado y se toma la lectura inicial del extensómetro, haciendo lecturas diarias hasta observar que cesa la expansión y se anota la lectura final del extensómetro, retirando el molde con el espécimen del tanque para someterlo a la prueba de penetración.

Generalmente el período de saturación varía de tres a cinco días.

La diferencia de lecturas del extensómetro, expresada en milímetros, se divide entre la altura del espécimen medida antes de su saturación, y el cociente multiplicado por cien es el valor de expansión.

Una vez que se ha extraído el molde del tanque de saturación, se remueve el tripie con el extensómetro y se voltea con todo cuidado apoyándolo horizontalmente sin quitar las placas de carga, dejándolo en esa posición durante tres minutos para que escurra el agua. En seguida se lleva a una máquina de compresión para sujetarla a la prueba de penetración, pero antes se remueve la placa perforada y el papel filtro volviendo a colocar nuevamente las placas de carga por cuyo orificio central pasa el cilindro de acero o aguja de penetración con sección de tres pulgadas cuadradas (19.35 cm^2) y se pone en contacto con la superficie del espécimen aplicando una carga inicial no mayor de 10 kg que permanece hasta que se ajusta en cero el extensómetro de carátula, que registra los desplazamientos de dicho cilindro o aguja de penetración.

Se aplica carga a continuación, en pequeños incrementos continuos, procurando que el cilindro se desplace 1.25 mm y se registran las cargas correspondientes a cada una de las penetraciones indicadas a continuación:

Aplicación	Tiempo (min)	Penetraciones	
		mm	Pulg.
1ª	1	1.27	0.05
2ª	2	2.54	0.10
3ª	3	3.81	0.15
4ª	4	5.08	0.20
5ª	6	7.62	0.30
6ª	8	10.16	0.40
7ª	10	12.70	0.50

La carga registrada para la segunda penetración, de 0.10 pulg. (2.54 mm) se expresa como porcentaje de una carga estándar de 1360 kg y si la prueba estuvo bien ejecutada el porcentaje así obtenido es el valor relativo de soporte (VRS), con los datos obtenidos se dibuja una curva-carga-penetración, en una gráfica cuyas abscisas son las penetraciones y las ordenadas las cargas registradas.

Con el resultado obtenido en esta prueba se clasifica el suelo usando la tabla siguiente:

<u>V.R.S.</u>	<u>Clasificación</u>
0 - 5	Subrasante muy mala
5 - 10	Subrasante mala o dudosa
10 - 20	Subrasante regular o buena
20 - 30	Subrasante muy buena
30 - 50	Sub-base buena
50 - 80	Base buena
80 - 100	Base muy buena

4.2.6.2 Prueba Modificada de Valor Relativo de Soporte para diferentes grados de compactación.

El material usado en esta prueba se obtiene en la misma forma descrita en las pruebas de compactación para suelos que pasan la malla N° 4 y suelos con agregados gruesos hasta de 1" (2.54 cm), pero en este último caso con la modalidad expresada en la prueba estándar de valor relativo de soporte, es decir, si la muestra original contiene menos de 15% en peso de material retenido en la malla de 1" (2.54 cm) se utiliza para la prueba el material cribado que pase por dicha malla cuando el material retenido en esa malla exceda de 15% se sustituye por una cantidad igual de material que pase la malla de 1" (2.54 cm) y se retenga en la malla N°4, que se tomará de otra muestra.

La cantidad de material necesario para efectuar la prueba es la siguiente:

Material que pasa Malla Nº 4	25 kg mín.
Material que pasa Malla de 1"	30 kg mín.

La prueba consiste en medir la resistencia a la penetración en especímenes de material que ha sido compactado a diferentes grados, con la humedad que más adelante se indica y el equipo que se utiliza es el mismo empleado para la prueba estándar de valor relativo de soporte.

Previamente a esta prueba, es necesario conocer los resultados de la prueba de compactación "Proctor" y "Porter" ya descritas, en lo que se refiere a los valores de peso volumétrico seco máximo y humedad óptima.

Para reproducir los grados de compactación las humedades de prueba se seleccionan aplicando el siguiente criterio:

En las terracerías bien construidas en regiones de precipitación pluvial media o baja, la humedad de prueba en todos los grados de compactación, será constante e igual a la humedad óptima. Esto se considera como variante Nº 1 de la prueba.

En todos los casos de precipitación alta, o en regiones de precipitación media o baja, con drenaje deficiente, con terraplenes bajos y cortes con filtraciones, la humedad de prueba será variable de acuerdo al grado de compactación. Esto constituye la variante Nº 2 de la prueba y puede expresarse de la siguiente manera:

Compactación en %	Humedad variante N°2
100	w_0
95	$w_0 + 1.5$
90 - 75	$w_0 + 3$

Siendo:

w_0 = Humedad óptima

Para suelos finos, en general no es conveniente reproducir compactaciones inferiores al 85 %, porque se tienen dificultades y errores en la ejecución de la prueba.

De acuerdo con la humedad y el grado de compactación que se desea reproducir, se principia determinando la humedad inicial que tiene el suelo preparado, procediendo en la forma descrita para determinaciones de humedad por secado en horno a temperaturas de 100-110 °C, preservando el material pétreo de cambios de humedad.

El agua que es necesario agregar al material pétreo, para que tenga la humedad de prueba, se calculará con la siguiente fórmula:

$$\text{Agua por agregar en cm}^3 = K \times \left(\frac{w_2 - w_1}{100 + w_1} \right)$$

En donde:

K_1 = Cantidad en gramos, de material con humedad w_1 . (generalmente 5000 gr.).

w_1 = Humedad que contiene el material.

w_2 = Humedad a que deberá hacerse la prueba, correspondiente al grado de compactación que desea reproducir.

La cantidad de material húmedo que se va a compactar, se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_w = \frac{\gamma_s}{100} \times \frac{100 + w_2}{100} \times 0.786 d^2 h$$

Siendo:

P_w = Peso de material húmedo en gramos, con la humedad de prueba

γ_s = Peso volumétrico seco, en kilogramos sobre metro cúbico, correspondiente al grado de compactación que se desea reproducir.

W_2 = Humedad de prueba.

d = Diámetro interior del cilindro de compactación, en cm.

h = Altura en cm que deberá tener el material ya compactado (altura del molde cilíndrico sin el collarín).

0.786 = Factor que corresponde a la constante $\pi/4$.

El cálculo anterior se hace para cada grado de compactación que se reproduzca.

El agua necesaria para lograr la humedad de prueba en el material pétreo o suelo, se incorpora en la forma ya descrita para las pruebas de compactación a continuación se introduce el material húmedo con el molde con el collarín puesto, en tres capas, a cada una de las cuales se le darán veinticinco golpes con la varilla metálica de 3/4" de diámetro y al terminar con la última capa se pesa el molde con el material para cerciorarse de que hubo pérdidas.

En seguida se coloca el molde en la máquina de prueba y se compacta el material con cargas aplicadas lentamente hasta alcanzar la altura "h" en el espécimen, lo cual se conoce midiendo la distancia "a" entre el borde superior del collarín y la cara superior de la placa de compactación, previamente calculada.

Cuando se logra que el espécimen tenga la altura mencionada, se mantiene la carga durante un minuto y a continuación se descarga lentamente permitiendo que el material reaccione aumentando el

volumen, cuyo incremento de altura o rebote debe medirse. Se compacta nuevamente el espécimen hasta obtener una altura ligeramente menor que "h", en aproximadamente la mitad del rebote, de manera que al descargar se alcance precisamente la altura "h", pero si no sucede así y la altura del espécimen es mayor se repite la operación hasta lograr la altura correcta. En caso de que la altura sea menor que "h", se repite el proceso con nuevo material.

Si la carga de compactación es mayor de cinco toneladas, la operación de descarga deberá hacerse una vez a cada cinco toneladas que se apliquen y al llegar a la altura "h" se procederá en la forma descrita. También, si al compactar el espécimen se inicia la expulsión de agua por la base del molde, al llegar a una altura ligeramente mayor que "h", se mantendrá constante la carga que se estaba aplicando hasta que la expulsión de agua disminuya notablemente; inmediatamente después se dará un pequeño incremento de carga y se prosigue la compactación. Si ocurre una expulsión de material, se desecha el espécimen, debiendo hacerse una comprobación de los cálculos para cerciorarse si no hay errores.

El espécimen ya compactado se sujeta a la prueba de penetración descrita en la prueba estándar de valor relativo de soporte, colocando previamente dos placas de carga con orificio central.

la carga registrada para la penetración de 0.1" (2.54 mm), se expresará como porcentaje de la carga estándar de 1360 kg y si la prueba se ejecutó correctamente, el porcentaje obtenido representará el valor relativo de soporte.

Una vez efectuada la prueba de penetración, se extrae el espécimen del molde y se toma una muestra del corazón o bien se seca todo el espécimen, a fin de hacer una comprobación de la humedad que contiene. De preferencia, deberán realizarse pruebas de penetración a los grados de compactación de 100%, 95%, 90% y 85% y en cada una de ellas se dibujan sus gráficas correspondientes.

4.2.6.3 Prueba Directa de Valor Relativo de Soporte

Esta prueba se utiliza para determinar el valor relativo de soporte en las capas de terracerías en especial en la capa subrasante, que han adquirido su humedad de equilibrio, también cuando se trata de materiales gruesos no cohesivos o que presentan condiciones críticas que deben estudiarse

La prueba consiste en hacer las penetraciones con el cilindro de acero o aguja de penetración ya descrita para la prueba estándar de valor relativo de soporte, accionada por un equipo portátil de carga; esencialmente es un gato hidráulico de tres toneladas de capacidad, que mide las cargas aplicadas con el auxilio de manómetros o anillos calibrados de suficiente aproximación para registrar cargas pequeñas hasta de 6 kg. Además de los extensómetros de carátula para medir el desplazamiento de la aguja de penetración se requiere el auxilio de un vehículo lastrado con peso total mínimo de 3/4 ton para apoyar el gato hidráulico y aplicar las cargas en la aguja de penetración; dicho vehículo se apoyará previamente en piezas de madera que impidan la acción de los muelles para que las cargas registradas sean directamente aplicadas al terreno.

En el sitio elegido para la prueba, se limpiará una superficie cuadrada de medio metro por lado, aproximadamente, eliminando con una pala la costra superior, para dejar al descubierto el material que no ha perdido su humedad, conformando la superficie de manera que quede plana y horizontal, cubriéndola en seguida con una manta húmeda en tanto se inicia la prueba.

Para iniciar la prueba se colocan dos placas de carga con orificio central en el lugar elegido y a continuación se instala el equipo de prueba en posición vertical, haciendo pasar el cilindro de penetración a través del orificio de las placas de carga; se pone en cero la carátula del extensómetro y se inicia la aplicación de cargas, con una velocidad de desplazamiento del pistón de 1.25 mm por minuto.

Se registran las cargas correspondientes a las penetraciones respectivas, ya indicadas en la prueba estándar de valor relativo de soporte, haciendo los cálculos y gráfica en forma también similar. Para complementar los resultados, se determina el peso volumétrico y la humedad que tiene el suelo en el lugar, siguiendo los métodos de prueba ya descritos para esos conceptos.

4.2.7 Prueba de Desgaste

La prueba de desgaste se lleva a cabo para conocer la calidad del material pétreo, en cuanto a su grado de alteración y planos de debilitamiento o cristalización que propician su desintegración.

Se realiza sobre muestras de roca triturada y grava de río triturada o sin triturar.

C

usando estos materiales son heterogéneos en cuanto a su sanidad, se efectúan pruebas tanto del material en conjunto, como separado en partículas sanas y alteradas.

La máquina de prueba se designa como máquina de desgaste "Los Angeles" y consiste en un cilindro hueco de acero, cerrado en ambos extremos, con diámetro interior de 28" (71.1 cm) y longitud de 20" (50.3 cm). Dicho cilindro está montado sobre un eje fijo a las bases, que no se proyecta al interior, de manera que pueda girar en una posición horizontal con velocidad angular de 30 a 33 revoluciones por minuto.

Está provisto de una abertura para introducir el material, que puede cerrarse herméticamente por medio de una cubierta dotada de pernos y diseñada de manera que conserve el contorno de la superficie interior.

El cilindro tiene una placa de acero en su interior, de 1" (2.5 cm) de espesor, que se proyecta radialmente 3 1/2" (8.9 cm) en toda la longitud el cilindro.

Para producir el desgaste se utilizan esferas de hierro fundido o de acero de 1 7/8" (4.76 cm) de diámetro y peso comprendido entre 390 y 445 gr.

La muestra de material pétreo que se va a ensayar, se lava para eliminar el polvo que lleva adherido en sus partículas, secándolo después en un horno a 100 - 110 °C; después se criba por las Mallas de 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", Núm. 3, Núm. 4, Núm. 8 y Núm. 12 para conocer su granulometría y se forma una graduación similar a las que se indican en el cuadro anexo, seleccionando la que más se asemeje a la granulometría de proyecto de la carpeta asfáltica; en todo caso se pueden tomar graduaciones gruesas y finas que en conjunto den la granulometría de proyecto, pero las pruebas se realizan por separado.

En el mismo cuadro anexo, también se indica la carga abrasiva a través del número de esferas y el número de revoluciones que debe darse al cilindro.

Se coloca el material pétreo con la cantidad de esferas fijadas y se da el número de revoluciones especificado después de lo cual se extrae el material pétreo del cilindro y se lava a través de la Malla Nº 12, secando el retenido en un horno y registrando su peso, P_f , una vez que se ha enfriado. La pérdida por desgaste se determina por medio de la fórmula:

$$\% \text{ desgaste} = ((P_i - P_f) / P_i) \times 100$$

En donde:

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

4.2.8 Determinación De La Pérdida Por Intemperismo Acelerado En Material Pétreo.

La prueba de intemperismo acelerado es un índice del grado de alteración que puede alcanzar el material pétreo por la acción de los agentes atmosféricos, lo cual resulta de gran valor cuando no se cuenta con información adecuada del comportamiento del material expuesto a las condiciones ambientales de la región.

Esta prueba se realiza solo cuando se tengan dudas de la calidad del material pétreo que se va a utilizar en la carpeta asfáltica y consiste en determinar la resistencia a la desintegración de dicho material pétreo, producida por los esfuerzos desarrollados al formarse cristales de sulfato de sodio o de magnesio en los huecos o fisuras de las partículas.

Para ello se utiliza una solución saturada de alguna de las dos sales mencionadas, en agua, de manera que no solo se obtenga una saturación sino además la presencia en exceso de cristales al momento de hacer la prueba. La disolución se hace a una temperatura de 25 a 30 °C por lo menos 48 hrs antes de iniciar la prueba y se agita perfectamente antes de emplearla.

Se recomienda emplear las siguientes cantidades de sal para asegurar la presencia de cristales en la solución:

Sulfato de sodio, si es anhidro, ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$)	350 gr/lit.
Sulfato de sodio con agua de cristalización ($\text{Na}_2 \text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$)	750 gr/lit.
Sulfato de magnesio (sal Epsom), ($\text{Mg SO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$)	1400 gr/lit.

Existen dos procedimientos de prueba, que tienen su aplicación dependiendo de la forma en que se presenta el material pétreo.

a) Para material graduado, en el cual la prueba se realiza sobre el material retenido en la Malla No. 4, determinándole su composición granulométrica por medio de las Mallas de 2", 1

1/2", 1", 3/4", 1/2". Núm. 4. Se separan las cantidades de muestras indicadas a continuación para cada uno de los tamaños que se ensayan individualmente.

Número	Cantidad
4 a 1/2"	300 gr.
1/2" a 3/4"	500 gr.
3/4" a 1 1/2"	1000 gr.
1" a 1 1/2"	1500 gr.
1 1/2" a 2"	1500 gr.

Cuando en la muestra original el material que pasa la Malla de 1" y se retiene en la Malla de 1/2" es menor del 55 del total del material retenido en la Malla No. 4, no se hace la prueba en ese tamaño y para cuantificar su pérdida por intemperismo se tomas el promedio obtenido de los tamaños inmediatos tanto anterior como posterior. Esto mismo se aplica para el material que pasa la Malla de 2" y se retiene en la de 1".

Las muestras de material de cada tamaño , previamente secadas al horno hasta peso constante se colocan por separado en charolas que tengan la solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, de manera que queden perfectamente cubiertas, manteniéndose por espacio de 16 a 18 hrs a una temperatura de 21 oC, después de lo cual se sacan de la charola, se dejan escurrir y se secan en el horno a temperatura de 100 - 110 °C, hasta peso constante; se dejan enfriar y se colocan nuevamente en el recipiente con solución de sulfato de sodio o de magnesio.

El ciclo anterior se repite cuatro veces más y al terminar el último se lavan las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio o de magnesio, secando después en el horno hasta peso constante.

Cada muestra se criba sobre la Malla de abertura inferior y se anota el peso retenido , cuya diferencia con el peso original expresada en porcentaje con respecto a este último, representa la pérdida por intemperismo acelerado de cada tamaño ensayado.

La pérdida total del material retenido en Malla N^o.4 se obtiene sumando los porcentajes individuales que se calculan multiplicando los porcentajes de material de cada tamaño ensayado por su pérdida y dividiendo entre cien.

4.2.9 Pruebas de Afinidad entre el material Pétreo y el Asfalto

Las pruebas para determinar la afinidad entre el material pétreo y el asfalto se realizan por los procesos de desprendimiento por fricción y pérdida de estabilidad por inmersión en agua; a continuación se describen los dos procesos:

a) En el proceso de desprendimiento por fricción, la prueba se puede hacer por operación manual o por operación mecánica.

La muestra del material que se ensaya, debe tener la cantidad de asfalto indicada en el proyecto de la carpeta asfáltica; los resultados del ensaye se comparan con los que registre una muestra testigo que tiene una buena afinidad con el asfalto.

La prueba se realiza por duplicado y con el fin de que no haya discrepancias en cuanto a granulometría y contenido de asfalto se preparan de la siguiente forma:

Se criba en seco el material pétreo a través de las malla de 1/2", 1/4", N^o 10 y N^o 40, para separarlo en diferentes tamaños, de manera que se tomen las cantidades necesarias de cada uno de ellos a fin de combinarlas para formar la granulometría de proyecto del material pétreo en cantidad total de 500 gr.

Si la carpeta se va a construir por el sistema de mezcla en planta estacionaria en-caliente, el material pétreo se calienta hasta una temperatura recomendable de aplicación.

En el caso de mezcla en el lugar o carpeta de riegos, el material pétreo se calienta a la temperatura que se estime factible en la obra y el producto asfáltico a la temperatura recomendable de aplicación.

Se preparan dos muestras con el contenido de asfalto de proyecto, dos muestras con el contenido de asfalto de proyecto más 0.5 % y dos muestras con el contenido de asfalto de proyecto, más 1.0 %. El producto asfáltico se agrega paulatinamente al material pétreo contenido en una charola de lámina, manipulando con una cuchara de albañil a fin de lograr una distribución uniforme y se tenga una película delgada de asfalto en el material pétreo.

Para la temperatura durante el proceso de incorporación será necesario colocar por breves instantes la charola con la mezcla asfáltica sobre una parrilla eléctrica o cualquier otra fuente de calor adecuada, procurando evitar un sobrecalentamiento que modifique las características del asfalto y que se exceda la temperatura de aplicación.

En los asfaltos rebajados, es necesario conocer la acción de los solventes sobre la adherencia entre el material pétreo y el asfalto, por lo cual una muestra se ensayará con el contenido de solventes, recomendable para facilitar las maniobras de tendido y compactación de la mezcla y otra eliminando la mayor parte de los solventes. La eliminación de éstos se hace colocando la charola en un horno con temperatura comprendida entre 40 y 50 °C, removiendo la mezcla con una cuchara de albañil y haciendo pesadas con frecuencia a fin de suspender la operación cuando se haya perdido la cantidad total de solventes prevista, cuyo peso se calcula conociendo la cantidad total de solventes contenida en un producto asfáltico mediante la prueba de destilación.

Una vez que se ha mezclado el material pétreo con el asfalto se dejan enfriar las muestras a temperatura ambiente y se toman porciones de 50 gr de la mezcla retenida en la Malla de 1/4" y 50 gr de la mezcla que pasa dicha malla, las cuales se colocan en frascos de vidrio con capacidad de 500 ml, agregándoles 200 ml de agua pura o destilada, tapándolos herméticamente y dejándolos en reposo durante 24 hr para que al terminar dicho lapso se observen con objeto de percatarse si no ha ocurrido un desprendimiento de la película en cuyo caso los frascos con su contenido se agitan vigorosamente por tres períodos de cinco minutos cada uno, examinándolos después de cada período.

La operación mecánica del agitado se efectúa en un aparato que hace girar los frascos a velocidad de cuarenta y cinco a cincuenta revoluciones por minuto, mediante la acción de un motor eléctrico.

Las muestras se sujetan a cuatro períodos de agitación de quince minutos cada uno, después de los cuales se hacen observaciones para ver si el desprendimiento de la película es tan evidente que no se requiera continuar con el proceso.

La calificación que se hace de la afinidad con el asfalto, es de apreciación visual. Si el comportamiento es semejante al del testigo o el desprendimiento no excede de un 10 % de la superficie del agregado, se califica como adherencia normal; si se estima que el desprendimiento ocurrió en una superficie que sobrepasa al 25 % de la superficie total del agregado se califica como baja adherencia y si está en una condición intermedia se califica como adherencia regular.

En estos dos últimos casos es conveniente mejorar la adherencia, ya sea mediante la adición de agentes químicos al asfalto, mediante lavado o trituración del material pétreo, o con cualquier otro método adecuado repitiendo nuevamente la prueba descrita para verificar si efectivamente se obtuvo una mejor adherencia.

b) En el proceso de pérdida de estabilidad por inmersión en agua, se elaboran seis especímenes cilíndricos de 4" (10.2 cm) de diámetro y 5" (12.7 cm) de altura en materiales pétreos con tamaño máximo de 3/8" (0.95 cm) y 5" (12.7 cm) de diámetro y 6 1/4" (15.9 cm) de altura para materiales pétreos con tamaño máximo superior a 3/8" (0.95 cm), en moldes metálicos de altura apropiada.

Dichos especímenes se compactan con carga estática generalmente, colocando la mezcla asfáltica, elaborada en la forma ya descrita para el proceso de desprendimiento por fricción, en tres capas aplicando a cada una 25 golpes de una varilla metálica de 3/4" de diámetro con punta de bala y en la última capa se compacta con una carga de 40 kg/cm² aplicada con máquina de compresión.

Los seis especímenes están fabricados de manera que dos de ellos tengan el contenido de asfalto de proyecto, otros dos con el contenido de asfalto de proyecto más 0.5 % y los otros dos con el contenido de asfalto de proyecto más 1 %. Generalmente se requieren 2 kg de mezcla para los especímenes de 5" de diámetro.

Una vez que los especímenes elaborados alcanzan la temperatura ambiente, se ensaya uno de cada contenido de asfalto a la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme y lentamente hasta la ruptura. Los especímenes restantes se colocan en el tanque de saturación permaneciendo sumergidos en agua durante cuatro días, después de lo cual se sacan del tanque y se prueban a la compresión.

Es importante que la temperatura de los especímenes sea la misma en ambos casos al hacer la prueba de compresión.

La resistencia unitaria de los especímenes saturados, se expresará la pérdida de estabilidad sufrida por el efecto de saturación.

Si la pérdida sufrida es superior a 25 % no debe esperarse un buen comportamiento de esta mezcla en la carpeta, por lo cual conviene hacer un estudio para mejorar la característica de afinidad con el asfalto, del material pétreo.

4.2.10 Método Marshall para la Determinación de los Valores de Estabilidad y de Flujo en Mezclas Asfálticas.

El equipo de prueba consiste de tres moldes de compactación provistos de un collarín y de una placa de base, de 4" (10.16 cm) de diámetro y 3" (7.62 cm) de altura; sostén para el molde de compactación, que consta de una base semicircular y un anillo superior que sostiene al molde en su lugar durante la compactación del espécimen; un pisón de compactación, con superficie circular de apisonado de 3 7/8" (9.84 cm) de diámetro, con un martillo o peso deslizante con peso de 10 lb (4,536 gr) y altura de caída de 18 " (45.7 cm); un pedestal de compactación de madera con dimensiones de 8" x 8" x 18" (20.3 x 10.3 x 45.7 cm), cubierto en su parte superior por una placa de acero de 12" x 12" x 1" firmemente sostenida a la madera, que se coloca perfectamente nivelada sobre una superficie firme, que puede ser concreto hidráulico; una máquina de compresión accionada por motor eléctrico que mide las cargas aplicadas, con un anillo de calibración provisto de extensómetro, con capacidad de 4000 lb (2267 kg), sensibilidad de 10 lb (4.536 kg) y se desplaza a razón de 5.08 cm/min; medidor de flujo que consta de un tubo gufa y un medidor de carátula graduado en 0.01" (0.25 mm); dispositivo a través del cual se aplica la carga al espécimen formado por dos segmentos de anillo que son las cabezas de prueba, con radio de curvatura de 2" (5.08 cm), correctamente maquinados y uno de ellos que sirve de base tiene dos varillas guías o postes en donde se insertan los manguitos de la porción superior, para sostener el espécimen y a través de éste, aplicar la carga; tanque de saturación con dispositivo eléctrico para calentar el agua de 40° a 60°C.

Además se tendrá todo el equipo que se requiera para elaborar especímenes de mezcla asfáltica como charolas, cucharones, cuchara de albañil, balanzas, termómetros, etc.

En esta prueba también se fija previamente la granulometría de proyecto para iniciar el estudio y el material pétreo se separa en los mismos tamaños señalados para la prueba de compresión sin con-
finar; el tamaño del material pétreo será como máximo de 1" (2.54 cm). Este material se secará
previamente en horno a 110°C; se preparan tres porciones de material pétreo con la granulometría
de proyecto en cantidad de 1200 gr, para cada contenido de asfalto, de manera que se elaboren tres
es especímenes.

La cantidad de cemento asfáltico corresponderá a los siguientes porcentajes expresados en relación
al material pétreo:

Contenido calculado	- 1.0 %
Contenido calculado neto	
Contenido calculado	+ 0.5 %
Contenido calculado	+ 1.0 %
Contenido calculado	+ 1.5 %
Contenido calculado	+ 2.0 %

Se calienta el agregado pétreo a la temperatura de 135°C y el cemento asfáltico a la temperatura de
125°C, para mezclar ambos materiales, conservando una temperatura elevada mediante calenta-
miento de la charola con la mezcla, de tal manera que una vez que se mezclen perfectamente ambos
materiales se tenga una temperatura mínima de 125°C a la cual deberá hacerse la compactación de
los especímenes.

Para iniciar la compactación se calienta tanto el pisón como el molde en un tanque de agua hirvien-
do y una vez que se haya calentado el molde se saca y se coloca un papel filtro en el fondo para

vaciarse enseguida la mezcla, se acomoda con una espátula caliente de manera que quede una superficie lo más uniforme posible y se coloca el molde sobre el pedestal con su sostenedor bien ajustado, iniciándose la compactación apoyando el pisón recién sacado del tanque de agua hirviendo, perpendicular a la base del molde y se aplican cincuenta o setenta y cinco golpes. Se remueve la base del molde y se coloca en el lado opuesto para aplicar en la otra cara del espécimen el mismo número de golpes; una vez terminada la compactación se remueve la base del molde y se extrae el espécimen cuidadosamente mediante un extractor especial o placa circular de diámetro ligeramente inferior al del molde, con aplicación de carga, colocando el espécimen en una superficie limpia y plana para que quede en reposo durante, doce o veinticuatro horas.

La altura de los especímenes ya compactados será lo más próxima posible a 2 1/2" (6.35 cm), en caso contrario se hará una corrección del valor de estabilidad mediante la aplicación de un coeficiente de acuerdo a su altura real, que debe obtenerse una vez que se enfríen, mediante medición directa y además, se determina el peso de cada uno de los especímenes.

La medición de cada uno de los valores de estabilidad y de flujo se efectúa con especímenes a la temperatura de 60°C, que adquieren mediante la inmersión en un tanque de agua durante treinta o cuarenta minutos, en tanto el dispositivo de prueba también se mantiene a temperatura de 20 a 40°C. Se saca el espécimen del tanque y se coloca en el segmento inferior del dispositivo de prueba que previamente se ha limpiado y lubricado de postes guía, se coloca el segmento superior y todo el conjunto se lleva a la máquina de compresión, para aplicar la carga. Para ello se inserta el medidor de flujo y se mantiene firme durante la aplicación de la carga, quitándose hasta que se obtiene el valor máximo de la carga, lo cual sucede cuando la aguja del extensómetro del anillo de calibración se detiene y empieza a bajar.

Se registra la carga máxima y el valor del flujo.

La duración de la prueba desde la remoción del espécimen del tanque de agua, hasta la determinación de la carga máxima no debe ser mayor de 30 seg.

Los resultados de las pruebas se expresan en gráficas a fin de hacer una evaluación de los valores obtenidos en los diferentes contenidos de asfalto y con ello se selecciona el contenido óptimo de asfalto para la mezcla; en caso de que ningún contenido satisface los requisitos que requiere el proyecto para la carpeta asfáltica se hacen modificaciones en la granulometría del material pétreo que se obtenga aquella que satisfaga todos los requisitos.

Las gráficas que se dibujan contienen como abscisas el contenido de asfalto en por ciento y como ordenadas los siguientes conceptos:

- a) Peso volumétrico promedio de especímenes
- b) Valores promedio de flujo
- c) Valores promedio de estabilidad
- d) Valores promedio de vacíos
- e) Valores promedio de vacíos del material pétreo

El peso volumétrico se determina mediante el peso del espécimen y su volumen determinado por la diferencia de pesos en el agua y en el aire, para ello se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$\gamma = \frac{W}{W - W_a}$$

γ = Peso volumétrico en gr/cm^3

W = Peso del espécimen en gramos

W_a = Peso del espécimen sumergido en agua, en gramos.

El valor del peso volumétrico se multiplica por mil para obtener kg/m^3 .

Los valores de estabilidad y flujo no requieren cálculos posteriores.

El porcentaje de vacíos se calcula teniendo como datos el peso volumétrico de cada espécimen y la densidad teórica máxima que podría alcanzarse si no hubiera vacíos en la mezcla; para esto es necesario conocer la densidad del material pétreo grueso y fino separados por malla de $1/4''$, de acuerdo con las pruebas que ya se describieron para materiales de terracerías y además es necesario determinar la densidad del cemento asfáltico que para fines prácticos tiene un valor de 1.03.

La densidad teórica máxima se calcula con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{100}{\left(\frac{P_g}{D_g} + \frac{P_f}{D_f} + \frac{P_a}{D_a} \right)}$$

En donde:

D = Densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica

P_g = Porcentaje de material pétreo retenido en la malla de $1/4''$, en relación al peso de la mezcla asfáltica.

P_f = Porcentaje de material pétreo que pasa la malla de $1/4''$, en relación al peso de la mezcla asfáltica.

P_a = Porcentaje de asfalto, en relación a la mezcla asfáltica.

D_g = Densidad relativa del material pétreo retenido en la malla de $1/4''$.

D_f = Densidad relativa del material pétreo que pasa la malla de $1/4''$.

D_a = Densidad del asfalto.

$$100 \% = P_g + P_f + P_a$$

El por ciento de vacíos de la mezcla asfáltica se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = 100 - \left(\frac{1}{D} \right) \times 100$$

En donde:

V = Por ciento de vacíos del espécimen de mezcla asfáltica.

D = Densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica.

γ = Peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica en gr/cm^3

El por ciento de vacíos que deja el material pétreo se calcula con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ V.M.P.} = V + (P_a \times W_a) / D_a$$

En donde:

V = Por ciento de vacíos del espécimen.

P_a = Porcentaje de asfalto en relación a la mezcla.

W_a = Peso del espécimen.

4.2.11 Prueba de Permeabilidad en Carpetas

El equipo necesario consta de un anillo de lámina de 25 cm de diámetro interior y 5 cm de altura; con un cono de bronce o acero inoxidable de 2.54 cm de altura y 1.9 cm de diámetro en la base; probetas graduadas de 200 y 1000 ml; parafina, mastique o plastilina; espátula y un recipiente con agua.

Se selecciona el sitio en el cual se va a realizar la prueba y se limpia de materias extrañas a la carpeta; se coloca el anillo de lámina y en la parte exterior de él se sella con un cordón de 2 cm de diámetro del material que se va utilizar, parafina, mastique, o plastilina, en la unión del anillo con la carpeta para que impida las fugas de agua que se vaciará dentro del anillo posteriormente.

En el centro del anillo se coloca el cono metálico y se vacía rápidamente el agua hasta el nivel marcado por su vértice y se empieza a tomar el tiempo agregando agua con la probeta graduada para medirla y conocer cuanta se está reponiendo para mantener el nivel constante durante un período de diez minutos.

El volumen de agua que se filtra a través de la carpeta, expresado como porcentaje del volumen inicial, representa el índice de permeabilidad de la carpeta.

$$\text{Índice de permeabilidad} = (V_f / V_t) \times 100 = 0.08 \times V_f$$

Siendo:

V_f = Volumen filtrado durante diez minutos.

V_t = Volumen del depósito (1247 cm³ para las dimensiones especificadas)

4.2.12 Determinación del Contenido de Asfalto en Mezclas y en Carpetas construidas

Esta prueba se puede realizar por dos procedimientos: Por extracción de asfalto con solventes y por el método colorimétrico.

a) En la prueba por extracción de asfalto, el equipo que se requiere consta de un extractor centrífugo de 500 gr de capacidad, de operación manual formado por una taza semiesférica que gira a un número elevado de revoluciones por minuto y en su contorno tiene papel filtro donde pasa asfalto en solución; una balanza de 2 kg y sensibilidad de 0.1 gr; un horno con temperatura controlable y tetracloruro de carbono u otro disolvente de asfalto.

Se toma una muestra de mezcla asfáltica o de carpeta previamente disgregada y se coloca en un horno a temperatura de 100° - 110°C durante veinticuatro horas para eliminar el agua y los solventes volátiles que pudiera contener. Se enfría la muestra y se separa una cantidad de 500 gr que se coloca en la taza del extractor, agregando a continuación 150 ml de solvente dejándolos en reposo durante algunos minutos para que se efectúe la solución del asfalto.

Se coloca un filtro anular de papel sobre el labio de la taza y se fija la tapa, colocando un recipiente adecuado para recibir el asfalto disuelto en la boca de descarga del extractor y se pone en movimiento haciendo girar la taza aumentando la velocidad gradualmente hasta que el asfalto disuelto sea forzado a pasar a través del filtro por la acción de la fuerza centrífuga.

Se suspende el movimiento y se agregan otros 150 ml de solvente a través del orificio que tiene para el objeto y se repite el proceso haciendo adiciones sucesivas de solvente hasta lograr la disolución total del asfalto que se comprueba cuando el solvente salga limpio.

Se remueve la taza y se deja evaporar el solvente vaciando el agregado pétreo en una charola junto con el material fino que pudiera quedar adherido en el filtro o en la tapa.

La diferencia entre el peso de la muestra y el peso original de la muestra representa el contenido de asfalto y el porcentaje se expresa en función del material pétreo.

El material pétreo se aprovecha para efectuar la determinación granulométrica.

b) En la prueba por el método colorimétrico se hace una comparación de una solución de asfalto en tetracloruro de carbono, cuya concentración se desea conocer, con soluciones de concentración conocida. Las diferentes concentraciones de asfalto producen las diferentes intensidades de color y la determinación de la concentración se hace comparándola con cada uno de los colores tipo, hasta encontrar el de igual intensidad.

Los colores tipo se preparan en el asfalto que se está utilizando en la mezcla asfáltica y sufren variaciones con el tiempo originados por la acción de la luz o por reacciones químicas entre el asfalto y el tetracloruro de carbono, por lo cual es necesario compararlos con frecuencia con soluciones de concentración conocida para aplicar un factor de corrección cuando sea necesario.

Las ampollitas con los colores tipo únicamente deben exponerse a la luz el tiempo necesario para hacer las comparaciones, a fin de preservarlas de cambios en su coloración. Si sufren cambios notables o sufren turbidez en las soluciones tipo, deben desecharse y sustituirse con soluciones recientemente elaboradas.

4.2.13 Determinación de la Humedad y de los Solventes en Mezclas Asfálticas

El equipo necesario consta de un recipiente metálico de forma cilíndrica con tapa hermética con perforaciones adecuadas para conectar el refrigerante; un matraz de vidrio "Erlenmeyer" de 1000 ml; dos refrigerantes de cristal de longitud mínima de 400 mm con diámetro de entrada de 12.7 mm y de salida de 9.5 mm; una trampa de vidrio refractario con capacidad mínima de 10 ml, igual a la que se utiliza para la determinación de solventes; dos fuentes de calor; una balanza de 2 kg de capacidad y sensibilidad de 0.1 gr; gasolina blanca sin agua o "Xylo!" industrial puro y carbonato de sodio (Na_2CO_3).

La muestra de mezcla asfáltica se transporta al laboratorio en envases herméticos completamente llenos para evitar pérdida de solventes. En el laboratorio se saca la muestra y se mezcla perfectamente tomando las porciones necesarias para determinar contenido de asfalto y granulometría del material pétreo, además de dos porciones de 500 gr, una para la determinación de la humedad y otra para la determinación de los solventes volátiles.

a) Para la determinación de la humedad se coloca el matraz (p_1) y se agregan 200 ml de gasolina blanca o "Xylo" industrial puro; se agita la mezcla y se monta el aparato de destilación, aplicando calor de manera que se destilen de ochenta y cinco a noventa y cinco gotas por minuto, iniciándose el goteo entre cinco y diez minutos después de aplicado el calor.

La destilación se continuará hasta que en dos lecturas sucesivas hechas con diferencia de 15 minutos no se observe variación en la lectura hecha en la trampa. La destilación se efectuará en un tiempo máximo de 1.5 horas, anotando al finalizar ésta, el volumen V_w de agua condensada almacenada en la trampa.

b) Para la determinación de los solventes se pesa la muestra (p_2) y se coloca en el recipiente cilíndrico con tapa hermética, agregando 350 ml de agua destilada y 3 gr de carbonato de sodio para facilitar el desprendimiento de la película de asfalto, agitando la mezcla.

Se monta el aparato de destilación, aplicando calor de manera que se destile de ochenta y cinco a noventa y cinco gotas por minuto, iniciándose el goteo entre cinco y diez minutos después de aplicado el calor y se continúa la destilación hasta que dos lecturas hechas con intervalos de 15 minutos no acusen un aumento en la cantidad de solvente extraído. El volumen de fracciones volátiles extraídos (V_s) será la diferencia de lecturas del menisco inferior formado en la separación del solvente y el agua. Para calcular la relación de los solventes al asfalto es necesario convertir a peso el volumen de aquellos, para lo cual se requiere determinarles su densidad D_s , o bien aplicar los siguientes valores promedio:

Rebajados de fraguado rápido	0.75
Rebajados de fraguado medio	0.80

El cálculo de la humedad presente en la mezcla asfáltica se hace por diferencia de pesos:

$$P_m = P_l - (P_c + P_s + P_w)$$

En donde:

P_m = Peso del agregado pétreo.

P_l = Peso de la mezcla asfáltica.

P_c = Peso del cemento asfáltico, obtenido por extracción ó método colorimétrico.

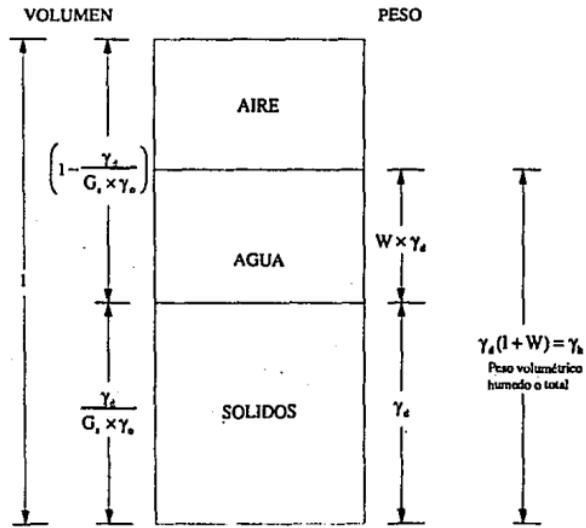
P_s = Peso de solventes.

P_w = Peso del agua o volumen del agua considerando 1.0 su densidad.

$$\% \text{ de Humedad} = (P_w / P_m) \times 100$$

Los solventes volátiles que contiene la mezcla asfáltica se expresan en función del peso del cemento asfáltico y se obtiene el coeficiente.

$$K = (P_s / P_c) = (\text{Solventes volátiles} / \text{Cemento asfáltico})$$



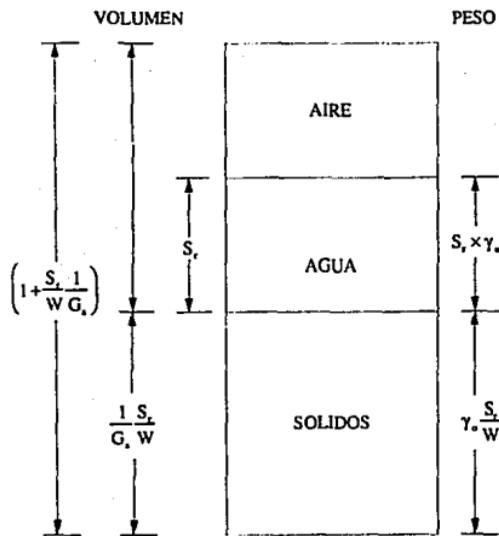
$$C = \frac{V_w}{V_r} = \frac{\gamma_w}{G_s \times \gamma_s}$$

$$e = \frac{1 - \frac{\gamma_s}{G_s \times \gamma_s}}{\frac{\gamma_w}{G_s \times \gamma_s}}$$

$$n = \frac{V_w}{V_r} = 1 - \frac{\gamma_s}{G_s \times \gamma_s}$$

$$e = \frac{n}{C}$$

RELACION ENTRE "C", "n" Y "e"

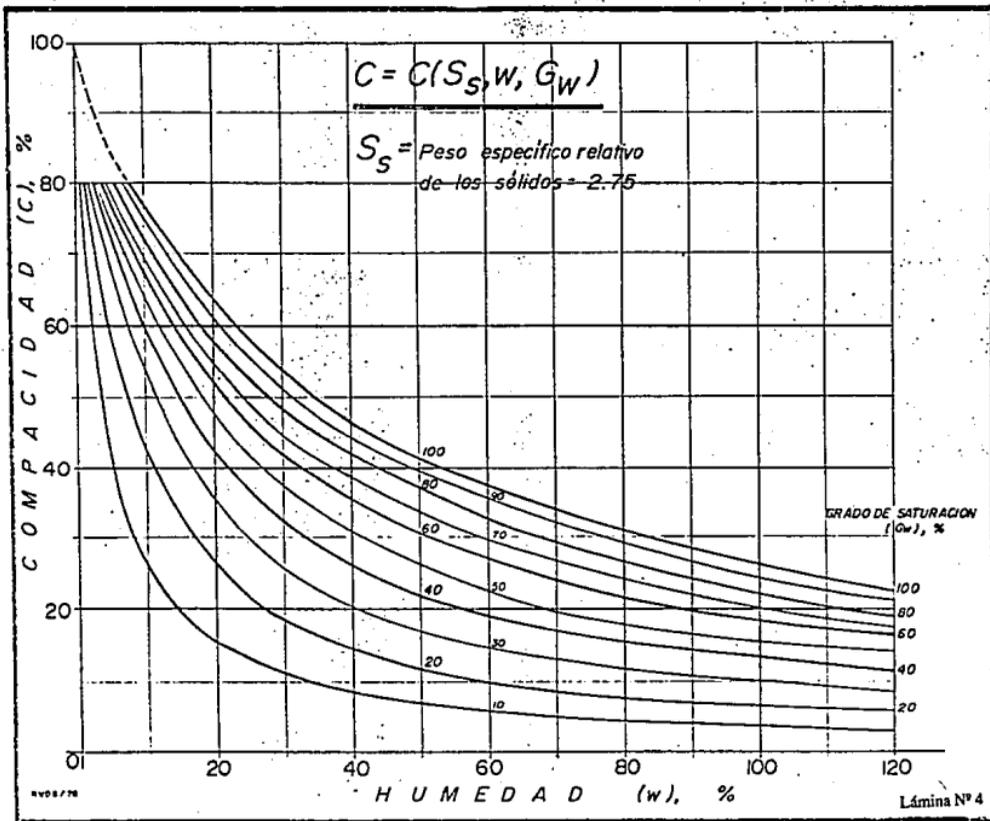


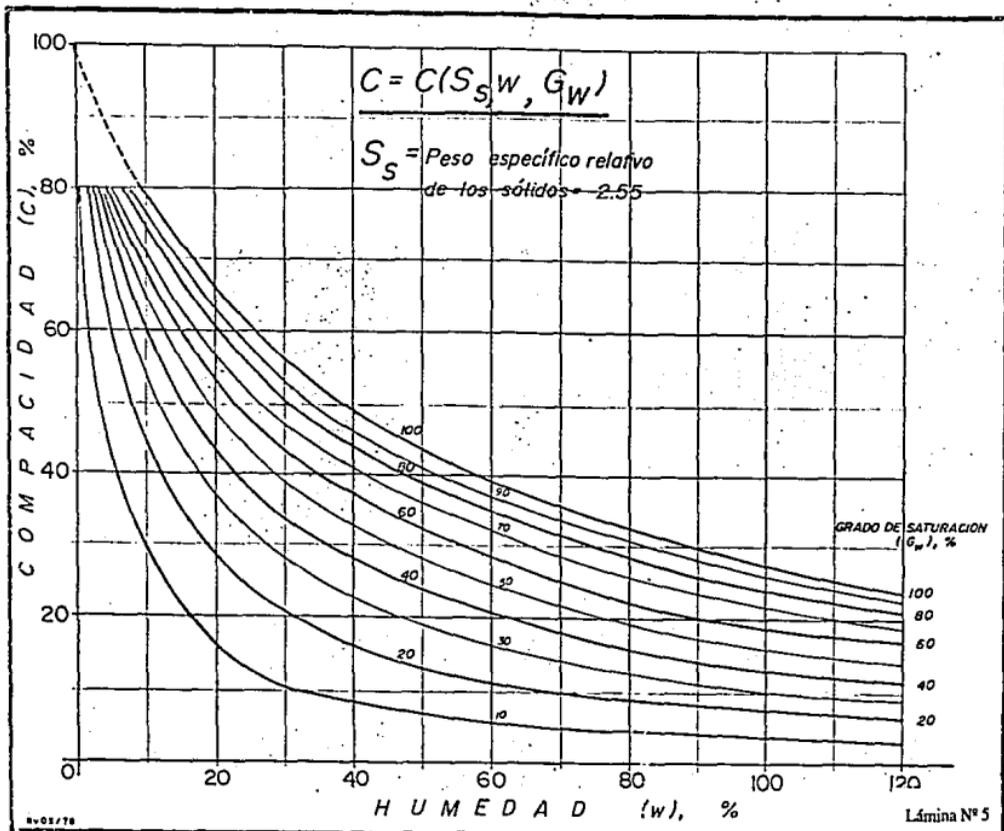
$$C = \frac{V_v}{V_t} = \frac{\frac{S_r}{W} \times \frac{1}{G_s}}{1 + \frac{S_r}{W} \times \frac{1}{G_s}} = \frac{1}{\frac{W}{S_r} G_s + 1}$$

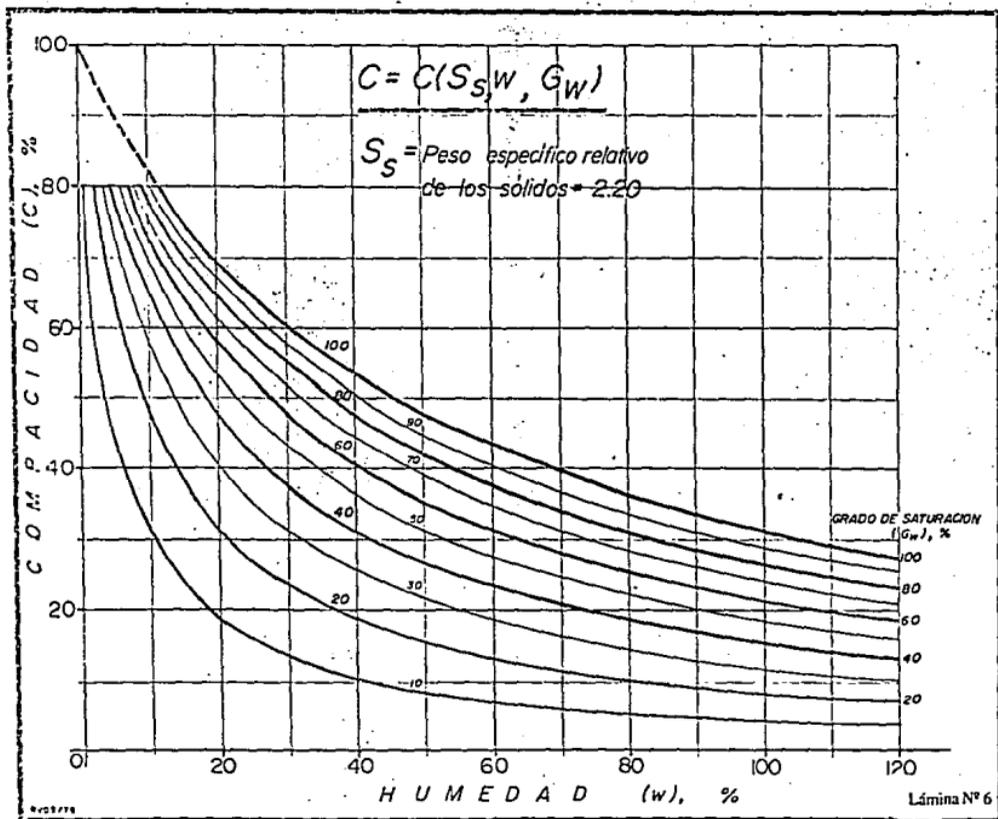
$$e = \frac{V_v}{V_s} = \frac{1}{\frac{S_r}{W} \times \frac{1}{G_s}} = \frac{W}{S_r} G_s$$

$$C = \frac{1}{1 + \frac{W}{S_r} G_s} = \frac{1}{1 + e}$$

COMPACIDAD DE UN SUELO







$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\text{Volumen} \cdot \text{Total} \cdot \text{Final} - \text{Volumen} \cdot \text{Total} \cdot \text{Inicial}}{\text{Volumen} \cdot \text{Total} \cdot \text{Final}}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_1 - V_1}{\frac{V_1}{C_1}} = \frac{C_1 - C_1}{\frac{C_1 \times C_1}{C_1}}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{C_1 - C_1}{C_1} = \frac{C_1}{C_1} - 1 = \frac{\Delta C}{C_1}$$

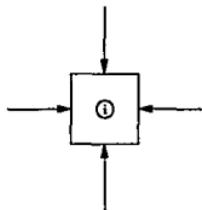
$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V_1(1+c_1) - V_1(1+c_1)}{V_1(1+c_1)} = \frac{c_1 - c_1}{1+c_1}$$

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta c}{1+c_1}$$

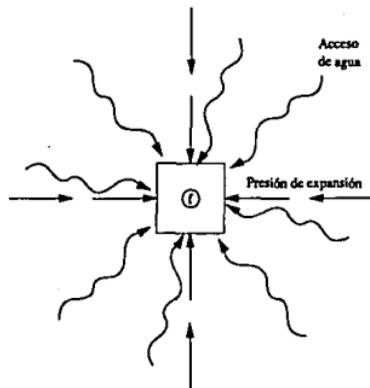
CAMBIO VOLUMETRICO $\Delta V/V_0$

Lámina Nº 7

Condición Inicial



Condición Final



$$S_i > S_f$$

$$w_i < w_f$$

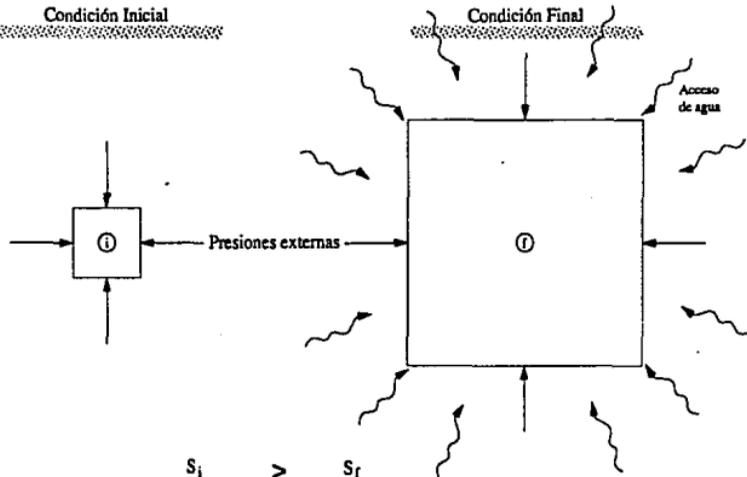
$$S_{r_i} < S_{r_f}$$

$$C_i = C_f$$

$$\frac{\Delta V}{V_s} = 0$$

Condición Inicial

Condición Final



$$S_i > S_f$$

$$w_i < w_f$$

$$S_{r_i} < S_{r_f}$$

$$C_i > C_f$$

EXPANSION LIBRE

$$\frac{\Delta V}{V_o} = \frac{\Delta C}{C_f}$$

Capítulo V: CRITERIOS DE ACEPTACION Y RECHAZO

5.1 Generalidades

Cuando hablamos de los criterios de aceptación y rechazo, tenemos que referirnos a lo distinto que son, dependiendo de la etapa de control de calidad en donde nos encontremos (previsión, acción e historia).

En esta ocasión los presentaré en un orden inverso a la cronología de las etapas, con el fin de explicar la evolución que ha tenido el concepto de medición de la calidad a través de los años.

5.2 Control Estadístico de Proceso (etapa de historia)

Desde el punto de vista de la estadística, nosotros podemos comprobar el nivel de calidad de algún material o mezcla a partir de una característica medible o contable, por ejemplo resistencia de un concreto a la compresión, grado de compactación y humedad de una mezcla, etc. (Ref.6).

El nivel de calidad de todo material o proceso - en esta etapa - está siempre sujeta a cierta cantidad de variación; esta variación puede deberse a dos tipos diferentes de causas: unas llamadas "causas asignables", cuyos efectos en general son relativamente grandes y pueden atribuirse o asignarse a ciertos factores específicos, tales como falta de adiestramiento de los operadores, defecto en la maquinaria o en los materiales, etc. Las otras son un conjunto de causas ignoradas por nosotros, pero el efecto de cada una de ellas es muy pequeño, esta son las llamadas "curvas aleatorias" o causales. La variación de la calidad debida a "causas aleatorias" es inevitable pero la cantidad y el carácter de dicha variación puede predecirse por medio de las teorías probabilísticas, en términos generales.

Cuando en un proceso operatorio las únicas causas de variación de calidad son las aleatorias, se dice que esta bajo "control estadístico" y si intervienen una o más causas asignables, se dice que está "fuera de control estadístico".

Para establecer el control estadístico de calidad de un producto, debería hacerse uso de todas las técnicas desarrolladas en la estadística matemática para el análisis de datos, con este propósito; sin embargo sólo se acostumbra hacer uso de cuatro de ellas que son las llamadas:

- 1.- Cartas de control para características medibles de la calidad. En el lenguaje técnico, cartas de control para variables.
- 2.- Cartas de control para características contables de la calidad, o sea técnicamente cartas de control para atributos.
- 3.- Límites de consistencia.
- 4.- Muestreo de aceptación.

Estas cuatro técnicas o herramientas las describiré posteriormente.

Para obtener la eficiencia máxima por medio de control estadístico es necesario establecer un procedimiento adecuado a cada problema particular. Sin embargo, en todos los procedimientos deberán tomarse en cuenta los siguientes principios fundamentales:

- a) Al efectuarse una operación repetidamente, siempre existirá una variación en los resultados obtenidos.

- b) Las técnicas de las cartas de control son aplicables en cualquier momento de la producción de un proyecto.
- c) Generalmente no se encuentra un estado de control riguroso.
- d) Debe establecerse un estado de control a un nivel satisfactorio abajo de la máxima eficiencia que puede obtenerse en la operación.
- e) La calidad es intrínseca al producto y no puede introducirse a él por medio de su inspección.

5.2.1 Cartas de Control para variables

La característica fundamental en la técnica estadística llamada "carta de control" es la de inferir sobre el proceso de producción en base a muestras tomadas de dicha producción. A través de dicha carta podemos conocer cual es el estado de control; lograr control a un nivel apropiado y juzgar si se ha logrado o no el nivel deseado.

Para establecer carta de control de una característica, sea medible o contable se supone que sólo actúan causas aleatorias y se señalan regiones de aceptación y de rechazo para dicha característica. Si los valores calculados a partir de muestras caen en la región de aceptación, se dice que los puntos están bajo control, y en el caso contrario que están fuera de control.

La zona de rechazo se fija en términos de la probabilidad de rechazar la hipótesis, de que sólo actúan causas aleatorias, cuando es verdadera, es decir, si todos los puntos caen en la zona de aceptación, no significa que no existen causas asignables sino que se tiene la probabilidad, fijada de antemano, de que las únicas causas que operaron fueron aleatorias.

En las cartas de control para variables, cuando tratamos con características medibles, es costumbre ejercer control sobre la calidad promedio de un proceso, así como sobre la variabilidad; para la primera se traza la llamada "carta de control para medias" o simplemente "carta X"; para la variabilidad se trazan las llamadas "carta R" y "carta σ " si se toma el rango o la desviación estándar de las muestras respectivamente, como estimadores de la desviación estándar de la población.

Estas cartas son usadas generalmente por todas las compañías constructoras, con el fin de verificar que lo ejecutado cumpla con el nivel mínimo de calidad. También son exigidas por algunas dependencias tales como la SCT o las instituciones financieras que aportan el capital en forma de préstamos, para tenerlas como pruebas de que se cumplió con lo requerido.

En las siguientes páginas ejemplifico algunas de las cartas de control para características que son de uso frecuente en la construcción de autopistas.



RAUL VICENTE OROZCO y Cia., SA de CV
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

OBRA: AUT. DURANGO - YERBANES

TRAMO: DURANGO - YERBANES

LAMINA: 2

COMPACIDAD Y HUMEDAD , %

CAPA DE TIERRA NATURAL

ZONA: _____

E N S A Y E	FECHA	COMPACIDAD , %						HUMEDAD , %						
		52	56	60	27	24	26	28	30	32				
1	25-AGO													
2	26													
3	26													
4	27													
5	27													
6	27													
7	30													
8	03-SEP													
9	03													
10	10													
11	10													
12	10													
13	14													
14	16													
15	29													
16	30													
17	06-OCT													
18	06													
19	18													
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
		R	C	A	C	R	R	C	A	C	R			
OBSERVACIONES:								n = TAMANO DE LA MUESTRA						
A = ACEPTACION														
C = CORRCCION														
R = RECHAZO														
X=	%	G=.	%	V=	%	X=	%	G=.	%	V=	%			

100-11-13-15-17-19-21-23-25-27-29-31-33-35-37-39-41-43-45-47-49-51-53-55-57-59-61-63-65-67-69-71-73-75-77-79-81-83-85-87-89-91-93-95-97-99-100



RAUL VICENTE OROZCO y Cia., SA de CV
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

TRAMO: DURANGO - YERBAHUIS

BANCO # 23 km 15.3 D.I. 4,000 m

LAMINA: 3

GRADO DE COMPACTACION Y HUMEDAD, %

CUERPO DE TERRAPLEN

ZONA A

EN SA FECHA YE	GRADO DE COMPACTACION, %					HUMEDAD, %						
	1993	82	86	90	94	98	6	8	10	12	14	16
1	08-MAY	6					RAMA # 30					
2	11	7					RAMA # 20					
3	11	4					RAMA # 21					
4	12	6					15.18-15.3					
5	13	12					5.58-5.9					
6	25	12					11.00-10.6					
7	27	12					10.64-10.9					
8	31	5					RAMA # 21					
9	01-JUN	4					RAMA # 21					
10	02	4					P.J.V. 70					
11	02	4					RAMA # 21					
12	02	4					RAMA # 21					
13	09	5					P.V. 9.58					
14	09	4					P.V. 9.58					
15	10	5					P.V. 9.58					
16	10	4					P.V. 9.58					
17	12	4					RAMA # 50					
18	15	4					P.V. 9.58					
19	15	4					P.V. 9.58					
20	19	8					13.70-1.00					
21	23	8					12.50-1.540					
22	23	5					12.50-1.380					
23	16-AGO	8					14.50-1.706					
24	16	8					14.50-1.706					
25	23-SEP	0					1.20-0					
26	23	6					1.84-0					
27	23	0					2.24					
28	24	4					3.70					
29	27	3					7.60					
30	27	3					7.50					

OBSERVACIONES:
A = ACEPTACION
C = CORRECCION
R = HECHAZO

n = TAMAÑO DE LA MUESTRA

\bar{X} =	% G \pm	% V =	% \bar{X} =	% G \pm	% V =	%
-------------	-----------	-------	---------------	-----------	-------	---

FECHA LABORATORISTA 06/09



RAUL VICENTE OROZCO Y Cia., SA de CV ODRA AUT. DURANGO-YERBAHUIS
 SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD TRAMO DURANGO - YERBAHUIS
 BANCO # 7 SAN CARNE km 20.8 D.D 1,000 m
 GRADUACION DEL MATERIAL
 BASE

LARINA 30

EN SA YE	FECHA	CONTENIDO DE ARENA, % ±							CONTENIDO DE FINOS, % ±								
		1993	25	30	35	40	45	50	55	2	4	6	8	10	12	14	
1	19-AGO	34						169	31	5						31	6
2	20	38						169	31	7						31	6
3	21	39						176	35	7						31	6
4	26	36						177	35	6						31	6
5	24	38						185	37	7						32	6
6	25	35						185	37	7						34	7
7	26	37						185	37	5						32	6
8	27	35						182	36	7						32	6
9	28	31						180	36	6						32	6
10	30	35						177	35	7						32	6
11	31	39						181	36	8						33	7
12	01-SEP	40						181	37	7						33	7
13	02	41						192	38	7						35	7
14	03	35						191	39	8						37	7
15	04	38						197	39	8						38	8
16	06	35						198	39	6						36	7
17	07	37						190	38	7						36	7
18	08	35						179	36	5						34	7
19	09	30						175	35	5						31	7
20	10	32						167	35	5						28	5
21	11	34						166	35	5						27	5
22	13	36						165	35	6						26	5
23	14	31						165	35	7						28	5
24	15	32						165	35	6						29	5
25	16	35						168	34	6						30	5
26	17	35						169	34	6						31	5
27	20	33						166	35	7						32	5
28	21	36						171	34	7						32	7
29	22	37						176	35	8						34	7
30	23	34						175	35	8						36	7

OBSERVACIONES:

CADA PUNTO DE LA GRAFICA DE TENDENCIAS REPRESENTA EL PROMEDIO DE 3 VALORES CONSECUTIVOS

A=ACEPTACION

C=CORRECCION

R=RECHAZO

MATERIAL MUESTREADO EN PLANTA

± PASA LA MALLA # 4

± PASA LA MALLA # 200

X̄ = 36 % G=± 7.0 % V= R % X̄ = 6.4 % G=± 1.0 % V= 1% %

RAUL VICENTE OROZCO y Cia.

SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

BANCO # 7 SAN CARLOS km 20.8 D.D 1.000 m

LAMINA 75

EQUIVALENTE DE ARENA

SUB-BASE TRITURADORA # 2

OBRA AUT. DURANGO - YERBANIS
TRAMO DURANGO - YERBANIS

EN SA VE	EQUIVALENTE DE ARENA, %										5 VALORES CONSECUTIVOS		VALOR MEDIO	FECHA
	25	30	35	40	45						OBTENIDO	SUMA	PROMEDIO	
	1											40	40	40
2											45	85	43	24
3											39	124	41	25
4											30	154	39	09-SEP
5											30	184	37	10
6											33	177	35	11
7											32	164	33	13
8											34	159	32	14
9											36	165	33	15
10											36	171	34	16
11											35	173	35	17
12											36	177	35	20
13											38	181	36	21
14											48	193	39	22
15											44	201	40	28
16											32	203	41	29
17											35	202	40	30
18											34	198	40	01-OCT
19											32	182	36	02
20											33	171	34	04
21											30	174	33	05
22											26	155	31	06
23											24	145	29	07
24											24	137	27	08
25											27	131	26	09
26											36	137	27	11
27											35	146	29	12
28											34	156	31	12
29											32	164	33	14
30											36	173	35	15

RECHAZO

CORR

ACEPTACION

$\bar{X} = 34$

$G = \pm 6$

$V = 10$

OBSERVACIONES

CADA PUNTO DE LA GRAFICA DE TENDENCIAS REPRESENTA EL PROMEDIO DE 5 VALORES

CONSECUTIVOS

NORMA SCT

MATERIAL MUESTREADO EN PLANTA



RAUL VICENTE OROZCO y Cia., S.A DE C.V.
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

OBRA AUT. DURANGO - YERBAS
TRAMO DURANGO - YERBAS

BARCO # 7 SAN CARNE km 20.8 D.D. 1,000 m

LAMINA # 43

CONTRACCION LINEAL, %
SUB-BASE TRITURADORA # 2

EN SA YE	CONTRACCION LINEAL, %							5 VALORES CONSECUTIVOS		VALOR MEDIO	FECHA
	1	2	3	4	5	6	7	OBJETIVO	SUMA	PROMEDIO	1993
1								1.4	1.4	1.4	23-AGO
2								2.0	3.4	1.7	24
3								2.2	5.6	1.9	25
4								4.7	10.3	2.6	09-SEP
5								4.7	15.0	3.0	10
6								4.3	17.9	3.6	11
7								4.2	20.1	4.0	13
8								3.8	21.7	4.3	14
9								2.5	14.5	3.4	15
10								2.4	17.2	3.4	16
11								2.6	15.5	3.1	17
12								2.5	13.8	2.8	20
13								2.1	12.1	2.4	21
14								1.4	11.0	2.2	27
15								2.0	10.6	2.1	28
16								2.2	10.7	2.1	29
17								2.8	11.0	2.2	30
18								2.8	11.7	2.3	01-OCT
19								2.9	12.2	2.6	02
20								3.0	14.2	2.8	04
21								3.2	14.7	2.9	05
22								3.3	15.2	3.0	06
23								3.4	15.8	3.2	07
24								3.2	16.1	3.2	08
25								3.2	16.3	3.3	09
26								2.8	15.9	3.2	11
27								2.8	15.4	3.1	12
28								1.9	13.9	2.8	13
29								2.5	13.2	2.6	14
30								2.0	12.0	2.4	15

ACEPTACION CORR RECHAZO $\bar{x} = 2.8$ % $S = 1$ % $V = 31$ %

CONSEJAS VINCULACIONES
CADA PUNTO DE LA GRAFICA DE TENDENCIAS REPRESENTA EL PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS.

MATERIAL MUESTREADO EN PLANTA

RAUL VICENTE OROZCO y Cia, SA de CV
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD

CARRA AUT. DURANGO YERBANIS
TRAMO DURANGO - YERBANIS
LÁMINA 52

PLANTA LA COBORNIZ II km 19.7 D.D 300 m
GRADUACION DEL AGREGADO PARA MEZCLA ASFALTICA

MARSHALI, # 2

EN SA YE	FECHA 1993	CONTENIDO DE FIBROS, % x					CONTENIDO DE ARENA, % +									
		1	2	4	8	15	54	56	58	60	62	64	68			
1	16-OCT	4				15	3	67						34	0	62
2	18	3				15	3	67						34	2	62
3	18	3				15	3	67						34	8	64
4	18	3				15	3	67						34	9	64
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30																
			R	C		A	C	R		C		A		C		R

DECLARACIONES:

CADA PUNTO DE LA GRADUACION DE TENDENCIAS REPRESENTA EL PROMEDIO DE 5 VALORES CONSECUTIVOS

A: ACEPTACION

C: CONEXION

R: RECHAZO

SE USA MALLA # 200 (0.075mm)

SE USA MALLA # 4 (4.75mm)

X = 3 % G ± 1 % V = 15 % X = 65 % G ± 1 % V = 2 %



RAUL VICENTE OROZCO y Cia, SA de CV
SUPERVISION Y CONTROL DE CALIDAD
PLANTA EL ALTO km 52.7 A.L.

OBRA: AUT. DURANGO-YERBANIS
TRAMO: DURANGO - YERBANIS
LAMINA: 63

CONTENIDOS ASFALTICOS Y PESO VOLUMETRICO MAXIMO
MARSHALL # 3

EN SA FECHA YE	1993	CONTENIDO DE CEMENTO ASFALTICO, %						PESO VOLUMETRICO MAXIMO, kg/m ³						
		5	6	7	8	9	10	2100	2200	2300				
1	23-SIII	7.6					37.5	7.5	2138				10708	21.0
2	23	7.5					38.1	7.6	2151				10778	21.6
3	23	7.8					38.3	7.7	2139				10703	21.4
4	23	7.7					38.3	7.7	2152				10719	21.4
5	23	7.2					37.8	7.6	2141				10724	21.5
6	24	7.6					37.8	7.6	2142				10728	21.6
7	24	7.1					37.4	7.5	2162				10759	21.8
8	24	7.0					36.6	7.3	2142				10712	21.8
9	24	7.1					36.0	7.2	2152				10747	21.9
10	24	7.1					35.9	7.2	2148				10741	21.9
11	25	7.4					38.7	7.4	2142				10741	21.9
12	27	7.3					35.9	7.2	2115				10704	21.4
13	27	7.2					36.1	7.2	2106				10668	21.4
14	27	6.9					35.9	7.2	2113				10674	21.5
15	27	7.3					36.1	7.2	2136				10672	21.2
16	28	7.3					36.0	7.2	2241				10711	21.2
17	28	7.7					36.4	7.3	2220				10825	21.6
18	28	7.2					36.4	7.3	2265				10984	21.7
19	28	6.9					36.4	7.2	2253				11174	22.5
20	28	7.3					36.4	7.2	2168				11156	22.1
21	29	7.9					37.0	7.4	2235				11148	22.0
22	29	7.3					36.6	7.3	2242				11161	22.0
23	29	7.6					37.0	7.4	2228				11174	22.5
24	29	7.8					37.9	7.6	2203				11074	22.5
25	29	7.4					38.0	7.6	2224				11110	22.6
26	29	7.4					37.5	7.5	2224				11121	22.4
27	29	7.4					37.6	7.5	2227				11106	22.1
28	30	7.7					37.7	7.5	2241				11119	22.4
29	30	7.9					37.8	7.6	2225				11141	22.8
30	30	7.8					38.2	7.6	2211				11178	22.6

OBSERVACIONES:
A. ACEPTACION
C. COLECCION
N. RECHAZO

A PARTIR DEL 28 DE SEPTIEMBRE, INICIA PRODUCCION
CON GRAVA DEL km 104.560.

$\bar{x} = 7.4$ % $G \pm 0.3$ % $V = 4$ % $\bar{x} = 2183$ kg/m³ $G \pm 49$ kg/m³ $V = 4$ %

R.V. OKOZCO Y CIA., S.A. DE C.V.

CARR. INT. DURANGO - YERBANES
RAMO DURANGO - YERBANES

PLANTA EL ALTO km 52.7 A.L. LAGUNA 07

MODULO ELASTICO DE LA MEZCLA
ASFALTICA (MARSHALL) # 3

EN SA YE	MODULO ELASTICO MEDIO MOVIL, kg/cm ²					5 VALORES CONSECUTIVOS		VALOR MEDIO	FECHA
	300	400	500	600	700	PROMEDIO	SUMA	PROMEDIO	
1						368	1790	358	01-OCT
2						524	1979	396	01
3						423	2035	407	01
4						472	2146	429	01
5						428	2215	443	01
6						431	2278	456	02
7						465	2219	444	04
8						311	2102	421	04
9						479	2114	423	04
10						210	1896	379	04
11						264	1729	346	04
12						375	1639	328	05
13						347	1675	335	05
14						351	1647	309	05
15						356	1693	339	05
16						386	1815	363	05
17						325	1765	363	05
18						428	1846	369	06
19						341	1836	367	06
20						429	1909	382	06
21						351	1874	375	06
22						415	1964	393	07
23						365	1891	378	07
24						408	1958	392	08
25						422	1951	390	08
26						463	2063	413	08
27						368	2016	403	08
28						395	2056	411	08
29						391	2039	408	08
30						369	1986	397	09

RECH. CORR. ACEPTACION CORR. RECH. $\bar{X} = 389$ $\sigma = \pm 65$ $V = 17$

OBSERVACIONES:

Cada punto de la grafica de frecuencias representa el promedio de 5 valores consecutivos.



R. VOROCZY CIA, S.A. DE CV

OBRA: AUT. DURANGO - YERBANIS
 TRAMO: DURANGO - YERBANIS

PLANTA LA COBORNIZ II km 19.7 D.D 300 III LAMINA 104

TEMPERATURA DE LA MEZCLA ASFALTICA AL TENDERSE

7	TEMPERATURA AL TENDERSE, °C		COEFICIENTE DE VARIACION MEDIO, %	
	°C	%	°C	%
156	657	131		
157	665	133	SEP 27	17.3
158	671	134	27/27	16.3
159	679	136	23/24	16.3
160	679	136	24/25	17.3
161	675	136	25/27	14.3
162	677	136	27	14.3
163	677	135	27/28	13.3
164	681	136	28	14.3
165	678	136	28/29	15.3
166	678	136	28	13.3
167	675	136	29	13.3
168	681	136	29/30	14.3
169	681	136	30	14.3
170	687	136	30-SEP/01-OCT	14.3
171	683	132	D1	15.3
172	686	136	01/02	16.3
173	685	136	02/04	14.3
174	665	134	04/05	19.4
175	665	134	05	20.4
176	655	124	05	16.4
177	655	123	05/05	19.4
178	65	132	06	70.4
179	663	134	06/07	16.3
180	67	133	07	15.3
181	65	133	07/08	17.3
182	66	132	08/09	14.4
183	671	134	09/11	16.3
184	672	134	11	15.3
R			A I C I R	

REVISADO
 INGENIERO
 PDR

125 °C V= 3 % C=±1 % X= 3 °C V= 2 % C=±1 % V= 40 %

IVOROROZCOY CIA S DE CV

CUBA: APT. PURA GO. - YERBAVIS
 TRAMO: PURALGO. - YERBAVIS

PLANTA LA CORDONIZ II km 19.7 D.O 300 m.

LAMINA 105

TEMPERATURA DE LA MEZCLA ASFALTICA AL COMPACTARSE

NÚMERO DE PRUEBA EN 105 YERBAVIS (50 Pruebas)	TEMPERATURA MEDIA AL COMPACTARSE, °C		COEFICIENTE DE VARIACION MEDIO, %				REVISOR	
	A	B	A	B	C	D		
1	126	119	594	119	SEP - 04/106	1	16	3
2	115	119	594	119		1	16	3
3	120	118	591	118		1	16	3
4	121	119	593	119		1	15	3
5	116	119	595	119		1	10	11
6	115	119	595	119		1	11	13
7	120	119	595	119		1	13	16
8	124	119	595	119		1	14	15
9	121	119	592	119		1	14	15
10	116	119	593	119		1	14	15
11	115	117	565	117		1	14	15
12	117	118	575	118		1	15	12
13	115	115	573	115		1	15	15
14	115	117	168	117		1	16	13
15	117	115	565	115		1	16	13
16	111	117	571	117		1	16	13
17	115	118	573	118		1	16	13
18	115	115	573	115		1	17	20
19	120	118	560	118		1	20	12
20	118	117	566	117		1	20	12
21	118	117	586	117		1	20	12
22	108	116	579	116		1	21	22
23	110	115	574	115		1	22	15

RECIBIDA
 27/10/66

FECHA: 27/10/66
 REVISOR: [Signature]

CCOR

5.2.2 Cartas de Control para atributos

En el punto anterior hablamos de las cartas para variables o características medibles que pueden expresarse en números, en este nos ocuparemos de cartas para características contables, es decir clasificando el concepto en defectuoso o no defectuoso. Las cartas para atributos pueden ser de dos tipos, las que están basadas en la fracción defectuosa y que se conocen como "carta p"; y los que registran el número de defectos por unidad, estas son las llamadas "Cartas C".

5.2.3 Límites de tolerancia

A menudo la calidad de un proceso o material debe de estar comprendido dentro de unos límites especificados, llamados "límites de tolerancia". Estos límites nos indican con una probabilidad dada de antemano, que el 100% de la población estará dentro de ellos.

Si la media (μ) y la desviación estándar (σ) de la población normalmente distribuida son conocidos, podemos asegurar que el 100(1- α)% de la población estará dentro de los límites $\mu \pm Z_{\alpha/2} \sigma$!

Pero generalmente no se conocen por lo que se sustituyen por sus estimadores \bar{X} y s respectivamente, pero puede verse que en el intervalo $\bar{X} \pm Z_{\alpha/2} s$ no siempre contendrá al 100(1- α)% de la población. Sin embargo es posible determinar una constante "k" que al ser instituida por $Z_{\alpha/2}$ nos de los límites de un intervalo tal, que una proporción "p" de la población esté contenida en él con una probabilidad de 1- α . Estos límites son: $\bar{X} \pm ks$. Los valores de k dependen del tamaño n de la muestra, de "p" y de 1- α y se encuentran tabulados en la siguiente tabla.

¹ $Z_{\alpha/2}$ Es la abscisa correspondiente a un área de probabilidades de $\alpha/2$ en una distribución normal estándar.

$n \backslash p$	$1-\alpha = 0.95$			$1-\alpha = 0.99$		
	0.90	0.95	0.99	0.90	0.95	0.99
2	32.019	37.674	48.430	160.193	188.491	242.300
3	8.38	9.916	12.861	18.930	22.401	29.055
4	5.369	6.370	8.299	9.398	11.150	14.527
5	4.275	5.079	6.634	6.612	7.855	10.260

Nota: Existen tablas para valores de $n=2$ a 10,000 en distintos libros de estadística.

Algunas veces es conveniente, en lugar de especificar dos límites especificar uno de ellos, de manera que podamos asegurar con una probabilidad $1-\alpha$ que el 100% de la población se encuentra arriba (límite inferior) o abajo (límite superior) de él. Estos límites son llamados "límites de tolerancia de un lado".

La constante "k" empleada para el cálculo de ellos, es distinta de la "K" usada en los "límites de dos lados". Sin embargo esta constante "K" también se encuentra tabulada. Así se tiene:

Límite superior de un lado: $X + ks$

Límite inferior de un lado: $X - ks$

Si la población no está normalmente distribuida la teoría anterior sobre límites de tolerancia, no es aplicable. Sin embargo, existen límites que son independientes de la distribución de la población que están calculados en base a la máxima y la mínima observación de una muestra de tamaño n .

5.2.4 Muestreo de Aceptación

El muestreo de aceptación se refiere a los métodos llamados planes de muestreo, por los cuales el comprador puede decidir entre aceptar o no lotes de producto. Si resulta costoso, difícil o imposible examinar la totalidad del lote, el comprador decide aceptarlo o no sobre la información proporcionada por una muestra de dicho lote.

El muestreo de aceptación puede ser por atributos o por variables. En el primer caso, el lote es rechazado si la muestra contiene demasiados defectuosos; en el caso de las variables el criterio puede ser de "un lado" o de "dos lados" dependiendo de las especificaciones.

La decisión para elegir entre analizar atributos o variables, puede basarse en los siguientes puntos:

- 1.- Para la misma información entre lotes buenos y malos, se requiere una muestra mayor cuando se analizan atributos, que cuando se analizan variables.
- 2.- Las mediciones y cálculos requeridos para la inspección por variables, puede ser más costosa que la decisión de sí o no y el conteo requerido para la prueba de atributos. Así se debe considerar si la prueba en sí, es costosa, difícil o tardada.
- 3.- Los métodos por variables proporcionan información producto por producto que puede utilizarse en el diagnóstico de la producción.
- 4.- La exactitud de los planes por variable depende de la suposición de la normalidad en la distribución de la variable medida; sin embargo, si dicha distribución se aparta de la normalidad, pueden usarse como métodos aproximados. Los planes para los atributos no están sujetos a esta restricción.

5.2.5 Comentarios en torno al uso de las Cartas de Control

La comparación de las tolerancias que el ingeniero considere deseables en su trabajo y los límites de tolerancia orientará su criterio acerca de lo realistas que sean dichas tolerancias o de lo apropiado que sean sus métodos de trabajo, en el sentido de que si las tolerancias resultan más estrechas que los límites de control, el recurso será ejecutar la tarea con un método de mayor precisión, a no ser, como probablemente sucedería en muchos casos de la tecnología usual de las vías terrestres, el ingeniero llegara a comprender que sin perjuicio para la obra, sus tolerancias probablemente fijadas al arbitrio o a la experiencia, pudieran ampliarse hasta los límites de control del proceso (Ref.7).

La selección de un criterio particular para fijar el porcentaje de la población que nosotros queremos que se encuentre dentro de los límites está ligada no sólo a la importancia de la obra, sino también al riesgo de falla, al costo de operación que se estudie y a consideraciones de otra índole. El balance de todos estos criterios define un buen control de calidad a base de cartas de control y en última instancia (la más importante), un buen trabajo humano.

Podría decirse que un uso rutinario de las gráficas de control en cualquier proceso ingenieril indicaría en todo momento si su proceso se mantiene bajo control. Una salida fuera de dichos límites indicaría que un proceso se ha salido de control, señalando el momento en que el ingeniero ha de actuar sobre el proceso en estudio, para ajustarlo, mejorarlo o cambiarlo. Este es una gran falla ya que tenemos que esperar hasta que pasen las cosas para redimir el camino y es por esta razón que seguimos en la etapa de historia del control de calidad.

Las gráficas de control dicen pues cuando conviene revisar el proceso, pero no dicen donde. Aclaran que algo anda mal pero no dicen qué, aún cuando sea cierto que los ingenieros muy familiarizados con su uso lleguen a desarrollar una cierta sensibilidad para detectar las causas del problema que provocan la salida del control.

5.3 Equipos Nucleares y Diagramas CAS (etapa de acción)

A partir de la década de los cincuentas, la forma de competir en todos los sectores de la industria y lograr ser una empresa exitosa, ha sido mediante la investigación y desarrollo tecnológico y la innovación. En lo que se refiere a la construcción, cada vez es más común encontrarse con maquinaria y métodos constructivos de vanguardia, que aceleran los procesos y los hacen más confiables. Tal parece que el uso de la tecnología pasó a ser la mejor arma competitiva y la diferencia entre una compañía moderna exitosa y otra obsoleta decadente.

En el control de calidad, se han desarrollado los llamados equipo nucleares, por medio de los cuales, en muy pocos segundos podemos verificar distintas características de los materiales y en ese instante conocer si se encuentra dentro de nuestro intervalo de aceptación.

El control de calidad se debe de llevar a cabo en el momento, mediante la utilización de equipos nucleares ya que nos ofrecen rápidamente las bases que necesitamos para poder decidir si lo que estamos haciendo está bien hecho.

Con lo que respecta al uso del diagrama CAS, sabemos que es posible localizar con un punto la posición correspondiente a la condición inicial de un material, definido por sus propiedades índice (C, C_L, S_p). Entonces la propiedad característica básica de interés se anota a un lado del punto y se trazan las curvas de igual valor "isocaracterísticas" (Ref.4).

Esta representación conduce a un mejor entendimiento de las interrelaciones que hay entre las propiedades índice (C, C_L, S_p) y las fundamentales. Para ilustrar, a continuación se presentan dos ejemplos:

a) Caso de un suelo fino compactado

En este caso se puede establecer que los cambios volumétricos unitarios ($\Delta V/V_0$) sean menores de cierto valor (4%) y la resistencia a la compresión simple (q_u) sea mayor que otro valor (9 t/m^2), para optimizar simultáneamente las propiedades de estabilidad volumétrica y resistencia al esfuerzo cortante del suelo: es decir, "Sacarle jugo".

Para obtener la zona de aceptación combinada, se trazan las curvas de igual cambio volumétrico unitario en el diagrama CAS_1 y se delimita la zona de rechazo; similarmente, también se delimita la zona de rechazo para las curvas de igual resistencia en el diagrama CAS_2 . Después, se empalma el diagrama CAS_2 sobre el CAS_1 y se define la zona de aceptación combinada que satisface simultáneamente los dos criterios:

a) $\Delta V/V_0 < 4\%$

b) $q_u > 9 \text{ t/m}^2$

Finalmente, en un diagrama CAS se dibuja la zona de aceptación y se establecen los criterios correspondientes:

a) $58.5\% \leq C \leq 67.5\%$

b) $18 \leq C_L \leq 21$

b) Caso de una mezcla asfáltica

En este caso interesa la rigidez de mezcla asfáltica, estimada mediante el módulo Marshall según se define enseguida:

$$M_M = \frac{S}{f \cdot t}$$

M_M = Módulo Marshall, kg/cm²

S = Estabilidad Marshall medida en kg

f = Flujo, cm

t = Espesor del espécimen, cm

Las curvas de igual módulo Marshall se han trazado en el diagrama CAS correspondiente, para lo cual se efectuaron pruebas con diferentes contenidos de cemento asfáltico ($4\% \leq C_L \leq 8\%$) y energías de compactación ($25 \leq N \leq 150$); N representa el número de golpes/cara en los especímenes Marshall.

Los criterios de aceptación propuestos, fueron:

- a) $75\% \leq S_r \leq 85\%$
- b) $700 \text{ kg/cm}^2 \leq M_M \leq 1000 \text{ kg/cm}^2$

Lo anterior corresponde a los criterios de aplicación práctica siguientes:

- a) $82\% \leq C \leq 84\%$
- b) $6.3 \leq C_L \leq 6.9$

Los criterios de aceptación y rechazo aquí esbozados tienen un apoyo sólido de laboratorio, pero es conveniente insistir en la necesidad de obtener información experimental a escala natural, a fin de conocer el comportamiento de los materiales con la estructura real que resulta de utilizar los equipos de construcción habituales. Por ejemplo: un módulo Marshall de laboratorio (600 kg/cm^2) es superior al obtenido de un "corazón" en el campo (200 kg/cm^2). Cuando se tengan datos suficientes, podrán establecerse los criterios de aceptación que se acerquen más a la realidad.

5.4 El "Tablero de Control" (todas las etapas conjugadas)

Lo que mide es lo que obtiene. Los directores encargados de la construcción comprenden que su sistema de medición de la organización afecta severamente la calidad y el comportamiento de los gerentes, empleados y obreros. Los directivos también entienden que las medidas estadísticas del control de calidad (cartas de control) llegan demasiado tarde. También las medidas financieras tradicionales, como la rentabilidad sobre la inversión y la utilidad, pueden enviar señales equivocadas para la mejora e innovación continuas, elementos que son los requisitos actuales de competencia. Las medidas financieras de desempeño y las cartas de control funcionaron muy bien en la industrial de alto crecimiento, pero ahora se han vuelto obsoletas frente a las habilidades que las empresas de hoy están intentando obtener (Ref.8).

Tanto constructores como académicos han intentado remediar la falta de adecuación de los sistemas de medición del desempeño. Algunos se han enfocado en hacer más relevantes a los medidores operativos. Otros han dicho "Olviden las medidas operativas y mejoren las medidas financieras", pero no tenemos porque elegir entre los medidores operativos y financieros. Nadie se apoya en un conjunto de medidas con la exclusión de otras, todos desean una presentación equilibrada de los medidores operativos y financieros.

El "Tablero de Control" incluye los medidores financieros que indican los resultados de acciones ya realizadas. Y los complementa con medidores operativos de satisfacción del cliente, procesos constructivos internos, y actividades de mejoras e innovación (medidores operativos que son los impulsores del futuro desempeño financiero).

El "Tablero de Control" permite a los constructores observar el negocio desde cuatro perspectivas importantes. Ofrece respuestas a cuatro preguntas básicas:

- 1ª ¿Cómo nos ven los clientes? (perspectiva del cliente)
- 2ª ¿En qué debemos lograr la excelencia? (perspectiva interna)
- 3ª ¿Podemos continuar mejorando y generar valor? (perspectiva de innovación y aprendizaje)
- 4ª ¿Qué opinan los accionistas? (perspectiva financiera)

Al ofrecer información de las cuatro perspectivas distintas, el "Tablero de Control" minimiza la sobreinformación limitando el número de medidores utilizados y fuerza a los directivos a enfocarse en unos pocos medidores útiles, los de mayor importancia.

El "Tablero de Control" cumple con diversas necesidades. Primero, el tablero conjunta en un solo reporte muchos de los elementos dispersos de la acción competitiva de la compañía: orientarse hacia el cliente, mejorar el tiempo de respuesta, mejorar la calidad, enfatizar trabajo de equipo, reducir el tiempo de lanzamiento de nuevos procesos y decisiones a largo plazo. Segundo, el tablero es una medida contra la suboptimización. Al forzar a los gerentes a considerar todos los medidores importantes de la operación en forma continua, permite observar si la mejora en un área se logra a expensas de otra.

5.4.1 Perspectiva del cliente: ¿Cómo nos ven los clientes?

Muchas compañías tienen una misión enfocada hacia el cliente. "Ser el número uno en brindar valor al cliente" constituye una misión típica. La forma en que la compañía se desempeña desde la perspectiva del cliente se ha convertido por lo tanto en una prioridad para los directivos. El tablero de control provoca que los directivos traduzcan su misión de servir al cliente en medidores específicos que reflejen los factores que en realidad preocupan a los clientes.

Las preocupaciones del cliente tienden a caer en cuatro categorías: tiempo, calidad, desempeño y servicio, y costo. El tiempo de respuesta mide el tiempo que requiere la compañía para satisfacer las necesidades de los clientes. La calidad también se debe de medir de acuerdo a las entregas a tiempo, la precisión de los pronósticos de entrega de obra. La combinación de medidores de desempeño y servicio indica la forma en que la obra o servicio de la compañía contribuyen a crear valor a sus clientes.

Para ser que funcione el tablero de control las empresas deben articular objetivos de tiempo, calidad, desempeño y servicio, y luego traducir estas metas en medidores específicos. Los procedimientos de *Benchmarking*² constituyen otra técnica que las empresas constructoras usan para comparar su rendimiento con relación a las mejores prácticas del sector. Además los medidores relativos al tiempo, calidad, desempeño y servicio, las compañías deben permanecer sensibles al costo de los productos.

5.4.2 Perspectiva interna del negocio: ¿En qué debemos lograr la excelencia?

Los medidores basados en el cliente son importantes, pero deben traducirse en medidores sobre qué tiene que hacer la compañía para satisfacer internamente las expectativas de su cliente. Después de todo, el desempeño excelente hacia el cliente se deriva de los procesos constructivos, decisiones y acciones que ocurran en toda la organización. Los constructores necesitan enfocarse en esos procesos críticos internos que les permiten satisfacer las necesidades de los clientes. La segunda parte del tablero de control ofrece a la dirección esa perspectiva interna.

Los medidores internos para el tablero de control deben basarse en los procesos de negocio que tengan mayor impacto en la satisfacción de los clientes, factores que afectan el tiempo de cada

² mejores marcas

ciclo, la calidad, las habilidades de los técnicos y operadores y la productividad. Debe asegurarse que hasta los trabajadores de niveles inferiores en la constructora cuenten con metas claras de acción, toma de decisiones de acuerdo a su responsabilidad y actividades de mejora continua que contribuirán a la misión general de la empresa.

Los sistemas de información juegan un papel invaluable para los encargados de tomar decisiones rápidas, cuando aparece una señal inesperada en el tablero de control los encargados pueden solicitar a su sistema de información que encuentre la fuente del problema. La constructora debe desarrollar un sistema de información que dé mejor respuesta para eliminar cualquier restricción que la haga más ineficiente.

5.4.3 Perspectiva de innovación y aprendizaje: ¿Podemos continuar mejorando y generar valor?

Los medidores de la perspectiva del cliente y del proceso interno del negocio del tablero de control identifican los parámetros que la compañía considera más importantes para el éxito competitivo. Pero las metas del éxito cambian constantemente. La intensa competencia requiere que las compañías realicen mejoras continuas en sus procesos constructivos y maquinaria existente y que tengan la habilidad de introducir ideas totalmente nuevas y gente con mayores capacidades. La habilidad para innovar, mejorar y aprender se relaciona directamente con el valor de la compañía. Es decir, únicamente a través de la capacidad para lanzar nuevos procesos constructivos, generar mayor valor para sus clientes y mejorar continuamente la eficiencia operativa, la constructora puede penetrar en obras nuevas y aumentar sus ingresos y sus márgenes (en el corto plazo) y por lo tanto crecer y aumentar el valor para los accionistas (largo plazo).

Además de medidores de innovación de procesos, algunas empresas añaden metas de mejora para procesos ya existentes. Otras compañías requieren que los constructores hagan mejoras en períodos establecidos. Estos objetivos enfatizan el mejoramiento continuo en la satisfacción del cliente y los procesos internos del negocio.

5.4.4 Perspectiva financiera: ¿Qué opinan los accionistas?

Los medidores del desempeño financiero indican si la estrategia, implementación y ejecución están contribuyendo a mejorar el último renglón del estado de resultados. Los objetivos financieros típicos tienen que ver con la rentabilidad, crecimiento y valor para el accionista. Las constructoras deben dejar de navegar según sus medidores financieros. Al realizar mejoras fundamentales en la operación, los números financieros se darán como consecuencia.

Las aseveraciones que establecen como innecesarios a los medidores financieros son incorrectas por lo menos por dos razones: un sistema de control financiero bien diseñado puede permitir, más que inhibir, un programa de mejora de la calidad total de la organización. Pero de mayor importancia es el hecho de que la relación entre mejor desempeño operativo y el éxito financiero es poco clara e incierta. La cruda realidad es que si un mejor desempeño operativo no se refleja en la cifra de resultados, la dirección debe revisar los supuestos básicos de su estrategia y misión. No todas las estrategias con visión de largo plazo son estrategias rentables.

Los medidores de satisfacción del cliente, desempeño interno del negocio, innovación y mejoras se derivan del punto particular que la constructora tiene del mundo y sobre los factores clave del éxito. Pero este punto de vista no es necesariamente el correcto. Un excelente conjunto de medidores no es garantía de una estrategia ganadora. El tablero de control solo traduce la estrategia de la compañía en objetivos medibles y específicos. La falla de traducir mejoras de desempeño en mejo-

res resultados financieros, debe enviar a los directivos y constructores hacia sus escritorios para pensar de nuevo la estrategia de la compañía y la implementación de sus planes.

A medida que las compañías mejoran su calidad y su tiempo de respuesta, eliminan la necesidad de inspeccionar y retrabajos por no cumplir las especificaciones. Al eliminar estas tareas las personas que las realizan ya no son necesarias. Las compañías se oponen naturalmente a despedir empleados, especialmente por que ellos pudieron haber sido la fuente de ideas que provocó las mejoras, y pueden dañar la moral de los trabajadores que queden, lo que reduce la posibilidad de nuevas mejoras. Pero la compañía no se dará cuenta de los resultados financieros de las mejoras hasta que sus trabajadores y maquinaria estén trabajando realizando trabajo productivo o que eliminen los costos de la capacidad ociosa.

El tablero de control, representa un cambio fundamental en las suposiciones sobre las mediciones de desempeño (las condiciones de aceptación y rechazo).

El tablero de control coloca a la estrategia, no al control, en el centro. Establece metas, pero asume que la gente adoptará el comportamiento y realizará las acciones necesarias para lograr esas metas. Los medidores están diseñados para forzar a la gente a tener una visión general. La dirección puede saber cuál debe ser el resultado final, pero no puede decir exactamente cómo lograrlo, simplemente por que las condiciones cambian constantemente.

Este nuevo enfoque para medir el desempeño es consistente con las iniciativas de muchas empresas: integración interfuncional, clientes fieles y contentos, mejoramiento continuo y responsabilidad de equipo en lugar de individual. Al combinar los medidores financieros, de procesos internos, de satisfacción del cliente, así como la innovación y perspectivas de aprendizaje de la organización, el tablero de control ayuda a la dirección a comprender muchas interrelaciones.

Este concepto puede ayudar a las compañías constructoras y las personas que las conforman a romper las nociones tradicionales sobre las barreras financieras y finalmente a logara una mejor toma de decisiones y a una mayor capacidad de resolver problemas en el momento preciso y con casi cualquier miembro de la organización.

El tablero de control hace que la compañía mantenga la visión de cómo avanzar, no de cómo retroceder.

Capítulo VI: CONCLUSIONES

6.1 Generalidades

Después de este proceso de investigación podemos apuntar las siguientes conclusiones que me parecen de gran valor para aquéllos que desean un proceso de calidad total:

6.1 1ª Cambio en la cultura de trabajo

Debemos entender que el único responsable de la calidad de una obra es el constructor y para ellos es necesario contar con un cambio interno que lleva implícito maximizar valores y actitudes acordes con la calidad total. El compromiso de todos los empleados y muy en especial, el de la dirección es indispensable en todo el proceso.

Un modelo de calidad en realidad es un modelo de conducta que debe impregnar a TODOS los niveles de la organización.

Implantar un proceso de este tipo va más allá de tomar un curso; es necesario hacerlo palpable a todos los empleados e integrarlo a la estrategia global de la constructora. Se requiere de un grupo de personas que sean responsables de promover, educar, concientizar y mantener viva la chispa de calidad y mantener la filosofía de calidad como una nueva forma de vida, una nueva forma de competir.

Es muy importante involucrar y hacer que participen, además de todo el personal de la compañía, los subcontratistas, arrendadores de maquinaria, proveedores de materiales y sobre todo nuestro cliente.

El director general es responsable del todo. El es el inicio del proceso; tiene que vivirlo y contagiar masivamente a la organización en el espíritu de servicio al cliente externo e interno ³ como misión de cada uno de los individuos que conforman las empresa. Hay que cambiar en esta etapa el lenguaje de la organización, integrando a la acción los conceptos de un nuevo lenguaje: el *lenguaje de la calidad total*.

Es indispensable un cambio profundo en la organización que le permita "hacer todo bien desde la primera vez" y ofrecer obras y servicios para ser más competitivos. Este es el gran reto que en este sentido encuentra la función de personal: lograr el hábito y la espontaneidad hacia la calidad total.

6.1.1 El cuadro de clasificación de la madurez de la calidad de Crosby

La calidad empieza realmente con la gente, no con las cosas (Ref.9). Con el propósito de entender qué tan lejos está la cultura de nuestra empresa, de una cultura orientada a la calidad, Crosby nos presenta un cuadro para diagnosticar nuestro nivel de madurez en la administración por calidad; éste se encuentra en la lámina Nº10, al final de este capítulo.

Para aclarar en qué consiste el cambio cultural hay que decir que el mejoramiento de calidad involucra un cambio cultural que implica a su vez un cambio de actitud en lo personal y en la organización.

En lo personal:

- a) Mejorar hábitos y costumbres personales
- b) Crear orden / actuar con certeza
- c) Cumplir compromisos / lograr eficacia personal
- d) Competir contra uno mismo

³ es el caso de terminar un proceso, para que otro continúe con el suyo, como por ejemplo: el cliente interno del que conforma la sub-base es el que vendrá a compactarla

- e) Buscar calidad de vida
- f) Aceptar mis propios errores
- g) Tener seguridad de uno mismo
- h) Planear y organizar todo lo que hago
- i) Ser puntual
- j) Ser pro activo. Tener iniciativa
- k) Aceptar la retroalimentación personal
- l) Actuar con juicio. Usar criterio
- m) Tener apertura de mente, saber escuchar y tener confianza

En la organización:

- a) Fijar y cumplir requisitos
- b) Establecer sistemas de prevención
- c) Inculcar la actitud de "cero" defectos
- d) Desarrollar la medición del error
- e) Actuar con certeza
- f) Eliminar la lucha de poderes
- g) Trabajar en equipo. Ser productivo
- h) Todos trabajamos para la empresa
- i) No buscar culpables, sino soluciones
- j) Reconocer logros
- k) Mejorar la comunicación
- l) Eliminar los problemas de raíz
- m) Administrar el tiempo

6.2 2ª Adoptar un modelo de calidad por servicio

6.2.1 Generalidades

El objetivo de cualquier empresa es y debe ser la satisfacción total del cliente. ¿Por qué? Porque la supervivencia y el bienestar de la organización (y de todos sus empleados) depende de sus clientes. Es decir, todos tenemos que estar orientados hacia el cliente, para asegurarnos de lograr su satisfacción y su preferencia.

¿Cómo podemos lograrlo? Mediante el "Modelo de Calidad por Servicio" (Ref.10), cuyo objetivo es la plena satisfacción del cliente.

Debemos insistir que un programa de cambio a calidad por servicio no es una operación de pocos meses, ni siquiera el plan para este próximo año. Su desarrollo se extiende necesariamente varios años y en último término es una historia sin fin.

En este modelo no interesan, en principio, todos los procesos sino solamente aquéllos que afectan la percepción del cliente externo. Se trata de iniciar con aquellas tres o cuatro cosas que están molestando a los clientes o que, en sentido positivo, están en el área de su mayor interés y será sobre los procesos correspondientes a los que inicialmente nos limitaremos. Su estudio, revisión y establecimiento de convenios puede hacerse en pocos meses y, al término de los mismos, pueden percibirse ya mejoras importantes de calidad. Aunque insistimos, la culminación significativa del programa ocupa varios años.

Esta afirmación sobre los dilatados tiempos que toma un programa de cambio a calidad por servicio se comprenden mejor, cuando se detallan todos los pasos que hay que dar para llevarlo a cabo.

En primer lugar, como ya hemos señalado, hay que proceder a la auditoría de clientes en la cual debemos descubrir:

- a) Sus necesidades reales
- b) Sus expectativas
- c) Puntos de posible "agregación de negocio"

Los dos primeros puntos no necesitan explicación. El tercero se refiere a los casos en que nuestro cliente no es usuario final (como en las autopistas, que en la mayoría de los casos nuestro cliente es una concesionaria, el gobierno o una entidad paraestatal y el cliente final es el conductor). Para éstos, un elemento sustancial de nuestro servicio es aquéllo que contribuye a mejorar sus propios procesos operativos y de negocio.

La comprensión de estos tres puntos permite diseñar la función comercial (el servicio) que vamos a prestar. Y esta comprensión ha de ser muy empática (hemos de ponernos en los zapatos del otro) y para ello es preciso superar, no pocas veces, movimientos de estupor o de incredulidad que nos nacen por el choque entre aquello que descubrimos y lo que *a priori* pensábamos que el cliente buscaba. Es decir, para un constructor, el pintar el concreto con algún color sin que se lo haya pedido el cliente, puede resultar un detalle que no sea percibido y convertirse en un costo absolutamente inútil.

Después de identificar lo anterior, debemos enfrentar la descripción de procesos. Es aquí en donde se dan muchos abandonos; especialmente éstos se presentan cuando descubrimos que las quejas se dirigen a lo más elemental.

La descripción de procesos no es tarea menor, debemos descubrirlos como ocurren en la realidad y con detalle; no podemos echar mano de aquel diseño teórico del proceso que quizá se hizo determinado día y que guardamos en un fólder medio empolvado o están en algunas normas o pruebas ya obsoletas.

Una vez escrito el proceso, podremos dibujar los contactos con el cliente externo, lo cual nos servirá para darle prioridad a aquéllos que hagan cambiar de una forma significativa la percepción del cliente.

Tras el establecimiento de los convenios cliente - proveedor, la siguiente cuestión ardua es el establecimiento de los costos de no calidad. Cuando esto se refiere a un negocio "dejado de hacer" y no solamente aquél que explícitamente incurre en pérdidas.

Al hacer todo lo anterior iremos configurando las modificaciones hasta llegar al nuevo proceso. En nuestro caso, el resultado podría ser: acortar el tiempo de ciclo que repercutiera en un tiempo menor de uso de máquina y por lo tanto en el ahorro de la renta o el desgaste.

Una vez establecido el nuevo proceso, hay que cuidar de su cumplimiento, lo cual se efectúa por la vigilancia sobre los convenios y por el establecimiento de medidores para las variables implicadas en cada convenio.

Finalmente, podremos volver al cliente en auditorias sucesivas para ver qué otras necesidades, expectativas o agregación de negocio podemos atender, después que con lo anterior ya dimos satisfacción a las principales.

En esta historia sin fin, siempre debemos partir de allí, del cliente externo; olvidar esto conduce no pocas veces en muchos procesos de calidad, a buscar mejoras que, so pretexto de atender mejor al cliente interno, acaban por atentar decididamente contra aquel cliente que a la postre es quien paga...

6.2.2 El Programa General y Comentarios

Todos estos pasos se estructuran en un programa general, según un esquema similar al que sigue y en la línea que también anotamos:

6.2.2.1 Sensibilización

Conciencia del personal de mayor jerarquía hacia el modelo y sus implicaciones: Director General, Superintendente General, Jefaturas.

Identificar y desarrollar los conocimientos y habilidades requeridos para el proceso.

Convenios cliente - proveedor

Auditoría de clientes

Capacitar a los responsables del proceso en:

- a) El modelo de calidad
- b) Estadística básica
- c) Análisis de procesos
- d) Análisis de problemas
- e) Evidencia estadística

Identificar "Los Costos de No calidad"

Comentarios:

- Hay que programar una serie de eventos y acciones orientadas a la difusión y comprensión del modelo, a fin de motivar y comprometer a los principales directivos de la organización encabezados por el Director General.

- **Interesa en esta etapa ver puntos como:** qué es un proceso de calidad; cuál va a seguir la empresa; qué implicaciones tiene este proceso para la organización y para las personas; qué papel juega cada uno de los involucrados en el proceso; qué responsabilidad hay, etcétera.
- **Conocimientos y habilidades requeridas:** Es necesario describir con detalle las herramientas que conforman el corazón del proceso (la auditoría de clientes y los convenios cliente - proveedor). No basta con explicar estas herramientas, sino que hay que vivirlas; es decir, se tiene que llevar ante los clientes a la gente de la organización, a que viva lo que es una auditoría de clientes.
- **Y no basta con sufrirla y vivirla.** Cuesta mucho hacerla bien, tomando en cuenta que nuestros clientes no están acostumbrados a que les preguntemos. Por ello, es muy conveniente la ayuda de expertos en el inicio del proceso, hasta que la organización hace suya la herramienta. En cuanto a los convenios cliente - proveedor pasa lo mismo: lo que al principio parece una herramienta simple, resulta difícil de aplicar. Lo difícil es conciliar oferta y demanda entre cliente y proveedor. No es extraño que un proceso tenga que ser revisado hasta ocho veces antes de conseguir un documento claro, sencillo, específico, medible y que realmente refleje las necesidades del cliente y las capacidades del proveedor.
- **Capacitar:** No se trata de una capacitación generalista que trata de todo para toda la organización. Para este proceso de calidad / servicio, hay herramientas específicas que ayudan a la auditoría de clientes y a los convenios cliente - proveedor, como la estadística básica, el análisis de procesos y problemas, las diversas gráficas, las técnicas de manejo de equipos, etc.
- **La capacitación debe de servir a objetivos concretos y no perderse en cosas más o menos interesantes y enriquecedoras,** que pueden desviar y confundir a la organización porque la capacitación se convierte en un fin y no en un medio para alcanzar los objetivos.

- “Costos de la no calidad”: En el inicio del proceso y para acabar de convencer a las cabezas de la organización de que el procesos de calidad / servicio es uno de los esfuerzos más importantes para reducir costos y aumentar competitividad, es bueno calcular los costos más obvios de la “no calidad”. Es común que los costos de la “no calidad” antes del proceso sean de alrededor del 20 % de los ingresos totales de la constructora.
- Al principio no importa hablar de costos un poco generales y aproximados. Poco a poco la organización se vuelve más precisa para la identificación y medición de los mismos.
- Ejemplos de este tipo de costos son el desperdicio más alto de lo previsto, “las segundas” o re-trabajos que exceden los presupuestos, los tiempos inútiles de maquinaria inactiva, etcétera. El grado de dificultad para identificar este tipo de costos varía de empresa a empresa, pero es una tarea en la que hay que empeñarse porque su identificación confiere un gran impulso al proceso de cambio.

6.2.2.2 Auditoría de clientes externos e internos

Sensibilización del personal clave en el enfoque al cliente

Manejo de la entrevista con clientes internos y externos

Descubrimiento de expectativas, ubicación del verdadero *status* de la empresa, descubrimiento de necesidades

Formas de agregar negocio a nuestros clientes. El proveedor experto

Generación de estándares de servicio

Estándares de comparación con la competencia nacional, internacional y también contra expectativas del cliente (*Benchmarking*).

Comentarios:

- Ésta es la fase donde la voz del cliente golpea a la empresa. Es importante hacer énfasis en ella.
- Después de la fase inicial de convencimiento y compromiso, es decisivo difundir lo que la auditoría revela.
- Conciencia del personal clave del enfoque al cliente: Se debe insistir e instrumentar mecanismos que garanticen que sea el cuerpo directivo el que impulse este enfoque al cliente; el cuerpo directivo debe convertirse en el defensor del cliente.
- Manejo de la entrevista con los clientes: Es aquí donde se empiezan a instrumentar el cambio a servicio y donde se descubre la potencia real del concepto.
- No hay nada más valioso para lograr una orientación masiva de la organización hacia el cliente que llevar a gente de esta organización de todos los niveles y áreas, hasta donde nuestros clientes usan el producto (tomar la autopista). Es mucho más claro para un obrero observar un bache que mil gráficas que tratan de decir lo mismo; la calidad es testimonial. Este modo de manejar la entrevista trae también como consecuencia que la voz del cliente sea traducida a los diferentes lenguajes de las empresas.
- Áreas de negocio agregado: En la entrevista hay que identificar también cómo ayudar a ser más competitivo a mi cliente: Si mi cliente al comprarme a mí no hace más negocio, tarde o temprano los dos dejaremos de existir. Ejemplos de esta ayuda son: En la medida que una constructora sea más eficiente en cuestión de costos, el plazo para recuperar la inversión para la concesionaria será menor y se convierte en una fuerte razón para ganar un concurso. Otro ejemplo podría ser

para las compañías transportistas en el uso de las autopistas de cuota, para que el costo ahorrado en darle mayor rapidez a sus entregas y menor mantenimiento a sus camiones, no se vea nulificado en las altas tarifas que ahora se dan en las autopistas concesionadas de nuestro país.

- **Estándares de servicio:** A estas alturas del proceso ya se pueden establecer también algunos compromisos de cara a nuestros clientes; es decir, se pueden (como estrategia) aumentar las expectativas de nuestros clientes para motivar a la organización hacia una mejora más acelerada y generar objetivos comunes para todos los departamentos; si todos sabemos que nuestro compromiso es acabar una cierta longitud de una capa de la autopista para esta semana, es poco probable que a alguien que tenga que ver con esto no le quede claro lo que es importante.
- **Estándares más competitivos:** La auditoría de clientes debe complementarse con la búsqueda de información sobre cómo la competencia, nacional e internacional, atiende a sus clientes en términos de servicio (*Benchmarking*). Es también una interesante fuente de posibles mejoras.

6.2.2.3 Revisión de procesos y procedimientos internos

Traducción de necesidades, expectativas y posibles agregaciones de negocio en términos operativos y administrativos

Jerarquía de las necesidades principales de los clientes

Revisión de procesos y procedimientos entre:

- a) Divisiones
- b) Funciones
- c) Áreas
- d) Personas

Generación de convenios básicos

Los nuevos procesos

Identificar puntos de contacto

Los requerimientos del cliente

Transformar los convenios cliente - proveedor en procedimientos de operación. El autocontrol

Evidencia estadística para el control de la ejecución y el avance

Compromiso del personal en el programa (Remuneración)

Comentarios:

- De la auditoría nos vamos hacia atrás y describimos los procesos, los repensamos, establecemos los que tienen contacto con el cliente externo para mejorarlos.
- **Convenios básicos:** Las necesidades de los clientes se jerarquizan y las más importantes se transformarán en los primeros productos que serán materia de los convenios básicos. Esos serán los objetivos de calidad. Los convenios base obligarán a toda la organización a generar convenios relacionados que romperán al aislamiento entre departamentos y áreas.
- **Los nuevos procesos:** Los procesos modificados deben de incluir los estándares del cliente, para normar sobre las variables críticas del proceso, entendiendo por críticas aquellas que requieren de un control y vigilancia muy estrictos, para lograr exactamente lo que quiere el cliente.
- **Los nuevos procedimientos:** Los tradicionales manuales de procedimientos ceden su lugar a los convenios cliente - proveedor para garantizar el modo de operar de la empresa. Y éstos son procedimientos vivos y en constante revisión que consiguen autocontrol.

- **Comprometer al personal:** Como ya se ha señalado anteriormente es preciso cambiar de una cultura de poder a una cultura de servicio. Es en esta fase cuando se instrumenta esto ligando una parte significativa de los ingresos de cada proveedor al juicio del cliente correspondiente. Esto desplaza definitivamente el énfasis de servir al jefe a servir al cliente.

6.2.2.4 Subcontratistas y Proveedores

Empujar hacia atrás la mejora de nuestro negocio

Relaciones a largo plazo

Reducción del número

Comentarios:

- **La agregación de negocio** que buscamos para nuestros clientes, debemos exigirla igualmente de nuestros proveedores y subcontratistas.
- **Relación a largo plazo:** Lo anterior conduce al establecimiento de relaciones permanentes con los proveedores y subcontratistas. Estas relaciones se fundamentan en requisitos múltiples de servicio y no solamente de precio o calidad técnica. Todo esto exige un modo de contratar distinto a lo que han señalado tradicionalmente los manuales.
- **Nuestros proveedores y subcontratistas:** La política anterior permite reducir el número de ellos y así simplificar todas nuestras relaciones.

6.2.2.5 Reapreciación

Atención de quejas

Revisión de políticas comerciales

Cumplimiento de compromisos

Comentarios:

- **Atención a quejas o insatisfacciones:** Es necesario establecer un proceso simple para que la gente se queje sobre el producto o servicio recibido. Y esto requiere una gran creatividad; no creamos sólo en las encuestas, ni las garantías.
- **Revisión de políticas comerciales:** Con toda la información recolectada en los pasos anteriores se puede hacer ya un análisis de las políticas comerciales de la empresa, desde la publicidad hasta las garantías, para completar con "esta otra parte" el servicio que queremos dar.

CUADRO DE CLASIFICACION DE LA MADUREZ DE CALIDAD

Categorías de medición	ESTADO I INCERTIDUMBRE	ESTADO II DESPERTAR	ESTADO III ENTENDIMIENTO	ESTADO IV CONCIERTIZACION	ESTADO V CERTeza
ENTENDIMIENTO Y ACTITUD DE LOS JEFES	No se comprende a la calidad como una herramienta administrativa. Se tiende a culpar al departamento de calidad por los "problemas de calidad"	Se reconoce que administrar por calidad puede ser de ayuda, pero NO con el deseo de disponer tiempo o dinero para que se haga realidad	Al ir siguiendo el programa de mejora de calidad se aprende más, convirtiéndose en ayuda y soporte	Se participa. Se comprenden los fundamentos. Se reconoce la responsabilidad personal	Se considera a la administración por calidad (APC) una parte esencial del sistema de la empresa
ESTRUCTURA DE LA COMPAÑIA EN RELACION A CALIDAD	La función de calidad se esconde en el departamento de proceso y no se tiene en oficinas. Se prefiere detección de fallas, remedios a problemas o soluciones con rapidez	Se designa a un líder de calidad, pero el mayor énfasis en detección de fallas y remedios a problemas no hay profesionales al cargo de calidad	La función de calidad se reporta al gerente. Se inicia la prevención y el gerente de APC tiene una función en la administración de la compañía	El gerente de APC es un ejecutivo de la compañía. Se tiene un reporte efectivo de situaciones y acciones correctivas	El gerente de calidad está en el consejo de administración. La prevención es lo más importante. La calidad es el líder total
MANEJO DE PROBLEMAS	Los problemas se resuelven como ocurren. No hay soluciones definitivas. Procedimientos no bien definidos, fricciones, retrasos	Se forman equipos para resolver los problemas mayores. No se efectúan soluciones a largo plazo	Se comunican acciones correctivas. Los problemas se enfrentan abiertamente y se resuelven en forma ordenada	Los problemas se detectan en su inicio. Todos los departamentos son abiertos a sugerencias y mejoras	Sólo en casos excepcionales los problemas ocurren
COSTO DE CALIDAD COMO % DE LOS INGRESOS	Reportado: Desconocidos Real: 20 %	Reportado: 3 % Real: 18 %	Reportado: 8 % Real: 12 %	Reportado: 6.5 % Real: 8 %	Reportado: 2.5 % Real: 2.5 %
ACCIONES PARA MEJORAR LA CALIDAD	No se tiene actividades organizadas. No se comprenden esas actividades	Se intentan esfuerzos motivacionales lógicos a corto plazo	Implantación del programa APC con completo entendimiento y establecimiento de cada etapa	Continúa el programa y se empieza a actuar con certeza	El mejoramiento de la calidad es una actividad normal y continúa
ENUNCIADO DE LA POSTURA DE LA COMPAÑIA HACIA LA CALIDAD	"No sabemos por qué tenemos problemas con calidad"	"Es absolutamente necesario tener siempre problemas con calidad"	"Con compromisos de la Gerencia y mejoras de calidad identificamos y solucionamos problemas"	"La prevención es una rutina parte de nuestra operación"	"Sabemos por qué no tenemos problemas con calidad"

Referencias

- 1) Ishikawa, K.
"What is Total Quality Control? The Japanese Way"
Prentice Hall, Englewood Cliff
New Jersey, 1985.
- 2) Orozco Santoyo Raúl Vicente
"Construcción y Control de Calidad de Pavimentos"
México D.F., 1986.
- 3) Secretaría de Comunicaciones y Transportes
"Normas para Muestreo y Pruebas de Materiales, Equipos y Sistemas"
Carreteras y Aeropuertos
México D.F., 1986.
- 4) Orozco Santoyo Raúl Vicente (1977)
"Reflexiones sobre Control de Calidad"
Revista Mexicana de Ingeniería y Arquitectura,
Vol. LVI, N° 2. Asociación de ingenieros y arquitectos de México (AIAM).
México D.F.
- 5) Briseida Lavielle y Carmen Aguilar
"La Hora de la Calidad"
Informe especial de la Revista "Expansión"
Abril 15 de 1992
- 6) M. en I. José Antonio Mendoza M.
Cartas de Control
Control de Calidad
Centro de Actualización Profesional, CICM
- 7) Rico Alfonso, Del Castillo Hermilio
Control de Calidad
La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres
Ed. Limusa
- 8) Kaplan Robert, Norton David
"The Balance Scorecard-measures that drive performance"
Harvard Buisiness School
Harvard Buisiness Review, Febrero 1992

- 9) Brehm Brechú Mauricio
¿Puede aceptar el reto de administrar por calidad?
Dirección de personal (Caso DPN-97)
IPADE, 1994
- 10) Ginebra Joan, Arana Rafael
El Modelo de Calidad por Servicio
Dirección por Servicio, La OTRA Calidad
IPADE, Mc Graw Hill, 1993