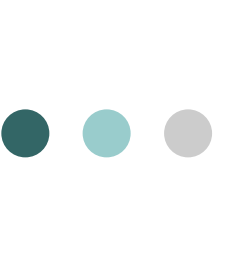


Ahuellamiento prematuro de los
pavimentos asfálticos

XXXV R. del Asfalto – 2008
Rosario .
Ing. Carlos . Francesio



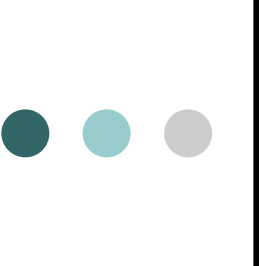
Metodo Marshall aun vigente y con sus relaciones volumétricas y de base empírica aparece insuficiente para fijar Estabilidad frente a nuevas exigencias de tránsito.

Sistema Superpave con clasificación de asfaltos por grados PG junto a ensayos de resistencia al corte y a otros de ahuellamiento y de módulo como verificación significó importante avance hacia pruebas de laboratorio que reproduzcan las solicitaciones en el pavimento , con tres niveles de diseño “N” ; se incluía envejecimiento del asfalto a corto plazo.

Solución teórica frente a ello es problemática por la disparidad de cargas, presiones, deformaciones y temperaturas , pues cada caso particular con datos y valores limita su generalización.

Otra alternativa correlacionando parámetros resultantes de ensayo que reproduzcan las solicitaciones en el pavimento aunque en otra escala (frecuencia , carga , deformación , temperatura) para cotejar la deformacion permanente con la que resulta en el mismo pavimento como sería el ahuellamiento y que tuvo buen comportamiento posibilita garantizar su respuesta en el camino:W.T.T (rueda cargada) , Hamburgo , Sudafricano.

Otra variante muy común se refería a algún concreto dentro de la region que respondió bien y para el nuevo pavimento se tomaba como referencia , como ser Estabilidad y Fluencia M.



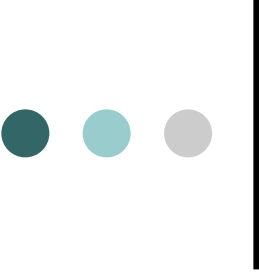
Presente estudio se refiere ensayo de laboratorio que si bien no reproduce fielmente sollicitación de las cargas en el camino , informa sobre las “Resistencias” al ahuellamiento de una mezcla asfaltica sobre una probeta :

1 - A la penetracion ante la carga normal dada por el pistón como en ensayo C.B.R , con parte no recuperable que se registra

2 – A “fluir” o desplazarse lateralmente a través de resistencia al corte en los planos de deslizamiento , como el que provoca levantamiento lateral en un pavimento.

Se pretende correlacionar “Ahuellamiento” admisible para determinado tránsito con los valores resistentes asi obtenidos , para adoptarlos como referencia para proyectar otro concreto para condiciones similares.

Esfuerzos , deformaciones , desplazamientos , dificiles de ponderar teoricamente asi como medir , por lo que se recurre a la experiencia ya adquirida. Con un solo ensayo no pretender medir distintas resistencias de un concreto a los principales esfuerzos ; la falla menos atendida o peor controlada al presente es el “Ahuellamiento” o por falta de ensayo que lo verifique o por no aplicar las exigencias correspondientes. El C.B.R de origen empirico no desmerece si se lo aplica en ensayo similar al propuesto a un concreto asfaltico para fijar su real estabilidad.



Test propuesto equivale conjunción de Valor Soporte y Estabilómetro , en que se mide tanto la resistencia a la penetración del pistón como la presión lateral que se transmite como índice de inestabilidad ; así se resumen las sollicitaciones en una carpeta asfáltica al paso de la carga normal, como la resistencia al corte de la misma que incluye la deformación permanente o sea el “Ahuellamiento”.Porter con su criterio controló esta deficiencia a nivel de capas inferiores con su ensayo estático , sin incurcior en las capas asfálticas que incluiría cargas dinámicas con la presencia de ligante asfáltico.Entonces las capas asfálticas eran muy delgadas o tratamientos superficiales, con mínimo aporte estructural , simplemente como “cubiertas”. Luego Hwem complementó con su aparato registrando la presión lateral que se trasmite frente a la carga normal , a la vez de evaluar la cohesión.

Condición pistón que penetra en C.B.R similar a zapata de fundación que se asienta con sus planos de deslizamiento pero allí estamos ante una falla y en nuestro caso la provocamos. Este cotejo más próximo cuando se ensayaba la penetración directa sobre las capas en el camino , en muchos pavimentos en construcción

2- Ahuellamiento como deficiencia: deformación vertical permanente sobre cada huella por cargas del tránsito y abarcaría las capas de un pavimento , creciendo en el tiempo acumulándose ascendiendo capa por capa desde subrasante. Solo consideramos carpeta asfáltica por considerar diseño correcto el resto.

Causa fundamental Reiteración de Tensiones de corte en carpeta , generando deformaciones plásticas , con incidencia del clima en especial la temperatura .Figura 1 muestra sección transversal en una huella con depresión Δh_1 + densificación adicional y desplazamiento lateral por inestabilidad que provoca levantamiento ΔH_2 ; el total = profundidad ahuellamiento , en que se fijan limites para vida de servicio aunque incidencia en serviciabilidad en pavimento es inferior a rugosidad longitudinal , pero favorece su desarrollo.

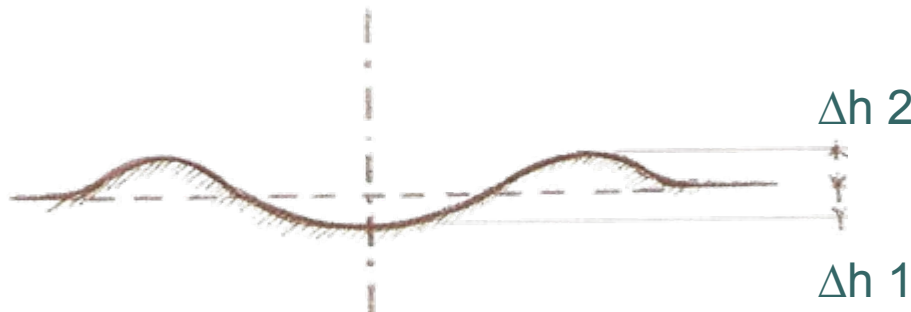


FIGURA 1

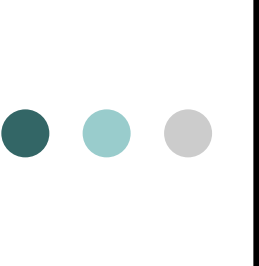
Deficiencia afecta confort al transitar y agua de lluvia acumulada provoca hidroplaneo y también se proyecta al paso de un vehículo.

Por simplificación se limita a la carpeta y ningún aporte capas inferiores ,seria el caso de recapádo sobre pavimento de hormigón.

Caso de tensiones tangenciales rasantes en curvas cerradas zonas urbanas por fuerza centrífuga generan efecto similar , siendo mas critica la inestabilidad en este caso del concreto asfáltico



Fotografia 1



3- Ensayos actuales : Esta deformación permanente de carpeta asfáltica representa falla de estabilidad , en que la E Marshall aparece insuficiente : toneladas por eje , frecuencia , presión de inflado y no reproduce la real sollicitación en el pavimento.

En carpeta asfáltica teorías de diseño estructural dan dos tensiones críticas : tracción por flexión parte inferior y de contracción térmica , pero omiten prever esa deficiencia y como la carpeta es parte del pavimento “ indicaría que métodos de diseño , empiricos o racionales son incompletos frente a ello “.

Ensayo rueda cargada :W.T.T pretende medir resistencia reproduciendo en forma acelerada en laboratorio determinando numero de pasadas y profundidad de huella , en tanto correlaciona con el el concreto en el pavimento para crecientes aplicaciones de carga , fijando tanto velocidad ahuellamiento en mm./minuto y la estabilidad dinámica dada por nº pasadas para deformación de un mm.(unitaria)

En principio para estas relaciones es necesario abarcar ahuellamiento de la carpeta, como que demandaría su vida de servicio para conocer su respuesta ; pero ello se obvia al disponer comportamiento carpetas similares y estrapolar al concreto en estudio . Ensayo Hamburgo equivale a un W.T.T pero probeta en agua para doble efecto de cargas y adherencia asfalto agregado.con punto de inflexión que marca



Ensayo de “creep” relativo por permanencia de carga en el tiempo y limita reacomodamiento entre partículas .

Ensayo de corte simple a carga repetida representa en forma acelerada como evoluciona esa deformación irre recuperable ,que para una función senoidal presenta angulo de defasaje y con ello conocer la energia disipada con la integral de los ciclos de histéresis ; asi se caracteriza una mezcla frente a esta exigencia por el número de aplicaciones de carga para alcanzar una mínima deformación no recuperable.

4- Descripción aparato - Principios prueba : ensayo simple sobre probeta tipo Marshall horizontal apoyada con presión lateral con dos media-cañas y aro horizontal que aplica P L inicial , con pistón C.B.R se aplica penetración normal ; vamos registrando para sucesivas penetraciones fijas los correspondientes P N y P L a velocidad de 2 mm/min. Fotografías 2 y 3 muestran aparato , fotografia 4 corresponde a etapa previa de ajuste lateral y fotografia 5 corresponde a probeta luego del ensayo mostrando penetración “remanente” al retirar P N .Penetracion final en principio se fija en 3,0 - 3,5 mm ; teniendo registrado los correspondientes PN Y PL para 0,5 -1.0 – 2,0 – 3,0 – 3,5 mm. Ensayo a 60° C sin inmersión previa en agua .



Fotografia 2



Fotografia 3



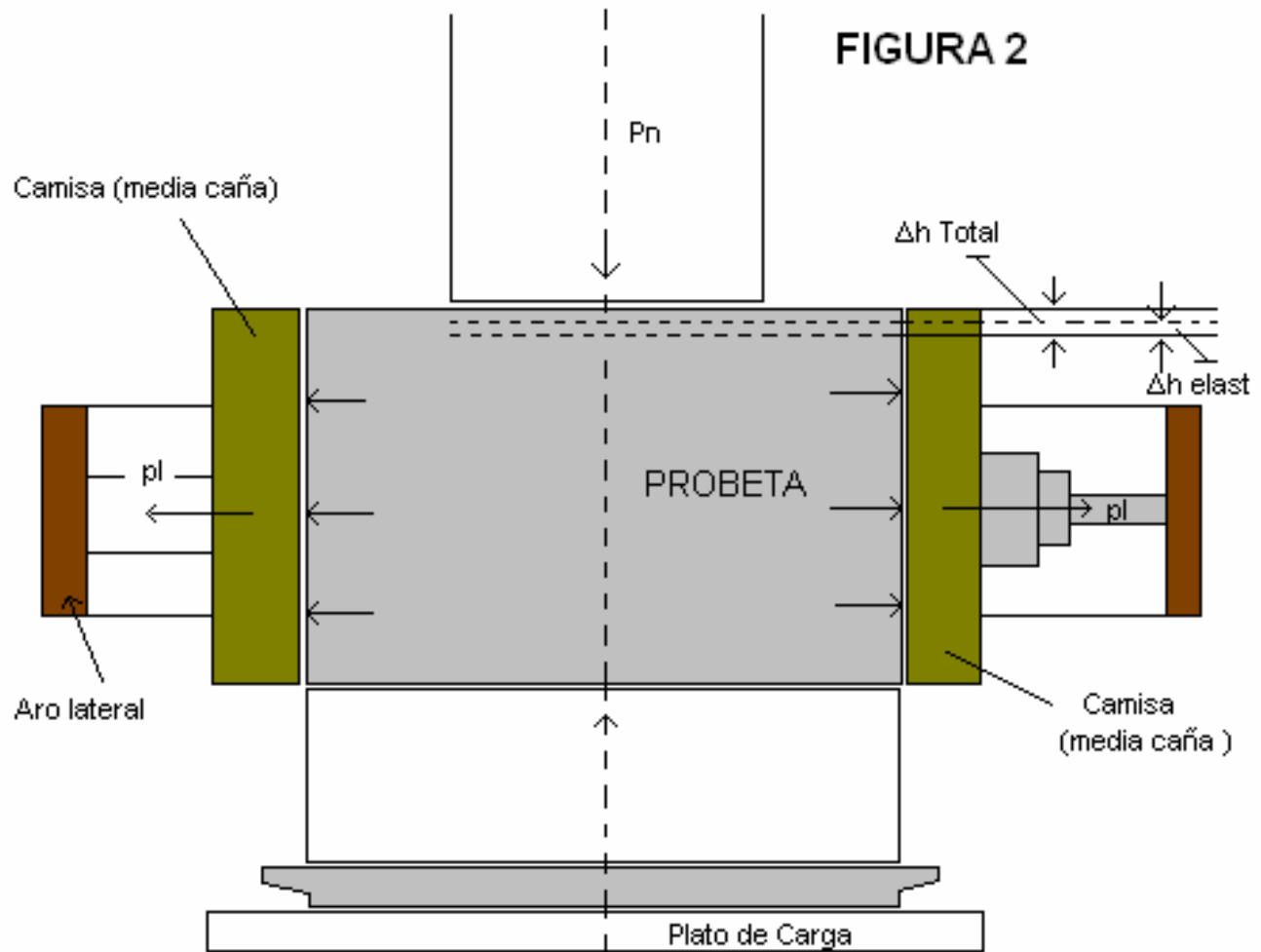
Fotografia 4



Fotografia 5



FIGURA 2



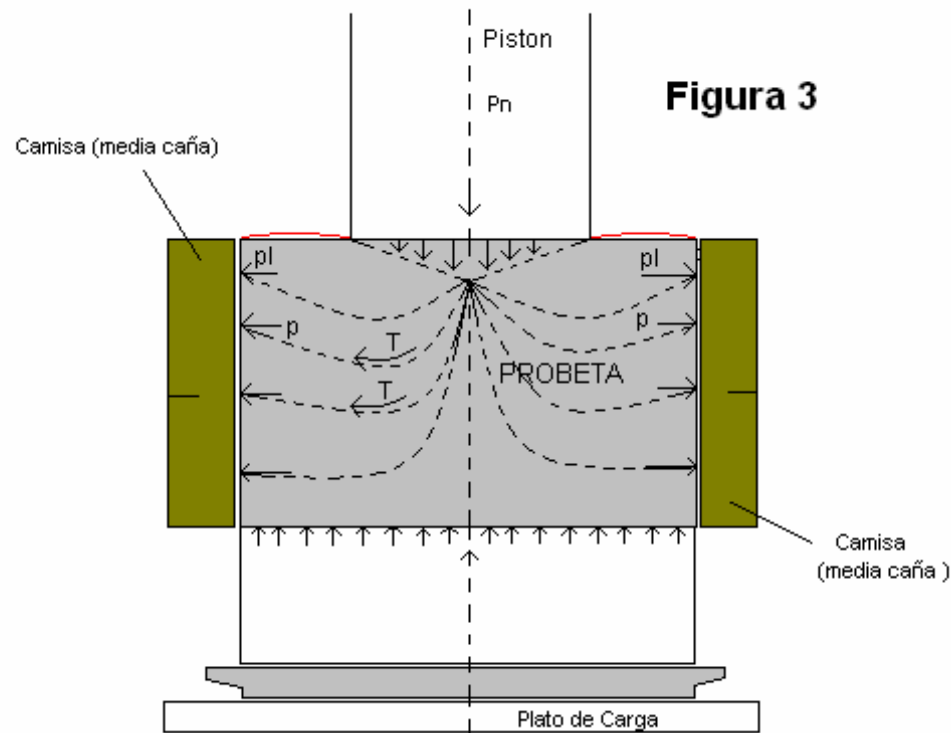
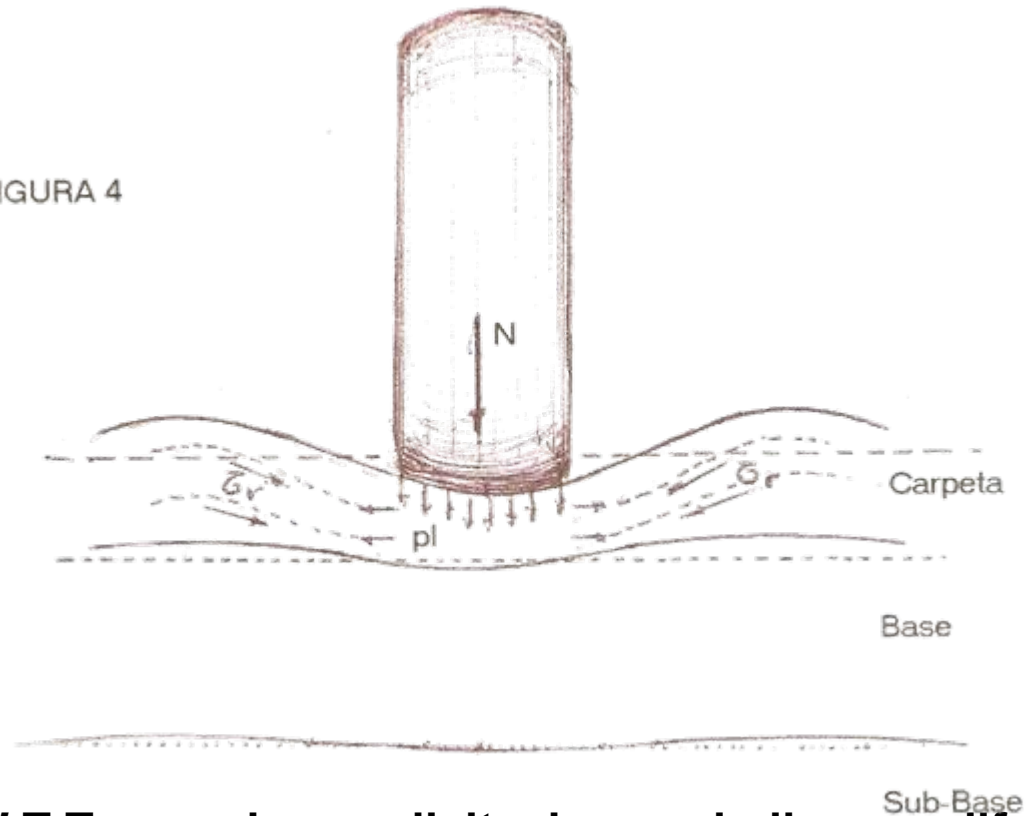


Figura 3

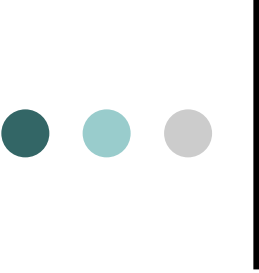
Figura 2 muestra disposición distintas partes para el ensayo así como la recuperación elástica parcial y en figura 3 esquema de las cargas normales , presiones laterales transmitidas, deformaciones verticales y tensiones resistentes de corte en planos de deslizamiento , tratando reproducir la condición en un pavimento al paso de una rueda como se aprecia en figura 4 ; además de falta de escala para evidenciar la deficiencia ,como simplificación se tiene una rueda simple cuando las mayores cargas se tienen sobre las duales, en general con superior presión de contacto (y de inflado)

FIGURA 4



Si bien W.T.T reproduce solicitaciones similares a diferencia del ensayo propuesto , en este medimos las “resistencias” del concreto a esta deformación en parte plástica.

Puede objetarse un único ciclo y carga cuasiestática como el ensayo C.B.R pero éste se aplicó al diseño de pavimentos flexibles muchos años frente al tránsito dinámico , aunque se excluían las capas asfálticas con la viscosidad del ligante y así afectadas por la velocidad de deformación ; no obstante velocidad de ensayo Marshall “tradicional” alcanza a sólo 50 mm/min.



Mezclas asfálticas con componente viscosa acumulan mininas deformaciones “irrecuperables” que conducirían al ahuellamiento. No bien definida equivalencia entre carga estática y dinámica respecto tiempo de aplicación de ésta y su correspondiente deformación plástica y cabe admitir que carga estática provoca menor deformación no recuperable que carga dinámica que totalicen mismo tiempo ; entre causas posible reacomodamiento entre particulas luego de cada ciclo en este ultimo caso y asi se cierra la estructura con similitud efectos entre compactación dinámica y estática . Esto no tan complejo pues “ahuellamiento” implica mas deformación transversal por inestabilidad que por densificación de la mezcla , debiendo demorarse ello al máximo.

Atendiendo que tensiones y deformaciones causa de esta “deficiencia” en una carpeta son afines a las de este ensayo de penetración , podriamos ubicar los valores resultantes con distintos concretos en una escala de calidad , por ahora en un orden cualitativo , pues la posibilidad de incursionar teoricamente ante el número de variables, muchas imprecisas y/o dispersas lo hace dificultoso ; ello no quita que este enfoque con cierto empirismo debe resultar válido.

5- Ensayos – Variables

Solicitaciones críticas en carpeta asfáltica : tracción por flexión cara inferior y por contracción térmica + resistencia ahuellamiento

Variables : tipo y % asfalto , agregados naturales o triturados granulometria , densidad , etc para ordenamiento de calidad .

Rugosidad transversal prioritaria por falta de un simple ensayo

Concreto

Ag.r. G. trit. : 45% -Ar.Trit...: 45% - Ar.Síl. : 8% - Cal H.H : 2%

Asfalto 50 – 60 : 5.3% (viscos 60° C 1400 p.- l.pen = -0.3)

Estb M. = 850 Kg – Fl. M. = 3.2 mm –Vacios = 4.5 %

Variables ensayadas : Arena Sil. 4% o 18 % por Ar.Trit ,Asf.=5.9% P.E.A = 97% y ensayo a solo 30°C.

Con mismo agregado probetas concreto en frio con emulsión catiónica EBL y como alternativa 3.5% cemento P por Cal
Figura 5 ,6 ,7 funciones $PN=f(\Delta h)$ y $PL = f(\Delta h)$ en concreto base y con variables.

Sobre PN como modulo resistente interesa + evolución PL como índice “Inestabilidad” y area entre ambas curvas evaluaría energía o calidad de un concreto a deformación permanente (en principio funcion “desviadora”? ?) :

$$(PN - PL) = F(\Delta h)$$



Funciones PN y PL con concavidad hacia arriba .

Otro parámetro penetración remanente “ ΔH_{Rte} ” para PN = 0 (anulada) cuya Δ indica “recuperación elástica” .

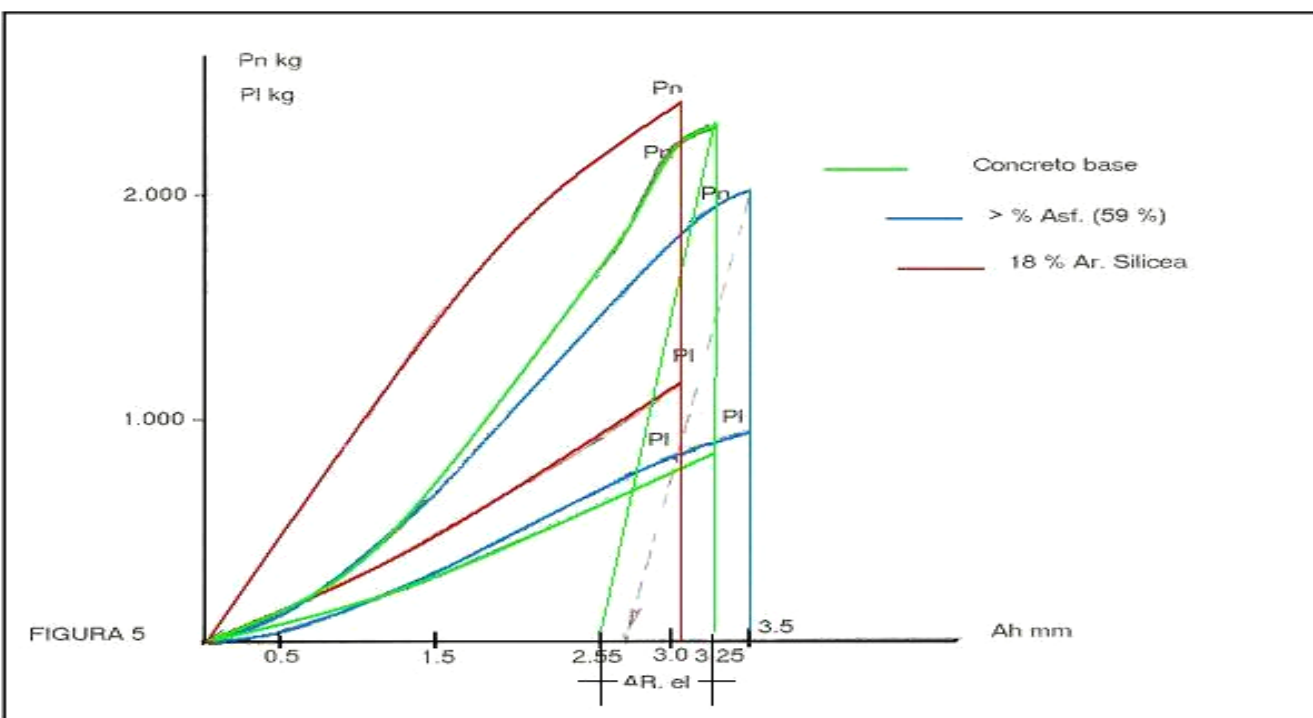
También relación PL / PN para penetración final representa estabilidad concreto para carga normal máxima .

Mejores valores a solo 30°C para los tres parámetros (figura 6) opuesto al ensayar al 97% P.E.A .

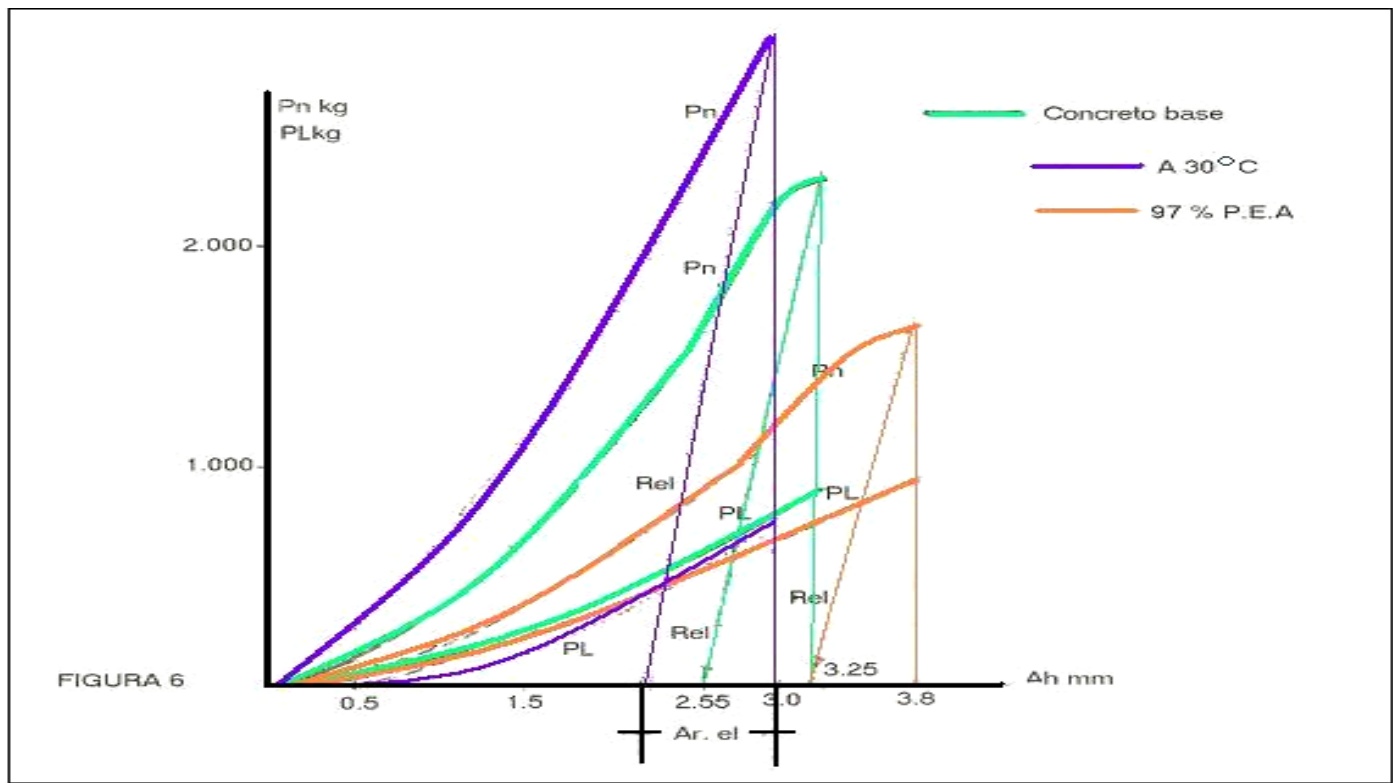
Figura 7 para concretos con emulsión catiónica con valores inferiores (< P.E.A S por presencia agua) ; + 3.5 % Cem P. por Cal tanto PN , PL/PN y recuperacion elastica finales mejoran e intermedios entre concreto anterior con cal y concreto base

6- Comentario final : Ensayo accesible y simple para colaborar estudio Estabilidad Concretos Asfálticos y a otras mezclas , pues reproduce en la probeta sollicitaciones de cargas del tránsito sobre una carpeta y como reacciona a través de parámetros que registramos , bien que en otra escala .

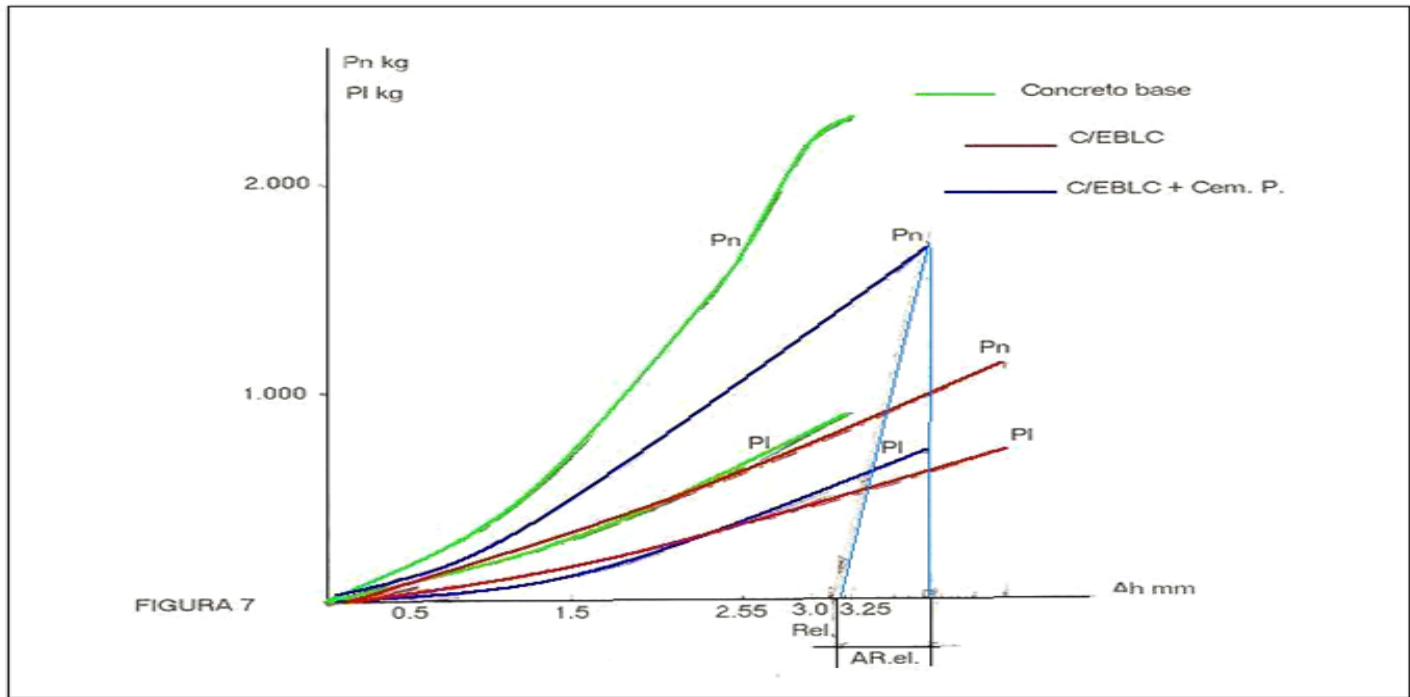
Aplicación a distintos pavimentos de esta metodología y su experiencia posibilitarán ajustar proceso y valores de referencia , para llegar a afirmar que un concreto es estable o nó ante el “ahuellamiento” para tránsito y clima a soportar , fijando un orden de calidad entre varios , tanto mejor al ir conociendo las respuestas en servicio .



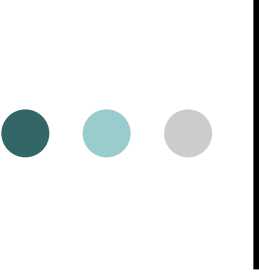
| FIGURA 5 | Δh Final mm | Pnf Kgs | Pl / Pn % | Recup Elast $\frac{\Delta h \text{ fin} - \Delta h \text{ Rte}}{\Delta h \text{ Fin}} \cdot 100$ |
|-----------------------------------|---------------------|---------|-----------|---|
| Concreto Base | 3.25 | 2.330 | 38 | 22 |
| Concreto > % Asfalto (5.9 * 5.3) | 3.50 | 2.030 | 46 | 17 |
| Concreto 18 % Arena Sil (S/FO 8%) | 3.10 | 2.470 | 48 | 23 |



| FIGURA 6 | Δh Final mm | Pnf Kgs | Pl / PnF % | Recua Elast $\frac{\Delta h \text{ fin} - \Delta h \text{ Rte}}{\Delta h \text{ Fin}} \cdot 100$ |
|---------------------------|------------------------|------------|------------|---|
| Concreto Base | 3.25 | 2.330 | 38 | 22 |
| Concreto Ensayo a 30°C | 3.00 | 2.930 | 26 | 27 |
| Concreto 97 % P.E.A | 3.80 | 1.679 | 55 | 11% |



| FIGURA 7 | Δh Final mm | Pnf Kgs | Pl / PnF % | Recua Elast |
|-----------------------------------|----------------|------------|---------------|--|
| | | | | $\frac{\Delta h \text{ fin} - \Delta h \text{ Rte}}{\Delta h \text{ Fin}} \cdot 100$ |
| Concreto Base | 3.25 | 2.330 | 38 | 22 |
| Concreto c/ EBLC | 4.20 | 1.130 | 62 | 12 |
| Concreto con EBLC + Cemento | P 3.70 | 1.600 | 42 | 16 |



Resistencia al corte fundamental al oponerse a esta deformación (irrecuperable) , que se refleja por mayor efecto según SHRP de la estructura granular por aporte friccional , pero sin desconocer incidencia stiffness del ligante , mas aún por la presencia de los asfaltos modificados con polímeros , de Alto Módulo , el Multiphalte entre otros que en general ofrecen mayor resistencia a esta falla.

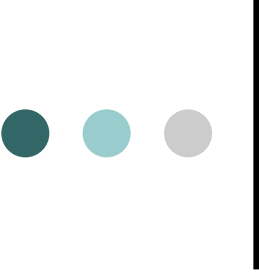
Los gráficos de este estudio para un concreto con sus variables y posible de extender a otros tipo de mezcla , asfalto agregados etc. darán un índice de estabilidad y su influencia en una escala de calidad , recordando que en cada caso resultaría :

1- PN referido al final representa mayor estabilidad al ahuellamiento dado que Δh final es cuasi-fijo.

2-PL / PN % en cambio es directamente proporcional a esta deformación o sea pauta de inestabilidad

3- Δh elast. % también significa mayor estabilidad pero debería relacionarse con PN final.

Estas tres funciones son las principales frente a esta deficiencia de la carpeta asfáltica o al menos orientarán si un concreto es + o – estable que otro de referencia , sin perder de vista que las mismas se relacionan con la sollicitación real en el pavimento , en otra escala y para la carpeta que integra el mismo .



Coeficiente de Poisson se relaciona con la carga normal de compresión que provoca expansión lateral que responde a un esfuerzo de tracción que es parte del PL , mientras el resto obedece a la real inestabilidad ante PN respondiendo al principio del Estabilómetro .

Las funciones vistas deben orientar sobre real estabilidad del concreto y mejor aun en conjunto con las funciones de PN y PL en función de Δh , en que área entre ambas valora mas directamente pero sin considerar la integral por carecer de sentido matemático.

Por sucesivos estudios seria posible deducir ecuación empírica con fundamento que los reúna y llegar a un número final que defina la calidad en cada caso .

Se optó prescindir de conclusiones a la espera que este estudio en la realidad de Obras con carpetas asfálticas lo justifique posibilitando en cada caso a través de laboratorio y el comportamiento en servicio ir asentando a los parámetros resistentes con el “ensayo” que asegurarán una mínima Estabilidad ante esta exigencia con la incorporación de nuevos conocimientos y materiales .