



Universidad
Nacional
de Rosario



UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
Maestría en Ingeniería Vial

Tesis de Maestría

**Análisis del ensayo IDEAL-CT
como potencial verificación mecánica del fallo por
fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas
densas contemplado en el PETG de la DNV 2017**

Alumno: Ing. GONZALEZ BURÓN Joaquín

Director: Ing. CAMPANA Juan Manuel

Co-Director: Ing. BISIO Alejandro

Fecha: Marzo 2025

ÍNDICE

1. RESUMEN EJECUTIVO.....	9
2. ABSTRACT.....	10
3. INTRODUCCIÓN	11
4. OBJETIVOS.....	12
5. PROCESO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.....	13
5.1. Diseño Balanceado de Mezclas	13
▪ Diseño volumétrico con evaluación del desempeño	15
▪ Diseño volumétrico modificado con los resultados del desempeño	15
▪ Diseño por desempeño	15
5.2. PETG de la DNV 2017.....	16
▪ Selección de materiales	16
▪ Diseño de la estructura granular	16
▪ Selección de contenido de asfalto óptimo	17
▪ Verificación del comportamiento mecánico	18
6. FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS	20
6.1. Origen de la patología	20
6.2. Leyes de Fatiga.....	21
6.3. Propiedades vinculadas con la fisuración de mezclas asfálticas	25
▪ Módulo de rigidez.....	25
▪ Contenido de vacíos de aire	26
▪ Vacíos del agregado mineral (VAM)	27
▪ Contenido de asfalto y su espesor de recubrimiento	27
▪ Consistencia y viscosidad del ligante asfáltico utilizado	28
▪ Granulometría y tipo de árido	29
6.4. Ensayos para determinar Fatiga en mezclas asfálticas	31
6.4.1. Ensayos de fatiga a flexión dinámica (ensayos de flexotracción)	34
▪ Ensayo de fatiga a flexión en dos puntos sobre probetas trapezoidales.....	36
▪ Ensayo de fatiga a flexión en dos puntos sobre probetas prismáticas	37
▪ Ensayo de fatiga a flexión en tres puntos sobre probetas prismáticas.....	37

▪ Ensayo de fatiga a flexión en cuatro puntos sobre probetas prismáticas	37
6.4.2. Ventajas e inconvenientes de los ensayos de flexotracción	38
6.4.3. Criterios de fallas	39
6.4.3.1. Enfoque tradicional o clásico	39
6.4.3.2. Enfoque de energía disipada	41
6.4.3.3. Enfoque de la deformación crítica	42
7. MECÁNICA DE FRACTURA	43
7.1. Proceso de fisuración	43
7.2. Tenacidad	44
7.3. Energía disipada en el proceso de fractura	47
7.4. Ensayos para evaluar energía de fractura en mezclas asfálticas	49
▪ Single - edge notched beam, SE(B)	49
▪ Disk-shaped compact tension test, DC(T)	50
▪ Semi-circular bending test, SCB	51
▪ Illinois Flexibility Index Test (I-FIT / SCB IL)	52
▪ Overlay Tester	54
▪ Ensayo Fénix	55
▪ Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)	58
8. DESARROLLO EXPERIMENTAL	63
8.1. Diseño de la Mezcla Asfáltica	63
8.1.1. Materiales y Mezcla asfáltica	63
8.1.2. Selección del esqueleto granular	64
8.1.3. Determinación del contenido Óptimo de la Mezcla en estudio	65
8.2. Verificaciones de mezcla asfáltica en estudio	67
8.2.1. Verificación de parámetros volumétricos	68
8.2.2. Verificación de Deformaciones Permanentes	68
8.2.3. Verificación de Susceptibilidad al Daño por Humedad	69
8.2.4. Verificación de relación Filler – Asfalto	71
8.2.5. Resumen de verificación de fórmula de obra	73
8.3. Análisis de sensibilidad con ensayo IDEAL-CT	74
8.3.1. Sensibilidad al tipo de ligante asfáltico	75

8.3.2. Sensibilidad a la cantidad de ligante asfáltico y a los vacíos de aire.....	79
8.4. Análisis de resultados.....	85
9. CONCLUSIONES.....	89
9.1. Estado actual del arte en el diseño de mezclas asfálticas.....	89
9.2. Conclusiones experimentales del ensayo IDEAL-CT	89
10. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	92
11. BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativa de estado tensionales inducidos por el tránsito y el ensayo Marshal.....	13
Figura 2 - Curva de estabilidad y durabilidad de mezclas asfálticas según su contenido de ligante.....	14
Figura 3 - Dosificación de mezclas asfálticas en Argentina según PETG de la DNV 2017.	19
Figura 4 - Curvas de Wöhler – Tensión vs Log N° de ciclos de carga (Cepeda, 2002)	20
Figura 5 - Curvas de Wöhler logarítmica – Log Tensión vs Log N° de ciclos de carga (Cepeda, 2002)	21
Figura 6 - Fases de degradación por el fenómeno de fatiga	23
Figura 7 - Comportamiento a fatiga de una mezcla asfáltica a temperatura controlada.....	24
Figura 8 - Ejemplos de resultados de ensayos de fatiga	25
Figura 9 - Curva de vida de fatiga en relación a los vacíos de aire.....	27
Figura 10 - Efecto del espesor de recubrimiento del betún en las mezclas asfálticas.....	28
Figura 11 - Efecto del tipo de árido en la energía de fractura a bajas temperaturas en las mezclas asfálticas	30
Figura 12 - Efecto del tipo de árido en la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas	30
Figura 13 - Diseño balanceado	31
Figura 14 - Procedimientos para determinar el comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas	32
Figura 15 - Solicitaciones en ensayo a fatiga entre el primer ciclo de carga y uno avanzado.	33
Figura 16 - Solicitaciones en ensayo a fatiga, a) tensión controlada y b) deformación controlada	33
Figura 17 - Cuadro comparativo entre ensayos a fatiga con esfuerzo o tensión controlada y deformación controlada	34
Figura 18 - Procedimientos para determinar el comportamiento a fatiga en ensayos a flexión	34
Figura 19 - Probeta trapezoidal para el ensayo de fatiga a flexión en dos puntos.....	37
Figura 20 - Principios básicos del ensayo de flexión en cuatro puntos y máquina de dicho ensayo.....	38
Figura 21 - Criterio Clásico de fallo por fatiga	40
Figura 22 - Ley de fatiga de una mezcla bituminosa mediante ensayo a flexotracción en tres puntos	40
Figura 22 - Ciclo de histéresis de curva tensión deformación.....	41
Figura 23 - Evolución de la deformación unitaria con el número de ciclos de carga en ensayos a flexotracción	42
Figura 24 - Mecanismos desarrollados durante el proceso de fisuración	44
Figura 25 - Esquema de una fisura en un material (a) Frágil, (b) Dúctil y (c) Cuasi frágil	44
Figura 26 - Tres modos fundamentales de propagación de fisuras	45
Figura 27 - Modo de fractura a tracción	46
Figura 28 - Curva de tensión desplazamiento en materiales (a) Frágiles y (b) Cuasi frágiles	46

Figura 29 - Curva fuerza – desplazamiento resultante en ensayos de tracción en materiales cuasi frágiles y zonas características en el proceso de fractura	46
Figura 30 - Curva tensión – deformación para un sólido viscoelástico.....	47
Figura 31 - Forma esquemática de la obtención de la energía de fractura	48
Figura 32 - Esquema del ensayo SE (B)	50
Figura 33 - Esquema del ensayo DC (T).....	50
Figura 34 - Montaje y esquema del ensayo SCB	51
Figura 35 - Campo tensional ensayo SCB, modelado mediante comportamiento elástico lineal.	52
Figura 36 - Equipo para ensayo I-FIT	53
Figura 37 - Típica curva de carga desplazamiento para el ensayo I-FIT	53
Figura 38 - Esquema del equipo Overlay Tester	54
Figura 39 - Fabricación de probeta Fénix, corte e inducción de fisura (plano diametral de corte).....	55
Figura 40 - Fabricación de probeta Fénix, pegado de placas metálicas.....	55
Figura 41 - Montaje ensayo Fénix en prensa MTS con cámara ambiental	56
Figura 42 - Curva carga desplazamiento Ensayo Fénix	56
Figura 43 - IDEAL-CT: Probetas, equipo, condiciones de ensayo y resultados típicos.....	59
Figura 44 - Gráfica de ASTM D 8225. PPP_{75} y su pendiente m_{75}	60
Figura 45 - Curva granulométrica del esqueleto seleccionado para CAC D 19.....	65
Figura 46 - Curva variación del contenido de vacíos con el tenor de cemento asfáltico.....	66
Figura 47 - Curva de variación del contenido de vacíos del agregado mineral con el tenor de cemento asfáltico.	67
Figura 48 - Algunas de las probetas moldeadas en laboratorio.....	74
Figura 49 - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%	75
Figura 50 - Imagen de rotura a la tracción indirecta de la probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%	76
Figura 51 - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 4,6%.....	76
Figura 52 - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probetas CAC D19 AM3 4,6%	77
Figura 53 - Comparativa IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30/AM3 4,6%.....	78
Figura 54 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 3,6% 20G	79
Figura 55 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 3,6% 40G	80
Figura 56 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 3,6% 60G.....	80
Figura 57 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 3,6% 80G.....	81
Figura 58 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 20G.....	81

Figura 59 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 40G.....	82
Figura 60 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 60G.....	82
Figura 61 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 80G.....	83
Figura 62 - Resultados de ensayo IDEAL-CT	86
Figura 63 - Relación entre CT Index, vacíos de aire y longitud de deformación.....	87
Figura 64 - Análisis de propiedades de fractura.....	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Husos granulométricos del esqueleto granular de los CAC D y CAS D.....	17
Tabla 2 - Requisitos de Dosificación PETG de CAC del tipo denso	18
Tabla 3 - Distribución Granulométricas vía húmeda de Materiales	64
Tabla 4 - Granulometría de mezcla de materiales	64
Tabla 5 - Parámetros volumétricos para los 6 tenores de cemento asfáltico	66
Tabla 6 - Fórmula de obra de la mezcla CAC D19 CA30	67
Tabla 7 - Moldeo verificación Fórmula de obra	68
Tabla 8 - Parámetros volumétricos para el contenido ligante óptimo	68
Tabla 9 - Propiedades volumétricas de los panes para WTT	69
Tabla 10 - Resultados de parámetros de WTT	69
Tabla 11 - Parámetro de probetas para RTI	70
Tabla 12 - Acondicionamiento de probetas y rotura	71
Tabla 13 - Peso específico del filler	72
Tabla 14 - Cálculo de Concentración Crítica.....	72
Tabla 15 - Cálculo de relación Cv/Cs	72
Tabla 16 - Verificación de los requisitos de dosificación	73
Tabla 17 - Tipo de mezclas asfálticas estudiadas.....	74
Tabla 18 - Resultado de ensayo IDEAL-CT de probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%	76
Tabla 19 - Cálculo de CT Index probetas CAC D19 CA30 4,6% y CAC D19 AM3 4,6%	77
Tabla 20 - Cálculo de CT Index probetas CAC D19 CA30 3,6%, 4,6% y 5,6%.....	84
Tabla 21 - Resultados promedios del ensayo IDEAL-CT en las mezclas CAC D19 CA30.....	85
Tabla 22 - Resultados promedios del ensayo IDEAL-CT en la mezcla CAC D19 AM3.....	85

1. RESUMEN EJECUTIVO

Las últimas medidas incorporadas en el proceso de diseño de las mezclas asfálticas en caliente en Argentina estuvieron destinadas a mejorar la performance de estas frente al ahuellamiento, principalmente por ser el modo de falla más frecuente en la red vial. Estas acciones incluyeron mayores exigencias sobre la calidad de los áridos, la adopción del criterio volumétrico para la elección del contenido de ligante asfáltico óptimo y verificación de fórmula de obra con ensayos de desempeño a altas temperaturas de servicio. Con estas medidas se logró efectivamente mejorar el comportamiento de las mezclas asfálticas frente deformaciones permanentes, aunque simultáneamente podrían dar lugar a concretos asfálticos con mayor tendencia a problemas de fisuración temprana en el rango de temperaturas medias y bajas de servicio.

Por lo tanto, se observa una necesidad de incorporar ensayos que evalúen las propiedades de fractura en los procesos de diseño de las mezclas asfálticas de nuestro país, de modo de completar el concepto de Diseño Balanceado con los modos de falla que se dan en toda la gama de temperaturas de servicio. Las mezclas deben verificar pruebas mecánicas de deformación a alta temperatura, daño por humedad y de fractura.

En referencia a esta última patología, la presente tesis evalúa la potencialidad del ensayo IDEAL-CT como una verificación mecánica de fallo por fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente del tipo densas. Su simplicidad operativa y corta duración lo hacen viable para su implementación en el diseño y en controles de calidad.

Los resultados experimentales llevados a cabo han demostrado su sensibilidad a variables claves en el proceso de fractura como los vacíos de aire, el tipo y contenido de ligante. En este contexto, el ensayo IDEAL-CT surge como una alternativa eficiente para evaluar la resistencia a la fisuración de las mezclas asfálticas.

Palabras clave: mezclas asfálticas, diseño balanceado, ensayos de fractura, IDEAL-CT.

2. ABSTRACT

The latest requirements incorporated into the Hot Mix Asphalt (HMA) design process in Argentina were aimed at improving performance against rutting, primarily as this represents the most frequent failure mode in the flexible pavements. These initiatives included heightened specifications for aggregate quality, adoption of volumetric criteria for optimal asphalt binder content selection, and verification mix design through performance testing at high service temperatures. While these measures effectively improved asphalt mixture performance against permanent deformations, they could simultaneously produce asphalt concretes with greater susceptibility to early cracking problems at medium and low service temperatures.

Therefore, there is a necessity to incorporate tests that evaluate fracture properties in the asphalt mixture design processes in our country, in order to complete the Balanced Mix Design (BMD) concept with failure modes that occur across the entire range of service temperatures. Mixtures must verify mechanical tests for high-temperature deformation, moisture damage, and fracture.

Regarding this latter pathology, this thesis evaluates the potential of the IDEAL-CT test as a mechanical verification of cracking failure in the HMA design process. Its operational simplicity and short duration make it viable for implementation in design and quality control.

The experimental results carried out have demonstrated its sensitivity to key variables in the fracture process such as air voids, type and content of binder. In this context, the IDEAL-CT test emerges as an efficient alternative to evaluate the HMA cracking tolerance.

Keywords: Hot Mix Asphalts (HMA), Balance Mix Design (BMD), fracture tests, IDEAL-CT.

3. INTRODUCCIÓN

El método que se ha utilizado mundialmente para encontrar el contenido de asfalto óptimo, dado un esqueleto granular en mezclas asfálticas, es el Marshall. No es un método de diseño en sí ya que no contempla otras etapas como la selección de los materiales y el diseño de la estructura granular. Es un procedimiento netamente empírico y ha funcionado bien cuando se cumplen las hipótesis bajo las cuales Marshall ha recreado el método: esqueletos granulares continuos, asfaltos convencionales, etc. Entre las desventajas encontramos, por ejemplo, que el parámetro de estabilidad Marshall no se relaciona directamente con el comportamiento mecánico vinculado a los mecanismos de falla relacionados con la rigidez de las mezclas: deformaciones permanentes y resistencia a la fisuración.

En la actualidad con el advenimiento de nuevas tecnologías en materiales y constructivas, es de vital importancia contar con los conocimientos científicos que permitan diseñar las capas bituminosas atendiendo su performance frente a los mecanismos de falla más habituales. Por ende, es necesario utilizar procedimientos de diseño que admitan realizar una buena caracterización de las mezclas asfálticas y, principalmente, que los ensayos de laboratorios puedan simular las solicitaciones y el comportamiento mecánico de las mezclas bituminosas en servicio

En las últimas décadas, la experiencia y los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de nuevos procesos de diseño de mezclas asfálticas que se acercan más a las solicitaciones de servicio. En el Diseño Balanceado de Mezclas se establecen ensayos de desempeño que simulan en laboratorio los principales criterios de falla de las mezclas asfálticas. Se apunta a un diseño que responda a los dos principales modos de falla: fractura y deformación permanente.

En Argentina el diseño de mezclas asfálticas se rige por el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales (PETG) Edición 2017 de la Dirección Nacional de Vialidad (DNV), en el mismo se plantea un proceso de diseño balanceado de mezclas asfálticas, en la cual se plantea la adopción del contenido de asfalto a partir del análisis de las características volumétricas de la mezcla asfáltica y se efectúa posteriormente una verificación de comportamiento mecánico de la fórmula adoptada. Las verificaciones mecánicas que se evalúan son la resistencia a las deformaciones permanentes y a la sensibilidad al daño por humedad, ambos ensayos contemplan las condiciones de servicio a altas temperaturas. Mientras que en referencia a la rigidez de la mezcla se evalúa solo la relación de concentración crítica y volumétrica del filler, pero no se incluyen ensayos de desempeño que valoren las propiedades de fractura ya sea por fisuración a bajas temperaturas o por la fatiga del material.

En la presente Tesis de Maestría se realizará una búsqueda pormenorizada de bibliografías referentes al fallo por fisuración originado por fatiga de las mezclas asfálticas. Se analizarán los ensayos para su evaluación, el estudio desde la mecánica de fractura y la consideración de inclusión de algún ensayo que complemente a los adoptados actualmente desde el punto de vista de la performance de las mezclas asfálticas en lo vinculado a fatiga y contracción térmica en el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente del tipo densas.

Luego de llevar a cabo una investigación crítica y reflexiva sobre la problemática que se aborda, se ejecutará un plan de ensayos para evaluar la potencialidad del ensayo IDEAL-CT como una verificación mecánica de fallo por fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente del tipo densas. El mismo representa un ensayo que integra las características de mayor simplicidad, practicidad y sensibilidad; además de llevarse a cabo con el mismo equipamiento del método Marshall.

4. OBJETIVOS

El objetivo principal de esta tesis de maestría es la **Implementación de un ensayo de comportamiento vinculado a la mecánica de fractura en mezclas asfálticas densas para complementar el proceso de diseño del PETG de la DNV 2017.**

Adicionalmente, se detallan los objetivos específicos que marcan el lineamiento de la investigación realizada:

- a. Investigar en el Diseño Balanceado de Mezclas asfálticas los ensayos de comportamiento vinculados al fallo por fisuración.
- b. Estudiar la potencialidad del ensayo IDEAL-CT (*Indirect tensile asphalt cracking test*) como un método de verificación mecánicas de fractura de las mezclas asfálticas diseñadas bajo los criterios del PETG de la DNV 2017.
- c. Ejecución del plan de ensayos. Análisis de sensibilidad con variables de vacíos de aire, tipo y contenido de ligante asfáltico.
- d. Análisis de resultados.
- e. Elaboración de conclusiones, acciones futuras e Informe Final.

5. PROCESO DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

El proceso de diseño de mezclas asfálticas en caliente consiste en encontrar la combinación adecuada de las diferentes fracciones de agregados (incluyendo el relleno mineral) y el contenido de ligante asfáltico óptimo para esa estructura pétreo, con el objetivo de garantizar durante su vida útil requerimientos estructurales y funcionales. Los aspectos estructurales están dados por las solicitaciones del tránsito y del clima, mientras que las características funcionales están asociadas al confort y seguridad para el usuario, y a la trabajabilidad que debe tener la mezcla para poder permitir durante su proceso productivo la elaboración, el transporte y la colocación sin afectar la durabilidad durante su vida en servicio.

En la "Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas" de la DNV, se define al *Diseño de mezclas asfálticas* como el arte de combinar los materiales componentes de manera de obtener una mezcla económica y técnicamente satisfactoria para el nivel de solicitaciones imperante durante su vida útil. El diseño es un proceso más allá de la mera dosificación de los materiales que intervienen en el que se eligen y prueban materiales para obtener un producto final durable y seguro en los caminos. (Dirección Nacional de Vialidad, 2019)

A continuación, analizaremos el Diseño Balanceado de Mezclas y la situación actual en nuestro país con la última actualización de los PETG de la DNV 2017.

5.1. Diseño Balanceado de Mezclas

El método que se ha utilizado mundialmente para el diseño de mezclas asfálticas es el Marshall. El cual ha sido ampliamente difundido debido a su practicidad, equipamiento de bajo costo y la reproducibilidad del ensayo. Este procedimiento empírico evalúa la resistencia de las mezclas asfálticas a través de un ensayo en el cual se somete la probeta a una carga estática hasta la rotura, la carga máxima admitida es la estabilidad Marshall y la fluencia es la deformación al momento del fallo. Sin embargo, si analizamos las principales solicitaciones que tiene el pavimento durante su vida útil son las inducidas por el tránsito, las cuales son de naturaleza dinámica y de un espectro de carga bajo y distante de la carga máxima que pueden admitir las mezclas asfálticas. La reiteración de estas solicitaciones produce una acumulación de daño que deteriora el material progresivamente. En la siguiente figura se muestra la diferencia del estado tensional generado durante el ensayo Marshall y las tensiones inducidas por el tránsito.

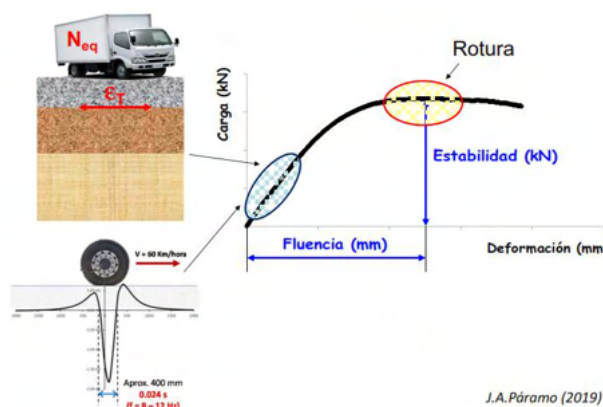


Figura 1 - Comparativa de estado tensionales inducidos por el tránsito y el ensayo Marshall.

Fuente: Clases del Ing. J.A. Páramo IMAE UNR (2019)

Por lo tanto, lo indicado anteriormente sumado a la presencia de patologías a temprana edad en las mezclas asfálticas demostró que las solicitaciones mecánicas que sufre el pavimento en servicio no se correlacionaban de manera directa con la estabilidad Marshall, lo que derivó en que varios Departamentos de Transporte (DOT) de los Estados Unidos desarrollen diversos ensayos de desempeño que garanticen una mayor durabilidad. Este procedimiento se lo conoce como Diseño Balanceado de Mezclas o Balanced Mix Design (BMD). De acuerdo con la Federal Highway Administration (FHWA), el diseño balanceado de mezcla asfáltica es aquel que, dentro de sus requerimientos, incluye el aplicar pruebas de desempeño a especímenes debidamente acondicionados que simulen múltiples deterioros y que, a la vez, contemple el envejecimiento de la mezcla, el tráfico, el clima y demás condiciones de servicio del pavimento.

La meta principal del diseño balanceado de mezcla es obtener la combinación, en las proporciones adecuadas, de asfalto, agregado y otros componentes para asegurar una mezcla que genere resultados favorables en las pruebas de desempeño relacionadas con la resistencia al agrietamiento o fisuramiento y a la deformación permanente. (Newcomb, 2018)

La resistencia al fisuramiento o la curva de durabilidad se incrementa a mayor contenido de ligante, en caso contrario resistencia a las deformaciones permanentes o su estabilidad disminuye a mayor contenido de ligante tal como se ilustra en la siguiente figura. Es función del BMD determinar el contenido de ligante óptimo que garantice un buen comportamiento en ambas solicitaciones.

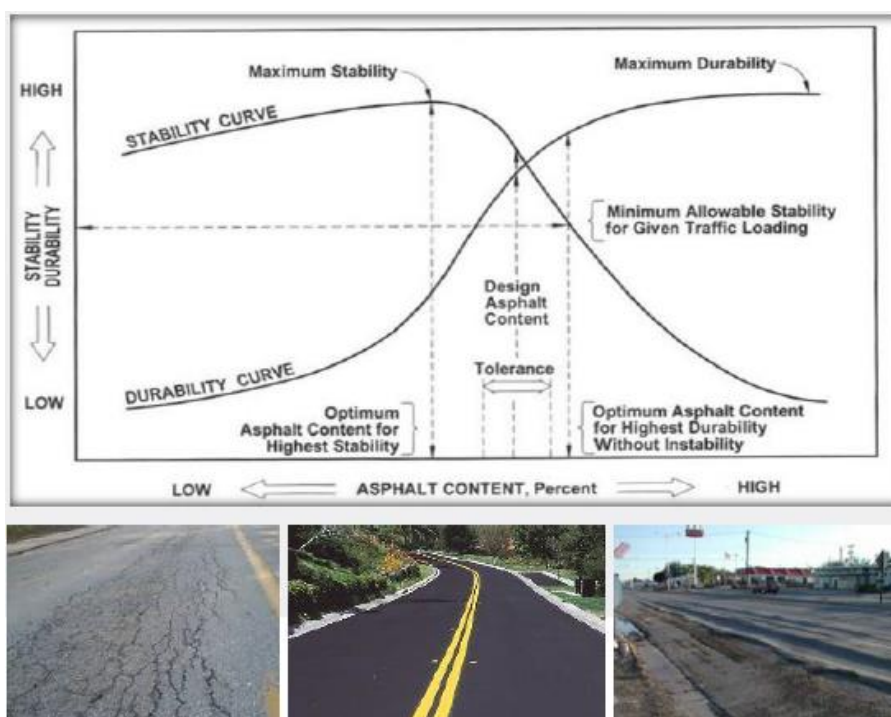


Figura 2 - Curva de estabilidad y durabilidad de mezclas asfálticas según su contenido de ligante.

Fuente: Shane Buchanan, Oldcastle Materials (2017)

Tradicionalmente, el enfoque de diseño de mezclas se da con el ensayo Marshall y los parámetros volumétricos que se desprenden de las probetas moldeadas con distintos tenores de ligantes. Las administraciones indicaban el criterio para elección del óptimo de ligante en función de algunos de los parámetros principales, como ser vacíos de aire del 4%, mínimo VAM o, anteriormente muy utilizado, la máxima estabilidad Marshall. Mientras que el BMD apunta a un diseño que responda a los dos principales modos de falla: fractura y deformación

permanente. Las mezclas se diseñan para resistir ahuellamiento y fatiga, ya no se diseñan solamente para cumplir con el valor objetivo de vacíos de aire, normalmente adoptado en el 4% sino que también debe pasar las pruebas mecánicas de fractura y de deformación a alta temperatura.

Se han identificado tres diferentes metodologías de diseño que actualmente son empleadas por varios DOT y la misma FHWA para considerar el BMD dentro de sus proyectos de infraestructura vial. (Fonseca F., 2020)

- Diseño volumétrico con evaluación del desempeño

Es la metodología más común empleada por los DOT en Estados Unidos, se inicia con el cumplimiento de parámetros volumétricos especificados para luego pasar a una evaluación de desempeño mediante ensayos a la mezcla con el contenido de asfalto óptimo previamente definido en el diseño volumétrico. Tanto los parámetros volumétricos como los requerimientos por desempeño deben cumplir con los estándares establecidos por cada agencia antes de que el diseño se pueda considerar como terminado; la metodología indica que, si se deben realizar mejoras al diseño de mezcla, esto implica modificar variables tales como la fuente del agregado, la fuente del asfalto y los aditivos. (Aschenbrener, 2016)

Una vez que los ensayos de resistencia al agrietamiento y deformación permanente hayan sido aprobados y la mezcla cumpla con los requerimientos volumétricos, se debe evaluar la susceptibilidad al daño por humedad y si la mezcla diseñada resulta satisfactoria, el diseño se aprueba y se presenta como fórmula de trabajo. (Fonseca F., 2020)

En el diseño volumétrico con evaluación del desempeño se encuadra la situación actual de la Argentina con la actualización del PETG de la DNV 2017 que se analiza en la sección siguiente.

- Diseño volumétrico modificado con los resultados del desempeño

Se inicia con evaluación volumétrica de la mezcla asfalto-agregado con el fin de obtener un valor inicial del contenido de asfalto. Una vez concluido este proceso se llevan a cabo pruebas de resistencia al agrietamiento y a la deformación permanente y, si en alguno de estos dos parámetros no se generan resultados satisfactorios, el contenido de asfalto y las proporciones de la mezcla se ajustan las proporciones de agregado o asfalto para cumplir los parámetros de desempeño. (Fonseca F., 2020)

Cuando esa etapa sea superada, se podrán aplicar las pruebas para medir la sensibilidad al daño por humedad y una vez que sean aprobadas, el diseño pasa a ser la fórmula de trabajo. La principal diferencia entre la metodología recién descrita y el diseño volumétrico con evaluación de desempeño es que, en la primera, el diseño volumétrico solo se utiliza para proveer un punto de partida para el contenido de asfalto, el cual puede ser ajustado luego, según los resultados de desempeño. (Aschenbrener, 2016)

- Diseño por desempeño

La consideración de los requerimientos volumétricos al inicio es limitada o nula; el objetivo principal del enfoque es fijar proporciones de los componentes de la mezcla que cumplan con los parámetros de desempeño posteriormente evaluados mediante ensayos. La metodología utiliza las características volumétricas como el contenido de vacíos, los vacíos en el agregado mineral, contenido de asfalto mínimo y la granulometría como recomendaciones de diseño más que como requerimientos obligatorios. Esta metodología no ha sido usada por ningún DOT. (Fonseca F., 2020)

Las tres metodologías persiguen el mismo objetivo de asegurar la calidad de la mezcla asfáltica mediante el análisis de su respuesta ante los parámetros de desempeño de fisuración por fatiga y deformación permanente. De acuerdo con los ensayos empleados para evaluar estas propiedades, las mezclas se clasifican en un diagrama de desempeño, el cual consiste en un plano cartesiano en donde el eje vertical representa el ensayo de fisuración o agrietamiento y en el eje horizontal, el ensayo de deformación.

Por lo tanto, el Diseño Balanceado de Mezclas apunta a un diseño que responda a los dos principales modos de falla: fractura y deformación permanente. Las mezclas se diseñan para resistir ahuellamiento y fatiga, ya no se diseñan solamente para cumplir con el valor objetivo de vacíos de aire, sino que también deben pasar las pruebas mecánicas de fractura y de deformación a alta temperatura. (West R., 2018)

Durante el desarrollo del presente trabajo se analizarán los diferentes ensayos que se utilizan en el Diseño Balanceado para las pruebas mecánicas de fractura.

5.2. PETG de la DNV 2017

En esta sección analizaremos el proceso de diseño vigente en nuestro país para las mezclas asfálticas en caliente densas. La última actualización es la realizada en los Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales de la Dirección Nacional de Vialidad edición 2017, que contempla las siguientes etapas:

- **Selección de materiales**

Los requisitos de los materiales son en función de la ubicación dentro del paquete estructural y del nivel y tipo de tránsito. Esto persigue el fin de optimizar el uso de un recurso escaso, como son los agregados pétreos, ya que la exigencia en la calidad de sus propiedades se regula en función del nivel de solicitaciones a sufrir durante su vida útil.

Entre los requerimientos de propiedades más relevantes que se actualizaron, se destaca que los áridos deben ser de origen natural y provenientes de la trituración (con excepciones en rutas de bajo tránsito). Lo que se busca con esta exigencia es minimizar la posibilidad de deformaciones permanentes en la red vial, ya que el uso de arenas silíceas naturales provenientes de ríos dotan a la mezcla asfáltica de una deficiente resistencia friccional por su forma y textura. Respecto a la incorporación de nuevos ensayos sobre los áridos, se destacan el microdeval y el coeficiente de pulimento acelerado.

En esta etapa del proceso se deben seleccionar los agregados pétreos con sus diferentes fracciones, el relleno mineral de aporte y el ligante asfáltico a utilizar. Cada uno de los insumos deben cumplimentar los requisitos establecidos en el PETG 2017.

- **Diseño de la estructura granular**

En el diseño de la estructura granular se determina la cantidad relativa de cada una de las fracciones para cumplimentar el huso granulométrico establecido en el pliego en función de su tamaño máximo nominal. Es de gran importancia la elección de la granulometría resultante ya que va a ser la estructural friccional resistente por el contacto entre agregados.

La composición de las diferentes fracciones de agregados (incluido el filler), dependiendo del tipo de esqueleto granular considerado, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos en los husos granulométricos definidos en la siguiente tabla. (Dirección Nacional de Vialidad, 2017)

Tabla 1 - Husos granulométricos del esqueleto granular de los CAC D y CAS D (Dirección Nacional de Vialidad, 2017)

Tamices	Porcentaje en peso que pasa (1)	
	12 (2)	19 (2)
25 mm (1")	---	100
19 mm (¾")	100	83-100
12,5 mm (½")	80-95	---
9,5 mm (3/8")	72-87	60-75
4,75 mm (N° 4)	47-65	42-60
2,36 mm (N° 8)	30-50	29-47
600 µm (N° 30)	16-30	15-29
300 µm (N° 50)	12-23	11-21
75 µm (N° 200)	5-8	4-8

La granulometría resultante debe poseer un adecuado espacio intergranular para contener el asfalto y lograr vacíos que eviten exudación de asfalto. Además, dicha elección granulométrica es la que determina la macrotextura de la mezcla que va a permitir una adecuada adherencia neumático pavimento, lo cual es relevante en el diseño de mezclas para carpetas de rodamiento. Finalmente, las proporciones entre agregados gruesos y finos deben ser acordes para permitir la conformación de una correcto mastic (ligante asfáltico y material pasa tamiz N°200), una trabajabilidad adecuada en la elaboración de la mezcla (apropiado recubrimiento de los áridos con ligante asfáltico) y en la colocación de la mezcla evitar segregaciones granulométricas.

▪ Selección de contenido de asfalto óptimo

Se mantiene la metodología Marshall para la elaboración de probetas y determinación de propiedades volumétricas según lo establecido en la norma IRAM 6845. La misma consiste en cinco partes:

- Parte 1 - Moldeo de probetas usando el compactador Marshall.
- Parte 2 - Densidad de la mezcla compactada.
- Parte 3 - Cálculo de la densidad máxima teórica (ensayo Rice).
- Parte 4 - Determinación de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada.
- Parte 5 - Determinación de la estabilidad y fluencia Marshall.

Una vez obtenidas las propiedades Marshall para cinco contenidos de ligante asfáltico y de armar los gráficos de dichas variables, se determina el contenido de ligante óptimo según lo establecido en la siguiente tabla de criterios de dosificación para concreto asfáltico en caliente densas según el PETG de la DNV edición 2017.

Tabla 2 - Requisitos de Dosificación PETG de CAC del tipo denso (Dirección Nacional de Vialidad, 2017)

Parámetro		Exigencia			
Ensayo Marshall (IRAM 6845)	N° golpes por cara (¹)	75			
	Estabilidad	> 10 kN			
	Relación Estabilidad-Fluencia (²)	2,5 - 4,5 kN/mm			
	Vacíos en la mezcla (³)	3 - 5 %.			
	Vacíos del agregado mineral (VAM) (³)	Tamaño máximo nominal del agregado pétreo		VAM	
		TMN 19 mm		≥ 14 %	
		TMN 12 mm		≥ 15 %	
Relación Betún-Vacíos (RBV)	..				
	Tipo de capa	RBV (%)			
		Clasificación por tránsito			
		T1	T2	T3	T4
	Rodamiento	65 - 75	65 - 75	65 - 78	65 - 78
Base	68 - 78	68 - 78	70 - 80	70 - 80	
..					
Resistencia conservada mediante el ensayo Lottman modificado (ASTM D 4867 o AASHTO T 283)		> 80 %			
Evaluación de la resistencia al ahueamiento "Wheel Tracking Test" (Norma UNE-EN 12697-22 – Procedimiento B) (⁴)		Requisitos establecidos en la <i>Tabla N°13</i> .			
Contenido mínimo de Cal Hidratada, en peso sobre total del esqueleto granular		1 %.			
Proporciones máximas en volumen de Filler en mezclas (IRAM 1542)		Para ligante asfáltico tipo convencional: Cv/Cs ≤ 1,0 Para ligante asfáltico tipo modificado: Cv/Cs ≤ 1,1 Se limita la proporción relativa de rellenos minerales de aporte cuya concentración crítica sea inferior a 0,22 (Cs<0,22) a un máximo de 2% en peso de la mezcla.			

Se adopta como criterio para establecer el porcentaje óptimo de ligante asfáltico, aquel que surge como promedio de los siguientes valores: (Dirección Nacional de Vialidad, 2017)

- Porcentaje de ligante asfáltico para el cual los vacíos de la mezcla resultan igual a un porcentaje de vacíos de diseño del cuatro por ciento (4 %).
- Porcentaje de ligante asfáltico para el cual los VAM resultan cinco décimas por ciento (0,5 %) superior al mínimo, sobre la rama descendente de la gráfica correspondiente a VAM vs. %CA.

En caso de que con el porcentaje óptimo de ligante asfáltico establecido según el criterio anterior no se verifiquen todas las exigencias establecidos en los criterios de dosificación, se permite modificar el porcentaje de ligante asfáltico adoptado de manera de que ello suceda. En tal caso, se debe informar y justificar la modificación en el Informe de la Presentación de la Fórmula de Obra. Para todos los casos, el porcentaje de ligante adoptado debe ser tal que el VAM resulte superior al mínimo, sobre la rama descendente de la gráfica correspondiente a VAM vs. %CA. (Dirección Nacional de Vialidad, 2017)

En síntesis, se utiliza la metodología Marshall para elaboración de las probetas y análisis de sus parámetros volumétricos, pero se determina el contenido de ligante óptimo por diseño volumétrico y se incorporan los siguientes ensayos de verificación de comportamiento mecánico.

▪ Verificación del comportamiento mecánico

Los requisitos que se establecen para ensayos de desempeño son verificaciones mecánicas a altas temperatura, estos son la evaluación de la resistencia al ahueamiento con el ensayo de rueda carga o Wheel Tracking Test

y la susceptibilidad al daño por humedad mediante tracción indirecta. Respecto a las propiedades de fractura solo se evalúa la rigidez del mastic ligante-filler mediante el análisis de la concentración crítica y volumétrica.



Metodología
Marshall



Evaluación de la
Resistencia al
Ahuellamiento



Evaluación de la
Sensibilidad
al agua

Figura 3 - Dosificación de mezclas asfálticas en Argentina según PETG de la DNV 2017.

Fuente: Clases del Ing. F. Martínez (IMAE UNR, 2021)

Por lo tanto, en la Argentina actualmente se cuenta con un Diseño Balanceado de Mezclas según el diseño volumétrico con evaluación de desempeño. Es la metodología más común empleada por los DOT en Estados Unidos, se inicia con el cumplimiento de parámetros volumétricos especificados para luego pasar a una evaluación de desempeño mediante ensayos a la mezcla con el contenido de asfalto óptimo previamente definido en el diseño volumétrico.

Como conclusión del proceso de diseño del PETG de la DNV 2017, se resalta que se busca obtener mezclas asfálticas con:

- Suficiente volumen de asfalto efectivo para asegurar la durabilidad de la misma, hacerla impermeable, trabajable y con cohesión adecuada entre partículas.
- Suficiente resistencia a las deformaciones irreversibles para satisfacer el nivel de servicio requerido y las demandas del tráfico sin distorsiones ni desplazamientos.
- Suficientes vacíos en la mezcla compactada para permitir post compactación adicional por el tránsito sin exudar ni deformarse, ni permitir un exceso de aire o humedad en la misma.
- Suficiente trabajabilidad para permitir una colocación eficiente y apropiada sin segregaciones (granulométrica, térmica, invertida). (Dirección Nacional de Vialidad, 2019)

En los criterios de diseño del PETG de la DNV 2017 se ha avanzado en incluir las verificaciones mecánicas a altas temperaturas, como son los ensayos de resistencia a las deformaciones permanentes y a la sensibilidad al daño por humedad. Sin embargo, en referencia a la rigidez de la mezcla no se incluyen ensayos de desempeño que evalúen las propiedades de fractura por variaciones térmicas a bajas temperaturas o por la fatiga de la mezcla asfáltica.

6. FATIGA DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

De una manera general, la falla por fatiga ha sido definida como un proceso permanente, progresivo y localizado de deterioro de las propiedades estructurales de los materiales cuando son sometidos a la acción reiterada de tensiones y deformaciones. Este deterioro de las propiedades estructurales conduce a la aparición de fallas en los pavimentos, especialmente fisuras, y a una redistribución de los esfuerzos a los que son sometidas las capas inferiores.

Valdés Vidal en su tesis doctoral sobre el ensayo Fénix (2011), indican la falla por fatiga como la pérdida de resistencia que sufre un material cuando es sometido a un esfuerzo repetido de menor valor que su propia resistencia a la aplicación de una carga única. Estos esfuerzos repetidos se traducen en tensiones o deformaciones que culminan en fisuras o la ruptura completa después de un número suficiente de repeticiones. En otras palabras, la fatiga de los materiales hace referencia a un fenómeno por el cual la rotura se da bajo cargas dinámicas inferiores a las cargas estáticas que producirían la rotura. (Valdés Vidal, 2011)

Este proceso de fisuración suele iniciarse en las huellas de la calzada ya que es el sector donde la mezcla sufre un fatigamiento, o pérdida paulatina de sus propiedades estructurales, producto de las cargas reiteradas. Generalmente se caracteriza por tener un patrón geométrico descrito por numerosas grietas interconectadas entre sí. La fisuración por fatiga y reflejo de fisuras a través de las capas bituminosas del pavimento, es uno de los principales mecanismos de deterioro que sufren los firmes durante su vida de servicio. Esta patología es ocasionada básicamente por la acción combinada de las cargas repetidas del tráfico, los esfuerzos y deformaciones térmicas. (Pérez F. M. R., 2007)

6.1. Origen de la patología

En 1860, Wöhler fue uno de los primeros científicos en introducir el término de fatiga en la ingeniería de materiales. Entre sus conclusiones más importantes, primero se destaca el hecho de que las fuerzas necesarias para provocar la rotura con cargas dinámicas son muy inferiores a las necesarias en el caso estático, y en segundo incorporó el concepto de “límite de fatiga” el cual se atribuye al umbral por debajo del cual las probetas no se rompían independientemente del ciclo de cargas. (Valdés Vidal, 2011)

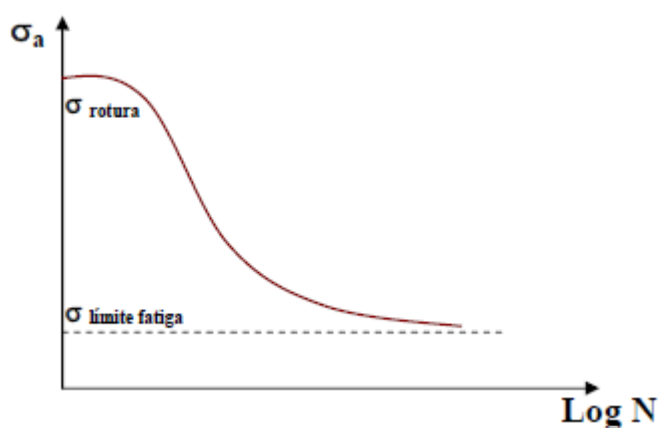


Figura 4 - Curvas de Wöhler – Tensión vs Log N° de ciclos de carga (Cepeda, 2002)

En el estudio de la vida a fatiga de muchos materiales se empezaron a utilizar las curvas de Wöhler, ya que representan un diagrama de tensión (S) frente al logaritmo del número (N) de ciclos hasta la rotura para cada una de las probetas. Los valores de S se toman normalmente como amplitudes de la tensión. (Cepeda, 2002)

El comportamiento de los materiales frente al fenómeno de fatiga puede presentar dos comportamientos externos. En primer lugar, a mayor tensión aplicada, presentará un menor número de ciclos hasta rotura y, en segundo lugar, a menor tensión aplicada, el número de ciclos hasta la rotura será mayor, existiendo para cada material una tensión límite de fatiga por debajo de la cual, la rotura por fatiga no ocurrirá.

La curva de Wöhler graficada en escala doblemente logarítmica da como resultado una línea llamada Ley de Fatiga y está definida por la siguiente expresión matemática:

$$\varepsilon, \sigma = A \cdot N^{-b} \quad \text{LEY DE FATIGA}$$

ε = Deformación unitaria inicial; σ = Tensión inicial

N = Número de aplicaciones de carga hasta el fallo por fatiga

A, b = Parámetros de la ley de fatiga

$$\varepsilon, \sigma = A \cdot N^{-b}$$

$$\log \varepsilon, \sigma = \log A - b \log N \quad \text{LEY DE FATIGA}$$

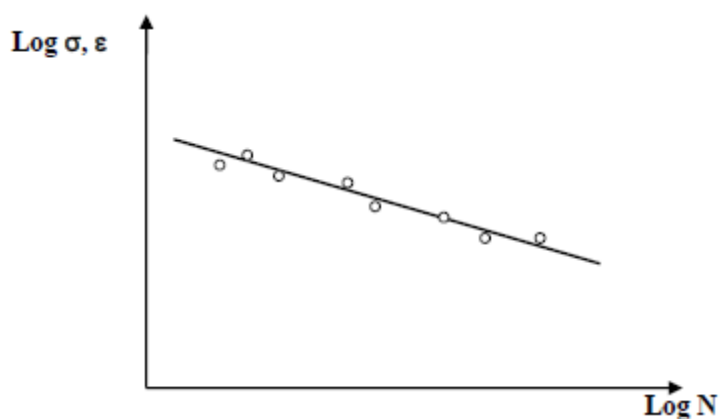


Figura 5 - Curvas de Wöhler logarítmica – Log Tensión vs Log N° de ciclos de carga (Cepeda, 2002)

6.2. Leyes de Fatiga

Uno de los principales objetivos en el estudio de fatiga de mezclas asfálticas es determinar o estimar la ley que rige el comportamiento a la fisuración por fatiga. Lo indicado anteriormente toma preponderancia ya que en los métodos de diseño estructural se utiliza a la fatiga como uno de los principales criterios de falla. Este mecanismo de deterioro se produce por la repetición de las cargas producidas por el tráfico solicitante, lo que produce una progresiva fisuración que culmina con una rotura de las mezclas bituminosas. Dichas cargas generan tensiones de tracción en la fibra inferior de la capa bituminosa y a pesar de que no son superiores a la resistencia intrínseca del material a la rotura por tracción, la repetición y acumulación de cargas producidas por el tráfico de vehículos, genera inicialmente una microfisuración y posteriormente el deterioro va progresando hasta que finalmente se produce el fallo por fatiga del firme.

Actualmente se considera al comportamiento a fatiga de las mezclas asfáltica un parámetro fundamental en el dimensionamiento del pavimento y por lo tanto es muy importante considerar cómo esta propiedad es tenida en cuenta tanto en los métodos de diseño estructural de pavimentos como en los criterios de dosificación y control de las mezclas asfálticas. (Pérez F. M. R., 2005)

En el caso de que la fatiga del pavimento ocurra a **largo plazo**, es condición normal que las causas que acompañan el surgimiento de la patología tienen que ver con:

- Envejecimiento de los ligantes asfálticos, se reduce su flexibilidad.
- Por consumo de ejes de diseño.

En la eventualidad de que ocurra a **corto plazo**, se trata entonces de una anomalía, la que se puede originar entre otras causas por lo siguiente:

- Severa deficiencia de espesores, problemas de diseño estructural.
- Procesos de compactación mal ejecutados, sin correcto control del proceso constructivo.
- Mezcla asfáltica con importantes problemas de cohesión, las causas pueden ser:
 - Bajos contenidos de ligante asfáltico, errores de dosificación.
 - Agregados pétreos en malas condiciones, sucios o húmedos.
 - Colocadas en condiciones de excesos de humedad.
 - Deficiencias en el proceso de diseño la mezcla y verificación mecánica.

Para el estudio de este criterio de falla se considera una de las propiedades distintivas de las mezclas asfáltica que es la capacidad de admitir una acumulación de daño. Esto se traduce en que el proceso de fisuración se produzca de una forma gradual y no de manera rápida como ocurre en materiales frágiles. Consecuentemente, para el análisis de la fatiga se admite la validez de la Ley de Miner, la que indica que cada carga aplicada genera un consumo de fatiga, y estos consumos se acumulan hasta agotar la resistencia a fatiga de la mezcla. (Carpenter, 2006)

La ecuación de la Ley de Miner establece que la acumulación de cargas repetidas, de amplitudes diferentes para cada una, produce un fallo o ruptura por fatiga cuando el daño alcanza el valor de 1. Mientras que el daño se define con la siguiente ecuación:

$$D = \sum_i^n \frac{n_i}{N_i} = 1$$

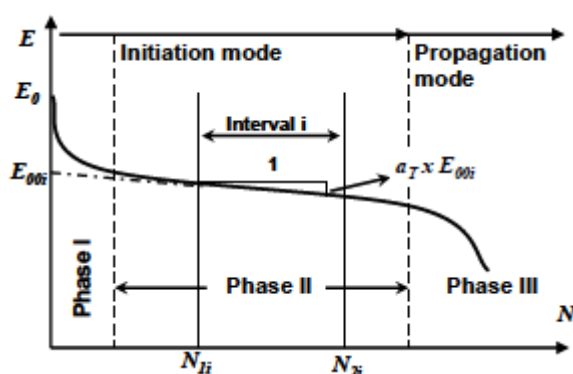
$D = \text{Daño por fatiga}$

$n_i = \text{Número de repeticiones de carga}$

$N_i = \text{Número admisible de repeticiones de carga}$

Debido a la acumulación de daño admisible en mezclas asfálticas y con la profundización del comportamiento a fatiga que realizan Baaj y Di Benedetto (2005) en ensayos de laboratorio, se arriba a la conclusión que durante el proceso de fatiga existe una pérdida continua de resistencia y degradación de la mezcla bituminosa, lo cual resulta en la formación de microfisuras en un principio hasta la degradación total. Se puede establecer tres etapas o fases. (Baaj H., 2005)

- **Fase I:** llamada fase de adaptación, se caracteriza por el inicio de la microfisuración, produciéndose un descenso rápido del módulo dinámico, lo cual no se atribuye únicamente a un fenómeno de fatiga, sino más bien a un fenómeno combinado, producto de la tixotropía del material y a un calentamiento inicial debido a la aplicación de las cargas cíclicas del ensayo.
- **Fase II:** llamada también fase de fatiga, se caracteriza por el rol más preponderante que toma el deterioro por fatiga en la evolución del daño de la mezcla, apareciendo en ésta las macrofisuras producto de la unión de las microfisuras generadas en la fase anterior.
- **Fase III:** o fase ruptura, en la cual las macrofisuras progresan rápidamente hasta el fallo total de la mezcla.

**Figura 6** - Fases de degradación por el fenómeno de fatiga

(Fuente: Baaj y Di Benedetto, 2005)

Establecer un vínculo entre las curvas de fatiga descritas por Wöhler y el procedimiento de fatiga que se da en las mezclas asfálticas según lo descrito por Baaj y Di Benedetto, permite constituir relaciones que se dan entre la amplitud de la deformación ($|\varepsilon|$) y el número de ciclos de carga aplicados (N) se pueden identificar cuatro tipos de comportamientos principales: (Gómez López J., 2016)

- para cargas que comprenden algunos cientos de ciclos y deformaciones pequeñas ($<10^{-4}$) el comportamiento es considerado como viscoelástico lineal.
- durante cargas de decenas de miles de ciclos y deformaciones pequeñas se desarrolla un tipo de daño, conocido como el fenómeno de fatiga.
- para un número pequeño de cargas y deformaciones importantes, el comportamiento que se observa es fuertemente no lineal.
- cuando ciclos de esfuerzos (compresión o tracción) son aplicados a partir de un esfuerzo nulo, deformaciones irreversibles no despreciables se producen para amplitudes de deformación cercanas a la ruptura. Su acumulación crea una deformación permanente.

La figura que se detalla a continuación, presenta un esquema de los comportamientos descritos en los puntos anteriores.

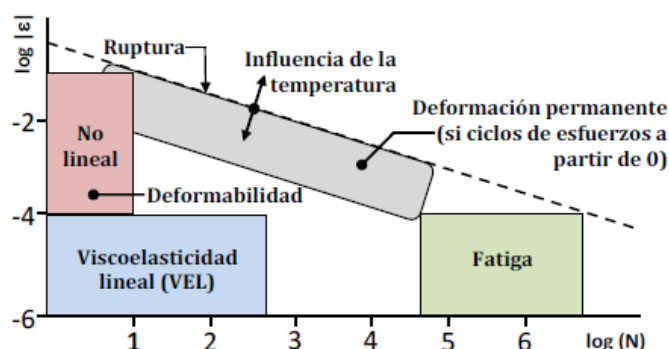


Figura 7 - Comportamiento a fatiga de una mezcla asfáltica a temperatura controlada (Gómez López J., 2016)

Por lo tanto, vemos que el concepto que fue definido por Wöhler como Límite de Fatiga también se representa en mezclas asfálticas. Dicho límite es una propiedad específica de las mezclas bituminosas, se define como la deformación unitaria de tracción por debajo de la cual no ocurren daños considerables. En solicitaciones menores a esta condición, el pavimento es resistente a la fatiga cualquiera sea el número de repeticiones de carga a la que sea sometido, siempre que las mismas provoquen esos niveles bajos de deformación que son inferiores al límite de fatiga. Es decir, el daño va a ocurrir siempre independientemente de la magnitud de la deformación, pero por debajo de este límite, se acumula muy lentamente más allá de la vida de diseño de la mezcla asociada a otros factores. Por lo tanto, el "límite de fatiga" no implica una ausencia total de daño, sino una condición operativa en la cual el material puede resistir un número muy elevado de ciclos de carga sin experimentar deterioro funcional significativo, siempre que las deformaciones inducidas se mantengan por debajo de dicho umbral y no concurren otros mecanismos de deterioro que aceleren el proceso.

Un investigador destacado de las leyes de fatiga en mezclas asfálticas es Monismith. Sus estudios realizados de prueba de fatiga en laboratorio los expresa según la siguiente ecuación.

$$\varepsilon = c_1 (N)^{c_2} \quad \text{LEY DE FATIGA}$$

Donde ε es la deformación unitaria, N es el número de ciclos hasta la falla, c_1 y c_2 son constantes experimentales, siendo c_2 un valor negativo. También se puede expresar despejando N en función de ε . Si se toma logaritmo a ambos lados, la ecuación se transforma en:

$$\log \varepsilon = \log c_1 + c_2 \log N \quad \text{LEY DE FATIGA}$$

Esta expresión corresponde a una línea recta en un gráfico log-log, en la cual el parámetro c_2 , conocido como pendiente de fatiga, representa la susceptibilidad de la mezcla al deterioro por este mecanismo.

Para evaluar la ley de fatiga de la mezcla bituminosa, se consideran dos parámetros fundamentales los cuales son ε_6 y c_2 . El valor de ε_6 representa la deformación unitaria inicial que, de acuerdo con la ecuación de fatiga, conduciría a la falla de la mezcla luego de un millón de ciclos de carga ($N = 10^6$). Es decir, no se trata de una deformación acumulada, sino de la solicitación que corresponde a ese nivel de vida útil.

En base a las investigaciones propuestas por Monismith, se demuestra que una buena recta de fatiga para una mezcla densa en caliente, debe tener un valor de ε_6 elevado, por ejemplo, mayor de $100\mu\text{m}$ y un valor absoluto de c_2 bajo, pudiendo ser menor de 0,35. La evaluación de estos parámetros debe realizarse de forma conjunta, ya que ambos caracterizan el comportamiento a fatiga del material. (Gonzalez Herrera D., 2019)

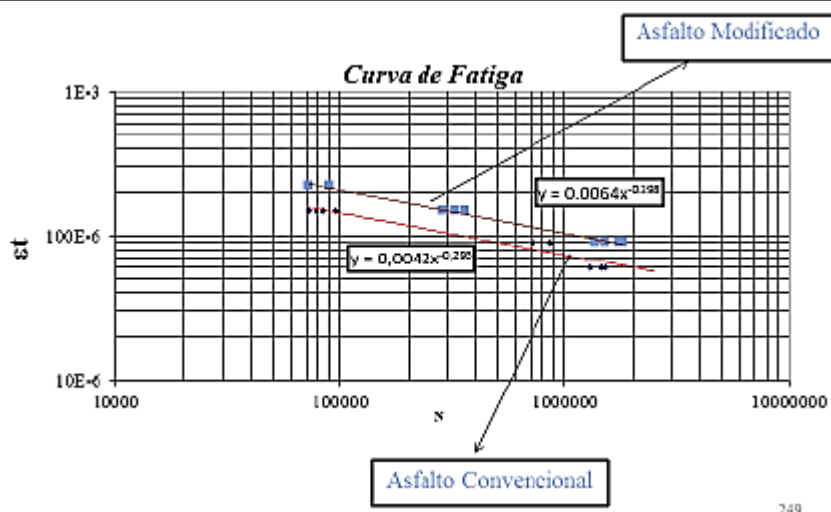


Figura 8 - Ejemplos de resultados de ensayos de fatiga (Gonzalez Herrera D., 2019)

6.3. Propiedades vinculadas con la fisuración de mezclas asfálticas

Numerosos investigadores señalan que el fallo por fisuración en los pavimentos bituminosos es un fenómeno sumamente complejo, difícil de representar por medios experimentales y que está regido por una amplia gama de factores, dentro de los cuales se pueden considerar las características de los materiales constituyentes, el espesor de la capa y el proceso de ejecución de la mezcla. Por otra parte, existe la importante influencia de las características de las cargas aplicadas y condiciones climáticas imperantes en el medioambiente.

El comportamiento de fatiga está dado por la resistencia a esfuerzos de flexo tracción en la capa inferior de la mezcla asfáltica. El factor de mayor importancia para asegurar un buen comportamiento es el tipo y contenido de ligante asfáltico utilizado, a mayor contenido de ligante y mejor comportamiento elástico del mismo mejora su comportamiento a fatiga. Además, tanto el tipo de ligante asfáltico utilizado como el esqueleto granular determinan el módulo de rigidez de la mezcla que establecen el comportamiento a flexo tracción, mezclas con menor módulo presentan mejor performance a fatiga por tener menor rigidez. Otro aspecto que colabora es el contenido de vacíos de la mezcla que va influir tanto en la propagación de la fisura como en su resistencia a la fatiga propiamente. (Valdés Vidal, 2011)

Centrando en las particularidades de cada propiedad, a continuación, se numeran aquellas que determinan el comportamiento a fatiga.

- Módulo de rigidez

Es la propiedad definida como la relación entre el esfuerzo y la deformación. En el caso de las mezclas bituminosas, el módulo de rigidez está en función de la temperatura, tiempo y tipo de carga, debido principalmente a las características viscoelastoplásticas y susceptibilidad térmica del ligante asfáltico. Por otro lado, la rigidez de la mezcla también es afectada por la rigidez del ligante utilizado, granulometría, contenido de huecos y contenido de betún. Además, en las mezclas con el paso del tiempo se produce un fenómeno de oxidación del ligante, lo que conlleva a un envejecimiento, es decir, un aumento de la rigidez en el material produciendo que la mezcla se vuelva más frágil y menos resistente a la fisuración. (Valdés Vidal, 2011)

El módulo dinámico de la mezcla asfáltica representa la característica de rigidez del material y determina la distribución de tensiones y deformaciones en todas las capas componentes de la estructura vial. Esta propiedad se vincula estrechamente con la valoración del deterioro por fatiga y acumulación de deformaciones permanentes. Por lo tanto, es una característica muy importante de las mezclas asfálticas y existen diversos factores que afectan su comportamiento, los mismos son:

- Nivel de esfuerzos.
- Frecuencia de carga.
- Contenido de ligante asfáltico.
- Tipo de agregado.
- Contenido de vacíos.
- Tipo y contenido de modificadores.
- Temperatura.

Consecuentemente, el módulo dinámico depende de la temperatura y la frecuencia (o el tiempo) de aplicación de las cargas. Basándose en el principio de equivalente entre frecuencia de aplicación de las cargas y la temperatura, es posible construir Curvas Maestras que muestran la variación del módulo dinámico en un amplio rango de frecuencias para una dada temperatura de referencia, o la variación en un rango de temperaturas para una frecuencia de referencia. En el caso de contar con el equipamiento necesario para la elaboración del ensayo de módulo dinámico, las curvas maestras se pueden obtener a través de un ajuste sigmoidal. Por otra parte, en la estimación del módulo dinámico pueden utilizarse distintos modelos de predicción ajustados a las condiciones locales de materiales, tránsito y clima.

Respecto a su desempeño, el comportamiento a la fatiga está relacionado de manera inversa con su rigidez. Cuando una mezcla en campo posee una rigidez muy elevada, es un indicador de que presentará una resistencia a la deformación permanente, lo cual es muy bueno, pero no sucederá lo mismo con su comportamiento a fatiga, ya que una elevada rigidez le impedirá deformarse ante la carga lo cual resultará en una fisuración de la capa asfáltica. (Palacios Maldonado, 2005)

Se debe encontrar el equilibrio en la rigidez de la mezcla, tal que resista la deformación permanente como la fisuración por fatiga.

▪ Contenido de vacíos de aire

El contenido de vacíos de aire es el volumen de vacíos de aire expresado como porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Dicha propiedad está en función de la granulometría, del grado de compactación de la mezcla y en directa relación con la velocidad de oxidación de la mezcla. Esto se debe a un mayor contenido de huecos, permitirá que el agua y el aire oxidan el ligante de la mezcla acelerando su tasa de envejecimiento, incrementando su fragilidad y resultando una menor resistencia a la fisuración de la mezcla bituminosa.

En el caso del estudio realizado por Li et al. (2008), los resultados mostraron una tendencia que las mezclas con menor contenido de vacíos obtenían en promedio mayores energías de fractura en el proceso de fisuración a bajas temperaturas. Diversos investigadores determinaron que tanto en ensayos bajo esfuerzo controlado,

como bajo deformación controlada la vida a fatiga disminuye al aumentar los vacíos de aire. (Valdés Vidal, 2011)

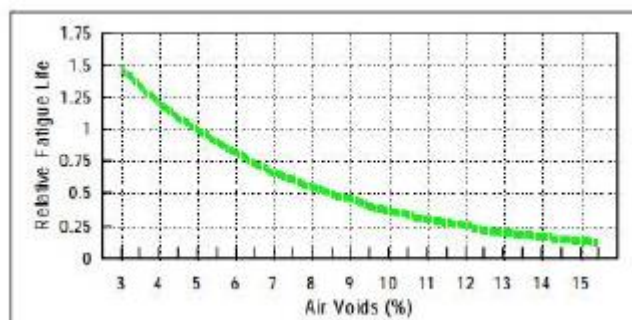


Figura 9 - Curva de vida de fatiga en relación a los vacíos de aire (Valdés Vidal, 2011)

- Vacíos del agregado mineral (VAM)

El porcentaje de Vacíos del Agregado Mineral (VAM) es el volumen intergranular disponible para alojar los vacíos de aire y el ligante asfáltico efectivo, expresado como porcentaje del volumen del total de la mezcla compactada. Matemáticamente resulta la suma del volumen de vacíos de aire y el volumen de asfalto efectivo. Esta propiedad está en función del grado de compactación, granulometría, forma de los agregados y contenido de vacíos. Es de suma importancia en la durabilidad de las mezclas bituminosas, puesto que al aumentar su valor se incrementa la resistencia de la mezcla al fallo por fisuración. Sin embargo, después de un cierto nivel, el alto contenido de ligante puede provocar fenómenos de inestabilidad en la mezcla. (Jajliardo, 2003)

- Contenido de asfalto y su espesor de recubrimiento

El comportamiento de fatiga está dado por la resistencia a esfuerzos de flexo tracción en la capa inferior de la mezcla asfáltica. El factor de mayor importancia para asegurar un buen comportamiento es el tipo y contenido de ligante asfáltico utilizado, a mayor contenido de ligante y mejor comportamiento elástico del mismo mejora su comportamiento a fatiga. También depende del espesor de la película de recubrimiento que cubre los áridos, dicho espesor va a depender del contenido de ligante incorporado y de las características superficiales del agregado. Recubrimientos muy finos contribuyen a un envejecimiento prematuro de la mezcla lo que lleva consigo un incremento en la fragilidad de la misma.

Sengoz y Agar (2007) estudiaron el efecto del espesor de recubrimiento del betún en el agregado en la susceptibilidad de la mezcla bituminosa a la humedad y llegaron a resultados similares a los obtenidos por Kandhal y Chakraborty, señalando que el espesor de recubrimiento óptimo fluctúa entre 9,5 y 10,5 micrones. En la figura siguiente, se muestran las curvas de evolución de la resistencia a tracción indirecta a 25 °C, tanto para probetas de control como para probetas ensayadas luego de haber permanecido un periodo sumergidas en agua. En esta figura se observa que, para espesores de recubrimiento bajo el rango de 9,5 a 10,5 micrones, las diferencias entre resistencias a tracción indirecta en seco y en húmedo comienzan a ser mayores a medida que se disminuyen los espesores de recubrimiento. (Sengoz B., 2007)

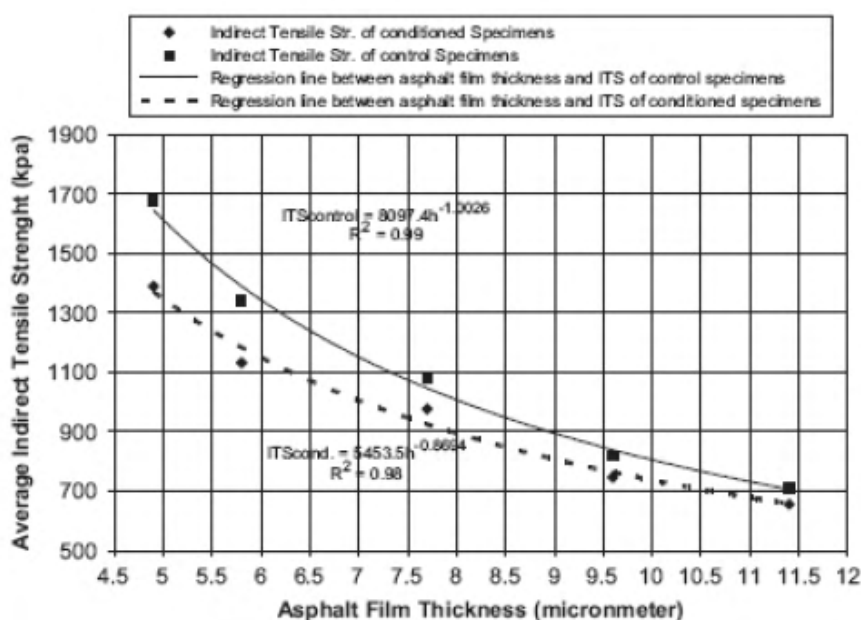


Figura 10 - Efecto del espesor de recubrimiento del betún en las mezclas asfálticas (Sengoz B., 2007)

Este comportamiento, además de reflejarse en la resistencia a la humedad, tiene una relación directa con la resistencia a fatiga. Un espesor de mástico insuficiente puede resultar en una estructura más frágil, con menor capacidad de redistribuir tensiones y absorber microdeformaciones sin generar daño acumulado. Específicamente, cuando el recubrimiento bituminoso es demasiado delgado, las microfisuras que se generan bajo cargas repetidas tienden a propagarse más rápidamente, reduciendo la vida a fatiga de la mezcla. Por el contrario, un espesor de mástico adecuado (dentro del rango óptimo) mejora la flexibilidad y la capacidad de disipar energía, incrementando así la resistencia al daño por fatiga. En este sentido, el espesor del mástico no sólo influye en la durabilidad frente a la humedad, sino que también es un factor determinante en el comportamiento mecánico a largo plazo, especialmente frente a solicitaciones repetidas como las que provocan fisuración por fatiga.

▪ Consistencia y viscosidad del ligante asfáltico utilizado

Las propiedades de consistencia y viscosidad son los principales parámetros que caracterizan a un ligante asfáltico y son las que definen su desempeño en la mezcla. Ambas están afectadas por la susceptibilidad térmica del betún en donde sus propiedades varían frente a los cambios de su temperatura. A bajas temperaturas la mezcla se comportará como un sólido frágil siendo más susceptible al fallo por fisuración, mientras que a temperaturas más altas la mezcla tendrá un comportamiento más dúctil y menos resistente. La etapa del proceso que más influye en la calidad del ligante asfáltico es en proceso de elaboración de mezcla, ya que el ligante se enfrenta a un calentamiento para disminuir su consistencia y garantizar un correcto recubrimiento de los áridos con suficiente espesor de película.

Dichas temperaturas de mezclado, que típicamente se encuentran en el rango de 165 °C a 175 °C, generan condiciones favorables para lograr un adecuado recubrimiento de los agregados con el ligante asfáltico. Sin embargo, estas temperaturas también provocan un fenómeno conocido como envejecimiento en película delgada, el cual consiste en la oxidación y endurecimiento progresivo del ligante debido a su exposición al calor y al aire durante el proceso de fabricación y mezcla. Este envejecimiento incrementa la viscosidad del ligante, lo que puede afectar negativamente la trabajabilidad y la durabilidad de la mezcla. Por este motivo, las normativas actuales establecen que la viscosidad del ligante luego del proceso de elaboración no debe superar

en más de tres veces la viscosidad del ligante asfáltico virgen, con el objetivo de limitar los efectos del envejecimiento prematuro y preservar el desempeño mecánico de la mezcla, especialmente frente a mecanismos como la fisuración por fatiga o la pérdida de cohesión.

En relación al comportamiento a fisuración por fatiga de la mezcla, el Asphalt Institute (2007) indica que el uso de ligantes de baja viscosidad incrementa la vida a fatiga de las mezclas proveyéndolas de una mayor flexibilidad. Sin embargo, para evitar posibles fallos por deformaciones plásticas se debe realizar una adecuada elección del ligante en función del tipo de clima imperante en la zona donde se extenderá la mezcla, señalando que en zonas de bajas temperaturas se suelen utilizar ligantes menos viscosos, que evitan problemas de fisuración producto de las bajas temperaturas extremas, mientras que en zonas de altas temperaturas se suelen utilizar ligantes mas viscosos. A su vez, la utilización de ligantes modificados permite un comportamiento de la mezcla más uniforme a las temperaturas de servicio. (Asphalt Institute, 2007)

▪ Granulometría y tipo de árido

El efecto de la granulometría y tipo del árido tienen un papel importante en la respuesta de la mezcla bituminosa frente a los fallos producidos por las sollicitaciones de tráfico y medioambientales. Existe una influencia directa de la granulometría y tipo del árido en el esqueleto mineral de la mezcla bituminosa, que por una parte soporta las tensiones producto de las cargas de los vehículos, y por otra, condicionan la respuesta que es capaz de tener la mezcla frente a las tensiones inducidas producto de los gradientes térmicos. (Valdés Vidal, 2011)

La granulometría de la mezcla afecta directamente su comportamiento frente al deterioro de fisuración descendente según señala Koh et al. (2009). En dicha investigación se resalta que las mezclas más porosas son más afectadas por la exposición medioambiental, debido a una mayor superficie de los materiales expuesta a los rayos UV principalmente por su mayor contenido de vacíos. Esto implica una tasa de envejecimiento mucho mayor de las mezclas porosas en relación con las mezclas densas, lo que las hace fragilizarse con mayor rapidez, siendo más sensibles a la fisuración. En el caso de granulometrías continuas existe una menor superficie específica de los áridos envueltos en ligante en contacto con los agentes atmosféricos que deterioran la mezcla, retardando así el envejecimiento y por lo tanto la formación de fisuras superficiales producto de la fragilidad de la mezcla. (Koh C., 2009)

Por lo tanto, la granulometría y el tipo de árido afectan la resistencia de las mezclas asfálticas frente al fallo por fisuración, dicha influencia puede medirse por medio del parámetro llamado energía de fractura. La energía de fractura es la cantidad de energía que un material absorbe y disipa de manera irreversible durante la formación y propagación de una fisura. Representa la diferencia entre la energía aplicada y la energía recuperada tras la carga, reflejando el daño acumulado en el material. Este parámetro es fundamental para evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas frente a la fisuración y su comportamiento bajo sollicitaciones repetidas.

En este contexto, son varios los investigadores que han enfocado sus estudios en este parámetro en las mezclas bituminosas. Li y Braham et al. (2007) estudiaron el efecto del tipo de árido en la energía de fractura de mezclas bituminosas a bajas temperaturas. En la figura siguiente se indican distintas mezclas ensayadas a un proceso de fractura en diferentes temperaturas de ensayo (temperature level). En sus conclusiones se manifiesta que los áridos graníticos presentaron un mejor comportamiento en relación a los áridos calizos, puesto que los

resultados registrados mostraron valores más altos de energía de fractura en las mezclas estudiadas. (Li X., 2008)

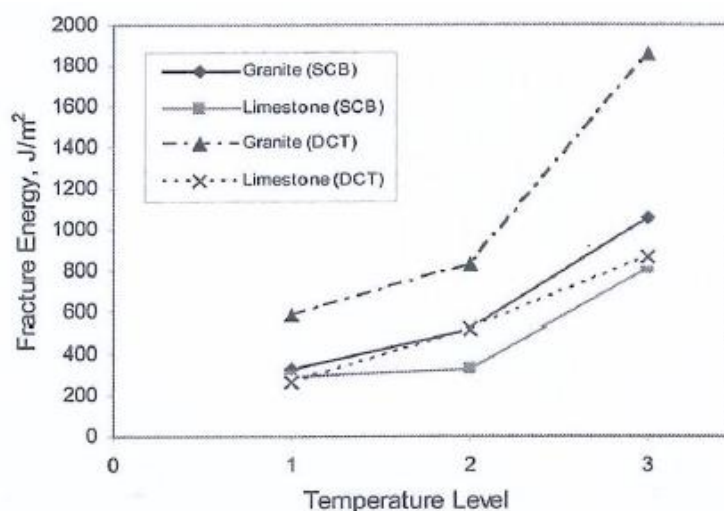


Figura 11 - Efecto del tipo de árido en la energía de fractura a bajas temperaturas en las mezclas asfálticas (Li X., 2008)

El estudio efectuado por Kim et al. (1992) señala que el tipo de árido tiene un efecto importante en la resistencia a fatiga y en la deformación permanente de las mezclas bituminosas, indicando un mejor comportamiento en mezclas fabricadas con áridos más rugosos y con mayor angulosidad en su forma, tal como se ilustra en la figura siguiente, donde se observa un mayor número de repeticiones para un mismo nivel de deformación en la ley de fatiga para la mezcla fabricada con áridos con caras más rugosas y mayor angulosidad (RB), respecto de la mezcla fabricada con áridos de caras más pulidas y menor angulosidad (RL). (Kim Y., 1992)

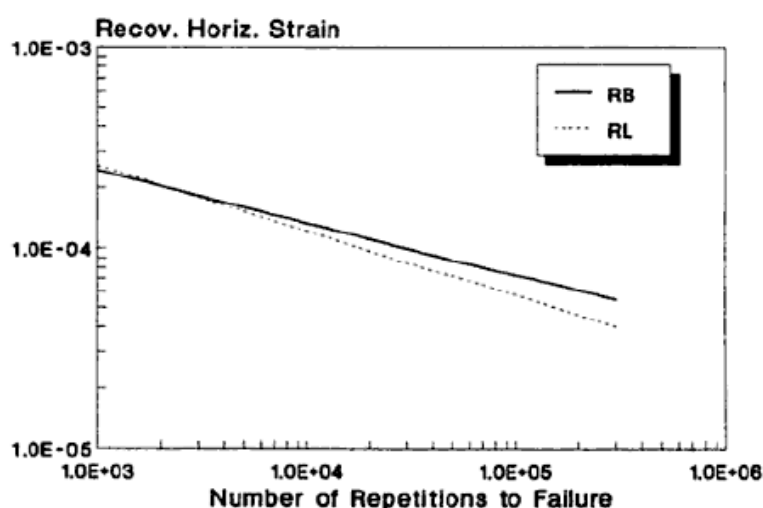


Figura 12 - Efecto del tipo de árido en la resistencia a fatiga de las mezclas asfálticas (Kim Y., 1992)

Las abreviaciones RB y RL corresponden a las características morfológicas de los áridos utilizados en las mezclas asfálticas: RB representa áridos con caras rugosas (Rough) y formas angulosas, mientras que RL representa áridos con caras lisas o pulidas (Round/Smooth) y formas redondeadas con menor angulosidad. La figura evidencia que las mezclas fabricadas con áridos RB (rugosos y angulosos) presentan mayor resistencia a fatiga, soportando un número significativamente mayor de repeticiones de carga antes del fallo, en comparación con

las mezclas fabricadas con áridos RL (lisos y redondeados), demostrando así la influencia de la textura superficial y la forma de los áridos en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas.

En conclusión, numerosos factores afectan el comportamiento a fatiga de las mezclas asfálticas. Se destacan la cantidad y tipo de ligante asfáltico como el esqueleto granular ya que presentan mayor influencia en el módulo de rigidez de la mezcla que rige el comportamiento a flexo tracción. Aquellas mezclas con menor módulo presentan mejor performance a fatiga por poseer menor rigidez y mayor ductilidad. Para un diseño balanceado de mezclas asfálticas se debe lograr un adecuado sistema binario Rigidez-Resistencia donde se establecen valores mínimos para ambos parámetros a fin de diseñar para resistir a los dos modos de falla principales en una mezcla: deformaciones permanentes y fisuramiento. (Dirección Nacional de Vialidad, 2019)

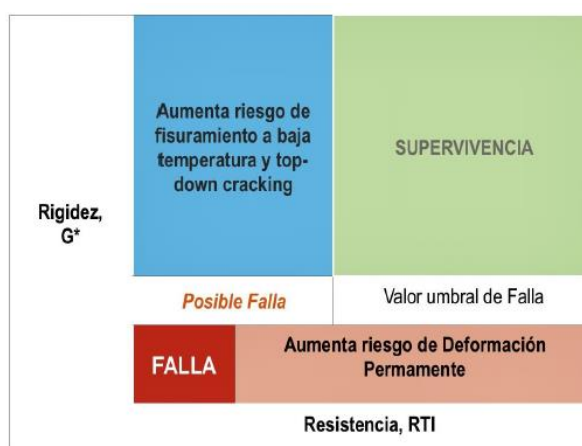


Figura 13 - Diseño balanceado (Dirección Nacional de Vialidad, 2019)

6.4. Ensayos para determinar Fatiga en mezclas asfálticas

Para la evaluación de la respuesta a fatiga y el establecimiento de las Leyes de Fatiga se utilizan ensayos cíclicos de laboratorio para conocer la evolución de las propiedades de la mezcla al incrementar el número de ciclos de aplicación de cargas. Dichos ensayos intentan someter a las probetas de mezcla a unas sollicitaciones similares a la que se producen en el pavimento. Las tensiones inducidas en la estructura son de una alta complejidad producto de los cambios en los tipos de cargas sollicitantes, las condiciones de velocidad y temperatura. Esto produce una serie de cambio en el estado tensional de la estructura, en la cual varían al mismo tiempo los esfuerzos axiales y cortantes aplicados. (Valdés Vidal, 2011)

En la figura a continuación, se detallan los ensayos más utilizados para evaluar el comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas.

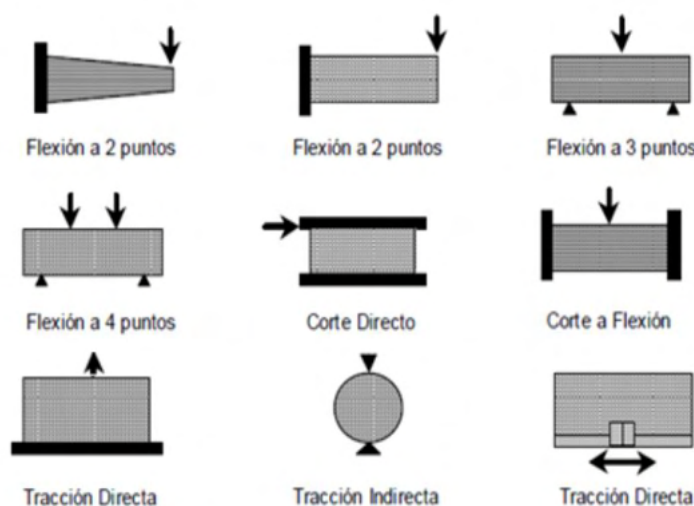


Figura 14 - Procedimientos para determinar el comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas

Es evidente que el ensayo escogido no deja de ser un modelo sobre el posible comportamiento real del firme y los resultados que se obtengan son una simple aproximación debido a las limitaciones que supone su modelización. Sea cual sea el ensayo utilizado se debe tener en cuenta que:

- Se debe modelar el tipo de carga, es decir el ensayo ha de simular las sollicitaciones provocadas por el tránsito.
- Esta simulación debe tener en cuenta los periodos de carga y de reposos, sabiendo que la frecuencia de estos ciclos puede hacer variar notoriamente la vida de la mezcla bituminosa.

Estas consideraciones hacen que las leyes de fatiga obtenidas en el laboratorio puedan utilizarse para comparar un tipo de mezcla con otro, pero no para determinar la duración de vida de los pavimentos. Esto refiere a que deberíamos establecer un factor de corrección que represente todos los fenómenos aleatorios a los cuales está sometida la estructura in situ. La diferencia de temperaturas, la compactación, la carga real de los vehículos pesados y demás variables, son de suma complejidad e irreproducibles al cien por cien en las condiciones de laboratorio. (Salvador Franco, 2012)

Las condiciones de ensayos que se realizan para evaluar el comportamiento a fatiga se dividen en dos tipos:

- A tensión controlada, donde se mantiene constante la carga máxima aplicada en cada ciclo de carga. La probeta es sometida a un nivel de tensión fluctuante que es mantenido constante durante la totalidad del ensayo. Debido a la aplicación repetitiva de la tensión, la amplitud de la deformación aumenta hasta alcanzar dos veces la amplitud inicial. El criterio de finalización del ensayo suele ser, en general, cuando el módulo de rigidez a la flexión se reduce a la mitad de la rigidez a la flexión inicial o a la fractura total de la probeta. Los ensayos de tensión controlada se consideran aplicable a las capas gruesas de pavimento asfáltico, de más de 20 cm. En este tipo de estructura, la capa gruesa de asfalto es el principal componente que soporta la carga y la deformación aumenta a medida que el material se debilita bajo cargas repetidas.
- A deformación controlada, en cuyo caso se mantiene constante la deformación o desplazamiento máximo aplicado. La probeta es sometida a un nivel de deformación fluctuante que es mantenido constante durante la totalidad del ensayo. Debido al deterioro del material, la tensión que es necesaria aplicar para mantener esa deformación constante, disminuye a medida que progresa el ensayo ya que la rigidez a la flexión de la mezcla disminuye efectivamente. El punto de fallo, o finalización del ensayo,

se suele seleccionar como una cierta reducción de la rigidez inicial con respecto a la del comienzo de la prueba, generalmente el 50 por ciento. El modo de carga de deformación controlada simula las condiciones de las capas delgadas de pavimento asfáltico, normalmente inferiores a 5 cm. En este caso, la capa del pavimento no es el componente principal que soporta la carga. La deformación en la capa de asfalto se rige por las capas subyacentes y no se ve muy afectada por la variación de la rigidez de la capa asfáltica. Esta situación está conceptualmente más relacionada con la categoría de deformación constante.

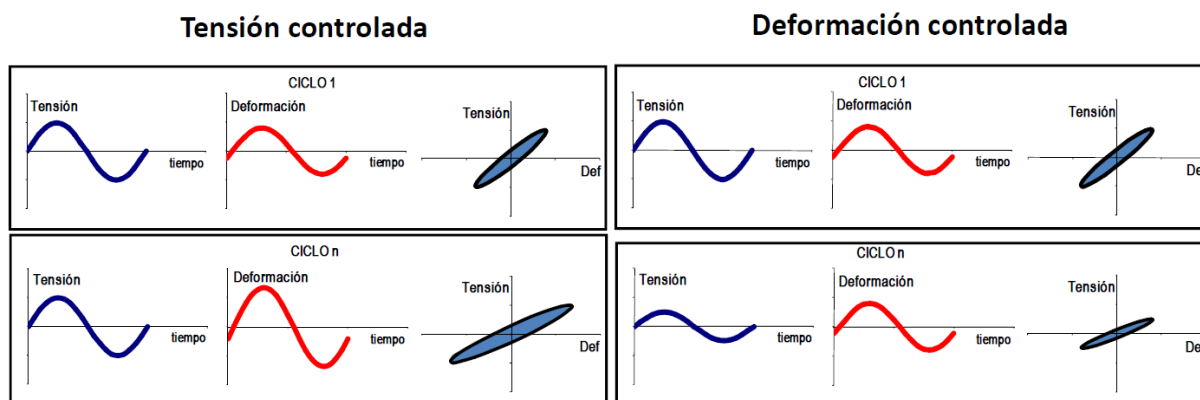


Figura 15 - Solicitaciones en ensayo a fatiga entre el primer ciclo de carga y uno avanzado.

Fuente: Clases del Ing. F. Martínez (IMAE UNR, 2021)

Uno de los puntos más relevantes del ensayo a fatiga es el proceso de fisuración de la probeta, y los estudios a deformación controlada han dado lugar a una clara fisuración de la probeta, por lo que permite establecer diferentes niveles de fallo, que son de gran importancia en la interpretación y análisis de los resultados.

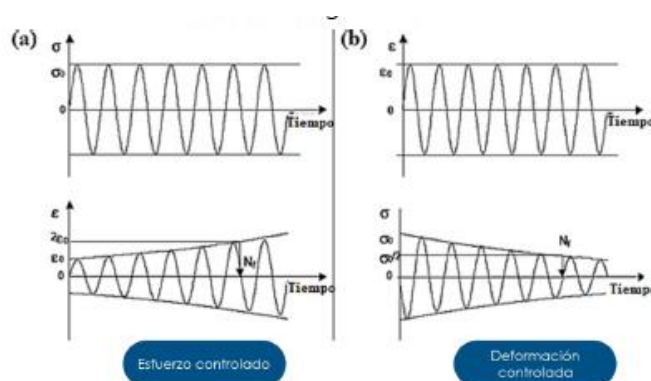


Figura 16 - Solicitaciones en ensayo a fatiga, a) tensión controlada y b) deformación controlada

Dado que en los pavimentos el módulo de las mezclas asfálticas tiende a crecer con los procesos de envejecimiento, las pruebas hechas en el modo de deformación controlada son las que se deben emplear para diseño estructural de pavimentos, en tanto que las de esfuerzo controlado, se emplean más para control de producción de mezclas. Otros autores indican que el espesor de colocación de la mezcla asfáltica también es un parámetro importante para la elección del tipo de ensayo. En espesores grandes (mayores a 15 cm) recomiendan el modo de tensión controlada, mientras que para espesores pequeños el de deformación controlada.

Los incrementos de módulo de rigidez que sufren las mezclas asfálticas en su vida en servicio afectan su comportamiento a fatiga. Una disminución de la temperatura, un aumento de la frecuencia de solicitación o el envejecimiento que sufren durante su vida útil tienden a aumentar la rigidez de las mismas. Estos incrementos del módulo producen vidas de fatiga mayores cuando los ensayos son llevados a cabo en la modalidad de tensión controlada, en tanto que producen menores vidas de fatiga cuando los ensayos son a deformación controlada.

En la siguiente tabla comparativa se resumen las principales propiedades de cada tipo de ensayo a fatiga.

	Esfuerzo controlado	Deformación controlada
Criterio de conclusión de ensayo	$\epsilon_f = 2\epsilon_0$	$\sigma_f = 1/2\sigma_0$
Cantidad de ciclos para fallo	Menor	Mayor
Efecto del módulo	A mayor módulo, mayor resistencia, es decir, soporta más ciclos.	A mayor módulo, menor resistencia, esto es, resiste menos ciclos.
Crecimiento del daño	Rápido	Moderado

Figura 17 - Cuadro comparativo entre ensayos a fatiga con esfuerzo o tensión controlada y deformación controlada (Gonzalez Herrera D., 2019)

6.4.1. Ensayos de fatiga a flexión dinámica (ensayos de flexotracción)

Como se ha definido anteriormente, Baaj y Di Benedetto señalan que en el proceso de degradación de fatiga de una mezcla se puede establecer tres etapas o fases. Este comportamiento de las mezclas asfálticas, que busca representar el tipo de esfuerzos al que está sometida la estructura del pavimento, es el que normalmente se reproduce en el laboratorio por métodos estandarizados de larga ejecución, cuando se ensayan diferentes tipos de probetas a flexión a dos, tres y cuatro puntos de apoyo. En estos ensayos se someten probetas a una serie de cargas cíclicas, en la que se mantiene constante la tensión, la deformación o el desplazamiento aplicado, hasta que se produce el fallo de la mezcla. (Di Benedetto H., 2003)



Figura 18 - Procedimientos para determinar el comportamiento a fatiga en ensayos a flexión (Di Benedetto H., 2003)

En el caso de los ensayos a deformación controlada, consisten en someter la probeta a un desplazamiento que varía con el tiempo según la siguiente función sinusoidal.

$$D_c = D_0 \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$$

D_c : Desplazamiento inicial en el instante i , en micras (μm)

$2D_0$: Amplitud total de la función de desplazamiento, en micras (μm)

f : Frecuencia de la onda, en Hertz (Hz)

t : tiempo en segundos (s)

Relacionando las deformaciones máximas iniciales producidas en el centro de la probeta, con el número de ciclos necesarios para reducir la rigidez de la probeta a la mitad, se obtienen pares de valores correspondientes a varios ensayos a diferentes amplitudes de desplazamiento, que permiten definir la ley de fatiga en deformación con control en desplazamiento o con control de tensión.

Lo importante es interpretar los parámetros resultantes de los ensayos de fatiga a flexotracción dinámica:

Función de tensión, σ : El estado tensional de la mezcla bituminosa se caracteriza por la tensión que se produce en un punto situado en el centro geométrico de la cara en que se encuentran los dos apoyos. Esta tensión actúa normalmente a un plano perpendicular al plano de la cara de apoyo.

La tensión se determina para cada ciclo, a partir de la función de carga registrada y de las dimensiones de la probeta y distancia entre apoyos según la ecuación:

$$\sigma = P \cdot \frac{3(L - 20)}{2(b \cdot e^2)}$$

σ : esfuerzo instantáneo (MPa)

P : carga instantánea (N)

L : distancia entre soportes (mm)

b : ancho de la probeta (mm)

e : espesor de la probeta (mm)

Función deformación, ε : El estado de deformaciones de la probeta se caracteriza por la deformación que se produce en el mismo punto en que se define la tensión y según la normal al mismo plano mencionado. La deformación se debe determinar en cada ciclo aplicando la ecuación:

$$\varepsilon = \frac{2 \text{Ext} \cdot (L - 20)}{2B \cdot L - B^2 - 400}$$

ε : deformación instantánea

Ext : señal instantánea del extensómetro (mm)

B : base de medición del extensómetro (mm)

L : distancia entre soportes (mm)

Módulo dinámico, M_D : El módulo dinámico en un determinado ciclo se define como el cociente entre la amplitud cíclica de la función tensión y la amplitud cíclica de la función deformación. La amplitud cíclica de una

función en un ciclo es el valor absoluto de la diferencia entre su valor máximo y su valor mínimo en ese ciclo. Este parámetro se calcula mediante la ecuación:

$$M_D = \frac{\sigma_c}{\varepsilon_c}$$

σ_c : amplitud cíclica del esfuerzo (MPa)

ε_c : amplitud cíclica de la deformación

Angulo de desfase, ϕ : se define como el desfase existente entre las funciones de tensión y deformación. Su expresión se calcula de según la ecuación:

$$\phi = (B_\varepsilon - B_t) \frac{180}{\pi}$$

ϕ : ángulo de desfase en grados sexagesimales

B_ε y B_t : ángulo de fase de las funciones tensión y deformación aproximadas, en radianes

Ley de fatiga: Para la obtención de la ley de fatiga se consideran los pares de valores: mitad de la amplitud cíclica de la función de deformación en el ciclo número 200, $1/2\varepsilon_{c(200)}$, y el número total de ciclos aplicados (N). Luego, mediante una aproximación por mínimos cuadrados se obtiene la ley de fatiga, de acuerdo a la ecuación:

$$\varepsilon = a \cdot N^b$$

ε : mitad de la amplitud cíclica de la función de deformación en el ciclo número 200 (adimensional)

N : número total de ciclos aplicados

a, b : coeficientes de la ley de fatiga en deformación (adimensionales)

A continuación, se describen los ensayos de flexotracción a deformación o desplazamiento constante para la determinación de la fatiga de la mezcla, diferenciándose entre ellos en la forma de la probeta, la manera de aplicar la fuerza y los puntos de apoyo. Dichos procedimientos son los establecidos en las normas de ensayo (Normativa Europea EN 12697-24).

▪ Ensayo de fatiga a flexión en dos puntos sobre probetas trapezoidales

Este método caracteriza el comportamiento de las mezclas bituminosas sometidas a carga de fatiga con un desplazamiento controlado por flexión en dos puntos, utilizando probetas trapezoidales. Este método puede ser utilizado por mezclas bituminosas, con áridos de granulometría máxima de 20 mm, sobre probetas preparadas en el laboratorio u obtenidas de capas de carretera con un espesor de 40 mm como mínimo. Para mezclas con una granulometría máxima, comprendida entre 20 mm y 40 mm, el ensayo puede realizarse utilizando el mismo principio, pero adaptando las medidas de las probetas.

Para una frecuencia de desplazamiento sinusoidal dada, el método debe de realizarse sobre diversos elementos ensayados en una atmosfera ventilada y a una temperatura controlada.



Figura 19 - Probeta trapezoidal para el ensayo de fatiga a flexión en dos puntos (Di Benedetto H., 2003)

Este ensayo tiene una unión con las tensiones que soportan las mezclas bituminosas en el firme de carretera. La parte superior de la fibra neutra trabaja a compresión mientras que la parte inferior trabaja a tracción, como pasaría in situ.

Este método es ventajoso en el sentido de que el posicionamiento de las probetas en la máquina es simple y rápido, ya que están enganchadas en la base y fijadas mecánicamente en el extremo superior. Además, se requiere una fuerza relativamente débil para imponer amplitudes de sollicitación suficientes, lo que permite reducir el coste de la maquinaria. Por el contrario, en este ensayo no se tienen unas deformaciones o tensiones homogéneas a lo largo de la fibra neutra.

- Ensayo de fatiga a flexión en dos puntos sobre probetas prismáticas

Este método caracteriza el comportamiento de las mezclas bituminosas sometidas a carga de fatiga por flexión (flexotracción) en dos puntos, utilizando probetas prismáticas cuadradas. Este método puede ser utilizado por mezclas bituminosas, con áridos de granulometría máxima de 20 mm, sobre probetas preparadas en el laboratorio u obtenidas de capas de carretera con un espesor de 40 mm como mínimo.

- Ensayo de fatiga a flexión en tres puntos sobre probetas prismáticas

Este método caracteriza el comportamiento de las mezclas bituminosas sometidas a carga de fatiga con desplazamiento controlado en tres puntos, utilizando probetas prismáticas. El comportamiento se caracteriza mediante la determinación de la ley de fatiga en términos de deformación (relación entre la deformación y el número de ciclos de carga aplicados hasta que se produce la rotura) y la ley de energía asociada. Este método puede ser utilizado por mezclas bituminosas, con áridos de granulometría máxima de 22 mm, sobre probetas preparadas en el laboratorio u obtenidas del pavimento con un espesor de 50 mm como mínimo. Para una frecuencia de desplazamiento sinusoidal dada, el método debe realizarse sobre diversos elementos ensayados a una temperatura controlada.

- Ensayo de fatiga a flexión en cuatro puntos sobre probetas prismáticas

Este método caracteriza el comportamiento de las mezclas bituminosas sometidas a carga de fatiga en un equipo de ensayo de flexión en cuatro puntos, en el cual las mordazas interiores y exteriores están colocadas simétricamente, utilizando probetas prismáticas rectangulares esbeltas. La probeta prismática debe ser sometida a cargas periódicas de flexión en cuatro puntos, con rotación y traslación libres en todos los puntos

de la carga y de la reacción de éstas. La flexión debe ser realizada por la aplicación de la carga en dos puntos interiores (mordazas interiores), en sentido vertical y perpendicularmente al eje longitudinal de la probeta. Se ha de fijar la posición vertical de los soportes del extremo (mordazas interiores). Esta configuración de la carga debe de ser de forma sinusoidal.

Durante el ensayo, se debe medir la carga necesaria para la flexión de la probeta, la deflexión y el desfase entre estas dos señales, en función del tiempo. Con estas medidas se pueden determinar las características de fatiga del material sometido a ensayo.

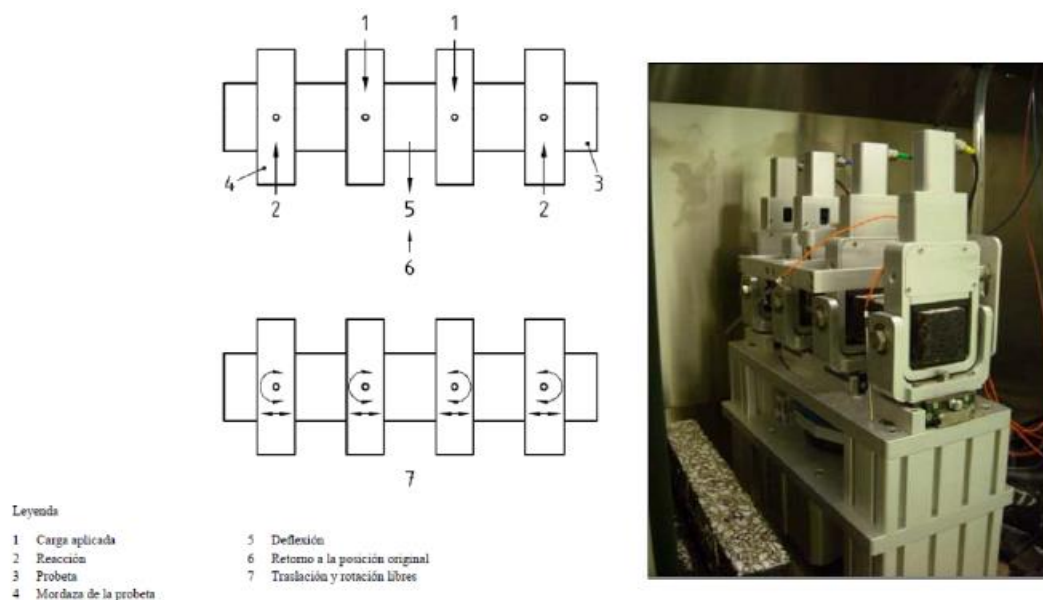


Figura 20 - Principios básicos del ensayo de flexión en cuatro puntos y máquina de dicho ensayo (Di Benedetto H., 2003)

6.4.2. Ventajas e inconvenientes de los ensayos de flexotracción

De los ensayos de flexotracción anteriores contemplados en la Normativa Europea EN 12697-24, el único procedimiento que permite determinar la fatiga a 20°C es el de flexión de probetas prismáticas con 4 puntos de fijación. Son varias las ventajas de los ensayos de flexotracción considerados: (Di Benedetto H., 2003)

- Son ensayos muy conocidos y difundidos. Es por este motivo, que los instrumentos y equipos para realizar el ensayo están normalizados, a diferencia de otros ensayos más complejos que necesitan máquinas menos frecuentes, lo que puede elevar considerablemente su dificultad y costo de adquisición.
- Fácil fabricación de las probetas debido a su sencilla geometría respecto a otros ensayos más complejos.
- Los resultados obtenidos pueden ser utilizados directamente en el diseño de pavimentos.
- Opcionalmente pueden controlar la tensión o la deformación.

Sin embargo, estos ensayos también tienen sus inconvenientes. La principal limitación es que son de compleja ejecución, de larga duración y los equipamientos necesarios son de un costo elevados. Además Di Benedetto enumera otras desventajas relevantes para su aplicación: (Di Benedetto H., 2003)

- En todo ensayo de fatiga de laboratorio se intentan reproducir el comportamiento de las mezclas bituminosas in situ, pero es imposible la realización de un ensayo totalmente fiel a la realidad. La

fisuración de la capa de la mezcla bituminosa en el pavimento no se produce ni a tensión ni a deformación controlada, sino que es un proceso bastante más complejo en el que influyen, además de los intervalos de tiempo entre aplicaciones de carga, periodos de recuperación de la mezcla, y también, el orden y la forma en que se producen estas aplicaciones de carga.

- Presentan el inconveniente de proporcionar resultados erróneos cuando se ensayan mezclas muy flexibles, ya sean, fabricadas con un alto contenido de ligante asfáltico, con ligantes modificados, o bien, ensayadas a altas temperaturas. Estas mezclas, en un ensayo de fatiga a flexotracción, van perdiendo carga, llegando hasta un 50% de su carga o módulo inicial, que es considerada como el límite de fallo por fatiga; pero dada su flexibilidad, están muy lejos de su fisuración por fatiga, y puede ocurrir que sólo se haya producido un reacondicionamiento y readaptación de los materiales dentro de la mezcla. Existe para cada mezcla un nivel de deformaciones para el cual se produce su fallo por fatiga, es decir, la deformación a la que es preciso llegar para que falle la probeta (deformación crítica). Por lo tanto, si no se establece esta última deformación como criterio de fallo, la probeta no romperá.
- Por otra parte, en el pavimento puede haber también tensiones térmicas residuales que pueden colaborar en el proceso de fatiga. Estas tensiones pueden producirse especialmente en las capas superiores del firme debido a las variaciones diarias de temperatura, pero también se producen en las capas inferiores. Cuando estas tensiones térmicas son muy fuertes, producen, y de hecho ocurre con frecuencia en climas fríos, la fisuración de la capa; pero, aunque estas tensiones sean inferiores a las de la rotura, su presencia puede colaborar en el proceso de fatiga por las cargas del tráfico, y esto no es tenido en cuenta en los ensayos actuales de fatiga, en particular en los de flexotracción habitualmente empleados, donde la norma establece que la temperatura de ensayo sea de 20°C.

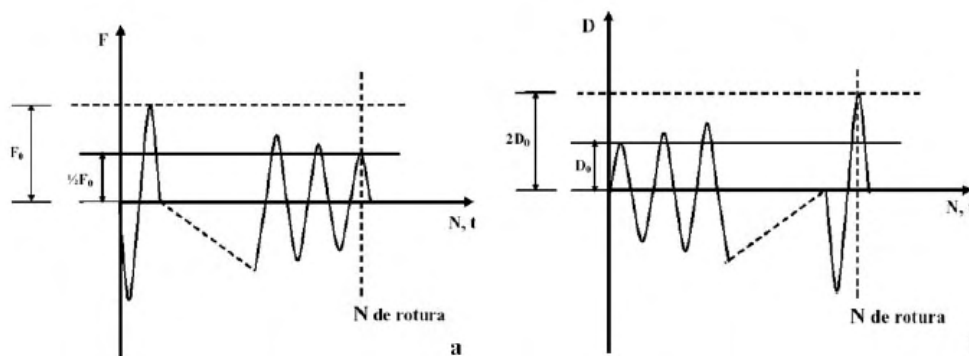
6.4.3. Criterios de fallas

Existen distintos enfoques para la caracterización de los mecanismos de inicio, desarrollo y propagación de las fisuras hasta su fallo por fatiga en las mezclas bituminosas. Los de mayor relevancia corresponden al enfoque tradicional o clásico, al enfoque de energía disipada y finalmente al enfoque o criterio de deformación crítica.

6.4.3.1. Enfoque tradicional o clásico

Este criterio considera la reducción de la rigidez como principal indicador de falla. La aplicación de cargas cíclicas sobre el material viscoelástico, genera una acumulación de daño y de igual manera se ve reducida su rigidez. Esto último se refleja en la disminución de su módulo hasta un punto en que el material entra en fatiga.

Por lo tanto, este enfoque establece que la rotura de probeta se da cuando la rigidez de la mezcla alcanza la mitad del valor que tenía inicialmente. (Alonso, 2006)

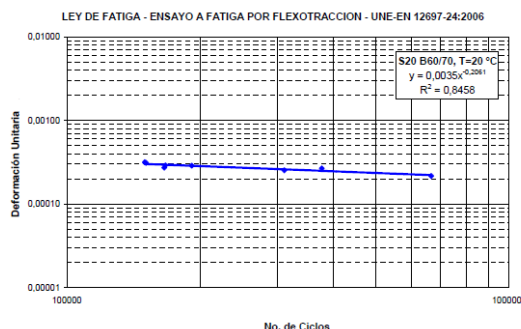
**Figura 21** - Criterio Clásico de fallo por fatiga

(a) Ensayo controlado por desplazamiento, (b) Ensayo controlado por carga (Alonso, 2006)

Para ensayos controlados por deformación o desplazamiento, la rotura o fallo de la probeta se producirá en el ciclo en que la carga inicial, F_0 , se reduzca a la mitad de la misma, tal como se observa en la figura anterior. Mientras que, en el caso de ensayos controlados por carga, la rotura o fallo de la probeta se producirá en el ciclo en que el desplazamiento, D_N , sea igual al doble del desplazamiento inicial D_0 . (Alonso, 2006)

En este contexto una de las desventajas que se indicó anteriormente para los ensayos de flexotracción a deformación o desplazamiento constante, es presentar el inconveniente de proporcionar resultados erróneos cuando se ensayan mezclas muy flexibles, ya sea, fabricadas con un alto contenido de ligante asfáltico, o bien, con ligantes modificados. Estas mezclas, en un ensayo de fatiga a flexotracción, van perdiendo carga, llegando hasta un 50% de su carga inicial, que es considerada como el límite de fallo por fatiga, pero dada su flexibilidad, están muy lejos de su fisuración por fatiga, y puede ocurrir que solo se haya producido un reacondicionamiento y readaptación de los materiales dentro de la mezcla. (Pérez F. M. R., 2005)

La ley de fatiga de una mezcla bituminosa es obtenida a partir del ensayo de múltiples probetas a diferentes niveles de tensión, desplazamiento y/o deformación controlada. Cada ensayo representa un punto dentro de la ley de fatiga de la mezcla bituminosa. Cuando se realizan ensayos a desplazamiento controlado, se obtiene una ley de fatiga tal como se observa en la figura siguiente. Esta última se determina relacionando las deformaciones máximas iniciales producidas en el centro de la probeta, con el número de ciclos necesarios para reducir la rigidez de la probeta a la mitad, obteniendo pares de valores correspondientes a varios ensayos a diferentes amplitudes de desplazamiento, que permiten definir la ley de fatiga en deformación controlada. (Valdés Vidal, 2011)

**Figura 22** - Ley de fatiga de una mezcla bituminosa mediante ensayo a flexotracción en tres puntos (Valdés Vidal, 2011)

6.4.3.2. Enfoque de energía disipada

El criterio de energía disipada en el proceso de fatiga establece una relación entre la vida a fatiga y la energía total acumulada que puede disipar el material hasta su fallo durante el desarrollo de un ensayo cíclico, independiente de las variables que se establezcan para realizar el ensayo, ya sea el tipo de prueba, la temperatura de ejecución o alguna otra variable del ensayo. (Valdés Vidal, 2011)

El área bajo la curva de esfuerzo deformación, representa la energía que se introduce a un material en un ciclo de carga, si el material es completamente elástico esta energía se recupera totalmente luego de descargar el material, al ser la mezcla asfáltica un material viscoelástico, en cada ciclo de carga se pierde un poco de energía, que se transforma en calor, deformación plástica, entre otros. A esta pérdida de energía por cada ciclo de carga en ensayos dinámicos, se la denomina “energía disipada”. (Gonzalez Herrera D., 2019)

La energía disipada durante un ciclo de un ensayo a fatiga se puede determinar por medio de la siguiente ecuación.

$$W_i = \pi \cdot \sigma_i \cdot \varepsilon_i \cdot \sin \sin(\phi_i)$$

$$W_i = \text{Energía disipada en el ciclo } i$$

$$\sigma_i = \text{amplitud de tensión en el ciclo } i$$

$$\varepsilon_i = \text{amplitud de deformación en el ciclo } i$$

$$\phi_i = \text{Ángulo de desfase entre la función de tensión y deformación en el ciclo } i$$

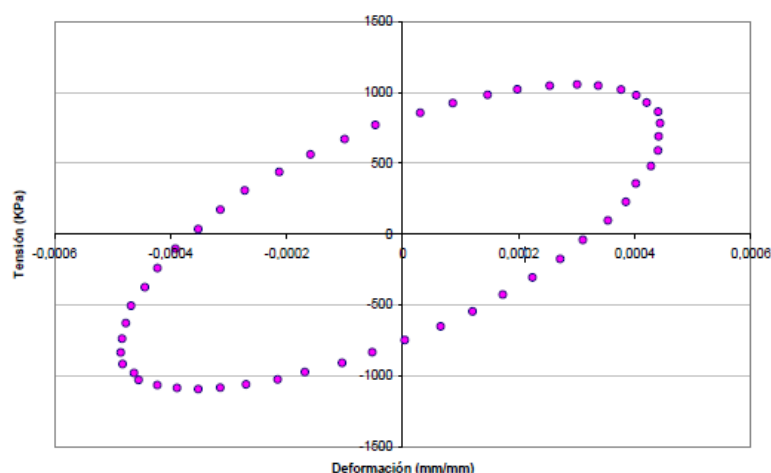


Figura 23 - Ciclo de histéresis de curva tensión deformación (Valdés Vidal, 2011)

La energía disipada equivale al área del bucle de histéresis de la curva tensión deformación de la figura anterior. Para el caso de ensayos realizados a deformación controlada, la curva de energía disipada en función de los ciclos de carga, crece hasta encontrar un valor máximo donde es constante, valor que indica el lugar donde se produce el fallo. Por otra parte, para ensayos a tensión controlada, la energía aumenta con cada ciclo de carga hasta un punto donde crece de forma exponencial, indicando el ciclo donde se produce el fallo. (Reyes, 2009)

Este enfoque permite correlacionar a través de la mecánica de fractura el comportamiento a fatiga de mezclas asfálticas ejecutando ensayos de fractura en el que se analiza la energía disipada hasta la falla.

6.4.3.3. Enfoque de la deformación crítica

En el Laboratorio de Caminos de la Universidad Politécnica de Cataluña mediante una serie de ensayos a fatiga, entre los que se encuentran el ensayo a flexotracción en tres puntos, los ensayos Cataluña Tracción Directa (CTD) y Barcelona Tracción Directa (BTD) en modalidades dinámicas, han permitido establecer un nuevo criterio de fallo por fatiga llamado “Deformación Crítica”.

Los resultados obtenidos de la aplicación de estos ensayos en su modalidad dinámica han puesto de manifiesto que, en un ensayo de fatiga a tensión o desplazamiento controlado, al ir aumentando el número de ciclos aumenta la deformación producida y existe un nivel de deformación a partir del cual el proceso de fatiga se propaga rápidamente (deformación crítica), independientemente del estado de tensiones a que ha estado sometida la probeta durante su proceso de fatiga. (Hernández, 2009)

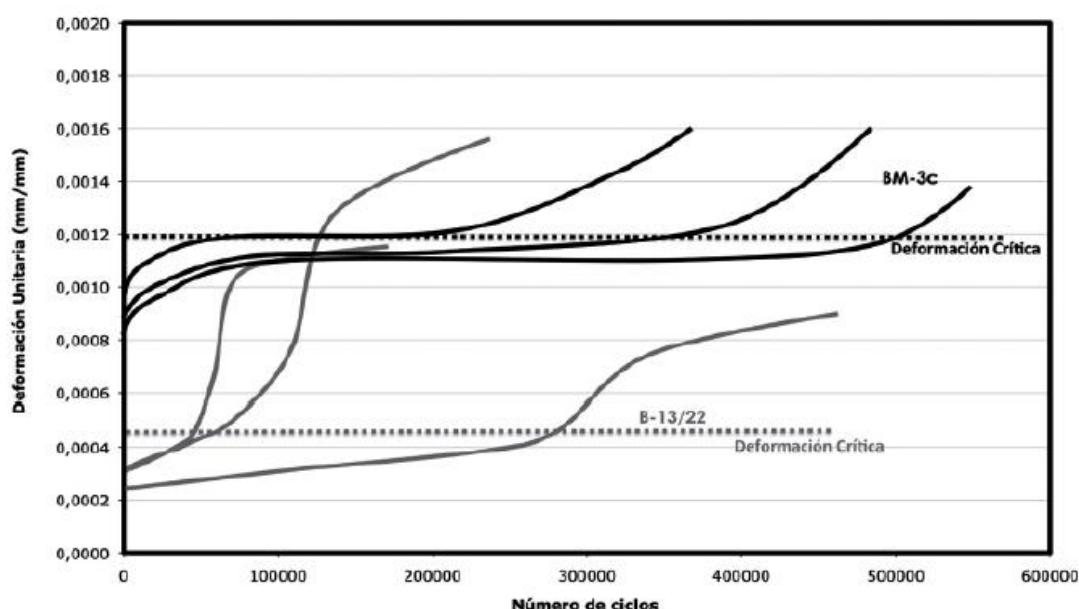


Figura 24 - Evolución de la deformación unitaria con el número de ciclos de carga en ensayos a flexotracción (Hernández, 2009)

Razonablemente, lo descrito anteriormente indica que, al aplicar una tensión grande, la deformación inicial producida será mayor y esta irá aumentando en cada aplicación de carga hasta llegar a la deformación crítica, que es cuando el proceso de fatiga acelerará hasta la rotura del material. En otro sentido, si se aplica una carga pequeña esta deformación será menor, pero aumentará igualmente en cada aplicación de carga hasta un nivel de deformación igual al caso anterior (deformación crítica), a partir del cual la fisura progresa rápidamente hasta la rotura del material. (Pérez F. M. R., 2005)

El fallo de fatiga del material se produce en los ensayos a tensión controlada en el mismo nivel de deformación, con independencia de la tensión inicial aplicada. Es decir, va evolucionando la deformación hasta llegar a la deformación de fallo, que tiene siempre el mismo nivel, tanto cuando el fallo tiene lugar con pocas aplicaciones de carga, como con muchas. Se obtienen así, de una manera rápida y sencilla, los dos parámetros más interesantes de un material desde el punto de vista de su fallo por fatiga, el nivel de deformaciones por debajo del cual el material no se fatiga, y la deformación en que rompe por fatiga. (Pérez F. M. R., 2007)

7. MECÁNICA DE FRACTURA

Variadas investigaciones han tratado de arribar a una predicción del comportamiento a fatiga de las mezclas por medio de procedimientos más simples. El inconveniente que se busca resolver es que debido a la complejidad y tiempo de ejecución de los ensayos cíclicos o dinámicos que evalúan la respuesta de las mezclas asfálticas a la fatiga, hacen que esta propiedad no se considere usualmente durante la etapa de diseño de las mezclas bituminosas. Diversos autores han investigado sobre correlaciones entre las propiedades de fractura de una mezcla y las variables que afectan a la fisuración por fatiga, llegando a obtener leyes de fatiga en las que incorporan propiedades de las mezclas como su energía de fractura, tenacidad, módulo de rigidez, contenidos de ligante asfáltico y contenido de vacíos, entre otras. La incorporación de distintas variables demuestra que la estimación de la resistencia de una mezcla frente al fenómeno de fisuración por fatiga no es un parámetro simple de predecir. Como consecuencia, uno de los objetivos de esta tesis de maestría es investigar sobre las propiedades de fractura de mezclas bituminosas que permitan obtener parámetros mecánicos que entreguen información para una mejor caracterización de las repuestas de las mezclas bituminosas frente al proceso de fisuración por fatiga.

El comportamiento a la fatiga de las mezclas asfálticas puede caracterizarse mediante dos enfoques principales. El primero es el enfoque racional, en el que la tensión o la deformación en la capa se relaciona con el número de repeticiones de carga que provoca el fallo (SHRP A-404, 1994), sin embargo, no tiene en cuenta la evolución del daño a través del proceso de fatiga. El segundo enfoque es el mecanicista, que es intrínsecamente más complejo, pero está más aceptado porque utiliza las propiedades de los materiales basándose en las relaciones tensión-deformación (Kim et al., 2003). El enfoque mecanicista puede aplicarse mediante la energía disipada y la mecánica de la fractura. (Witczak M., 2013)

Para lo cual, se profundizará en los enfoques de los mecanismos de fisuración desde el punto de vista de la respuesta mecánica de la mezcla bituminosa. En esta sección nos centraremos en el caso de una aplicación de carga a velocidad constante y monotónica, el enfoque lo llamaremos *tenacidad* de la mezcla. Mientras que como se vio en capítulos anteriores, la respuesta mecánica de la mezcla frente a la repetición de cargas cíclicas muy inferiores a las de resistencia máxima, se lo define al enfoque como *fatiga* de la mezcla. (Valdés Vidal, 2011)

7.1. Proceso de fisuración

Es importante señalar que en un estudio realizado por Shah et al. (1995) se reconocen tres etapas en la formación y progresión de las fisuras. La primera etapa es llamada iniciación, donde se producen los primeros cambios microestructurales producto de las solicitaciones a las que está sometido el material dando lugar a la formación de microfisuras (a). Luego sigue la etapa de propagación, donde se generan las macrofisuras producto de la unión de las microfisuras existentes (b). Esta unión de microfisuras se debe a que se generan mecanismos de trabazón en la matriz de áridos, los cuales, junto con las discontinuidades propias del material, como son las dislocaciones existentes, los vacíos presentes, se producen puentes de fisuración aumentando la longitud de la fisura hasta terminar finalmente con la fractura o fallo total del material (c-f), que es cuando se han separado íntegramente las dos caras de material solicitado. (Shah S., 1995)

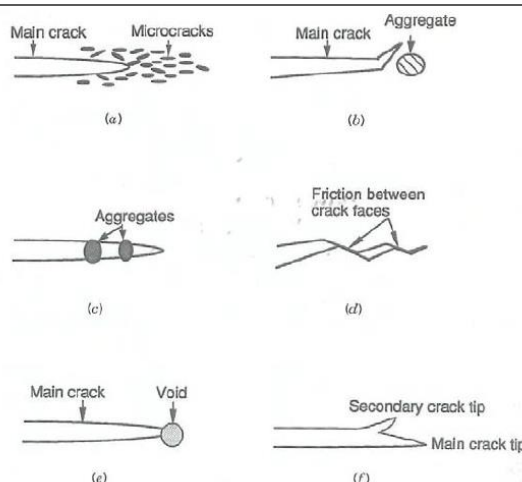


Figura 25 - Mecanismos desarrollados durante el proceso de fisuración (Shah S., 1995)

7.2. Tenacidad

Un método para explicar el fenómeno de fisuración en las mezclas bituminosas es mediante la fractura mecánica de los materiales. Bajo este enfoque se estudiará el proceso por el cual la mezcla bituminosa sufre deformaciones en estado de tracción uniaxial bajo cargas cuasi estáticas y monotónicas, llegando a su fallo como consecuencia del desarrollo e interconexión entre micro-fisuras. Es importante para analizar este enfoque aclarar los conceptos de fragilidad y ductilidad. Cuando existe un fallo, rotura o fractura frágil, se entiende que existe una propagación de una fisura debido a una deformación muy pequeña en el que el material no alcanza a desarrollar mecanismos plásticos, y la fisura se propaga rápidamente. Sin embargo, para el caso de fallo, rotura o fractura dúctil, el comportamiento y crecimiento de la fisura está bajo la influencia de la plasticidad, retardando la velocidad de propagación de la fisura. A su vez, existe una mezcla de ambos comportamientos que está presente en materiales cuasi-frágiles, combinando efectos de fragilidad y plasticidad.

Lo descrito anteriormente se puede observar en la figura inferior. En materiales frágiles con un comportamiento elástico lineal (a), la zona de proceso de fractura es pequeña. Para los materiales dúctiles la zona de fractura es pequeña y está rodeada de una zona no lineal (b) producto del desarrollo de mecanismos plásticos y finalmente se observa que para los materiales cuasi frágiles la zona de fractura es grande y está rodeada de una zona plástica (c). (Valdés Vidal, 2011)

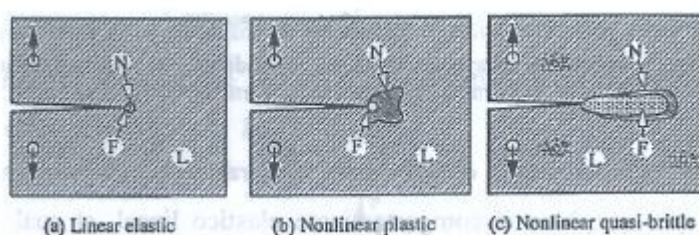


Figura 26 - Esquema de una fisura en un material (a) Frágil, (b) Dúctil y (c) Cuasi frágil (Valdés Vidal, 2011)

Por otra parte, según la teoría de la mecánica de la fractura, se pueden identificar tres posibles modos de fractura. Estos modos son el Modo I o modo de apertura (tracción normal), en el cual las caras de la fisura se separan casi paralelamente entre sí, Modo II o modo de deslizamiento (corte normal), en el cual las caras de la fisura se deslizan una sobre la otra y Modo III o modo de deslizamiento lateral (corte paralelo), en el cual las caras de una fisura se deslizan lateralmente una respecto a la otra.

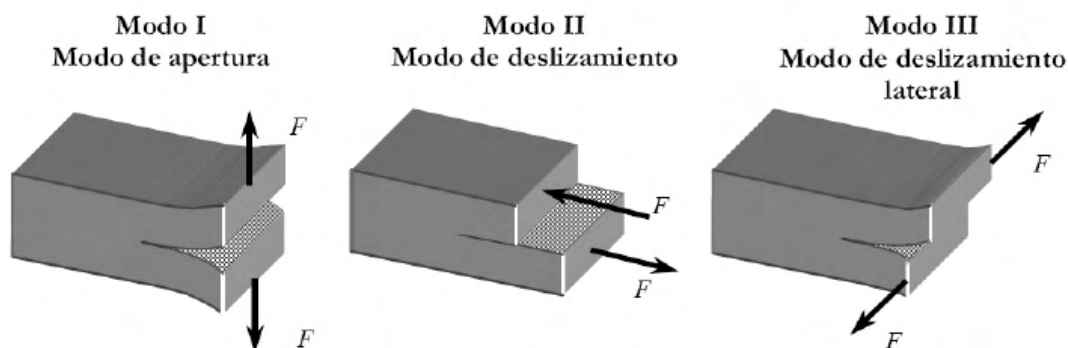


Figura 27 - Tres modos fundamentales de propagación de fisuras (Oller, 2001)

De la revisión de la literatura expuesta en este punto, se puede concluir que en pocas ocasiones se dan los tres modos de propagación de fisuras descritos en forma aislada, generalmente los casos de propagación resultan de una combinación de estos tres modos básicos. Sin embargo, si se observa que el modo predominante de propagación de fisuras en los pavimentos bituminosos, tanto para los casos de la fisuración ascendente (bottom-up cracking), como para los casos de fisuración descendente (top-down cracking) es el modo I, influenciado por los movimientos horizontales entre los dos bordes de una fisura en las capas inferiores del firme, junto con los esfuerzos de tracción generados producto de los ciclos térmicos y por las sollicitaciones de los neumáticos de los vehículos pesados con altas presiones de inflado.

Para realizar un análisis mecánico del progreso de las fisuras en la mezcla asfáltica Inglis introduce el concepto de concentración de tensiones en los inicios de la mecánica clásica de fractura. El cual establece la presencia de irregularidades en forma de discontinuidades en la matriz del material, provocando un incremento de tensiones, en los bordes de dicha discontinuidad. Más tarde, Irwin propuso el concepto del factor de intensidad de tensiones, el cual permitió hacer un análisis mecánico en la vecindad de la cabeza de la fisura. El modo de fractura que interesa en el desarrollo de este trabajo depende principalmente de los esfuerzos de tracción, la longitud de la fisura y de las características geométricas del entorno, y puede escribirse como se expresa en la próxima ecuación. (Karihaloo, 1995)

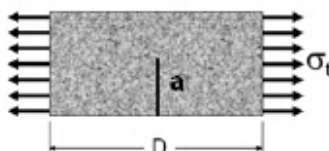
$$K_t = f(a, D) \sigma_t \sqrt{\pi a}$$

$$K_t = \text{Factor de intensidad de tensiones}$$

$$f(a, D) = \text{Constantes en función de la geometría}$$

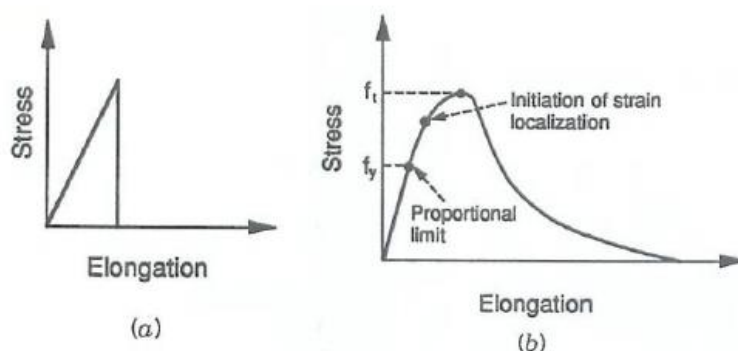
$$\sigma_t = \text{Tensiones de tracción}$$

$$a = \text{Longitud de la fisura}$$

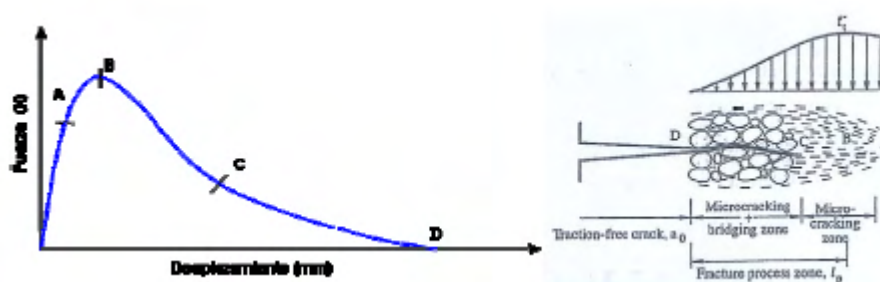
**Figura 28** - Modo de fractura a tracción (Karihaloo, 1995)

Bajo el enfoque de la mecánica clásica de fractura, existe un límite superior o umbral del factor de intensidad de tensiones denominado factor de intensidad crítica de tensiones, K_{tC} , y éste se alcanza cuando la tensión en la cabeza de la fisura llega al nivel de resistencia a fractura, σ_F , y es en ese momento cuando la fisura comienza a propagarse.

Shah et al., 1995 realiza la clara diferencia del fenómeno de fisuración o fractura de materiales cuasi frágiles, respecto la fractura elástica lineal de los materiales frágiles. Indica que los materiales idealmente frágiles presentan un comportamiento frente a cargas lineal hasta que llega a un punto en el cual se produce la fractura de manera inmediata. Sin embargo, para el caso de los materiales cuasi frágiles existe un comportamiento no lineal posterior a la carga máxima, tal cual se observa en la siguiente figura. (Shah S., 1995)

**Figura 29** - Curva de tensión desplazamiento en materiales (a) Frágiles y (b) Cuasi frágiles (Valdés Vidal, 2011)

La curva carga - desplazamiento resultante característica de un ensayo experimental que garantice el modo de fractura a tracción para materiales cuasi frágiles es la que se muestra en la figura a continuación.

**Figura 30** - Curva fuerza – desplazamiento resultante en ensayos de tracción en materiales cuasi frágiles y zonas características en el proceso de fractura (Karihaloo, 1995)

Se puede observar de manera general el comportamiento de los materiales cuasi frágiles. Del origen al punto A el material presenta un comportamiento lineal, el cual corresponde a un estado inicial en el cual se puede despreciar la formación de nuevas fisuras. Del punto A al punto B, por encima de la zona lineal, comienza el material a tener un comportamiento no lineal existiendo una degradación de las propiedades mecánicas del material y es donde empieza a desarrollar microfisuras. Una vez alcanzado el pico comienza la zona de softening o relajación (entre puntos B y D), donde se observa una primera zona entre puntos B y C en la cual se forman las macrofisuras para llegar a la zona de cola. En el tramo entre puntos C y D se desarrollan los mecanismos de trabazón que existe entre los áridos y los puentes de fisuración, inestabilizándose el proceso de propagación de la fisura hasta la fractura total. A su vez, la zona comprendida entre el punto B y D se denomina zona de proceso de fractura. (Karihaloo, 1995)

7.3. Energía disipada en el proceso de fractura

Uno de los aportes de la mecánica clásica de fractura es el concepto de energía de fractura, el cual se entiende como un parámetro propio del material y fundamental para analizar el comportamiento de un sólido durante el proceso de fractura o fisuración. Cuando se aplica una carga a un material, éste presentará una cierta deformación inducida por la tensión que actúa. El área bajo la curva tensión-deformación representa la energía que se introduce en el material. Cuando se retira la carga del material, se elimina la tensión y se recupera la deformación, como se visualiza en la figura siguiente. Si las curvas de carga y descarga coinciden, toda la energía introducida en el material se recupera después de retirar la carga. Si las dos curvas no coinciden hay energía perdida en el material. Esta energía puede perderse a través del trabajo mecánico, la generación de calor, o por daños en el material de manera que no se puede utilizar para devolver el material a su forma original. Esta diferencia de energía es la energía disipada del material causada por el ciclo de carga ciclo de carga (Ghuzlan, 2001). Así, la energía disipada puede definirse como la energía de amortiguación o la energía por ciclo de carga en cualquier prueba repetida o dinámica. (Witczak M., 2013)

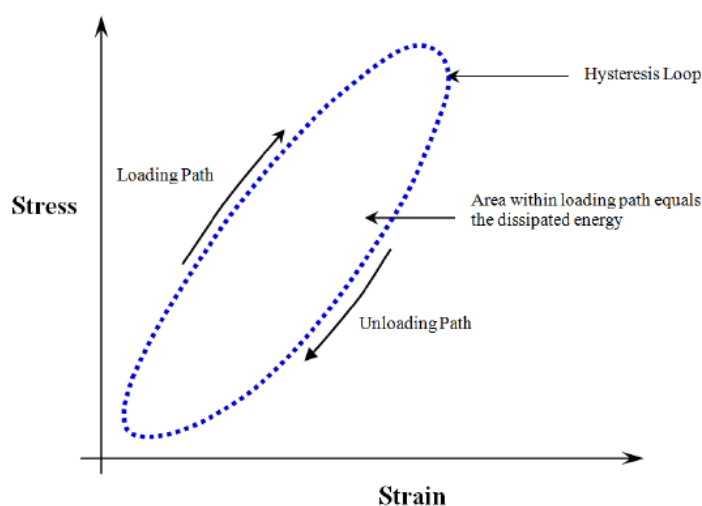


Figura 31 - Curva tensión – deformación para un sólido viscoelástico (Witczak M., 2013)

Al aplicar una carga cuasi estática y monotónica, la tensión incrementa hasta llegar a un límite superior conocido como resistencia máxima teórica a tracción del material, σ_t , y seguidamente la carga comienza a decrecer hasta llegar a cero. En este contexto, durante la aplicación de la fuerza se realiza un trabajo, W_f , que se almacena en forma de energía de deformación hasta la separación de las partes, momento en el cual esa energía de deformación se transforma en energía de fractura, relajándose cada una de las partes de las tensiones soportadas. (Oller, 2001)

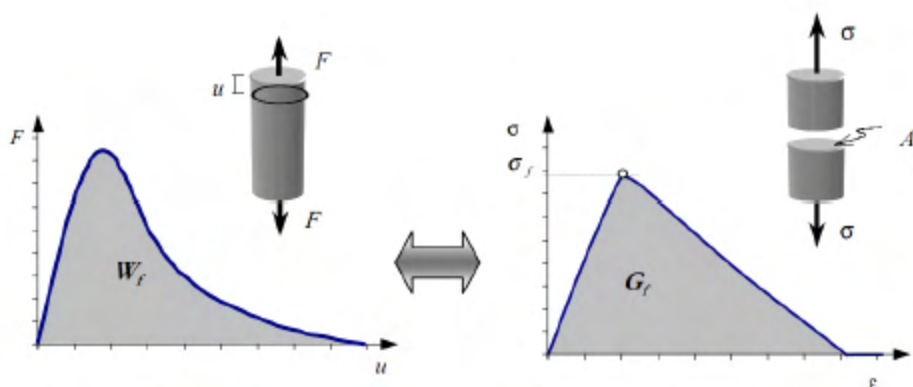


Figura 32 - Forma esquemática de la obtención de la energía de fractura (Oller, 2001)

Las metodologías desarrolladas para la obtención de la energía disipada en el proceso de fractura de las mezclas asfálticas se basan principalmente en el perfeccionamiento de ensayos experimentales que representen el principal modo de falla N°1, a tracción, de éstas frente al fenómeno de la fisuración. En estos procedimientos se puede determinar independientemente la energía de fractura y la resistencia o tensión máxima de fisuración. De estos ensayos se puede calcular la energía disipada en el proceso de fisuración mediante la gráfica de la curva de carga – desplazamiento resultante, sobre la que se obtiene el trabajo total de fractura, W_f , calculado como el área bajo la curva señalada. Posteriormente al dividir este trabajo realizado por el área de ligamento o fractura de la muestra, se obtiene el valor de la energía de fractura o energía total disipada durante el proceso de fractura, G_f .

$$W_f = \int_0^{\Delta R} F du$$

$$G_f = G_D = \frac{W_f}{A_f}$$

$$W_f = \text{Trabajo de fractura}$$

$$F = \text{Carga}$$

$$u = \text{Desplazamiento}$$

$$G_f = G_D = \text{Energía de fractura o energía total disipada}$$

$$A_f = \text{Área de fractura}$$

$$\Delta R = \text{Deformación de rotura}$$

7.4. Ensayos para evaluar energía de fractura en mezclas asfálticas

Se han desarrollado diversos ensayos que analizan la mecánica de fractura con cargas estáticas y monotónicas. Los mismos permiten representar y obtener una mejor comprensión de los mecanismos de iniciación y propagación de fisuras en pavimentos bituminosos, y se basan en representar específicamente el comportamiento a fractura de estos materiales. Sin embargo, en los últimos años, con el desarrollo de la ciencia de la mecánica de fractura de los materiales cuasifrágiles se ha podido describir adecuadamente los mecanismos de fractura en las mezclas bituminosas.

En este contexto, los ensayos a tracción son bastante utilizados en el campo de la ingeniería, especialmente el campo de la mecánica de fractura, debido a que estos permiten determinar propiedades mecánicas de los materiales relacionadas con su resistencia y capacidad de deformación. A su vez, permiten determinar parámetros como deformación de rotura, módulo de rigidez, carga máxima o energía disipada en el proceso de fisuración; los cuales están directamente vinculados a la resistencia a la fisuración de las mezclas.

Se identifican siete características deseables para un ensayo de fisuración ideal, que se enumeran a continuación:

- (1) Simplicidad: sin instrumentación, corte, pegado, perforación y muescas en la muestra.
- (2) Practicidad: mínima formación necesaria para la operación rutinaria.
- (3) Eficiencia: finalización de la prueba en 1 minuto.
- (4) Equipo de ensayo: costo económico.
- (5) Repetibilidad: coeficiente de varianza (COV) inferior al 25 por ciento.
- (6) Sensibilidad: sensible a la composición del asfalto (agregados, ligante, etc.).
- (7) Correlación con el rendimiento en el campo: una buena correlación con el fisuramiento en el campo.

En la búsqueda de cumplir con estas características se han desarrollado distintos ensayos alrededor del mundo para evaluar la mecánica de fractura de mezclas asfálticas. A continuación, se describen los ensayos más relevantes y con mayor aceptación científica.

- Single - edge notched beam, SE(B).

El ensayo Single-edge notched beam (viga entallada a flexotracción) se ha utilizado en varios estudios para determinar las propiedades de fractura de las mezclas bituminosas (Mamlouk y Mobasher, 2004; Wagoner et al., 2005a; Portillo y Cobon, 2008). Su metodología consiste en la aplicación de una carga centrada en la cara opuesta de cara fisurada de una probeta prismática, y así evaluar la respuesta de la mezcla bituminosa en función de la temperatura de ensayo y velocidad de aplicación de carga. El análisis de los datos experimentales permite evaluar el comportamiento a fisuración de las mezclas bituminosas determinando parámetros de la mezcla como la energía de fractura. (Valdés Vidal, 2011)

La geometría del ensayo proporciona una adecuada propagación de la fisura de acuerdo al modo I de fractura. Sin embargo, su geometría tiene la desventaja de al no ser una probeta estandarizada, se limita su aplicabilidad a vigas compactadas en laboratorio. Otra desventaja de este ensayo, es que se limita su aplicación a testigos, debido al tamaño de las probetas.

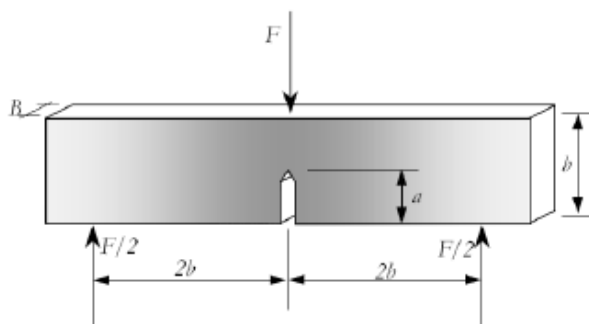


Figura 33 - Esquema del ensayo SE (B)

▪ Disk-shaped compact tension test, DC(T)

El ensayo Disk-shaped compact tension test (disco compacto a tracción) desarrollado por Wagoner en la Universidad de Illinois, se basa en la utilización de una probeta de geometría circular para determinar la energía de fractura en las mezclas bituminosas. Para la selección de la geometría cilíndrica utilizada en el ensayo DC(T), se tomó como punto de partida la norma ASTM E399, la cual describe la geometría utilizada para obtener el plano de fractura en probetas metálicas. Finalmente se seleccionó la geometría, que se muestra en la figura siguiente, con la finalidad de maximizar la longitud de la sección de fisuración y previniendo la rotura de la probeta por medio de los agujeros de carga.

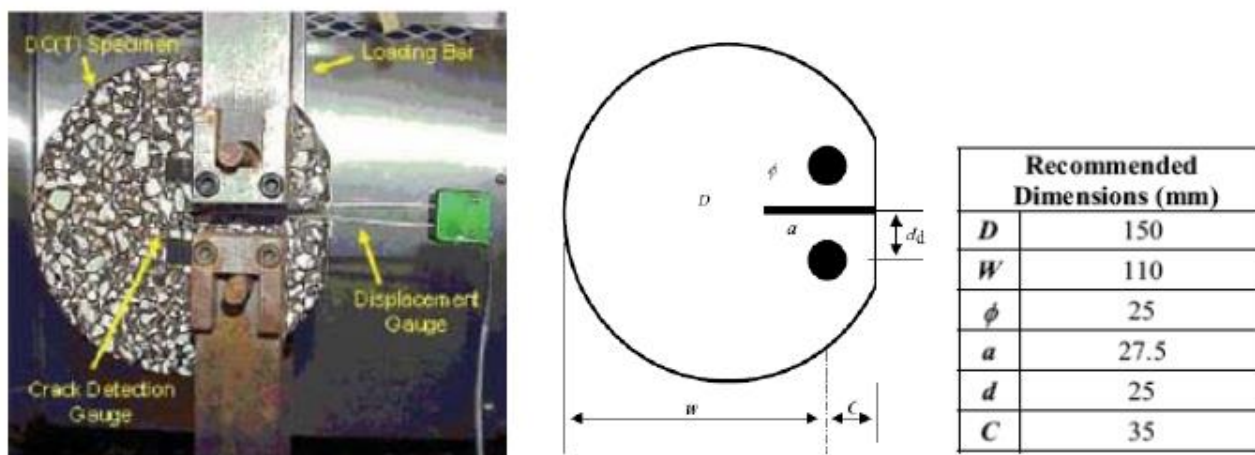


Figura 34 - Esquema del ensayo DC (T)

Las ventajas que presenta este ensayo es el tamaño del área de fractura y su aplicación a testigos. Sin embargo, en el proceso de fabricación de las probetas se tiene el inconveniente de que la creación de los agujeros es un proceso dificultoso y que requiere de una máquina especialmente diseñada para ello. Otro inconveniente en la ejecución del ensayo es la posible desviación de la fisura en algunos casos.

Un punto a considerar es que la forma de aplicación de carga a través de los agujeros realizados complica la ejecución del ensayo a temperaturas más elevadas. El ensayo DC(T), actualmente se encuentra estandarizado a través de la norma ASTM D 7313- 07 “Standard Test Method for Determining Fracture Energy of Asphalt-Aggregate mixtures Using the Disk-Shaped Compact Tension Geometry”, fijando en su procedimiento una velocidad de desplazamiento de 0.017 mm/s y señalando que la temperatura de ejecución debe ser inferior a los 10 °C.

▪ Semi-circular bending test, SCB

Otro ensayo desarrollado para medir propiedades de fractura en las mezclas bituminosas es el ensayo de flexión aplicado a una viga semicircular, SCB, el cual ha sido aplicado en numerosas investigaciones. Este ensayo desarrollado en la Universidad de Delf tiene la ventaja que es de fácil aplicación y que de un testigo se puede obtener dos muestras, reduciendo con esto las muestras a fabricar o los testigos a extraer para realizar el ensayo.

El procedimiento del ensayo SCB consiste en fabricar muestras cilíndricas mediante el compactador de prensa giratorio para, posteriormente, cortarlos en dos partes iguales, de esta manera se obtienen dos semicírculos. A continuación, se realiza una entalladura de aproximadamente 3mm cuyo objetivo es inducir el plano de falla durante el ensayo. Acto seguido, se coloca la muestra centrada y simplemente apoyada en el dispositivo para el ensayo, el cual establece que exista una distancia entre apoyos igual al 80% de la longitud del diámetro. Finalmente, se aplica una carga constante en el centro de la luz de la muestra hasta llegar a la falla, a una velocidad de 50 mm/min y a una temperatura preestablecida. En el ensayo se registra la carga y la deflexión (desplazamiento del pistón). Los resultados de energía de fractura se calculan mediante el trabajo disipado en el proceso de fractura obtenido de la curva carga – desplazamiento resultante. (Huang B., 2004)

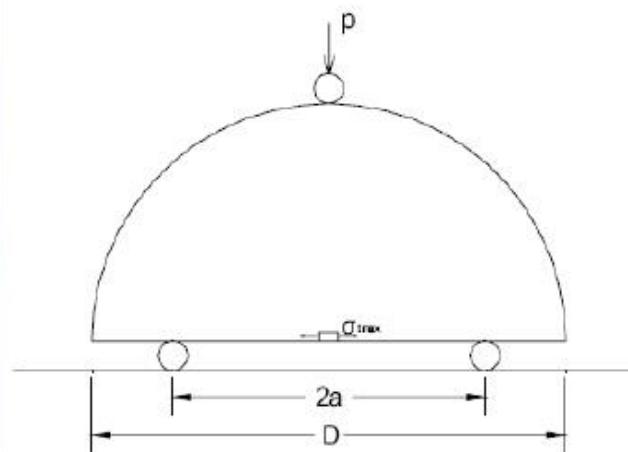


Figura 35 - Montaje y esquema del ensayo SCB (Huang B., 2004)

Estudios realizados por Molenaar, Scarpas, y Liu (2002) concluyen que el ensayo SCB puede ser usado para caracterizar las fracturas y esfuerzos sufridos en mezclas asfálticas con buena repetitividad. Además, encontraron que los valores de la resistencia a la tensión obtenida por diferentes métodos (RTI, Uniaxial Tensile Test, y SCB) no varía significativamente, haciendo posible el uso del ensayo SCB para cuantificar esta propiedad y correlacionarla con los demás ensayos. (Páredes Chérez L., 2014)

Por otro lado, investigaciones realizadas en Irán por M. Arabandi y B. Ferdowsi (2008), concluyeron que el ensayo SCB puede ser usado para caracterizar los esfuerzos a tracción de mezclas asfálticas en caliente con buena repetitividad. Además, manifiestan que la forma de falla desarrollada en el ensayo es de gran utilidad, pues es similar al Modo I de fallo de la mecánica de fracturas y que es aplicable incluso a temperaturas elevadas cuando el material se comporta de manera visco-elástica, haciendo viable establecer el comportamiento de las mezclas asfálticas con la teoría de la mecánica de fracturas. (Páredes Chérez L., 2014)

De manera contraria, diversos autores han encontrado desventajas para este ensayo. Una de ellas es señalada por Wagoner et al. (2005) es que se produce un complejo estado tensional que afecta al proceso de propagación de la fisura, debido a los altos esfuerzos de compresión producidos producto del lugar de aplicación de la carga generando un efecto de arco con altos esfuerzos de compresión en la localidad cercana a la fisura. (Wagoner M., 2005) (Molenaar A., 2002)

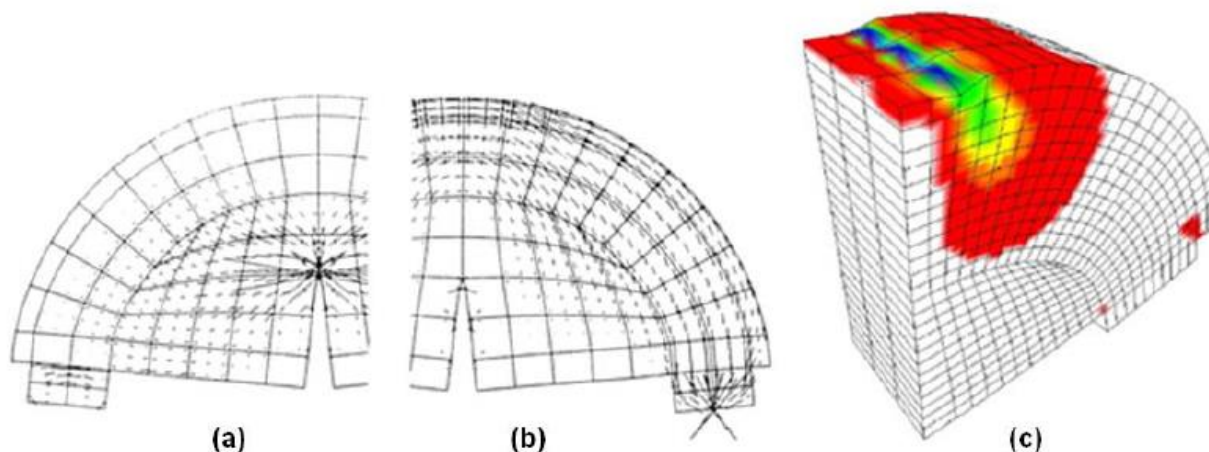


Figura 36 - Campo tensional ensayo SCB, modelado mediante comportamiento elástico lineal.

(a) Tensiones de tracción – (b) Tensiones de compresión – (c) Daño por tensiones de compresión
(Molenaar A., 2002)

Otra desventaja que presenta el procedimiento SCB, señalada por Gonzalo Valdés Vidal en su Tesis Doctoral sobre el Ensayo Fénix, es que la rotura de la probeta de mezcla bituminosa se lleva a cabo de forma brusca, que no permite evaluar el comportamiento de propagación de la fisura en la zona de softening, tras la carga máxima en la curva carga - desplazamiento. Esto sucede puesto que se produce una pérdida brusca de carga, salvo en mezclas muy flexibles y evaluadas a altas temperaturas. (Valdés Vidal, 2011)

▪ Illinois Flexibility Index Test (I-FIT / SCB IL)

El ensayo de SCB adquirió popularidad porque ofrecía repetibilidad, aplicabilidad a los testigos de campo, y fácil preparación de las muestras de laboratorio. Con el creciente uso de pavimento asfáltico recuperado (RAP) y tejas de asfalto reciclado (RAS), surge la necesidad de una prueba de fisuramiento de este tipo para evaluar la resistencia de las mezclas asfálticas al agrietamiento. Por ello, se crea el índice de flexibilidad de Illinois (I-FIT) que se determina a partir del ensayo SCB. El impulso lo lleva a cabo el Departamento de Transporte de Illinois (IDOT) con el principal objetivo de que el I-FIT permita distinguir entre diferentes mezclas asfálticas la potencialidad al fisuramiento. (Hasan O., 2007)

El I-FIT utiliza la geometría de la probeta de flexión semicircular (SCB) para determinar la resistencia a la fractura de una mezcla asfáltica a una temperatura intermedia. El método de ensayo estándar provisional, AASHTO TP-124, “Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Semi-Circular Geometry at Intermediate Temperature”, exige que se ensaye una probeta semicircular de 50 mm de grosor y 150 mm de diámetro utilizando el principio de flexión en tres puntos, a la velocidad de desplazamiento constante de 50 mm/min. Se corta una muesca de 15 mm de profundidad y 1,5 mm de ancho a lo largo del eje de simetría de la probeta para forzar la localización de la falla. Antes del ensayo, la muestra se acondiciona durante dos horas en una cámara ambiental a 25°C, la temperatura estándar del ensayo. (Batioja-Alvarez D., 2019)



Figura 37 - Equipo para ensayo I-FIT (Batioja-Alvarez D., 2019)

La manera de obtener el índice de flexibilidad (FI) es a partir de la siguiente ecuación que se desprende del análisis de la curva de carga desplazamiento obtenida durante el ensayo.

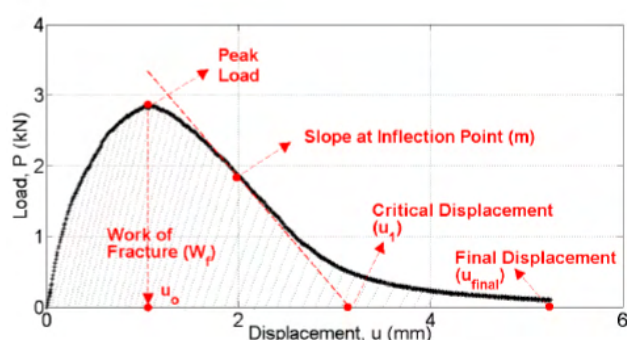


Figura 38 - Típica curva de carga desplazamiento para el ensayo I-FIT (Hasan O., 2007)

$$FI = \left(A \cdot \frac{G_f}{|m|} \right)$$

FI = Índice de flexibilidad

G_f = Energía de fractura $\left(\frac{J}{m^2} \right)$

m = Pendiente de post pico $\left(\frac{kN}{mm} \right)$

A = Coeficiente de conversión de unidades 0,01

El índice de flexibilidad (FI) obtenido a partir del ensayo I-FIT considera tanto la energía de fractura como la pendiente de la curva carga-desplazamiento después del punto en el que una fisura comienza a propagarse en el punto de inflexión. Se comprobó que el FI mostraba una tendencia consistente con la tasa de crecimiento de la fisuración. También se descubrió que el FI podía correlacionarse con los mecanismos fundamentales de las fisuras alrededor de la zona de la muesca y el progreso de dichas fisuras durante el ensayo. Esto demostró que el IF podía ser utilizado como una medida de la resistencia al fisuramiento.

Estudios recientes han demostrado que el I-FIT puede utilizarse para distinguir diferencias en las propiedades de las mezclas asfálticas. Por ejemplo, se ha informado de que el IF tiene un excelente potencial de discriminación cuando se analizan mezclas asfálticas producidas en laboratorio que contienen altos niveles de materiales reciclados y largos tiempos de envejecimiento. Además, los valores de FI han mostrado una buena

correlación con las clasificaciones por desempeño que se han desarrollado para las mezclas asfálticas. De hecho, se ha encontrado que un valor de FI mayor o igual a 8 es un umbral adecuado para distinguir las mezclas de buen rendimiento de las de mal rendimiento. Ozer et al. también han sugerido valores umbrales de FI preliminares. Consideraron que una mezcla asfáltica ofrecía una excelente resistencia al agrietamiento si tenía un valor de FI superior a 10 y que tenía una resistencia al agrietamiento generalmente pobre para un valor de FI inferior a seis. (Batioja-Alvarez D., 2019)

La variabilidad de los equipos de laboratorio debido a la conformidad y la precisión del sistema de carga y sistema de medición puede causar discrepancias en los resultados de las pruebas. Por lo tanto, es importante evaluar el efecto del tipo de máquina y de la configuración de los dispositivos en los resultados del I-FIT.

▪ Overlay Tester

El Overlay Test fue desarrollado por Zhou y Scullion como método para evaluar la resistencia al agrietamiento en mezclas asfálticas. El ensayo simula una grieta existente en la capa inferior del espécimen y luego se expande hasta la rotura. Para su ejecución implica el uso de un equipamiento especial que es un disco y placas de acero. El espécimen se pega en las placas de soporte inferiores que posteriormente se cargan cíclicamente a temperatura ambiente durante 24 horas. Aunque este ensayo puede reproducir de forma más realista la sollicitación en la mezcla asfáltica, tiene como desventajas la preparación de la muestra (es decir, el corte y el pegado) y el largo tiempo de ensayo que reducen la viabilidad de la prueba. Además, existe una probabilidad de desprendimiento entre la probeta y el soporte inferior que puede hacer fracasar el ensayo. (Mukristu Nsengiyumva G., 2020)

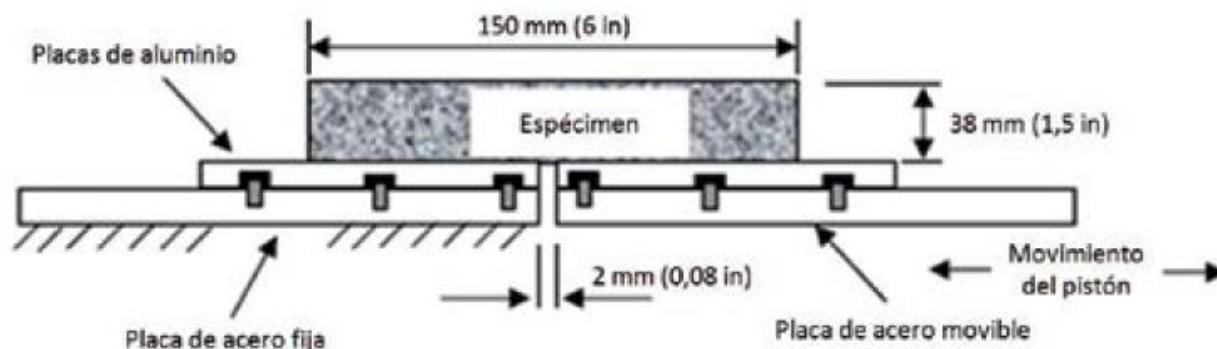


Figura 39 - Esquema del equipo Overlay Tester (Mukristu Nsengiyumva G., 2020)

▪ Ensayo Fénix

Gonzalo Valdés Vidal en su Tesis Doctoral desarrolla el Ensayo Fénix. La metodología del mismo consiste en someter media probeta o testigo cilíndrico, cortado por un plano diametral, a un esfuerzo de tracción directa. para de provocar su fractura, simulando la propagación de una fisura en una capa de mezcla bituminosa del pavimento. Una de las principales ventajas de este ensayo es que simula el mecanismo de fisuración de las mezclas bituminosas, mediante su principal modo de propagación de fisura, modo I. Cuando las probetas son solicitadas, permite el análisis de la zona de *softening* o relajación en su curva carga - desplazamiento. Otra gran ventaja es la facilidad para realizarlo, tanto sobre probetas fabricadas por el método Marshall o compactador giratorio, como sobre testigos extraídos de obras.

En el caso de las probetas cilíndricas, en un comienzo, el procedimiento de fabricación y compactación sigue la metodología establecida por el método Marshall de acuerdo a la norma española NLT-159/00, y en el caso de testigos, una vez extraídos éstos, se cortan para obtener unas dimensiones similares a las de una probeta Marshall. Luego, la probeta o testigo se corta por la mitad, por un plano diametral, y se le induce una fisura mediante una entalladura en la parte central. (Valdés Vidal, 2011)



Figura 40 - Fabricación de probeta Fénix, corte e inducción de fisura (plano diametral de corte) (Valdés Vidal, 2011)

Posteriormente, mediante el uso de una resina epoxi, se fijan a las dos secciones de la cara plana separadas por la entalladura, unas placas de acero. El ensayo Fénix se realiza a temperatura controlada y consiste en someter las probetas semicirculares a un esfuerzo simple de tracción directa. Para ello las probetas o testigos deben estar previamente estabilizadas a la temperatura de ensayo.



Figura 41 - Fabricación de probeta Fénix, pegado de placas metálicas (Valdés Vidal, 2011)

Para la realización del ensayo se utiliza una prensa MTS que dispone de una cámara ambiental capaz de controlar la temperatura con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$. El ensayo se realiza mediante control de desplazamiento del pistón, aplicando una velocidad a desplazamiento constante hasta llegar a la rotura total de la probeta. En dicha tesis doctoral se analizó el efecto de la velocidad de desplazamiento del pistón con la finalidad de obtener completa la parte de la curva posterior a su resistencia máxima, o sea la parte de relajación o softening, y simular la abertura lenta de la grieta mediante el modo I de fractura. (Valdés Vidal, 2011)



Figura 42 - Montaje ensayo Fénix en prensa MTS con cámara ambiental (Valdés Vidal, 2011)

Mediante los resultados obtenidos del ensayo Fénix, específicamente de su curva carga–desplazamiento y con especial énfasis en el análisis de la curva en el sector de softening o de relajación, se pueden obtener los siguientes parámetros que representan las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas relacionadas con su resistencia al fallo por fisuración.

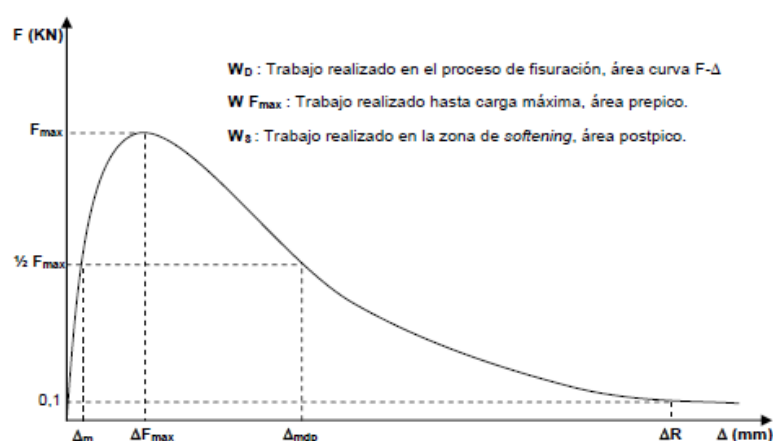


Figura 43 - Curva carga desplazamiento Ensayo Fénix

Parámetros resultantes del Ensayo Fénix: (Valdés Vidal, 2011)

- **Carga máxima a tracción (F_{max}):** Se define como la carga máxima registrada en el ensayo a tracción directa.
- **Desplazamiento a carga máxima (ΔF_{max}):** Se define como el desplazamiento realizado por el pistón cuando se registra la carga máxima a tracción.
- **Resistencia a tracción (R_T):** Se ha definido como la relación entre la carga máxima registrada, F_{max} , y el área de ligamento o fractura. La resistencia a tracción se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R_T = \frac{1000 \cdot F_{max}}{h \cdot l} [MPa]$$

h : espesor de la probeta (mm)

l : longitud inicial de fractura (mm)

- **Desplazamiento de rotura (ΔR):** Se define como el desplazamiento en el cual la carga ha caído hasta los 0,1 kN. Este parámetro entrega un valor importante, puesto que permite calcular las energías disipadas en el proceso de fractura de las mezclas, y a su vez, permite distinguir entre mezclas con iguales energías disipadas, G_D , diferenciando las más frágiles de las más dúctiles.
- **Índice de rigidez a tracción (I_{RT}):** Se define como la relación entre la mitad de la carga máxima, $\frac{1}{2}F_{max}$, y el desplazamiento correspondiente a ese valor de carga antes de la carga máxima, Δ_m . Este índice indica una pseudo-rigidez del material, mostrando que tan flexible o rígida es la mezcla bituminosa evaluada. A mayor índice de rigidez a tracción, menos flexible es la mezcla. El índice de rigidez de tracción se calcula de acuerdo a la ecuación:

$$I_{RT} = \frac{\frac{1}{2}F_{max}}{\Delta_m} [KN/mm]$$

- **Desplazamiento al 50% F_{max} postpico (Δ_{mdp}):** Se define como el desplazamiento registrado por la mezcla una vez que la carga ha caído a la mitad del valor de su carga máxima. Este parámetro indica la capacidad que tiene la mezcla evaluada de admitir deformación, puesto que a medida que las mezclas son más dúctiles, y por ende más deformables, se obtienen mayores valores de Δ_{mdp} , mientras que para mezclas más frágiles se obtienen menores valores de Δ_{mdp} .
- **Energía disipada por unidad de superficie (G_D):** Se define como el trabajo total realizado en el proceso de fisuración o área bajo la curva, W_D , dividido entre el área de ligamento o fractura, perpendicular a la fuerza aplicada.

$$G_D = \frac{W_D}{h \cdot l} [J/m^2]$$

- **Índice de energía (I_E):** Se define como la energía disipada en el periodo de relajación o *softening* ponderada por la razón de su proporción respecto del total de la energía disipada en el proceso de

fisuración. Este índice tiene la finalidad de evaluar la cantidad de energía disipada por el material una vez que éste ya ha alcanzado su resistencia máxima, ponderando las mezclas que sean capaces de disipar mayor energía en su fase de *softening*, respecto de la disipada en su fase de carga inicial hasta la carga máxima.

$$I_E = \frac{W_s}{h \cdot l} \cdot \frac{W_s}{W_D} \quad [J/m^2]$$

W_s : Trabajo realizado en la zona de *softening*, postpico (KN mm)

- **Índice de tenacidad (I_T):** Se define como la energía disipada en el periodo de relajación o *softening* multiplicada por un factor de fragilidad, el cual corresponde al desplazamiento realizado desde la carga máxima, F_{max} , hasta que la carga ha caído a la mitad de su valor máximo. Este índice tiene la finalidad de evaluar la tenacidad de la mezcla bituminosa, considerándose ésta como la capacidad de la mezcla de mantener unidos sus componentes una vez que ya ha alcanzado su resistencia máxima. Por tanto, a medida que este parámetro aumenta, la mezcla es más tenaz. Por otra parte, a medida que este factor disminuye, la mezcla tiene un comportamiento más frágil.

$$I_T = \frac{W_D - W_{Fmax}}{h \cdot l} \cdot (\Delta_{mdp} - \Delta_{Fmax}) \quad [J/m^2]$$

W_{Fmax} : Trabajo realizado hasta la carga máxima (KN mm)

Los parámetros mecánicos indicados por el Ensayo Fénix establecen variables altamente útiles para predecir las propiedades mecánicas de las mezclas bituminosas relacionadas con su resistencia al fallo por fisuración. Esto permite realizar análisis de sensibilidad entre distintas mezclas y establecer requisitos admisibles para asegurar un buen comportamiento a la fisuración y, por ende, controlar la fatiga de las mezclas asfálticas.

▪ Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT)

En búsqueda de lograr un ensayo con mayor simplicidad, practicidad, repetibilidad y sensibilidad, Zhou y su equipo de trabajo en Texas A&M Transportation Institute realizaron la integración de todas estas características en un novedoso ensayo. Desarrollan y validan una prueba de fisuramiento denominada *Indirect tensile asphalt cracking test* (IDEAL-CT) o prueba de fisuramiento por tracción indirecta. El IDEAL-CT está destinado a los usos rutinarios para los diseños de mezcla y para planes de control de calidad de contratistas, vialidades e incluso los investigadores académicos. (Zhou, 2017)

El IDEAL-CT es similar al ensayo tradicional de resistencia a la tracción indirecta, y se realiza a temperatura ambiente con probetas cilíndricas a una velocidad de carga de 50 mm/min. Se pueden ensayar probetas cilíndricas de cualquier tamaño con distintos diámetros (100 o 150 mm) y espesores (38, 50, 62, 75 mm, etc.). Para el diseño de la mezcla y el control de calidad en el laboratorio, los autores propusieron utilizar el mismo tamaño de probeta que el ensayo de seguimiento de ruedas de Hamburgo: 150 mm de diámetro (elaboradas con compactador giratorio) y 62 mm de altura con un $7 \pm 0,5\%$ de vacíos de aire, ya que las administraciones están familiarizadas con el moldeo de dichas probetas. La siguiente figura muestra una muestra típica de IDEAL-CT: probeta cilíndrica, dispositivo de ensayo, temperatura de ensayo, tasa de carga y la curva de carga vs. desplazamiento medida.

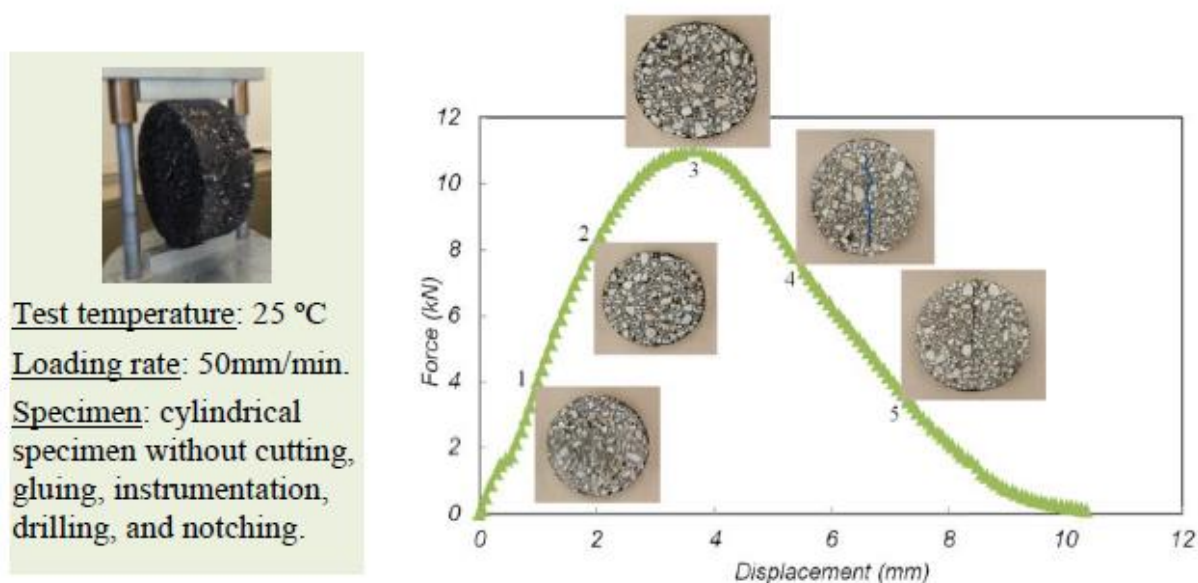


Figura 44 - IDEAL-CT: Probetas, equipo, condiciones de ensayo y resultados típicos (Zhou, 2017)

Cuando se utiliza para el diseño de la mezcla en el laboratorio y en el proceso de control de calidad, donde el espesor de la muestra siempre puede ser de 62 mm, el índice de prueba de agrietamiento propuesto CT Index se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CT_{Index} = \frac{G_f}{P} \cdot \left(\frac{l}{D} \right)$$

G_f : Energía de fractura

P : Carga aplicada

l : deformación vertical medida

D : diámetro de la probeta

Cuanto mayor sea el CT Index, más lenta será la tasa de crecimiento de la fisuración

En el caso de los testigos de campo en los que el espesor difiere de 62 mm, el CT Index se define a través de la ecuación:

$$CT_{Index} = \frac{t}{62} \cdot \frac{G_f}{P} \cdot \left(\frac{l}{D} \right)$$

t : espesor del testigo

Los parámetros intervinientes en la ecuación admiten cada uno su consideración particular. La **energía de fractura** G_f es el trabajo de fractura (el área de la curva de carga vs desplazamiento vertical) dividido por el área de la cara de fisuración. Independientemente del estado de la carga o del desplazamiento, las mezclas asfálticas con mayor energía de fractura tienen normalmente una mejor resistencia a la fisuración. El

parámetro $\frac{P}{l}$ es un parámetro de "módulo" (o la pendiente de la curva carga-desplazamiento). En efecto, se determina según las variaciones entre dos puntos, $|\Delta P/\Delta l|$. Cuanto mayor sea $|\Delta P/\Delta l|$, más frágil será la mezcla y peor será la resistencia a la fisuración. El parámetro $\frac{l}{D}$ un parámetro de tolerancia de "deformación" (o la tolerancia de deformación bajo una carga). Cuanto mayor sea l , mejor será la tolerancia al desplazamiento de la mezcla y, por consiguiente, mejor será la resistencia al agrietamiento.

La energía de fractura G_f es la única variable constante para la curva de carga vs desplazamiento del ensayo. Los parámetros $\frac{P}{l}$ y $\frac{l}{D}$ varían de un punto a otro debido a la naturaleza viscoelastoplásticas de las mezclas asfálticas y a los daños por micro o macrofisuración. En consecuencia, el valor del CT Index cambia en cada punto. Por lo tanto, es crucial seleccionar un punto significativo para calcular el valor del CT Index.

La selección del punto crítico del CT Index debe centrarse en el segmento posterior al pico, en el que la carga disminuye, y no en el segmento anterior al pico, en el que la carga aumenta. En las características del segmento post-pico, se encontró que el valor absoluto ($|m|$) de la pendiente de la curva carga-desplazamiento variaba de pequeño justo después del punto de carga máxima a grande en la parte media temprana de la curva, y luego se vuelve pequeño de nuevo después de la mitad de la curva. Por lo tanto, una opción razonable es utilizar el punto de inflexión en el que el valor de $|m|$ es el mayor de todo el segmento posterior al pico. No hay duda de que el punto de inflexión es un concepto muy bueno y matemáticamente sólido. Sin embargo, la realidad es que a menudo es muy difícil determinar con exactitud el punto de inflexión, porque los datos de carga-desplazamiento medidos no son perfectos y se requiere una función matemática para suavizar previamente la curva de carga-desplazamiento medida. Para un conjunto de datos de carga-desplazamiento, diferentes funciones matemáticas generan a veces diversos puntos de inflexión. Para evitar este problema, los autores proponen utilizar el punto post-pico PPP_{75} en el que la carga se reduce al 75% de la carga máxima. (Zhou, 2017)

Actualmente el ensayo se encuentra normalizado a través de ASTM D8225 – 19. En la cual se establece la siguiente gráfica con la metodología para obtención del PPP_{75} .

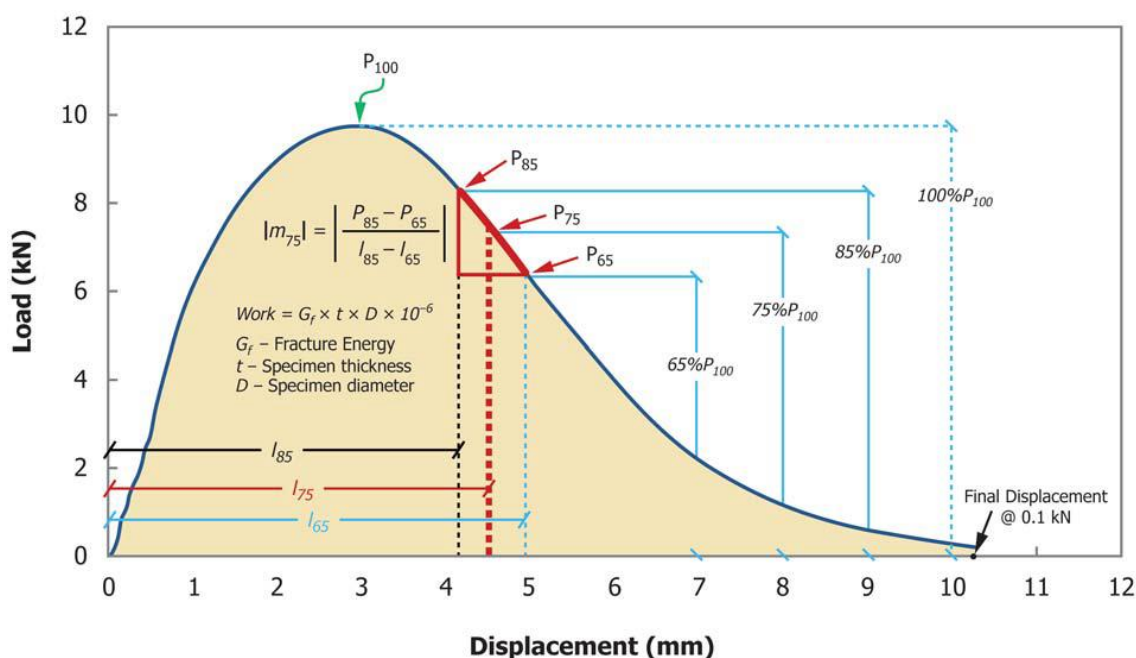


Figura 45 - Gráfica de ASTM D8225. PPP_{75} y su pendiente $|m_{75}|$ (ASTM Standard D8225-19, 2020)

En otro sentido, el parámetro $\frac{P}{l}$ en la curva ascendente de la gráfica es el módulo de la mezcla asfáltica. Cuando se trata del segmento posterior a la cresta de la curva carga-desplazamiento, el parámetro $\frac{P}{l}$ no es el verdadero módulo de la mezcla asfáltica, pero todavía puede tratarse como una especie de "módulo" global de una muestra de mezcla asfáltica fisurada. Como se muestra en la figura anterior, el parámetro $\frac{P}{l}$ se calcula como el valor absoluto de la pendiente $|m_{75}|$:

$$|m_{75}| = \frac{|P_{85} - P_{65}|}{|l_{85} - l_{65}|}$$

Hay dos razones para utilizar la pendiente de un intervalo en lugar de la pendiente de la tangente del punto PPP_{75} . La primera es que el intervalo entre PPP_{85} y PPP_{65} es dos veces la desviación estándar ($\sigma=5$) del punto de inflexión en torno a su media (=75 por ciento de carga máxima), de modo que se asegura el 95,4 por ciento de probabilidad. En segundo lugar, la pendiente del intervalo entre PPP_{85} y PPP_{65} es mucho menos variable que la pendiente tangente en el punto único PPP_{75} , de modo que el parámetro CT Index tiene menor variabilidad. Además, debe ser un valor absoluto, ya que representa el "módulo" global de una muestra de mezcla asfáltica agrietada. Generalmente, cuanto más rígida sea la mezcla, más rápido será el crecimiento de la fisuración, mayor será la reducción de la carga, mayor será el valor de $|m_{75}|$ y, en consecuencia, peor será la resistencia a la fisuración. Por lo tanto, el uso de $|m_{75}|$ para representar el parámetro $\frac{P}{l}$ tiene sentido. (Zhou, 2017)

En resumen, las ecuaciones finales para el CT Index se proporcionan a continuación:

$$CT_{Index} = \frac{G_f}{|m_{75}|} \cdot \left(\frac{l_{75}}{D}\right)$$

$$G_f = \frac{W_f}{t \cdot D} \cdot 10^6 \text{ [J/m}^2\text{]}$$

G_f : Energía de fractura [J/m²]

W_f : Trabajo [J]

$$|m_{75}| = \frac{|P_{85} - P_{65}|}{|l_{85} - l_{65}|} \text{ pendiente o "módulo" al } PPP_{75} \text{ [N/m]}$$

l_{75} : deformación vertical al PPP_{75} [mm]

D : diámetro de la probeta [mm]

En el caso de los testigos de campo en los que el espesor difiere de 62 mm, el CT Index se define a través de la ecuación:

$$CT_{Index} = \frac{t}{62} \cdot \frac{G_f}{|m_{75}|} \cdot \left(\frac{l_{75}}{D}\right)$$

t : espesor del testigo [mm]

Finalmente, en la investigación que realiza Zhou et al. (2017) se arriba a las siguientes conclusiones y recomendaciones luego de realizar la validación del ensayo. (Zhou, 2017)

- *El IDEAL-CT es un ensayo de agrietamiento sencillo (sin instrumentación, corte, pegado, taladrado y entallado de la muestra), práctico (se necesita una formación mínima para su funcionamiento rutinario) y eficiente (finalización del ensayo en 1 minuto) que puede realizarse con los equipos habituales de ensayo de resistencia a la tracción indirecta.*
- *El IDEAL-CT es sensible a los componentes clave de la mezcla asfáltica y a las propiedades volumétricas (contenido de RAP y RAS, tipo de ligante asfáltico, contenido de ligante, condiciones de envejecimiento y vacíos de aire), y también tiene un COV mucho menor que ensayos tradicionales de agrietamiento por carga repetida. La mayoría de los resultados del IDEAL-CT tienen un COV inferior al 20%.*
- *El IDEAL-CT se correlacionó bien con el rendimiento de campo en términos de fatiga, reflejo de fisuras y agrietamiento térmico.*
- *El IDEAL-CT, tras combinar los puntos de vista estadístico y práctico, se considera sólido con las cuatro variables: espesor de la muestra, niveles de carga, temperatura de ensayo y vacíos de aire.*

Dada la practicidad, efectividad y sensibilidad que presenta este ensayo, se lo utilizará en esta tesis de maestría para analizar las propiedades de fractura de las mezclas asfálticas diseñadas bajo los lineamientos del PETG de la DNV edición 2017. Se evaluará su potencialidad como un ensayo de verificación mecánica del fallo por fisuración que complemente el proceso de diseño vigente.

8. DESARROLLO EXPERIMENTAL

El estudio experimental se lleva a cabo a través de un análisis de sensibilidad con una metodología simple, práctica y de buena repetibilidad como es el ensayo IDEAL-CT o prueba de fisuramiento por tracción indirecta. En el mismo se contemplan dos mezclas asfálticas en caliente densas de tamaño máximo 19 mm (CAC D19), una con ligante convencional CA30 y otra con ligante modificado AM3. En primer lugar, se realizó el diseño de las mezclas, ensayos sobre los insumos intervinientes y verificación de los criterios de diseño del PETG de la DNV 2017. Luego, para la validación del ensayo IDEAL-CT se moldean probetas variando las propiedades que están vinculadas con el comportamiento a fractura de las mezclas asfálticas. Se persigue el objetivo de verificar la sensibilidad del resultado del CT-Índice respecto de la variación de los parámetros de vacíos de aire, tipo y contenido de ligante asfáltico.

8.1. Diseño de la Mezcla Asfáltica

Tanto para la determinación del esqueleto granular, como para dosificación del contenido óptimo de ligante asfáltico y demás verificaciones volumétricas, la energía de compactación utilizada en la elaboración de probetas de ensayos fue la de 75 golpes por cara, correspondiente al tipo de mezcla asfáltica de granulometría densa. Las probetas fueron compactadas en moldes de 101,6mm (4 pulgadas) de diámetro.

Las especificaciones planteadas en Pliego de Especificaciones Técnicas para Concretos en calientes y semicalientes del tipo Densos de Dirección Nacional de Vialidad, edición 2017, sirvieron de referencia para el diseño de la mezcla en estudio junto con las normativas argentinas de ensayos:

- IRAM-6845:2013 Parte 1, Moldeo de probetas usando el compactador Marshall.
- IRAM-6845:2013 Parte 2, Densidad de la mezcla compactada.
- IRAM-6845:2015 Partes 3, Cálculo de la densidad máxima teórica (ensayo Rice).
- IRAM-6845:2015 Parte 4, Determinación de las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica compactada.
- IRAM-6845:2015 Parte 5, Determinación de la estabilidad y fluencia Marshall.

8.1.1. Materiales y Mezcla asfáltica

A continuación, se describen los insumos y el procedimiento para la determinación de la fórmula de trabajo de la mezcla en estudio. En el ANEXO N°1 DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA se pueden observar la totalidad de los ensayos realizados con sus resultados asociados.

Se utilizaron tres cortes comerciales de agregados pétreos triturados provenientes de una cantera de la zona sur de la Provincia de Buenos Aires, 0-6 mm, 6-12 mm y 12-19 mm, los cuales fueron caracterizados en forma física y mecánica, cumpliendo con las especificaciones establecidas en el Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en caliente y semicalientes del tipo densos de la Dirección Nacional de Vialidad, edición 2017.

Para el caso de agregados gruesos se asumió tránsito T2 y capa de base o rodamiento.

Se realizaron las granulometrías vía húmeda de acuerdo con los lineamientos descriptos por la normativa IRAM-1505:2019 de cada una de las fracciones de agregados pétreos y filler (cal comercial) que se contaban como insumo. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3 - Distribución Granulométricas vía húmeda de Materiales

Tamiz	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 30	Nº 50	Nº 200
Muestras	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]	[%pasa]
AGT 12-19	100	95,09	5,43	1,36	1,08	0,89	0,76	0,37
AGT 6-12	100	100	70,2	5,46	2,81	2,04	1,75	0,98
AGT 0-6	100	100	100	94,62	68,51	35,84	24,82	10,24
Cal	100	100	100	100	100	100	98,63	90,06

La cal verifica con Tabla N°10 de requisitos granulométricos de la cal hidratada del Pliego de Especificaciones Técnica General de DNV 2017.

El cemento asfáltico convencional CA30 provisto por la Refinería YPF encuadra con IRAM-IAPG A 6835. Las temperaturas de trabajo adoptadas para todas las etapas que impliquen elaboración y compactación de mezcla asfáltica en estudio en esta tesis en base al principio de equiviscosidad:

- Temperatura de mezclado: 160 °C, correspondiente a 1,8 dPa*seg del perfil de viscosidad del ligante elegido CA30.
- Temperatura de Compactación de mezcla asfáltica: 145 °C, correspondiente a 2,8 dPa*seg del perfil de viscosidad del ligante elegido CA30.

Los insumos descriptos fueron utilizados para la determinación del esqueleto granular y la determinación del contenido óptimo de ligante asfáltico tanto por la Metodología MARSHALL.

8.1.2. Selección del esqueleto granular

Para la selección del esqueleto granular se siguió con el razonamiento empleado por la normativa AASHTO R 35 y verificando el cumplimiento de las especificaciones del Pliego de Especificaciones Técnicas Generales de la DNV Ed. 2017. Esqueleto granular seleccionado para CAC D 19.

A continuación, se detalla la combinación de agregados pétreos que garantiza el cumplimiento el huso granulométrico establecido por dicho pliego.

Tabla 4 - Granulometría de mezcla de materiales

TAMIZ	A.G.T.0-	A.G.T.6-	A.G.T.12-	CAL	CAC D19	HUSO GRANULOMÉTRICO INFERIOR	HUSO GRANULOMÉTRICO SUPERIOR
	56,00%	18,00%	25,00%	1,00%	100,00%		
2"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 ½"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	100,00	100,00	95,09	100,00	98,77	83,00	100,00
3/8"	100,00	70,20	5,43	100,00	70,99	60,00	75,00
Nº 4	94,62	5,46	1,36	100,00	55,31	42,00	60,00
Nº 8	68,51	2,81	1,08	100,00	40,14	29,00	47,00
Nº 30	35,84	2,04	0,89	99,97	21,66	15,00	29,00
Nº 50	24,82	1,75	0,76	98,60	15,39	11,00	21,00
Nº 200	10,24	0,98	0,37	90,01	6,90	4,00	8,00

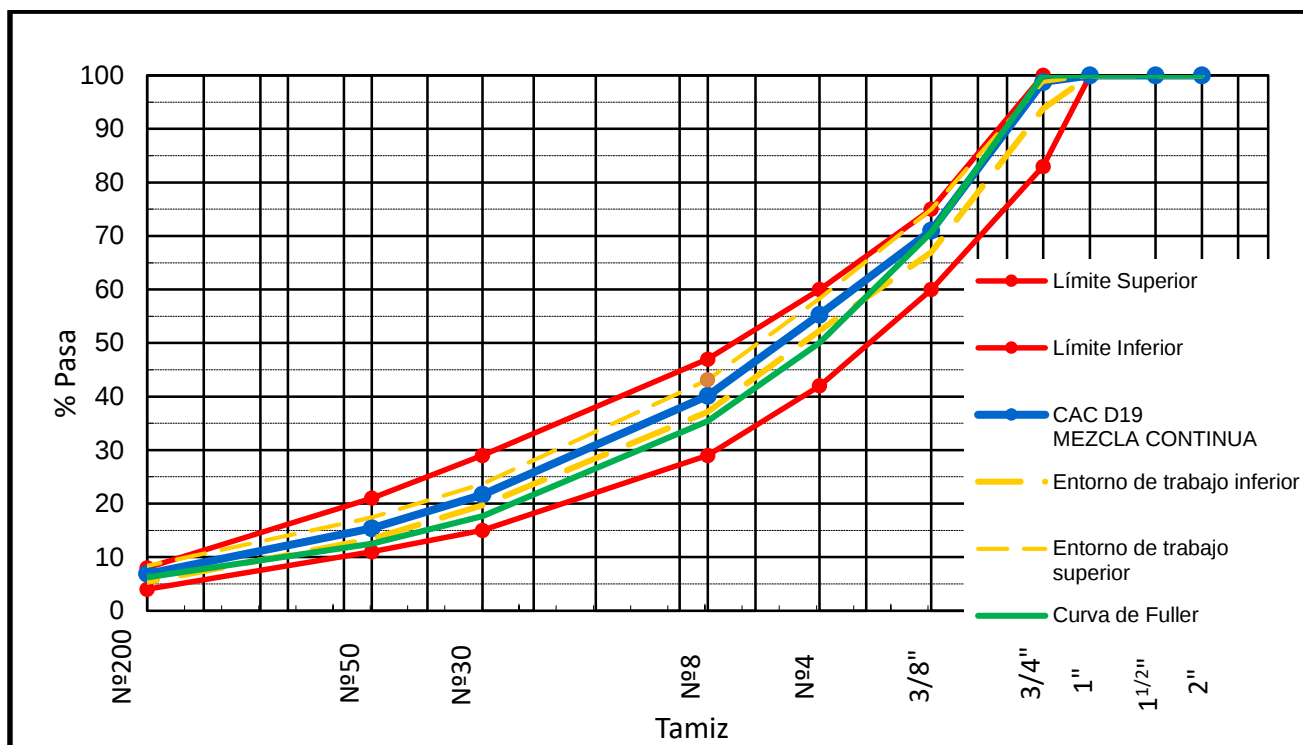


Figura 46 - Curva granulométrica del esqueleto seleccionado para CAC D 19

8.1.3. Determinación del contenido Óptimo de la Mezcla en estudio

Con el esqueleto granular fijado en el punto anterior y el tipo de cemento asfáltico como insumo (CA30 de acuerdo con IRAM-6835), el paso siguiente en el proceso de diseño fue encontrar el tenor de ligante asfáltico óptimo para la estructura granular de referencia.

Se elaboraron seis mezclas asfálticas, cada una de ellas con tenores de cemento asfáltico diferentes (3,5%, 4%, 4,5%, 5% y 5,5%) y teniendo en cuenta el porcentaje de cemento asfáltico estimado de modo tentativo para el esqueleto granular seleccionado y con una diferencia de 0,5% entre ellos.

Posteriormente se compactaron tres probetas de 101,6mm de diámetro para cada contenido de asfalto utilizando 75 golpes por cara como energía de compactación utilizando el compactador Marshall del Laboratorio de Investigaciones Viales de la UBA. Esta etapa del trabajo se llevó adelante siguiendo la metodología descrita en la normativa IRAM-6845:2016 Parte 1.

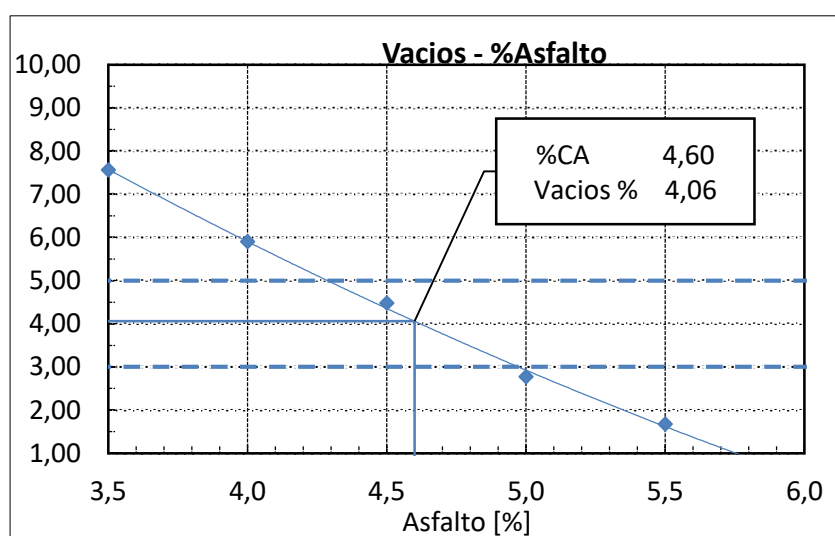
Por cada tenor de asfalto se determinaron las propiedades volumétricas. El resultado de la densidad Rice o Gravedad máxima (Gmm) para cada tenor de ligante asfáltico se calculó a partir del valor obtenido experimentalmente de la densidad Rice para el contenido de 6,0 % de asfalto y el peso específico efectivo del esqueleto granular. A cada juego de probetas se determinó la densidad aparente o gravedad específica bruta (Gmb), se calcularon los porcentajes de vacíos (Va) y vacíos de agregado mineral (VAM).

Tabla 5 - Parámetros volumétricos para los 6 tenores de cemento asfáltico

RESUMEN DE PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS							
PUNTO	ASFALTO	Gmm (teórica)	Gmm (experimental)	Gmb	V	V.A.M	V.F.A
	[%]	[gr/cm3]	[gr/cm3]	[gr/cm3]	[%]	[%]	[%]
1	3,5	2,565	2,563	2,371	7,555	14,973	49,545
2	4,0	2,544	2,551	2,394	5,899	14,590	59,570
3	4,5	2,524	2,522	2,411	4,475	14,438	69,003
4	5,0	2,504	2,507	2,434	2,769	14,051	80,295
5	5,5	2,484	2,484	2,442	1,677	14,221	88,216

Se construyeron las curvas de %vacíos vs. %ligante, y de VAM vs. %ligante.

Para la determinación del contenido de ligante de acuerdo a los criterios establecidos por DNV para el tipo mezcla de granulometría densa, se procedió a ingresar a la curva de vacíos de aire con un 4% de vacíos y se determinó el porcentaje de ligante. Luego, se procedió a verificar el VAM correspondiente al %CA obtenido del primer gráfico. El VAM correspondiente para para dicho porcentaje de ligante se encuentre en la rama seca y es superior al mínimo planteado por las especificaciones.

**Figura 47** - Curva variación del contenido de vacíos con el tenor de cemento asfáltico.

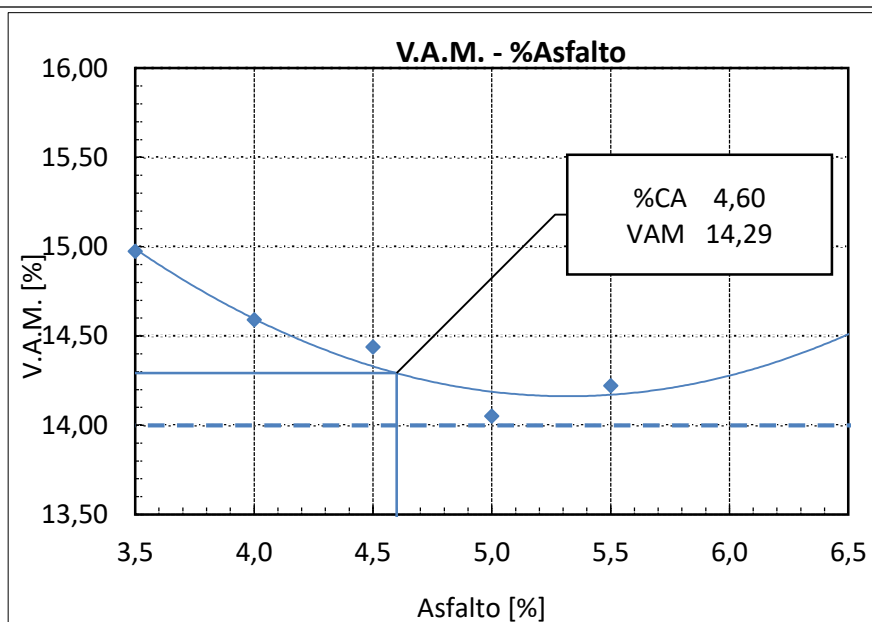


Figura 48 - Curva de variación del contenido de vacíos del agregado mineral con el tenor de cemento asfáltico.

A continuación, se detalla la fórmula de trabajo de CAC D 19 CA30, el contenido de ligante asfáltico óptimo recomendado para el esqueleto granular seleccionado es de 4,60 %, considerando dicho porcentaje en peso respecto del total de la mezcla asfáltica.

Tabla 6 - Fórmula de obra de la mezcla CAC D19 CA30

Material	Porcentaje	Origen
Triturado 12/19	25	Canteras zona Olavarría
Triturado 6/12	18	Canteras zona Olavarría
Arena triturada 0/6	56	Canteras zona Olavarría
Cal	1	Canteras zona Olavarría
Cemento asfáltico óptimo	4,60	Origen comercial

8.2. Verificaciones de mezcla asfáltica en estudio

En el laboratorio se llevó a cabo la etapa de verificaciones a los fines determinar si la mezcla en estudio cumple requisitos establecidos para esta tipología de concreto asfáltico en lo que refiere a parámetros volumétricos y luego se efectuaron las verificaciones de performance vinculadas a deformaciones permanentes, daño por humedad y relación filler asfalto en el mastic. Dichas verificaciones se realizaron siguiendo los lineamientos establecidos en el pliego general de especificaciones técnicas de la Dirección Nacional de Vialidad para concretos asfálticos en caliente del tipo CAC D19.

8.2.1. Verificación de parámetros volumétricos

Se elaboró mezcla asfáltica con el esqueleto granular y contenido de cemento asfáltico obtenido de la dosificación Marshall. El cemento asfáltico empleado fue el planteado en los insumos y corresponde a un cemento asfáltico convencional del tipo CA30 de la normativa IRAM-6835 con temperaturas de trabajos adoptadas de acuerdo al perfil de viscosidad.

Se compactaron 3 probetas del tipo Marshall utilizando 75 golpes por cara como energía de compactación siguiendo la metodología descrita en la normativa IRAM-6845:2016 Parte 1, Moldeo de probetas usando el compactador Marshall.

Luego se procedió con la determinación de los parámetros volumétricos de acuerdo con lo establecido en las normativas argentinas:

Tabla 7 - Moldeo verificación Fórmula de obra

C.A. [%]:	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO SUMERGIDO [g]	PESO EN EL AIRE [g]	P S.S.S [g]	ALTURA PROMEDIO [mm]	VOLUMEN [cm ³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]
CA30 - 1	150	1222,30	1223,90	719,60	63,6	504,3	25,00
CA30 - 2	150	1217,70	1218,20	715,90	63,0	502,3	25,00
CA30 - 3	150	1221,40	1222,60	718,10	63,3	504,5	25,00

Tabla 8 - Parámetros volumétricos para el contenido ligante óptimo

C.A. [%]:	Gmb [g/cm ³]	ASFALTO EN VOLUMEN [cm ³]	VACIOS [%]	V.A.M. [%]	V.F.A.[%]
CA30 - 1	2,424	11,2	3,82	14,08	72,89
CA30 - 2	2,424	11,2	3,80	14,06	73,00
CA30 - 3	2,421	11,2	3,93	14,18	72,31
PROM.:	2,423	11,195	3,846	14,107	72,735

8.2.2. Verificación de Deformaciones Permanentes

Esta verificación se llevó a cabo a través del Ensayo de Rueda cargada (IRAM 6850, EN 12697-22), en el cual se determinó el desempeño frente al ahuellamiento de la mezcla asfáltica en estudio en condiciones controladas de laboratorio.

La mezcla en estudio fue compactada en forma de panes por el roller compactador. La gravedad específica bruta de referencia para el moldeo de las probetas corresponde a la obtenida anteriormente en la verificación de las propiedades volumétricas. Los resultados se vuelcan en la **Tabla 9**.

Tabla 9 - Propiedades volumétricas de los panes para WTT

N° PROBETA	I	II
PESO EN EL AIRE [g]	11033,8	11031,1
PESO SUMERGIDO [g]	6520,1	6524,6
PESO S.S.S [g]	11082,7	11079,8
VOLUMEN [cm ³]	4562,6	4555,2
DENSIDAD APARENTE (Da) [g/cm ³]	2,418	2,422
DENSIDAD MEDIA (Da) [g/cm ³]	2,418	
DENSIDAD MAXIMA TEORICA (Da) [g/cm ³]	2,520	
% de vacíos	4,03%	3,90%
VACIOS MEDIO %	4,03%	
PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN [%]	95,97	96,10

Previo a ensayo los panes son acondicionados como lo establece la normativa.

Durante el ensayo se simuló el paso de una rueda cargada en condiciones de temperatura y carga extremas midiendo las deformaciones permanentes en la mezcla asfáltica compactada en forma de panes en intervalos de 1 minuto a través de un LVDT.

Con los datos obtenidos a través de la computadora del equipo, se procedió a graficar las curvas de deformaciones permanentes en función de los ciclos de carga, se realizó un ajuste de las mediciones experimentales mediante una función de correlación potencial, como lo indica la normativa IRAM-6850:2018 y luego se obtuvieron los parámetros de caracterización de la resistencia al ahuellamiento la pendiente de ahuellamiento o velocidad de deformación (WTS) y la profundidad proporcional de huella (PRD).

Tabla 10 - Resultados de parámetros de WTT

Pendiente de Ahuellamiento	WTS aire	0,069	[mm/1000 ciclos de carga]
Profundidad Media de la Huella	PRD	3,90	[%]

8.2.3. Verificación de Susceptibilidad al Daño por Humedad

La normativa EN 12697-23:2004 establece el procedimiento para la determinación de la resistencia a la tracción indirecta. A los fines de verificar la susceptibilidad al daño por humedad de la mezcla en estudio, previamente a la realización del ensayo se procedió a elaborar la mezcla asfáltica y compactar 6 probetas Marshall siguiendo lo establecido en la norma IRAM-6845 parte 1 con temperatura de compactación establecida para el ligante utilizado y aplicando la energía de 20 golpes por cara para lograr en las probetas compactadas un contenido de vacíos de 7 % ± 1%, vacíos que favorecen el efecto de la acción del agua.

La densidad de referencia de la mezcla asfáltica en estudio para el moldeo de las probetas corresponde a la obtenida anteriormente en la verificación de las propiedades volumétricas. Una vez confeccionadas las probetas y previamente a la ejecución del ensayo se procedió a la verificación del contenido de vacíos obtenidos.

A los fines llevar a cabo lo establecido en la normativa, se organizaron dos grupos de 3 probetas cada uno de la siguiente manera:

Grupo 1 de Probetas: Constituye el grupo de probetas de control ya que las probetas se mantuvieron al aire a temperatura atmosférica durante 24 hs. Finalizado este período se colocaron sumergidas en agua a 25 °C (± 1 °C) durante 2 hs. Cumplimentado este acondicionamiento se determinó la resistencia a tracción indirecta de cada una de ellas de acuerdo con la metodología indicada en la normativa de referencia.

Grupo 2 de Probetas: las probetas fueron sumergidas en baño de agua a 60 °C (± 1 °C) durante 24 hs. Finalizado este período se las colocaron en agua a 25 °C (± 1 °C) durante 2 hs. Cumplimentado este acondicionamiento se las ensayó a la resistencia a tracción indirecta de acuerdo con la metodología planteada por la normativa de referencia.

Luego de cumplimentados los ensayos a tracción indirecta por compresión diametral a 25 °C, se procedió a realizar el cálculo del daño generado por el agua a través del Índice resistencia conservada (IRC) mediante el cociente de resistencia a tracción indirecta de los grupos sometidos a ciclos respecto (RTI del grupo 2) al grupo de control (RTI del grupo 1). Esta resistencia conservada debe ser mayor al 80 % para considerar que la mezcla no es susceptible de sufrir un daño por humedad.

Los resultados de las propiedades volumétricas, resultados del ensayo de resistencia a tracción indirecta, y de la Resistencia conservada bajo la metodología indicada de acuerdo con lo descripto se volcaron en la tabla 11.

Tabla 11 - Parámetro de probetas para RTI

PROBETA N°	PESO EN EL AIRE [g]	P S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	ALTURA [mm]	VOLUMEN [cm ³]	DENSIDAD MARSHALL [g/cm ³]	VACIOS [%]	ACONDICIONAMIENTO (0-25°C) (1-60°C)
P11	1197,3	1206,2	700,7	65,55	505,5	2,369	6,01	0,0
P12	1198,0	1204,6	699,6	65,56	505,0	2,372	5,86	0,0
P13	1200,1	1204,6	704,0	63,97	500,6	2,397	4,87	0,0
P14	1213,5	1220,7	709,6	65,63	511,1	2,374	5,78	1,0
P15	1196,1	1207,0	697,4	67,05	509,6	2,347	6,86	1,0
P16	1199,0	1203,2	704,4	64,43	498,8	2,404	4,61	1,0
PROMEDIOS:						2,377	5,663	
DESVIACIÓN STANDARD:						2,1%	81,8%	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:						0,9%	14,4%	

Tabla 12 - Acondicionamiento de probetas y rotura

PROBETA N°	ALTURA PROBETA [cm]	DIÁMETRO [cm]	CORRECCIÓN ALTURA	CARGA [KN]	RTI [MPa]	PROBETAS ACONDICIONADAS 60°C	PROBETAS ACONDICIONADAS 25°C	IRC [%]
P11	6,55	10,160	0,952	9,83	0,940		0,940	91,36%
P12	6,56	10,160	0,952	9,37	0,896		0,896	
P13	6,40	10,160	0,988	8,62	0,844		0,844	
P14	6,56	10,160	0,950	7,90	0,754	0,754		
P15	6,70	10,160	0,923	8,28	0,774	0,774		
P16	6,44	10,160	0,977	9,46	0,920	0,920		
PROMEDIOS:						0,816	0,893	
DESVIACIÓN STANDARD:						9,1%	4,8%	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:						11,1%	5,3%	

8.2.4. Verificación de relación Filler – Asfalto

La determinación de la concentración crítica del filler del mix (Fracción que pasa el tamiz N° 200 del esqueleto granular) que conforma la mezcla asfáltica en estudio se llevó adelante mediante el procedimiento establecido en la normativa IRAM-1542. Las proporciones de las fracciones que pasan el tamiz 200 de los materiales intervinientes se calcularon en base a la fórmula de la mezcla asfáltica CAC D19 de esta Tesis de Maestría.

Como primer paso, se determinó el peso específico aparente de dicho filler empleando la metodología de ensayo descrita en la normativa IRAM-1520 y el valor de concentración crítica Cs.

Posteriormente se determinó la concentración volumétrica de filler en el mastic asfáltico correspondiente a la fórmula de la mezcla en estudio, considerando el porcentaje que pasa el tamiz N° 200, el porcentaje de agregados en la mezcla, el peso específico aparente del filler y por último el porcentaje interviniente de cemento asfáltico con su respectivo peso específico. El valor de Cv se pueden observar en la **Tabla 15**.

Una vez obtenida la concentración crítica del filler que conforma la mezcla asfáltica y determinada su concentración volumétrica en el mastic de la misma, se realizó el cociente Cv/Cs de modo de verificar que la concentración de filler en el mastic de la mezcla no supere la concentración crítica admisible por el citado filler. El valor obtenido se detalla en la **Tabla 15** verificando el requisito establecido en el pliego general de especificaciones técnicas de la DNV para este parámetro en las mezclas asfálticas en caliente del tipo CAC D19.

Tabla 13 - Peso específico del filler

PESO ESPECÍFICO APARENTE VN-E15-89 / IRAM 1520			
PESO (GRS)	50,0	50,1	
VOL. INICIAL (CM3)	0,5	0,8	
VOL. FINAL (CM3)	18,4	18,9	
P.E.A. (gr/cm ³)	2,793	2,769	
P.E.A. (gr/cm ³) Prom	2,781		

Tabla 14 - Cálculo de Concentración Crítica

PESO ESPECÍFICO APARENTE VN-E15-89 / IRAM 1520			
	M1	M2	M3
PESO (GRS)	9,9	10,0	10,3
VOLUMEN (CM3)	9,8	9,9	10,1
P.E.A. (GRS/CM3)	2,781	2,781	2,781
Cs	0,365	0,362	0,368
Cs (Promedio)	0,365		

Tabla 15 - Cálculo de relación Cv/Cs

Cv =	0,34
Cs =	0,36
RELACIÓN Cv/Cs =	0,93
REL. EN PESO FILLER/ASFALTO =	1,43

8.2.5. Resumen de verificación de fórmula de obra

A continuación, se resume la tabla indicativa de los ensayos de verificación de la fórmula de obra CAC D 19 CA30 con 4,6% de contenido de ligante óptimo, según el criterio de PETG de la DNV 2017.

Tabla 16 - Verificación de los requisitos de dosificación

CUMPLIMIENTO DE REQUISITO DE DOSIFICACION - TABLA N°12 del PETG DNV 2017			
PARAMETRO	PARAMETRO	RESULTADO	EXIGENCIA
ENSAYO MARSHALL (IRAM 6845)	N° GOLPES X CARA	75	75
	VACIOS EN LA MEZCLA	3,8 %	3 % - 5 %
	VACIOS DEL AGREGADO MINERAL (VAM)	14,1 %	≥ 14 %
	RELACION BETUN - VACIOS	72,7 %	65 % - 75 %
RESISTENCIA CONSERVADA MEDIANTE EL ENSAYO LOTTMAN MODIFICADO (ASTM D 4867 O AASHTO T283)		91,4%	≥ 80 %
PROPRCIONES MAXIMAS EN VOLUMEN DE FILLER EN MEZCLAS (IRAM 1542)	Cv/Cs	0,93	≤ 1
	Cs R. Mineral de Aporte	0,36	≤ ,22
	% Máx.Filler de Aporte	0,95%	MAX 2, %
CUMPLIMIENTO DE REQUISITO DE DOSIFICACION - TABLA N°13 del PETG DNV 2017			
RESIS. AL AHUELLAMIENTO WTT UNE - EN 12697 - 22 - PROC. B	WTS aire (mm/1000 ciclos) interv. 5000 a 10000	0,07	≤ 0,08
	PRD (%) Prof. Media de la Huella	3,90	≤ 5 %

En el ANEXO N°1 DOSIFICACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA se pueden observar la totalidad de los ensayos realizados con sus resultados asociados.

Con la finalidad de realizar el análisis de sensibilidad frente al cambio de ligante en el proceso de fractura que se explica en los apartados siguientes, se moldearon probetas con la misma estructura granular y contenido de ligante óptimo, pero con ligante modificado AM3 en lugar del ligante convencional CA30. La mezcla CAC D19 AM3 con 4,6% de contenido óptimo también verifica los requisitos de diseño del PETG de la DNV 2017, destacándose que hay una clara mejora de los parámetros mecánicos.

8.3. Análisis de sensibilidad con ensayo IDEAL-CT

La mezcla asfáltica obtenida como fórmula de obra en los apartados previos es la utilizada para el análisis de sensibilidad con el ensayo IDEAL-CT. Para analizar el comportamiento a fisuración se decidió variar el tipo y contenido de ligante, además de la energía de compactación suministrada para poder evaluar la sensibilidad del CT-Índice con diferentes contenidos de vacíos de aire.

Se moldearon las siguientes tipologías de mezclas asfálticas, para el contenido óptimo de ligante de 4,6% se ensayaron probetas con CA30 y probetas con AM3. Por otro lado, se estudiaron mezclas asfálticas con uno por ciento de ligante asfáltico superior e inferior respecto del óptimo y en cada uno de estos casos se moldearon a cuatro energías de compactación variable para poder estudiar la sensibilidad en estos casos con diferentes contenidos de vacíos de aire.

Tabla 17 - Tipo de mezclas asfálticas estudiadas

Mezcla	Ligante asfáltico	Número de golpes por cara
CAC D19 CA30	4,6%	75
CAC D19 CA30	3,6%	20 / 40 / 60 / 80
CAC D19 CA30	5,6%	20 / 40 / 60 / 80
CAC D19 AM3	4,6%	75



Figura 49 - Algunas de las probetas moldeadas en laboratorio

A cada una de las más de 50 probetas moldeadas se las ensayó a la prueba de fisuramiento por tracción indirecta o indirect tensile asphalt cracking test (IDEAL-CT). Los resultados individuales se pueden visualizar en el ANEXO N°2 PROBETAS ENSAYADAS

8.3.1. Sensibilidad al tipo de ligante asfáltico

En la figura que se detalla a continuación puede observarse la curva carga deformación resultante del ensayo de la probeta N°8 de CAC D19 CA30 4,6%.

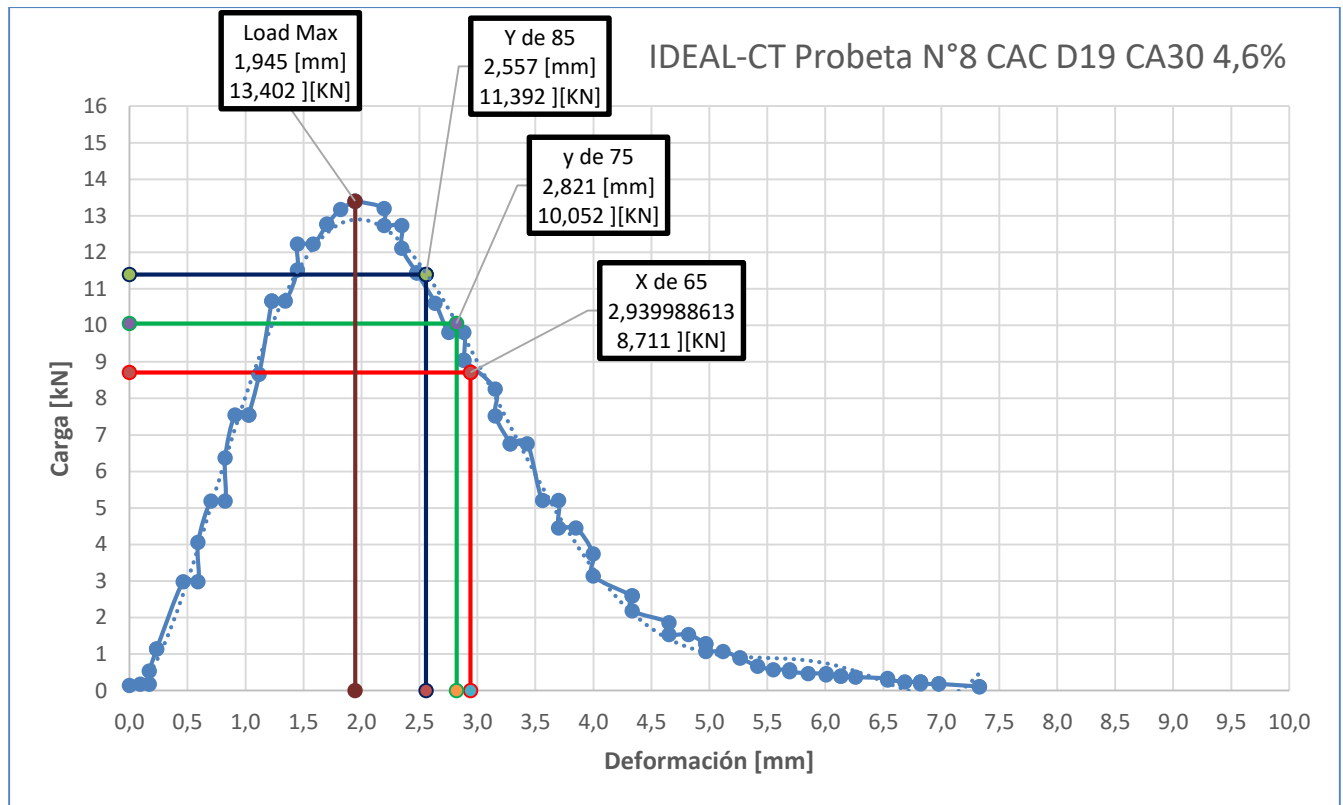


Figura 50 - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%

Realizando un análisis de los resultados y una estimación lineal de las cargas post-pico, se determinó su CT-Index según la ecuación:

$$CT_{Index} = \frac{t}{62} \cdot \frac{G_f}{|m_{75}|} \cdot \left(\frac{l_{75}}{D}\right)$$

$$G_f = \frac{W_f}{t \cdot D} \cdot 10^6 \text{ [J/m}^2\text{]}$$

$$|m_{75}| = \frac{|P_{85} - P_{65}|}{|l_{85} - l_{65}|} \text{ pendiente o "módulo" al } PPP_{75} \text{ [N/m]}$$

G_f : Energía de fractura [J/m²]

W_f : Trabajo [J]

l_{75} : deformación vertical al PPP_{75} [mm]

D : diámetro de la probeta [mm]

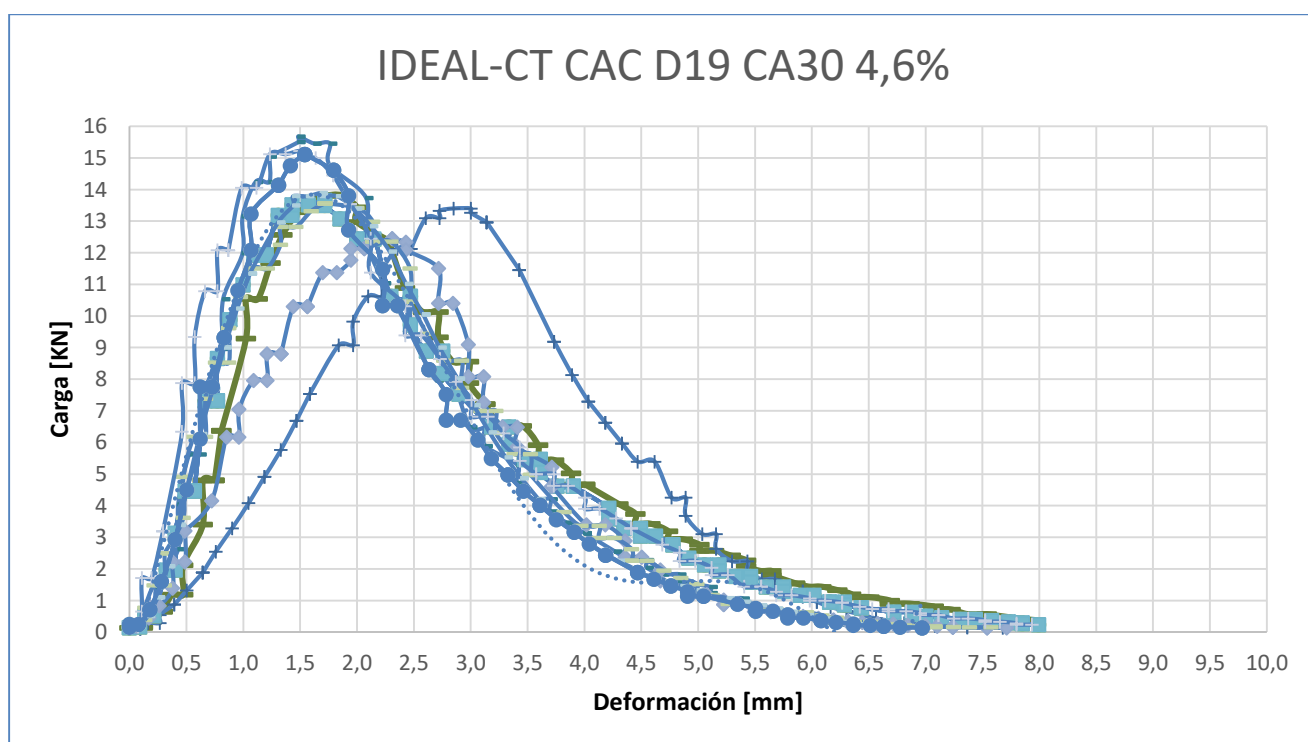
t : espesor del testigo [mm]

Tabla 18 - Resultado de ensayo IDEAL-CT de probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%

m75 [N/m]	W [J]	Gf [J/m ²]	l75 [mm]	CT Index
7,591	36,035	5720,518	2,529	18,760

**Figura 51** - Imagen de rotura a la tracción indirecta de la probeta N°8 CAC D19 CA30 4,6%

En el siguiente gráfico se realiza una superposición de todas las probetas ensayadas con la tipología CAC D19 CA30 4,6%. Para cada una de ellas se calculó el CT Index, los resultados individuales se pueden visualizar en el ANEXO N°2 PROBETAS ENSAYADAS. En la gráfica inferior se puede visualizar que las cargas máximas se encuentran entre 12,5 kN y 16 kN, y las deformaciones máximas entre 6,5 mm y 8 mm.

**Figura 52** - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 4,6%

La gráfica a continuación muestra las probetas de tipología CAC D19 AM3 4,6%, es decir mismo esqueleto granular que las precedentes, pero con el cambio a ligante modificado AM3. En este caso las cargas máximas disminuyen al intervalo entre 11 kN y 14 kN y las deformaciones máximas se incrementan entre 7 mm y 9,5 mm, lo que demuestra una mejora en la ductilidad que se refleja en una curva post pico con menor pendiente y por lo tanto mayor energía de fractura.

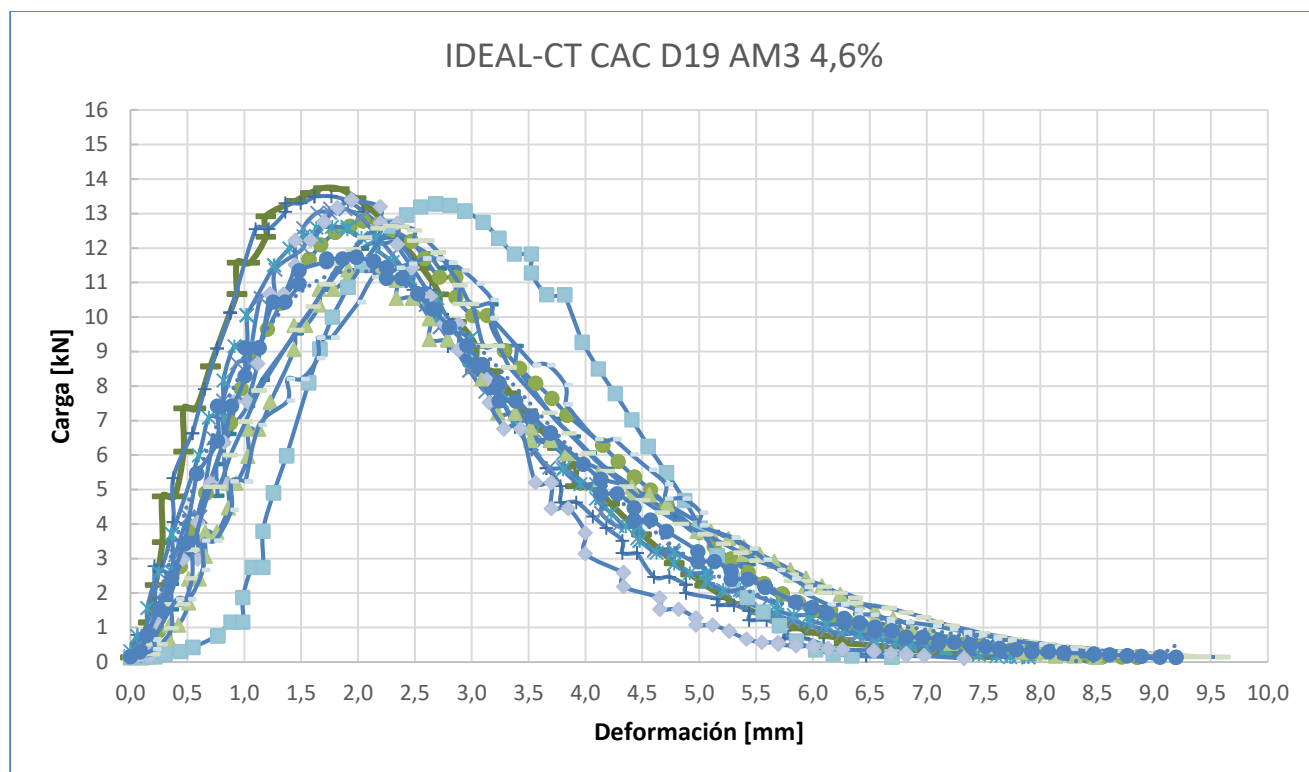


Figura 53 - Resultados de ensayo IDEAL-CT de probetas CAC D19 AM3 4,6%

En la siguiente tabla resumen se puede visualizar los resultados comparativos del cálculo de CT Index para las mezclas diseñadas con contenido de ligante óptimo pero diferente tipo de ligante asfáltico.

Tabla 19 - Cálculo de CT Index probetas CAC D19 CA30 4,6% y CAC D19 AM3 4,6%

Tipo de mezcla	VACIOS [%]	Carga Máx. [kN]	I_{75} :deformación vertical al PPP ₇₅ [mm]	$ m_{75} $ pendiente o módulo al PPP ₇₅ [N/m]	Gf: Energía de fractura [J/m ²]	CT Index	CT Index Promedio	COV CT Index
CA30 4,6%	4,67	13,40	3,67	8,87	6207,39	25,88	18	27,9%
	4,47	13,82	2,66	7,37	6354,71	23,41		
	4,64	13,67	2,54	7,38	6164,86	21,30		
	4,76	13,89	2,53	7,59	5720,52	19,09		
	4,39	15,22	2,33	8,41	6757,76	18,71		
	4,43	13,57	2,64	9,78	5846,20	15,73		
	5,35	12,45	3,06	11,54	5332,80	14,33		
	4,53	15,67	2,18	10,39	5887,08	12,44		
	4,61	15,11	2,24	11,36	5582,92	11,08		

Tipo de mezcla	VACIOS [%]	Carga Máx. [kN]	I_{75} :deformación vertical al PPP ₇₅ [mm]	$ m_{75} $ pendiente o módulo al PPP ₇₅ [N/m]	Gf: Energía de fractura [J/m ²]	CT Index	CT Index Promedio	COV CT Index
AM3 4,6%	4,29	11,70	3,52	4,20	6648,34	57,07	40	24,6%
	3,82	12,79	3,23	4,37	7008,77	52,00		
	4,12	11,74	3,15	4,12	6483,77	49,86		
	4,19	11,37	3,00	4,05	6089,12	44,85		
	3,61	13,29	3,88	5,61	6384,97	44,05		
	3,84	12,62	2,89	4,53	6505,47	41,28		
	3,94	12,32	3,31	5,67	6623,10	38,64		
	4,26	13,15	2,76	4,84	6238,54	35,52		
	4,07	12,65	3,19	6,29	6868,64	34,70		
	4,23	13,74	2,80	6,01	6875,36	31,88		
	3,68	13,40	2,82	7,00	5590,42	22,47		
	4,15	13,50	2,70	5,64	6473,35	30,78		

La mejora en la ductilidad producto de la incorporación de un ligante modificado se observa en menores valores de carga máxima, con una menor pendiente post pico que deriva en un sustancial incremento de la energía de fractura y de mayor tolerancia a la deformación. Todo esto se reproduce en el incremento de CT Index que para las mezclas con CA30 resultó en valores de entre 11 y 26, mientras que la misma mezcla asfáltica y a igual contenido de ligante, cuando se cambió a un ligante modificado el valor pasó a un intervalo entre 22 y 57 duplicándose el valor promedio.

A modo comparativo, en la siguiente gráfica se observan probetas representativas para cada tipo de mezcla, en tonos azules con ligante convencional CA30 y verdes con ligante modificado del tipo AM3.

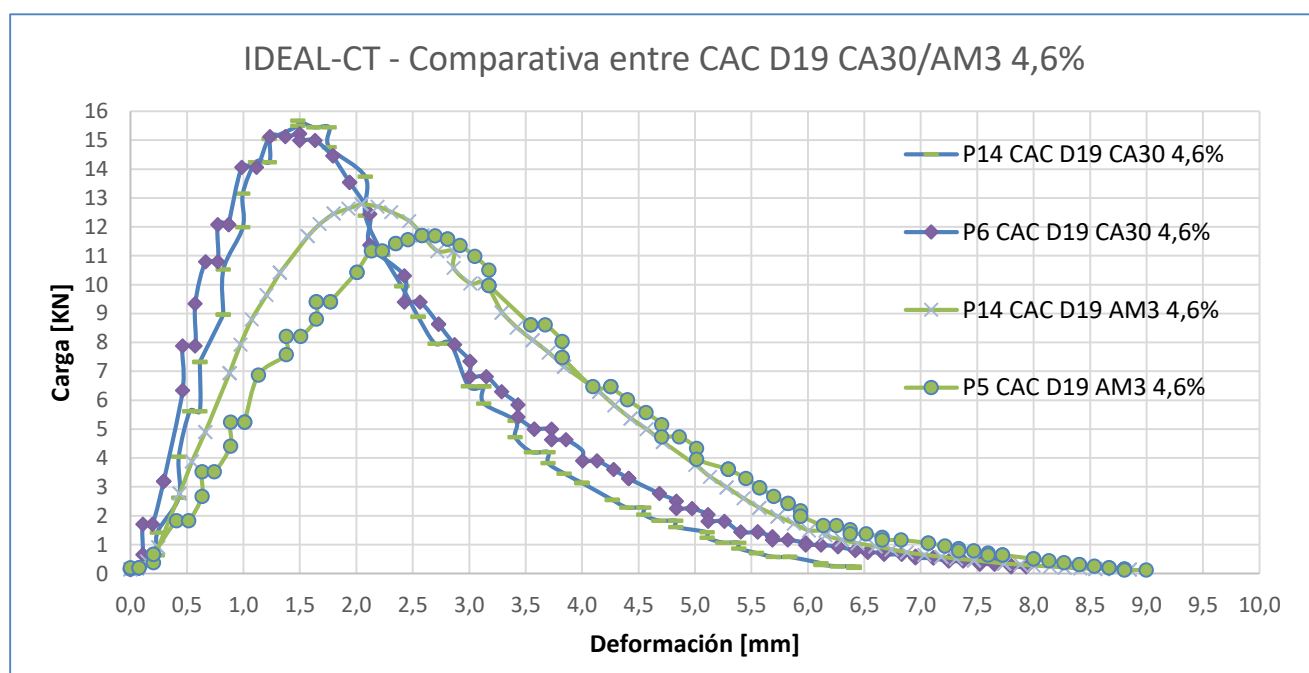


Figura 54 - Comparativa IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30/AM3 4,6%

8.3.2. Sensibilidad a la cantidad de ligante asfáltico y a los vacíos de aire

Con motivo de analizar la sensibilidad a la cantidad de ligante asfáltico, a la mezcla asfáltica diseñada se la moldeó con uno por ciento mayor al tenor óptimo y, por otra parte, uno por ciento menor a dicho tenor de diseño, tal como se describe en la **Tabla 17**. Es decir, se ensayaron probetas para los siguientes tipos de mezclas CAC D19 CA30 3,6% y CAC D19 CA30 5,6%.

En el caso de la estudiar la sensibilidad de las propiedades de fractura con los vacíos de aire, se evaluó cada una de estas mezclas a diferentes energías de compactación. Se elaboraron probetas en el compactador Marshall a 20, 40, 60 y 80 golpes por cara respectivamente.

En las siguientes gráficas se observan las probetas ensayadas para los tipos de mezcla indicados con las diferentes energías de compactación. Se identifica que mayor energía de compactación (mayor cantidad de golpes por cara) la curva carga desplazamiento presenta menores valores de carga máxima y menor pendiente postpico. Esto se correlaciona con que, a mayor energía de compactación, menor cantidad de vacíos de aire y mejor comportamiento frente a las propiedades de fractura.

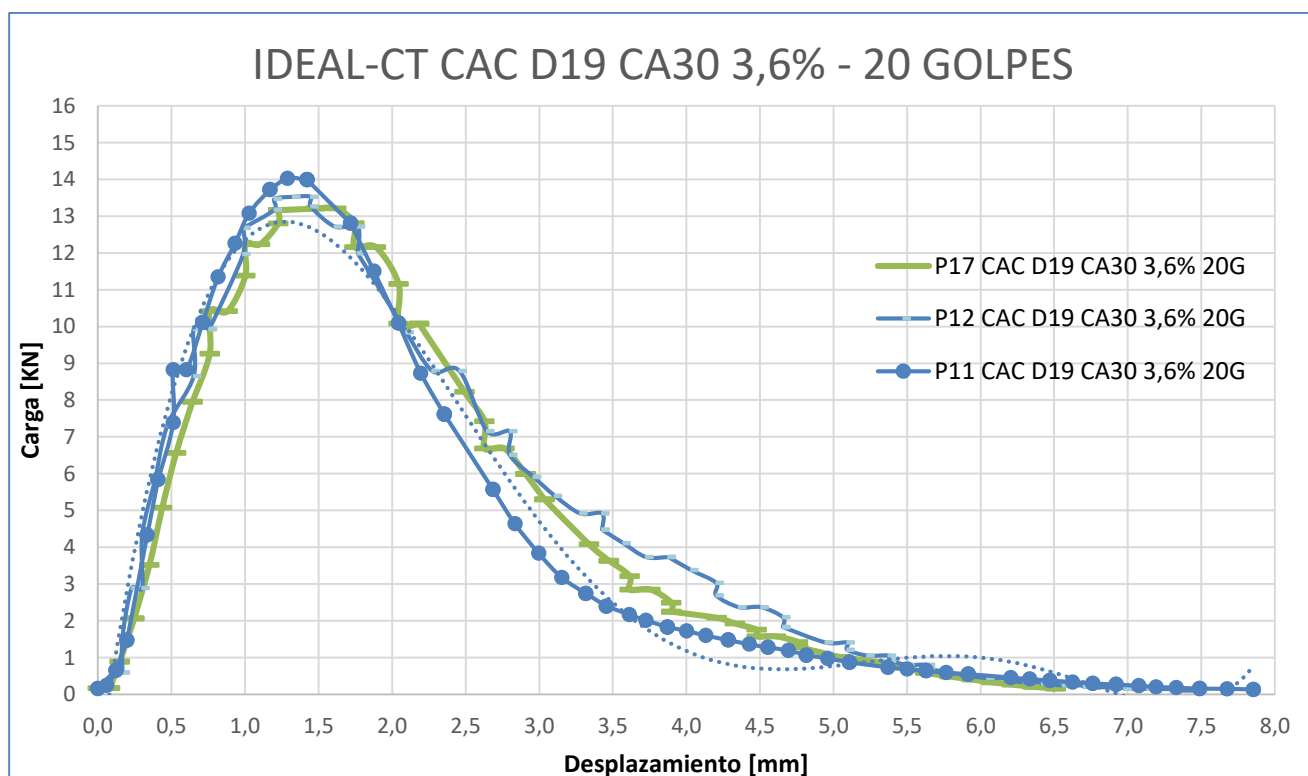


Figura 55 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 3,6% 20G

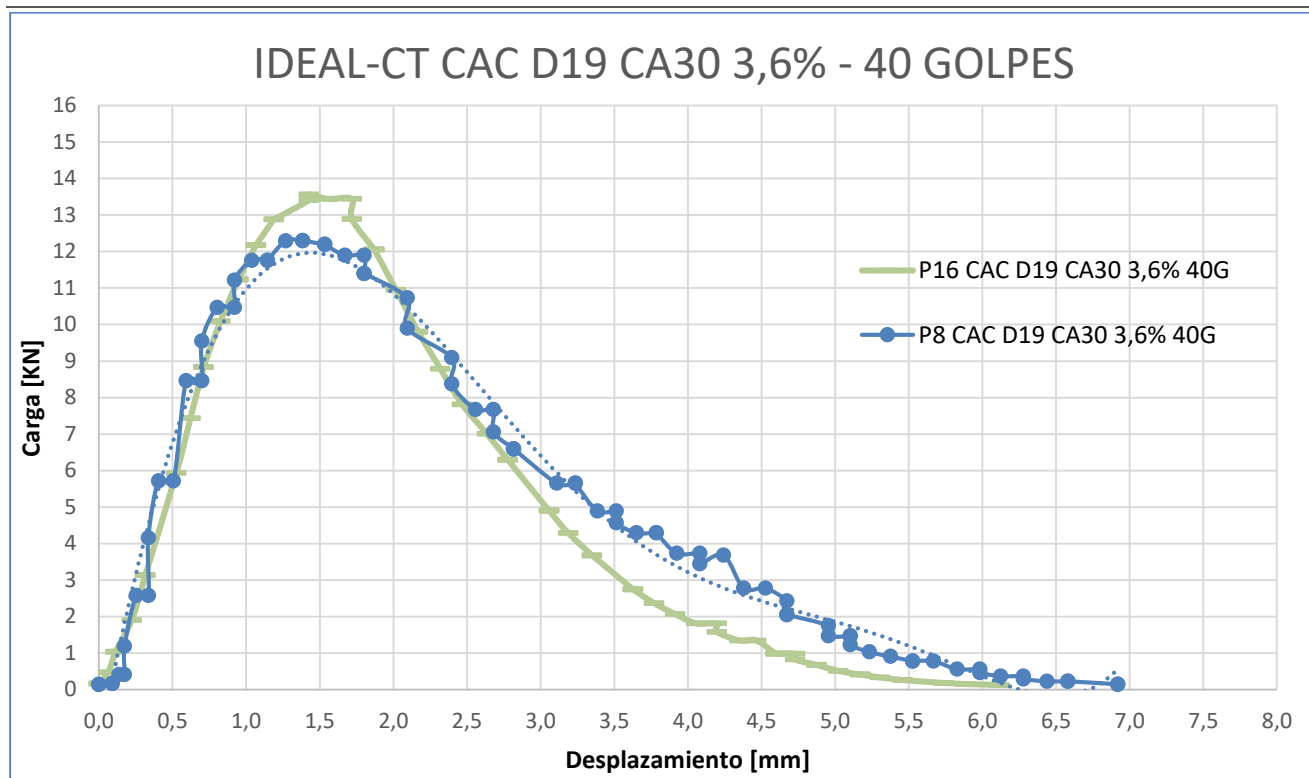


Figura 56 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 CA30 3,6% 40G

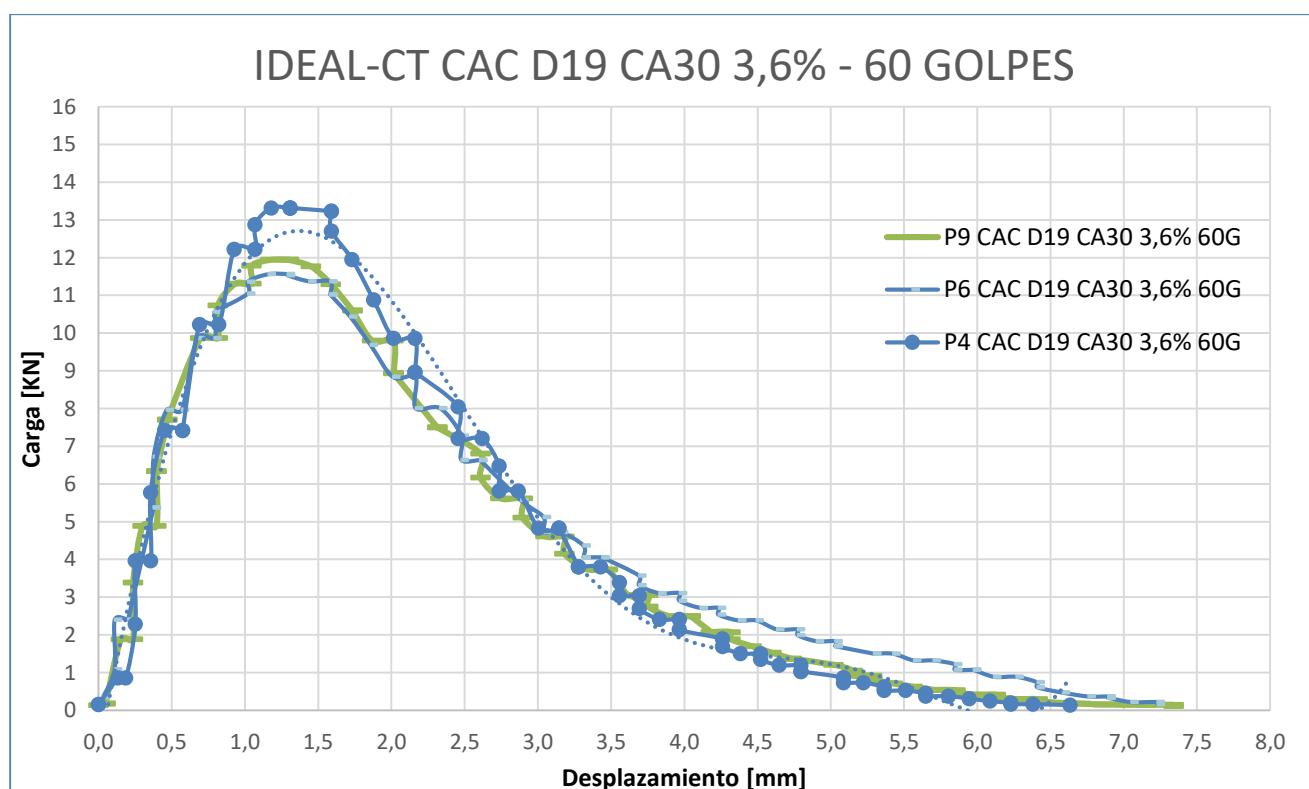
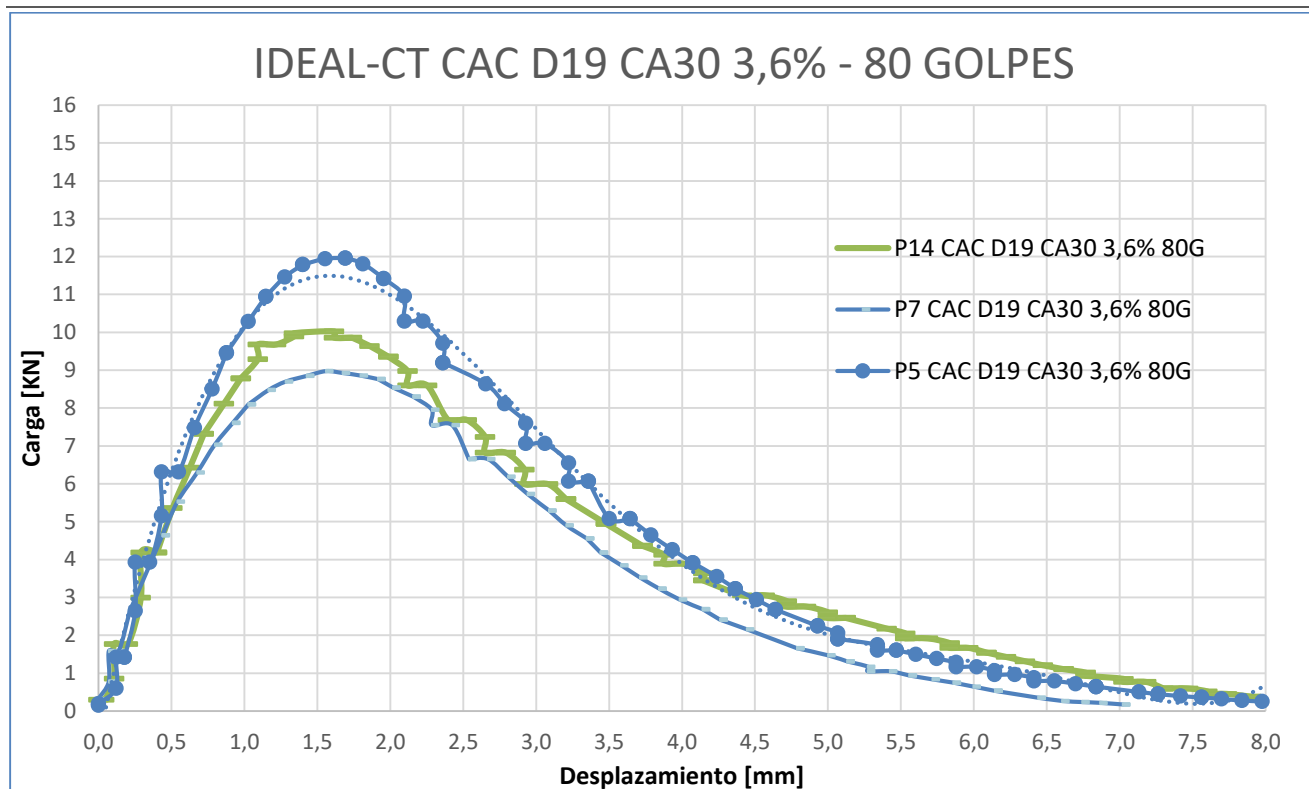
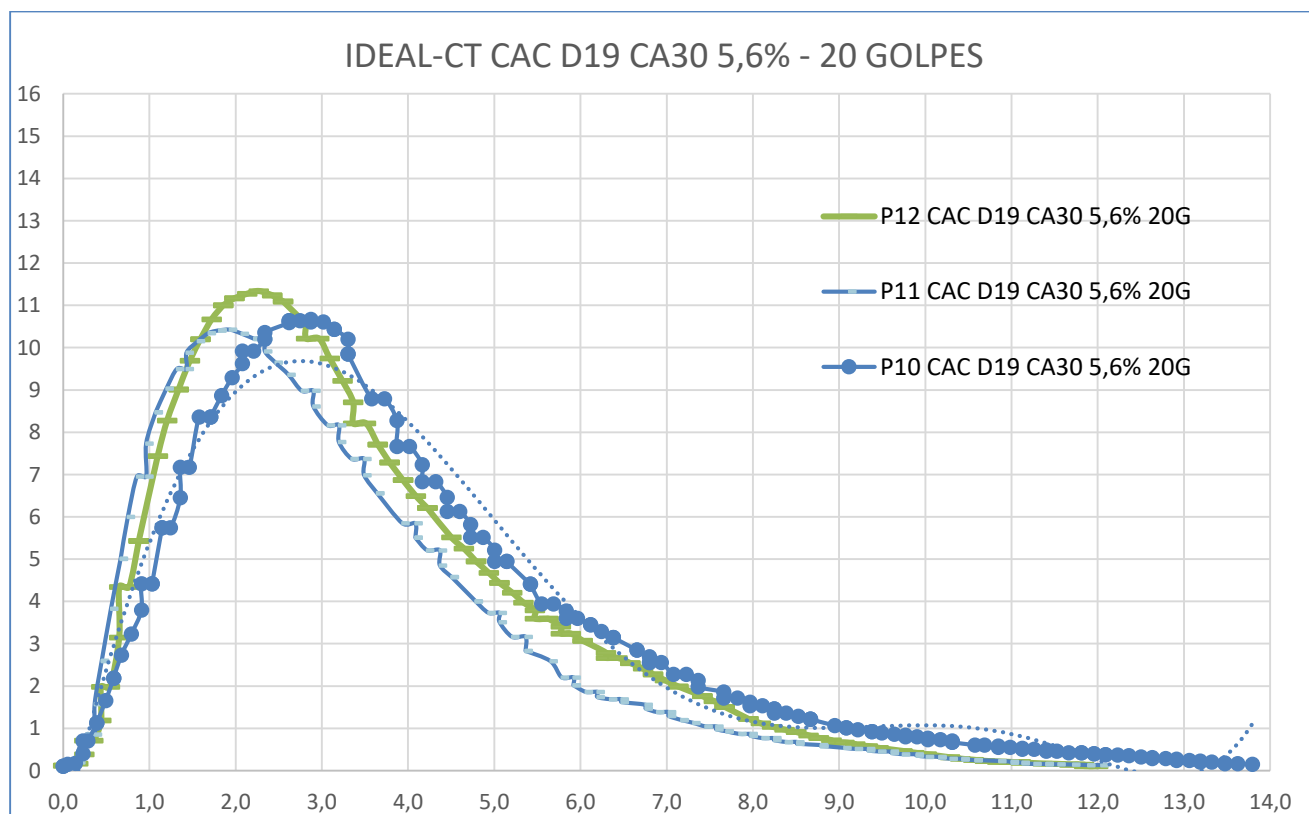


Figura 57 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 3,6% 60G

**Figura 58** - IDEAL-CT de probetas CAC D19 3,6% 80G

De manera análoga, se realizó la misma sensibilidad de energía de compactación, pero con contenido de ligante de 5,6%.

**Figura 59** - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 20G

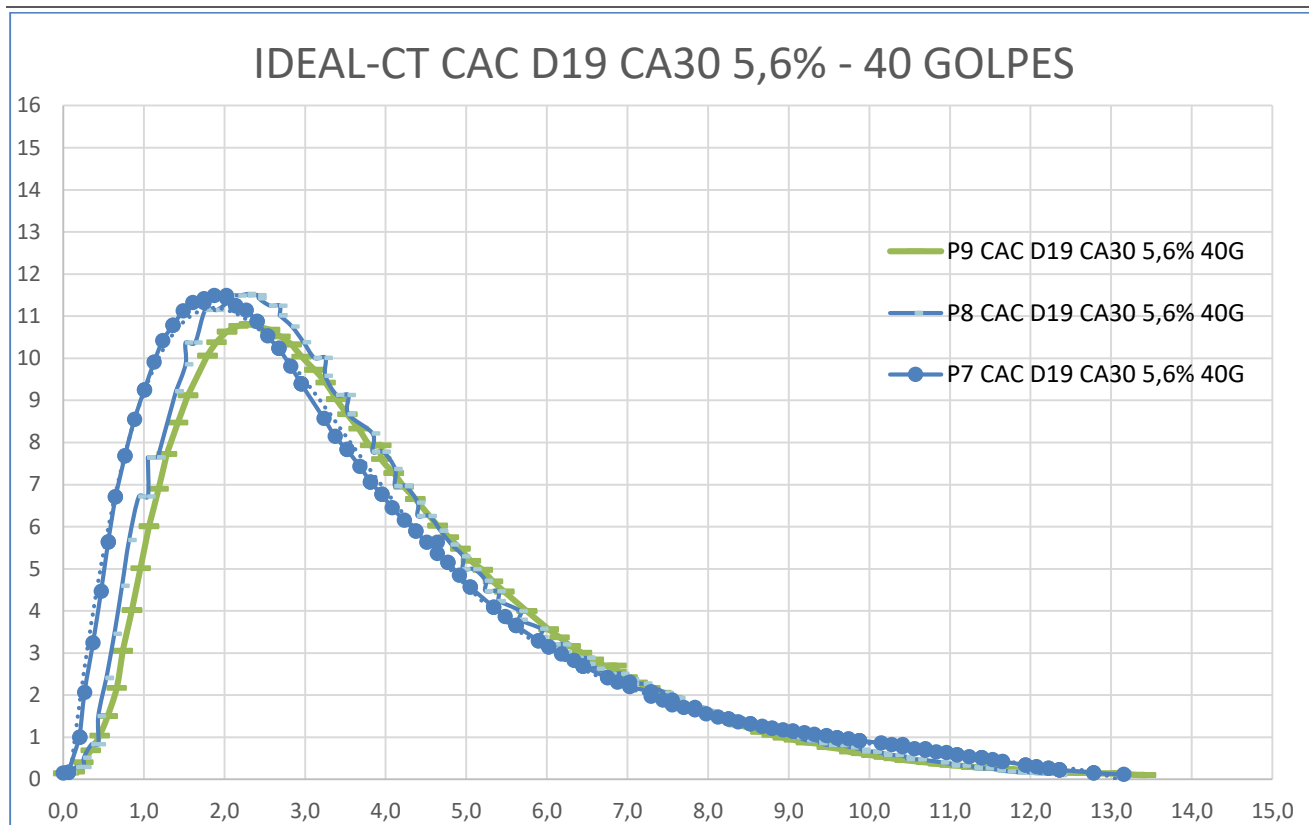


Figura 60 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 40G

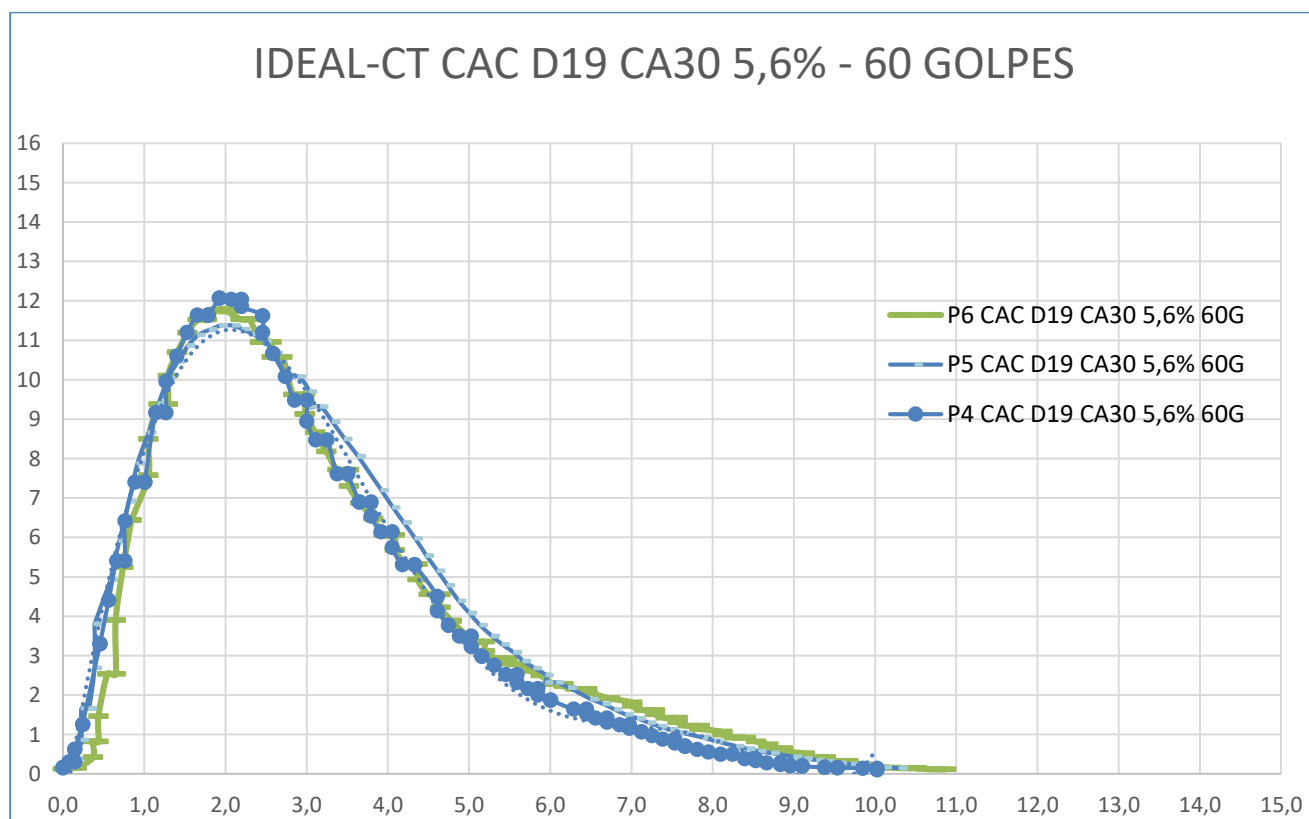
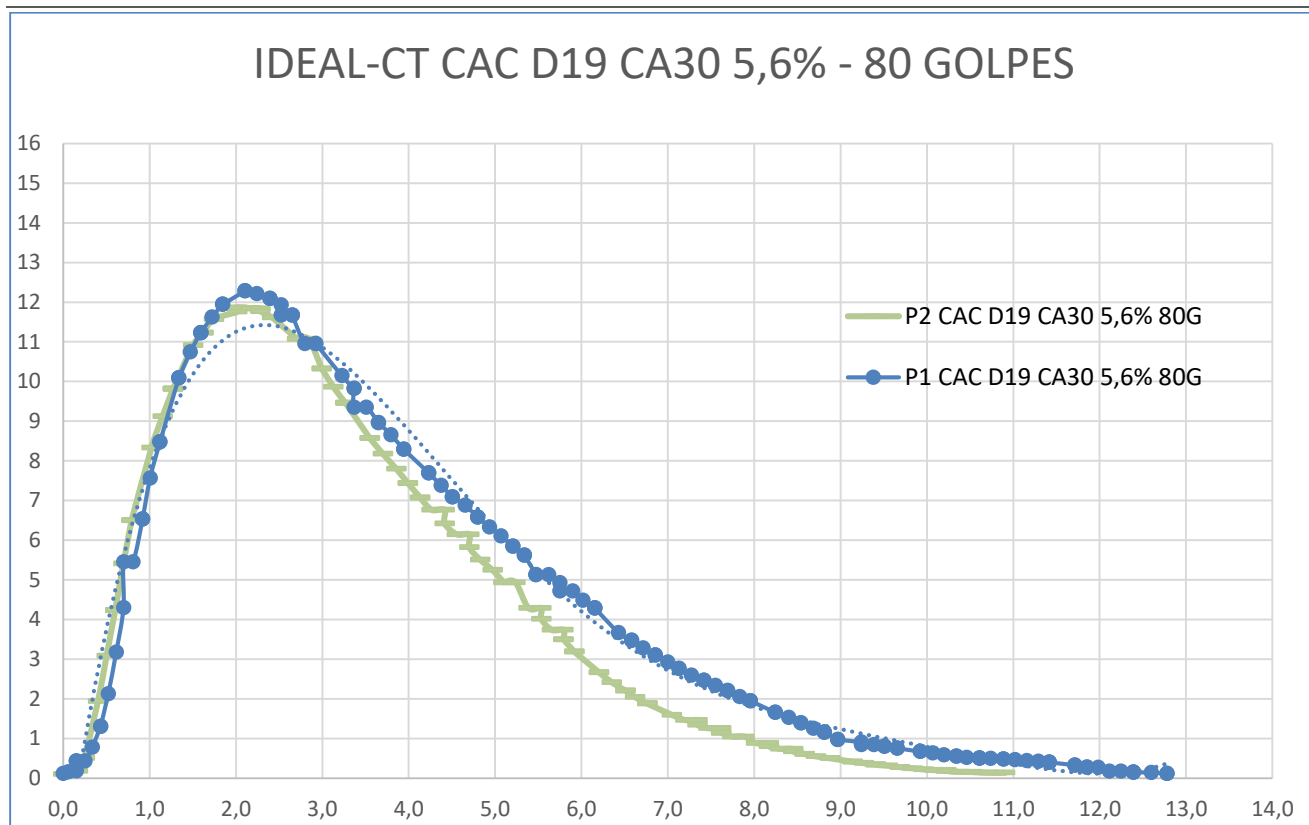


Figura 61 - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 60G

**Figura 62** - IDEAL-CT de probetas CAC D19 5,6% 80G

En dichas probetas se repite la tendencia de a mayor energía de compactación, menor cantidad de vacíos de aire y mejor comportamiento frente a las propiedades de fractura.

La siguiente tabla muestra los resultados individuales y promedio de cada tipo de mezcla ensayada con ligante convencional CA30. Respecto a la sensibilidad de la cantidad de ligante asfáltico, las mezclas moldeadas con 5,6% de CA30 arrojaron los mayores valores de CT Index triplicando los valores de las muestras de 3,6% y del contenido óptimo de ligante, inclusive son mayores que las moldeadas con ligante AM3 a contenido óptimo. Demostrando que la variable de mayor sensibilidad respecto a las propiedades de fractura es la cantidad de ligante asfáltico ya que rige el comportamiento a tracción de las mezclas asfálticas. En lo que refiere a la sensibilidad a los vacíos de aire, las mezclas con mayor energía de compactación han desarrollado mejor comportamiento frente a la fisuración. Los resultados expusieron la tendencia que las mezclas con menor contenido de vacíos obtienen mayores energías de fractura en el proceso de fractura.

Tabla 20 - Cálculo de CT Index probetas CAC D19 CA30 3,6%, 4,6% y 5,6%

Tipo de mezcla	VACIOS [%]	Carga Máx. [kN]	l_{75} :deformación vertical al PPP ₇₅ [mm]	$ m_{75} $ pendiente o módulo al PPP ₇₅ [N/m]	Gf: Energía de fractura [J/m ²]	CT Index	CT Index Promedio	COV CT Index
CA30 3,6% 20G	8,87	13,21	2,18	7,01	5125,41	16,96	14	29,6%
	8,85	13,52	2,23	7,99	5521,84	16,39		
	6,34	14,03	2,10	11,38	4909,87	9,39		
CA30 3,6% 40G	7,33	13,56	2,16	8,08	4911,16	13,61	17	25,2%
	6,76	12,30	2,37	6,77	5445,92	19,50		
CA30 3,6% 60G	6,34	11,94	2,10	6,19	4880,55	16,95	18	23,3%
	6,07	13,31	2,07	7,19	5071,66	14,75		
	6,38	11,56	2,09	4,81	5218,15	22,94		
CA30 3,6% 80G	5,58	8,97	2,60	3,75	4461,23	31,00	36	14,6%
	5,60	10,02	2,58	3,42	5416,50	41,24		
	5,09	11,96	2,55	4,31	5926,23	34,67		
CA30 4,6%	4,67	13,40	3,67	8,87	6207,39	25,88	18	27,9%
	4,47	13,82	2,66	7,37	6354,71	23,41		
	4,64	13,67	2,54	7,38	6164,86	21,30		
	4,76	13,89	2,53	7,59	5720,52	19,09		
	4,39	15,22	2,33	8,41	6757,76	18,71		
	4,43	13,57	2,64	9,78	5846,20	15,73		
	5,35	12,45	3,06	11,54	5332,80	14,33		
	4,53	15,67	2,18	10,39	5887,08	12,44		
	4,61	15,11	2,24	11,36	5582,92	11,08		
CA30 5,6% 20G	2,78	12,07	3,06	3,79	6795,71	55,02	67	24,3%
	3,01	11,38	3,48	3,01	7302,45	85,41		
	2,70	11,77	3,11	3,62	6941,82	60,26		
CA30 5,6% 40G	1,66	10,67	4,02	3,86	7614,32	77,58	72	7,8%
	1,71	10,42	3,31	2,97	6534,54	72,49		
	1,59	11,34	3,59	3,89	7376,94	66,36		
CA30 5,6% 60G	2,10	11,53	3,68	3,03	8039,63	96,76	90	7,1%
	1,26	11,87	3,50	3,17	7820,17	84,28		
	1,32	11,49	3,18	2,89	8183,76	88,09		
CA30 5,6% 80G	1,15	12,28	3,66	2,75	8867,35	115,00	107	10,0%
	1,23	10,81	3,93	2,93	7659,28	99,87		

8.4. Análisis de resultados

El procedimiento de ensayo IDEAL CT se repitió para cada una de las probetas moldeadas con las condiciones de vacíos de aire, contenido y tipo de ligante establecidas para validar la sensibilidad de la metodología. A continuación, se detallan los resultados promedios para cada una de las mezclas estudiadas.

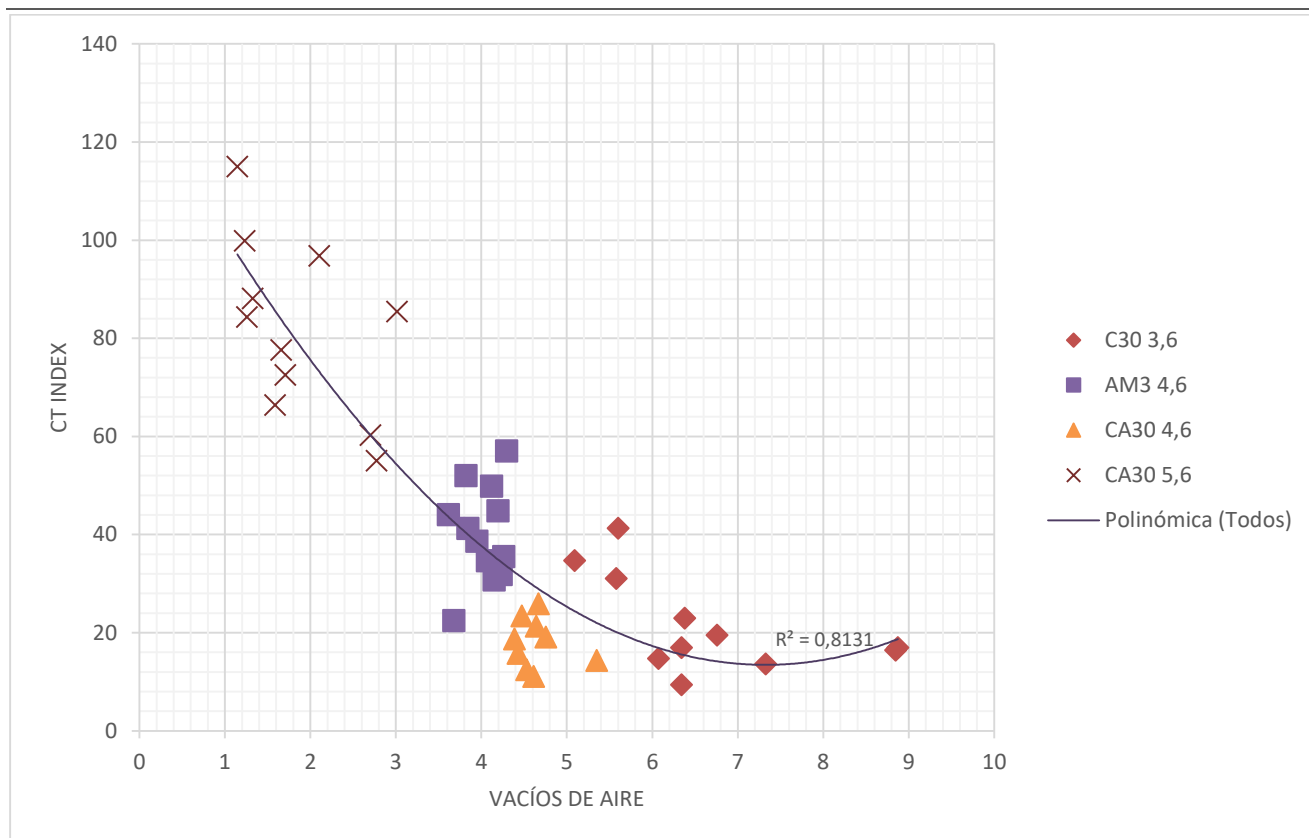
Tabla 21 - Resultados promedios del ensayo IDEAL-CT en las mezclas CAC D19 CA30

Tipo de mezcla	Vacíos	Carga Máx.	l 75 [mm]	m 75	Gf: [J/m ²]	CT Index	COV
CAC D19 CA30 3,6% 20G	8,02	13,587	2,170	8,792	5185,705	14,248	29,6%
CAC D19 CA30 3,6% 40G	7,04	12,933	2,265	7,426	5178,540	16,557	25,2%
CAC D19 CA30 3,6% 60G	6,26	12,272	2,088	6,063	5056,787	18,212	23,3%
CAC D19 CA30 3,6% 80G	5,42	10,319	2,574	3,828	5267,984	35,633	14,6%
CAC D19 CA30 4,6%	4,65	14,089	2,651	9,188	5983,804	17,997	27,9%
CAC D19 CA30 5,6% 20G	2,831	11,741	3,215	3,472	7013,325	66,897	24,3%
CAC D19 CA30 5,6% 40G	1,650	10,810	3,640	3,571	7175,266	72,143	7,8%
CAC D19 CA30 5,6% 60G	1,562	11,628	3,454	3,028	8014,522	89,709	7,1%
CAC D19 CA30 5,6% 80G	1,189	11,545	3,795	2,840	8263,315	107,434	10,0%

Tabla 22 - Resultados promedios del ensayo IDEAL-CT en la mezcla CAC D19 AM3

Tipo de mezcla	Vacíos	Carga Máx.	l 75 [mm]	m 75	Gf: [J/m ²]	CT Index	COV
CAC D19 AM3 4,6%	4,01	12,688	3,103	5,196	6482,487	40,257	24,6%

En la siguiente figura se observa la variación del CT Index en función de los vacíos de aire para cada tipo de mezcla ensayada. Se aprecia que las mezclas con mejores resultados de tolerancia a la fisuración han sido las que presentan mayor cantidad de ligante (1% superior al óptimo). Respecto de la energía de compactación, siempre las probetas con menores vacíos de aire han arrojado mejores valores del CT Index. Por el contrario, las probetas con la performance más bajas frente al fallo por fisuración ha sido la de menor cantidad de ligante (1% inferior al óptimo) y con mayor cantidad de vacíos.

**Figura 63 - Resultados de ensayo IDEAL-CT**

En la gráfica que se detalla a continuación, se observa que las probetas con mayores contenidos de vacíos de aire han arrojado los menores CT Index. Por otra parte, se detalla que el incremento del valor de deformación al 75% de la carga post-pico es muy sensible al aumento del CT Index, a mayor sea $I_{75\%}$, mejor será la tolerancia al desplazamiento de la mezcla y, por consiguiente, mayor ductilidad y aumenta la resistencia al agrietamiento.

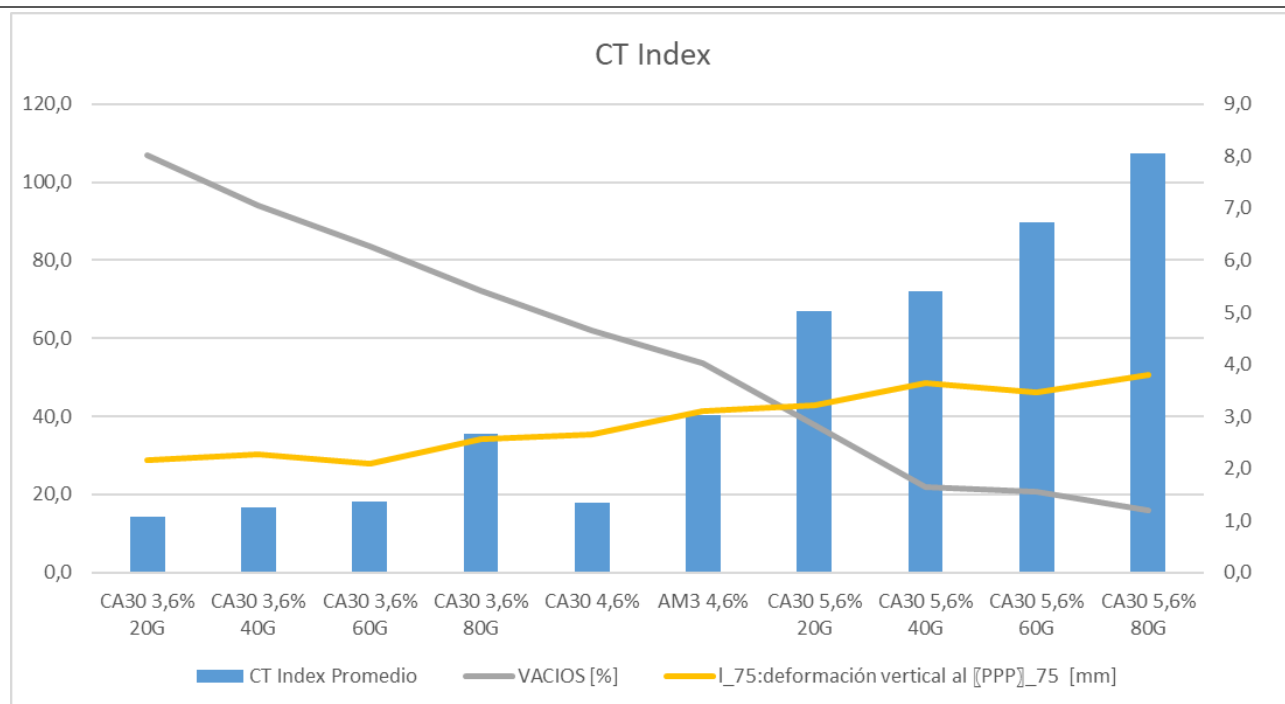
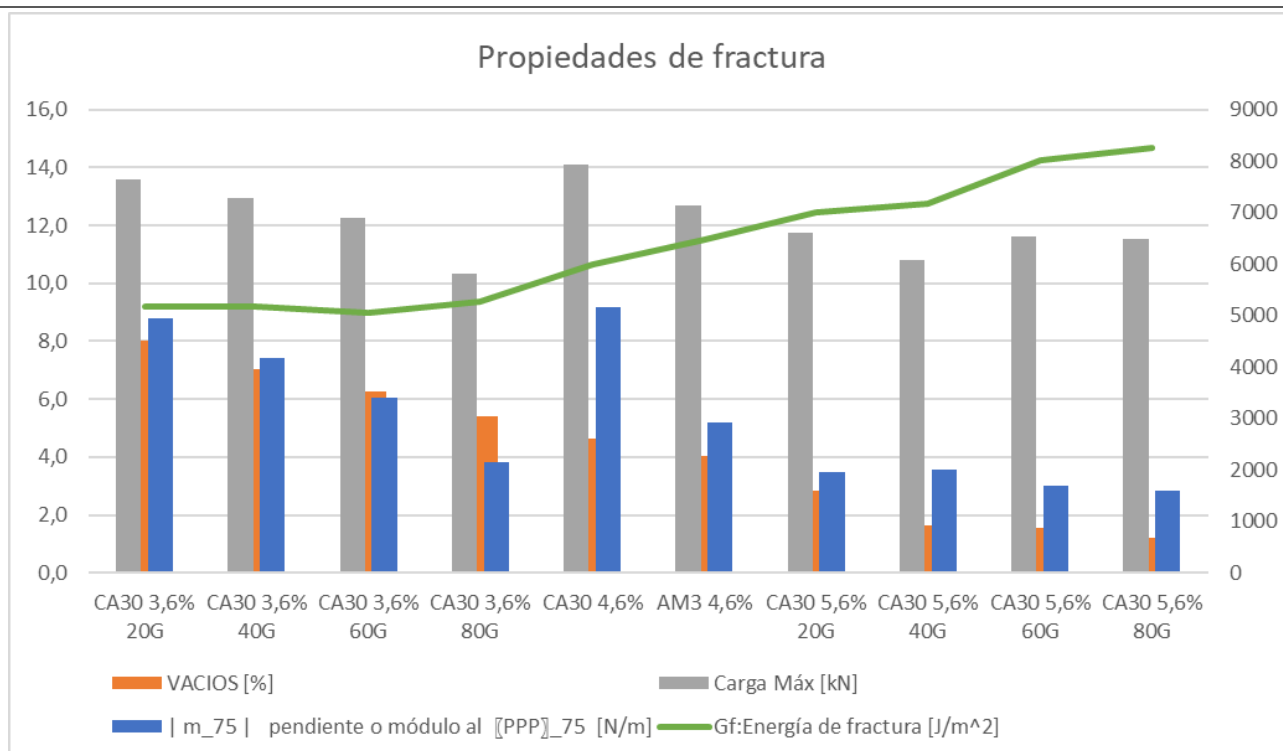


Figura 64 - Relación entre CT Index, vacíos de aire y longitud de deformación.

El IDEAL-CT es sensible al tipo de ligante asfáltico, ya que las probetas moldeadas con AM3 con contenido óptimo arrojaron resultados superiores de CT-Index que las CAC D19 CA30 con igual contenido óptimo. En el caso de comparar los resultados para el mismo tipo de ligante, el incremento del contenido de ligante afecta significativamente en la tolerancia a la fisuración ya que da las mayores tasas de crecimiento del CT Index.

Es importante destacar que el incremento de la tolerancia a la fisuración está dado por una mayor energía disipada en el proceso de fractura. En la figura siguiente se observa que las probetas que arrojaron mayores cargas máximas, presentan una mayor pendiente post-pico y, por ende, mayor módulo de rigidez y menor tolerancia a la fisuración. Mientras que las probetas que presentan mejor ductilidad son las que arrojaron menor módulo (baja pendiente en la curva post-pico) y mayor energía disipada, esto sucede tanto para las mezclas de AM3 como las de CA30 5,6%. Es interesante destacar que para las probetas con bajo contenido de ligante la pendiente post-pico disminuye proporcionalmente con la menor cantidad de vacíos o mayor energía de compactación, sin embargo, en el caso de contar con una mezcla con alto contenido de ligante (5,6%) el parámetro de la pendiente post-pico prácticamente no varía con la energía de compactación.

**Figura 65 - Análisis de propiedades de fractura**

9. CONCLUSIONES

9.1. Estado actual del arte en el diseño de mezclas asfálticas

La industria vial argentina ha experimentado una evolución significativa en los últimos años, particularmente en lo que respecta al diseño de mezclas asfálticas. Las medidas implementadas han tenido como objetivo principal la reducción del ahuellamiento, un problema que ha sido abordado con éxito a través de mayores exigencias en la calidad de los áridos, la adopción de criterios volumétricos para la elección del contenido óptimo de ligante asfáltico y verificación de fórmula de obra con ensayos de desempeño a altas temperaturas de servicio. Estas iniciativas han logrado minimizar significativamente el problema de las deformaciones permanentes en los pavimentos.

Sin embargo, este enfoque en la reducción del ahuellamiento ha traído consigo consecuencias no previstas. Las mezclas resultantes tienden a tener un menor contenido de ligante asfáltico y una mayor rigidez, lo que podría aumentar su susceptibilidad a la fisuración temprana. Esta situación ha puesto de manifiesto la necesidad de un enfoque más equilibrado en el diseño de mezclas asfálticas, que considere no solo la resistencia a la deformación permanente, sino también las propiedades de fractura y fatiga.

En el ámbito internacional, particularmente en Estados Unidos, se observa una tendencia hacia la aplicación de especificaciones de desempeño para las mezclas asfálticas. El concepto de Diseño Balanceado de Mezclas ha ganado terreno, buscando un equilibrio entre la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fractura. Este enfoque integral responde a la realidad de que la fatiga es uno de los deterioros más frecuentes en los pavimentos y un criterio fundamental en el dimensionamiento del paquete estructural.

En Argentina, los criterios de diseño del PETG de la DNV 2017 han avanzado en la inclusión de verificaciones mecánicas a altas temperaturas. No obstante, aún existe una brecha significativa en lo que respecta a la evaluación de las propiedades de fractura a bajas temperaturas y la fatiga de la mezcla asfáltica. La complejidad y el largo tiempo de ejecución de los ensayos de fatiga tradicionales han sido obstáculos para su inclusión en los procesos de diseño rutinarios.

9.2. Conclusiones experimentales del ensayo IDEAL-CT

En este contexto, el ensayo IDEAL-CT (Indirect Tensile Asphalt Cracking Test) emerge como una metodología prometedora para evaluar la mecánica de fractura en mezclas asfálticas. Este ensayo se distingue por su simplicidad y eficiencia, prescindiendo de procesos complejos como instrumentación, corte o adhesión de la probeta. Su ejecución requiere una formación mínima y puede completarse en menos de un minuto utilizando equipos estándar de resistencia a la tracción indirecta, lo que lo hace particularmente atractivo para su implementación en procesos de control de calidad rutinarios.

Los resultados experimentales han demostrado que el IDEAL-CT es sensible a factores clave como el tipo de ligante asfáltico, el contenido de ligante y los vacíos de aire, propiedades fundamentales que rigen el comportamiento a fractura de la mezcla asfáltica. El ensayo ha mostrado un coeficiente de variación (COV) generalmente menor al 25%, lo cual es favorable en comparación con los ensayos tradicionales de fatiga con carga dinámica.

Si bien la presente investigación ha demostrado de manera concluyente que el ensayo IDEAL-CT es sensible al tipo de ligante y el contenido de vacíos de las mezclas estudiadas, es importante reconocer que esta

sensibilidad, aunque necesaria, no constituye por sí sola una validación completa del ensayo como indicador efectivo de la resistencia al fallo por fisuración de las mezclas asfálticas. Para establecer esta validación de manera definitiva, se requiere una investigación más exhaustiva que incluya correlaciones directas con el desempeño en campo y comparaciones sistemáticas con métodos de ensayo ya validados.

Un hallazgo significativo de este estudio es la importancia de evaluar todo el proceso de deformación, especialmente el comportamiento post-pico, para comprender verdaderamente la resistencia a la fisuración de las mezclas asfálticas. Los resultados indican que las mezclas con mejor ductilidad, no necesariamente las que admiten mayores cargas de rotura, muestran un mejor comportamiento de tolerancia a la fisuración. Esto pone en cuestión la validez de los ensayos de carga estática que solo consideran las cargas máximas de rotura en el análisis del fallo por fisuración.

Las correlaciones observadas en el estudio son prometedoras y sugieren un potencial significativo del ensayo. Se ha encontrado que una mayor pendiente post-pico y un mayor módulo se asocian con mezclas más frágiles y menor resistencia a la fisuración. Por otro lado, una mayor deformación al 75% de la carga post-pico indica una mejor tolerancia al desplazamiento y una mejor resistencia al agrietamiento. Además, las mezclas con mayor energía de fractura han presentado la mejor resistencia a la fisuración.

El potencial del ensayo IDEAL-CT para ser implementado en la verificación mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas es evidente. Podría complementar eficazmente el diseño balanceado de mezclas asfálticas vigente en Argentina, abordando específicamente el problema del agrietamiento y contribuyendo a un enfoque más integral en el diseño de mezclas asfálticas.

Sin embargo, es importante reconocer las limitaciones del estudio actual y las necesidades de investigación futura. La validación completa del ensayo requiere una investigación más exhaustiva, que incluya comparaciones con otras técnicas de laboratorio y observaciones de campo en tramos construidos. Es necesario ampliar los tipos de mezclas asfálticas evaluadas y realizar correlaciones con leyes de fatiga establecidas. Además, se requiere investigar la influencia de diferentes condiciones climáticas y energías de compactación en los resultados del ensayo.

Antes de su adopción generalizada, es crucial desarrollar estudios de costo-beneficio y análisis de ciclo de vida para determinar el valor añadido del IDEAL-CT en el proceso de diseño y control de calidad de mezclas asfálticas. También se sugiere explorar la combinación del IDEAL-CT con otras técnicas de ensayo para obtener una caracterización más completa del comportamiento a fatiga de las mezclas asfálticas.

Para establecer definitivamente la validez del ensayo IDEAL-CT como indicador efectivo de la resistencia al fallo por fisuración, se requieren tres acciones concretas prioritarias. En primer lugar, es fundamental implementar programas de seguimiento a largo plazo de tramos construidos con mezclas previamente caracterizadas mediante IDEAL-CT, estableciendo correlaciones cuantitativas directas entre los parámetros del ensayo y el desempeño real de los pavimentos. Esta validación de campo debe incluir al menos cinco años de monitoreo bajo diferentes condiciones de tráfico y clima, documentando sistemáticamente la aparición y evolución del agrietamiento para correlacionarlo con los índices CT Index y energía de fractura obtenidos en laboratorio.

La segunda acción prioritaria consiste en realizar estudios comparativos sistemáticos entre los resultados del IDEAL-CT en un interlaboratorio a nivel nacional para poder garantizar la repetibilidad y reproducibilidad del ensayo. Además, puede analizarse la posibilidad de elaborar una normativa a nivel nacional con las condiciones locales del país. Por otro lado, a nivel laboratorio también deben llevarse a cabo investigaciones de contraste

con métodos de ensayo ya validados, particularmente ensayos de fatiga por flexión en cuatro puntos y ensayos de tracción directa cíclica. Esta validación indirecta debe generar correlaciones que permitan traducir los parámetros del IDEAL-CT a las leyes de fatiga establecidas, proporcionando así un marco de referencia confiable para la interpretación de los resultados del ensayo.

Finalmente, es imprescindible desarrollar criterios de aceptación específicos y valores umbrales que permitan clasificar objetivamente las mezclas como resistentes o susceptibles al agrietamiento. Estos criterios deben integrar los diferentes parámetros del IDEAL-CT (CT Index, energía de fractura, pendiente post-pico) en un sistema de evaluación claro que pueda ser incorporado directamente en las especificaciones técnicas del diseño balanceado de mezclas asfálticas vigente en Argentina.

En conclusión, mientras el ensayo IDEAL-CT muestra un gran potencial para complementar y mejorar el diseño de mezclas asfálticas en Argentina, se reconoce la necesidad de una investigación más exhaustiva y a largo plazo para validar completamente su eficacia y aplicabilidad en diversos contextos y condiciones. La implementación de este ensayo podría representar un paso significativo hacia un enfoque del diseño balanceado en el diseño de mezclas asfálticas en Argentina, equilibrando la resistencia a la deformación permanente con la resistencia a la fisuración, y contribuyendo así a la construcción de pavimentos más duraderos y eficientes.

En último lugar, se deja constancia que los resultados obtenidos en esta investigación han sido difundidos en el ámbito académico internacional mediante la presentación del trabajo "Análisis del ensayo IDEAL-CT como potencial verificación mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas densas" en el XXII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA) 2024 celebrado en Granada, España. Esta publicación constituye un sumario de los puntos principales de la presente tesis y representa un primer paso en la divulgación de la metodología propuesta. (J. González Burón, 2024)

Otro aporte efectuado, es que se ha incorporado el ensayo IDEAL CT en los parámetros de diseño de los Pliegos de Especificaciones Técnicas Generales de mezclas asfálticas calientes y semicalientes de las obras de Aeropuertos Argentina. Esto permite ir generando una base de datos de los resultados obtenidos e ir monitoreando los parámetros del ensayo que se obtienen con distintos tipos de mezclas y diversos agregados en las regiones del país.

10. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

Las futuras líneas de investigación para la validación del ensayo IDEAL-CT se centran en dos aspectos fundamentales: la ampliación del alcance de los estudios y la profundización en la validación tanto directa como indirecta del método. Estas líneas buscan abordar las limitaciones actuales y expandir la aplicabilidad del ensayo en diversos contextos y tipos de mezclas asfálticas.

En primer lugar, se propone una expansión significativa de los tipos de mezclas asfálticas evaluadas, más allá de las consideradas en la etapa experimental de esta tesis. Además, se enfatiza la importancia de correlacionar los resultados del IDEAL-CT con las leyes de fatiga establecidas, así como la necesidad de investigar más a fondo la influencia de factores como la energía de compactación o la temperatura de ensayo. Estas líneas de investigación tienen como objetivo proporcionar una validación más robusta y completa del ensayo IDEAL-CT, mejorando su confiabilidad y aplicabilidad en el diseño y evaluación de mezclas asfálticas.

A continuación, se detallan las líneas de investigación propuestas:

Ampliación del estudio de sensibilidad

- Investigar la influencia de otros factores en los resultados del IDEAL-CT, como la temperatura de ensayo, la velocidad de carga, y el envejecimiento del asfalto.
- Evaluar la sensibilidad del ensayo IDEAL-CT con una gama más amplia de mezclas asfálticas, incluyendo mezclas de alto rendimiento.

Estandarización y optimización del ensayo

- Trabajar en la estandarización del procedimiento IDEAL-CT para facilitar su adopción generalizada.
- Investigar posibles modificaciones al ensayo para mejorar su representatividad y eficiencia.

Estudios de correlación con otros parámetros de diseño

- Analizar la relación entre los resultados del IDEAL-CT y otros parámetros de diseño de mezclas asfálticas, como la resistencia a la deformación permanente.

Investigación sobre la aplicabilidad en diferentes condiciones climáticas

- Evaluar la efectividad del IDEAL-CT para predecir el comportamiento a fatiga en diferentes zonas climáticas.
- Desarrollar factores de corrección o adaptaciones del ensayo para su uso en diversas condiciones ambientales.

Validación de leyes de fatiga

- Llevar a cabo correlaciones exhaustivas entre los resultados del IDEAL-CT y las leyes de fatiga establecidas para diversos tipos de mezclas asfálticas.
- Desarrollar y validar nuevas leyes de fatiga basadas en los resultados del IDEAL-CT para diferentes tipos de mezclas asfálticas.

Investigación sobre la influencia de la energía de compactación

- Profundizar en el análisis de la influencia de diferentes energías de compactación en los resultados del IDEAL-CT, expandiendo el estudio iniciado.
- Investigar cómo la energía de compactación afecta la correlación entre los resultados del IDEAL-CT y el comportamiento a fatiga en campo.
- Desarrollar recomendaciones para la selección óptima de la energía de compactación en el ensayo IDEAL-CT para diferentes tipos de mezclas asfálticas.

Validación directa del ensayo IDEAL-CT

- Realizar estudios comparativos entre los resultados del IDEAL-CT y otras técnicas de laboratorio establecidas para evaluar la fatiga en mezclas asfálticas.
- Desarrollar proyectos de investigación a largo plazo que incluyan la observación y seguimiento de tramos de carretera construidos, correlacionando su desempeño con los resultados del IDEAL-CT.
- **Establecer criterios de aceptación específicos y valores umbrales que permitan clasificar objetivamente las mezclas como resistentes o susceptibles al agrietamiento. Estos criterios deben integrar los diferentes parámetros del IDEAL-CT (CT Index, energía de fractura, pendiente post-pico).**

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, J. (2006). *Estudio del proceso de deformación y agrietamiento por fatiga de mezclas bituminosas sometidas a carga cíclica*. Barcelona: Tesis Doctoral, Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, España.
- Aschenbrener, T. (2016). *Case Histories of Setting the Job Mix Formula with a Balanced Mix Design Compared to a Volumetric Mix Design*. Dartmouth, MA: Slide from 2016 Presentation of Balanced Mix Design to FHWA Mix ETG.
- Asphalt Institute. (2007). *Hot Mix Asphalt (HMA) Design*. USA: The Asphalt Handbook, Seventh Edition.
- ASTM Standar D8225-19. (2020). *Standard Test Method for Determination of Cracking Tolerance Index of Asphalt Mixture Using the Indirect Tensile Cracking Test at Intermediate Temperature*¹. West Conshohocken, USA: ASTM.
- Baaj H., H. D. (2005). Effect of Binder Characteristics on Fatigue of Asphalt Pavement Using an Intrinsic Damage Approach. *Road Materials and Pavement Design*. Vol. 6, Nº 2, pp. 147-174.
- Batioja-Alvarez D., L. J. (2019). *Understanding the Illinois Flexibility Index Test (I-FIT) using Indiana Asphalt Mixtures*. Washington, D.C.: Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.
- Carpenter, S. (2006). *Fatigue Performance of IDOT Mixtures*. Illinois: Research Report FHWA-ICT-07-007, Illinois Center for Transportation, USA.
- Cepeda, J. (2002). *Análisis del Comportamiento de Mezclas Asfálticas a Fisuración por Fatiga Mediante la Aplicación de un Nuevo Ensayo Dinámico a Tracción Directa*. Barcelona: Tesis Doctoral, Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Di Benedetto H., D. L. (2003). Fatigue of Bituminous Mixtures: Different Approaches and RILEM Group Contribution. *Sixth International RILEM Symposium on Performance Testing and Evaluation of Bituminous Materials*, pp. 15 – 38.
- Dirección Nacional de Vialidad. (2017). *Pliego de Especificaciones Técnicas Generales para Concretos Asfálticos en Caliente y Semicaliente del tipo Densos*. Buenos Aires, Argentina: Dirección Nacional de Vialidad, Ministerio de Transporte.
- Dirección Nacional de Vialidad. (2019). *Guía de Buenas Prácticas para el Control de Calidad de Mezclas Asfálticas y Aplicaciones Bituminosas*. Buenos Aires, , Argentina: Ministerio de Transporte.
- Fonseca F., S. J. (2020). *Generalidades de la metodología de Diseño balanceado de mezcla asfáltica (BMD)*. Costa Rica: Boletín Técnico PITRA-Lanamme UCR. Volumen 11, Nº7.
- Gómez López J., F. M. (2016). *Nuevo criterio de Análisis para pruebas de fatiga en mezclas asfálticas*. México: Instituto Mexicano del Transporte.
- Gonzalez Herrera D., V. H. (2019). *“Construcción de carreteras sostenibles. Módulo Nº1, Las Fisuras*. Buenos Aires: Banco de Desarrollo de América Latina, CAF.

- Hasan O., I. L. (2007). *Evaluation of I-FIT Results and Machine Variability using MnRoad Test Track Mixtures*. Illinois: Research Report No. FHWA-ICT-17-012, Illinois Center for Transportation.
- Hernández, J. (2009). *Estudio de la Cohesión y la Tenacidad del Betún y su Posible Efecto en el Comportamiento a Fatiga de la Mezcla*. Barcelona: Tesis Doctoral, Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Huang B., E. B. (2004). *Laboratory Study of Fatigue Characteristics of HMA Surface Mixtures Containing RAP*. Washington, D.C., USA: Transportation Research Board, TRB Annual Meeting.
- J. González Burón, A. B. (2024). *Análisis del ensayo IDEAL-CT como potencial verificación mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de mezclas asfálticas densas*. Granada, España: XXII Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto (CILA) 2024.
- Jajliardo, A. (2003). *Development of Specification Criteria to Mitigate Top-Down Cracking*. Florida, USA: Master Thesis of Engineering, University of Florida.
- Karihaloo, B. (1995). *Fracture Mechanics and Structural Concrete*. New York, USA: Longman Scientific and Technical Publisher.
- Kim Y., N. K. (1992). *Effects of Aggregate Type and Gradation on Fatigue and Permanent Deformation of Asphalt Concrete, Effects of Aggregates and Mineral Fillers on Asphalt Mixture Performance*. USA: ASTM STP 1147, American Society for Testing Materials.
- Koh C., G. L. (2009). Development of a Dog-Bone Direct Tension Test (DBDT) for asphalt concrete. *Advanced Testing and Characterization of Bituminous Materials, Vol.1*, pp. 585-596.
- Li X., A. B. (2008). Effect of Factors Affecting Fracture Energy of Asphalt Concrete at Low Temperature. *Third EATA conference 2008, Road Materials and Pavement Design*, pp. 397-416.
- Matthew Witczak, M. M. (2013). *Validating an Endurance Limit for HMA Pavements: Laboratory Experiment and Algorithm Development*. Maryland: Project No. NCHRP 9-44 A.
- Molenaar A., A. S. (2002). Semi-Circular Bending Test; Simple but Useful? *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 71*, pp. 795-815.
- Mukristu Nsengiyumva G., Y.-R. K. (2020). *Feasibility and Implementation of Balanced Mix Design in Nebraska*. Nebraska, Lincoln: Department of Civil and Environmental Engineering, University of Nebraska-Lincoln.
- Newcomb, D. y. (2018). *Balanced Design of Asphalt Mixtures*. St. Paul, Minnesota, United States: Minnesota Department of Transportation Research Services and Library.
- Oller, S. (2001). *Fractura Mecánica. Un Enfoque Global*. Barcelona, España: Centro Internacional de Métodos Numéricos, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Palacios Maldonado, J. (2005). *Estudio comparativo de pruebas de fatiga dinámicas y pruebas de tracción indirectas bajo cargas monotónicas en mezclas asfálticas*. Guayaquil, Ecuador: Tesis de grado. Facultad de Ingeniería.

- Páredes Chérez L., R. O. (2014). Comportamiento de mezclas asfálticas densas a partir del ensayo de viga semicircular simplemente apoyada. *Tecnura*, Vol. 18, pp. 103-119.
- Pérez F., M. R. (2005). *Caracterización de los ligantes bituminosos a partir de su tenacidad y energía de rotura*. San José, Costa Rica: XIII Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.
- Pérez F., M. R. (2007). *Nuevo Procedimiento de Ensayo para Evaluar la Tenacidad de las Mezclas Bituminosas*. Buenos Aires: Revista Carreteras, Nº 153.
- Reyes, O. (2009). *Análisis del Fallo a Fatiga de los Ligantes Hidrocarbonados: Parámetros que Definen su Comportamiento*. Barcelona: Tesis Doctoral, Escuela de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Salvador Franco, W. (2012). *Análisis del comportamiento a fatiga de las mezclas bituminosas a partir del nuevo procedimiento de ensayo EBADE*. Barcelona: Tesis Maestría. Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Sengoz B., E. A. (2007). Effect of Asphalt Film Thickness on the Moisture Sensitivity Characteristics of Hot-Mix Asphalt. *Building and Environment*, Nº 42, pp. 3621–3628.
- Shah S., S. S. (1995). *Fracture Mechanics of Concrete, Applications of Fracture Mechanics to Concrete, Rock and Other Quasi-Brittle Materials*. New York, USA: Wiley-Interscience Publication.
- Valdés Vidal, G. A. (2011). *Evaluación del proceso de fisuración en las mezclas bituminosas mediante el desarrollo de un nuevo ensayo experimental – Ensayo Fénix –*. Barcelona: Tesis Doctoral. Escuela de Caminos Canales y Puertos de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Wagoner M., W. B. (2005). Investigation of The Fracture Resistance of Hot-mix Asphalt Concrete Using a Disk-Shaped Compact Tension Test. *Transport Research Record*, Vol. 1929, pp 183-192.
- West R., R. C. (2018). *Development of a Framework for Balanced Mix Design.* . USA: Proyecto NCHRP 20-07/Task 406. .
- Witczak M., M. M. (2013). *Validating an Endurance Limit for HMA Pavements: Laboratory Experiment and Algorithm Development*. Washington, D. C.: National Cooperative Highway Research Program, Transportatio Research Board, Annual Meeting.
- Zhou, F. I. (2017). Development of an IDEAL Cracking Test for Asphalt Mix Design and QC/QA. *Road Materials and Pavement Design*, Vol 18, Supplement 4, pp. 405–427.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
Maestría en Ingeniería Vial

ANEXO I

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

**Análisis del ensayo IDEAL-CT como potencial verificación
mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de
mezclas asfálticas densas contemplado en el PETG de la
DNV 2017**

Alumno: Ing. GONZALEZ BURÓN Joaquín

Director: Ing. CAMPANA Juan Manuel

Co-Director: Ing. BISIO Alejandro

Fecha: Marzo 2025

Peso específico aparente y absorción de agregados pétreos finos.
VN - E14 - 67

Material	0-6	
Muestra	1	2
ms la masa en aire de la muestra en condición saturada y de superficie seca [gr]	503,2	
m la masa en aire de la muestra secada en estufa [gr]	502,2	
V el volumen del matraz (500 cm)	500,0	
Va el volumen de agua incorporado al matraz, en centímetros cúbicos;	312,2	
m1 la masa del conjunto (matraz más agregado), determinada según 6.1.1, en	665,8	
m2 la masa del conjunto (matraz más agregado más agua), determinada según 6.1.2,	977,4	
Temperatura del ensayo	20,0	
da la densidad del agua a 20 °C, en gramos por centímetro cúbico.	0,9982	
d1 la densidad relativa real a (20/20) °C;	2,693	
d2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;	2,678	
d3 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado sss;	2,684	
A la absorción de agua, en por ciento;	0,20%	
7.1.1 Densidad relativa real	$d_1 = \frac{m}{d_a \cdot (V - V_a) - (m_s - m)}$	= 2,693 Kg/dm³
7.1.2 Densidad relativa aparente del agregado seco	$G_{sb} = d_2 = \frac{m}{d_a \cdot (V - V_a)}$	= 2,678 Kg/dm³
7.1.3 Densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca	$d_3 = \frac{m_s}{d_a \cdot (V - V_a)}$	= 2,684 Kg/dm³
7.3 Absorción	$A = \frac{m_s - m}{m}$	= 0,2 %

VN-E15-89 / IRAM 1520

PESO ESPECÍFICO APARENTE		
PESO (GRS)	58,9	
VOLUMEN INICIAL (CM3)	0,9	
VOLUMEN FINAL (CM3)	21,7	
P.E.A. [gr/cm³]	2,831	
P.E.A. [gr/cm³]	=	2,831 Kg/dm³

Peso específico aparente y absorción de agregados petreos gruesos.
VN - E13 - 67

Material	6-12	6-12
Muestra	1	1
m_a la masa en agua de la muestra, en gramos	1359,80	1319,80
m la masa en aire de la muestra secada, en estufa, en gramos.	2144,90	2077,40
m_s la masa en aire de la muestra en condición s.s.s, en gramos	2152,10	2085,60
d_1 la densidad relativa real (20/20) °C	2,732	2,742
d_2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;	2,707	2,713
d_2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;	2,716	2,723
A la absorción de agua, en por ciento;	0,34%	0,39%

7.1 Densidad relativa real	$d_1 = \frac{m}{m - m_a}$	= 2,742 Kg/dm³
7.2 Densidad relativa aparente del agregado seco	$G_{sb} = d_2 = \frac{m}{m_s - m_a}$	= 2,713 Kg/dm³
7.3 Densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca	$d_3 = \frac{m_s}{m_s - m_a}$	= 2,723 Kg/dm³
7.5 Absorción	$A = \frac{m_s - m}{m}$	= 0,39 %

Peso específico aparente y absorción de agregados petreos gruesos.
VN - E13 - 67

Material	12-19	12-19
Muestra	1	1
m_a la masa en agua de la muestra, en gramos	3478,00	3659,70
m la masa en aire de la muestra secada, en estufa, en gramos.	5502,20	5782,40
m_s la masa en aire de la muestra en condición s.s.s, en gramos	5516,10	5799,50
d_1 la densidad relativa real (20/20) °C	2,718	2,724
d_2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;	2,700	2,702
d_2 la densidad relativa aparente a (20/20) °C del agregado seco;	2,706	2,710
A la absorción de agua, en por ciento;	0,25%	0,30%

7.1 Densidad relativa real	$d_1 = \frac{m}{m - m_a}$	= 2,724 Kg/dm³
7.2 Densidad relativa aparente del agregado seco	$d_2 = \frac{m}{m_s - m_a}$	= 2,702 Kg/dm³
7.3 Densidad relativa aparente del agregado saturado y superficie seca	$d_3 = \frac{m_s}{m_s - m_a}$	= 2,71 Kg/dm³
7.5 Absorción	$A = \frac{m_s - m}{m}$	= 0,3 %

Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



PESO ESPECÍFICO APARENTE CAL VN-E15-89 / IRAM 1520

PESO (GRS)	56,7	56,9	
VOL. INICIAL (CM3)	0,6	0,6	
VOL. FINAL (CM3)	20,9	21,0	
P.E.A. (gr/cm ³)	2,793	2,790	
P.E.A. (gr/cm ³) Prom	2,792		

Laboratorio de investigaciones viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Desgaste LA

masa del material seco, luego del lavado sobre tamíz IRAM 1,7 mm (#12)	m1 =	3899,70 [g]
Pérdida por abrasión, en porciento	P =	22,00 %
Graduación según TABLA 2 de IRAM 1532*	C	500 [rev]

Muestra

ABERTURA DE TAMIZ		muestra inicial	muestra final
3 "	75 [mm]		
2 1/2 "	63 [mm]	0,00 [g]	
2 "	50 [mm]	0,00 [g]	
1 1/2 "	38 [mm]	0,00 [g]	
1 "	25 [mm]	0,00 [g]	
3/4 "	19 [mm]	0,00 [g]	
1/2 "	12,5 [mm]	0,00 [g]	
3/8 "	9,4 [mm]	0,00 [g]	
1/4 "	6,3 [mm]	2500,10 [g]	
# 4	4,76 [mm]	2499,50 [g]	
# 10	2,36 [mm]	0,00 [g]	
# 12	1,70 [mm]	0,00 [g]	3899,70 [g]

Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Microdeval				
		m1	m2	m3
Masa de la muestra seca previo a ensayar	m =	500,10 [g]	500,00 [g]	499,70 [g]
masa del material seco, luego del lavado sobre tamíz IRAM 1,7 mm	m1 =	462,30 [g]	466,40 [g]	467,60 [g]
Pérdida por abrasión, en porciento	ME	7,6 %	6,7 %	6,4 %
PROMEDIO	Mep	6,90%		

Caracterización de Ligante Asfáltico

Muestra	Peso	Porcentaje
CA30		

Penetración 25°C

Nro	Lectura [dmm]
1	58
2	59
3	58
4	57
5	56
6	56

Punto de ablandamiento

T1	48,6
T2	48,6

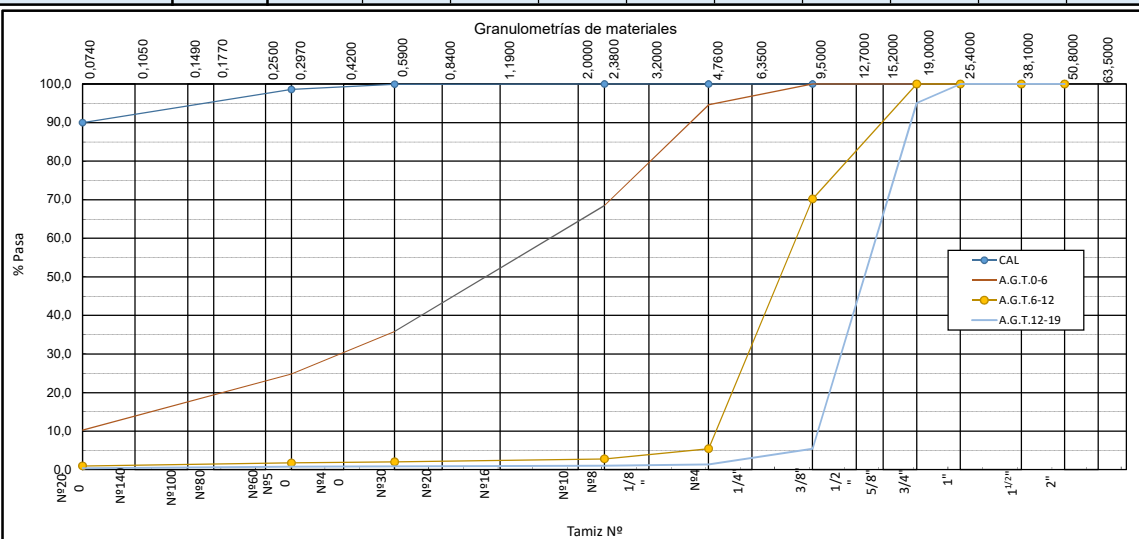
Viscosidad rotacional T 60°C

RMP	Medicion [cP]	% Torque
0,2	311000	6,2
0,5	308000	15,3
0,8	306000	24,6
1,2	307000	36,8
1,5	307000	45
1,8	307000	55,2
2	307000	61,8
2,5	307000	75,6
3	307000	91,3
4	307000	95,8

Punto de inflamación	>230 °C
----------------------	---------

Granulometrias

TAMIZ	IRAM		2 "	1 1/2 "	1 "	3/4 "	3/8 "	# 4	# 8	# 30	# 50	# 200
	mm		50,8	38,1	25,4	19	9,5	4,76	2,38	0,59	0,297	0,074
	log		2,836631993	2,711693256	2,535601997	2,409521881	2,108491886	1,808375233	1,507345237	0,901620292	0,60352473	0
MUESTRA	CAL	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,19 [g]	7,98 [g]	50,14 [g]
MASA	PASA	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,47 [g]	583,28 [g]	575,30 [g]	525,16 [g]
583,47	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,97	98,60	90,01
CAL	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,97	98,60	90,01
MUESTRA	0 - 6 (1)	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	59,20 [g]	287,20 [g]	359,40 [g]	121,20 [g]	160,40 [g]
MASA	PASA	1100	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.040,80 [g]	753,60 [g]	394,20 [g]	273,00 [g]	112,60 [g]
1100	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,62	68,51	35,84	24,82	10,24
MUESTRA	0 - 6 (2)	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	59,20 [g]	287,20 [g]	359,40 [g]	121,20 [g]	160,40 [g]
MASA	PASA	1100	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.100,00 [g]	1.040,80 [g]	753,60 [g]	394,20 [g]	273,00 [g]	112,60 [g]
1100	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,62	68,51	35,84	24,82	10,24
A.G.T.0-6	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	94,62	68,51	35,84	24,82	10,24
MUESTRA	6 - 12 (1)	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	836,20 [g]	1.816,60 [g]	74,40 [g]	21,60 [g]	8,20 [g]	21,40 [g]
MASA	PASA	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	1.969,80 [g]	153,20 [g]	78,80 [g]	57,20 [g]	49,00 [g]	27,60 [g]	27,60 [g]
2806	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	70,20	5,46	2,81	2,04	1,75	0,98	0,98
MUESTRA	6 - 12 (2)	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	836,20 [g]	1.816,60 [g]	74,40 [g]	21,60 [g]	8,20 [g]	21,40 [g]
MASA	PASA	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	2.806,00 [g]	1.969,80 [g]	153,20 [g]	78,80 [g]	57,20 [g]	49,00 [g]	27,60 [g]	27,60 [g]
2806	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	70,20	5,46	2,81	2,04	1,75	0,98	0,98
A.G.T.6-12	% PASA	100,00	100,00	100,00	100,00	70,20	5,46	2,81	2,04	1,75	0,98	0,98
MUESTRA	12 - 20	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	273,60 [g]	5.000,40 [g]	227,20 [g]	15,40 [g]	10,60 [g]	7,60 [g]	21,60 [g]
MASA	PASA	5.577,00 [g]	5.577,00 [g]	5.577,00 [g]	5.303,40 [g]	303,00 [g]	75,80 [g]	60,40 [g]	49,80 [g]	42,20 [g]	20,60 [g]	20,60 [g]
5577	% PASA	100,00	100,00	100,00	95,09	5,43	1,36	1,08	0,89	0,76	0,37	0,37
MUESTRA	12 - 20	RETIENE	0,00 [g]	0,00 [g]	0,00 [g]	273,60 [g]	5.000,40 [g]	227,20 [g]	15,40 [g]	10,60 [g]	7,60 [g]	21,60 [g]
MASA	PASA	5.577,00 [g]	5.577,00 [g]	5.577,00 [g]	5.303,40 [g]	303,00 [g]	75,80 [g]	60,40 [g]	49,80 [g]	42,20 [g]	20,60 [g]	20,60 [g]
5577	% PASA	100,00	100,00	100,00	95,09	5,43	1,36	1,08	0,89	0,76	0,37	0,37
A.G.T.12-19	% PASA	100,00	100,00	100,00	95,09	5,43	1,36	1,08	0,89	0,76	0,37	0,37



Granulometrías

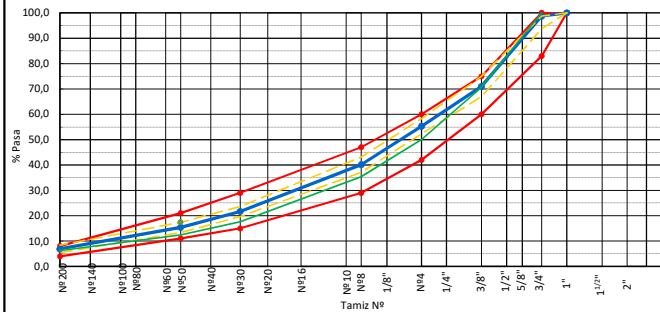
Granulometrías Resumen

TAMICES		A.G.T.0-3	A.G.T.0-6	A.G.T.10-30	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	A.G.T.6-19	A.R.S.	CAL	F. CALCÁREO	FIBRAS	R.A.P.
2"	50,800		100,00		100,00	100,00			100,00			
1 1/2"	38,100		100,00		100,00	100,00			100,00			
1"	25,400		100,00		100,00	100,00			100,00			
3/4"	19,000		100,00		100,00	95,09			100,00			
5/8"	15,200											
1/2"	12,700											
3/8"	9,500		100,00		70,20	5,43			100,00			
1/4"	6,350											
Nº 4	4,760		94,62		5,46	1,36			100,00			
Nº 8	2,380		68,51		2,81	1,08			100,00			
Nº 30	0,590		35,84		2,04	0,89			99,97			
Nº 50	0,297		24,82		1,75	0,76			98,60			
Nº 100	0,149											
Nº 200	0,074		10,24		0,98	0,37			90,01			

Densidad relativa real G_{sa}		2,693		2,737	2,721							
Densidad relativa aparente del agregado seco G_{sa}		2,678		2,710	2,701			2,792				
Densidad relativa aparente del agregado sss $G_{a,ssd}$		2,684		2,720	2,708							
A la absorción de agua, en por ciento;		0,20%		0,37%	0,27%							

GRANULOMETRÍA DE MEZCLA DE MATERIALES PETREOS Y FINOS - NORMA DE ENSAYO (VN-E1-65 Y VN-E7-65) (IRAM 1505)

TAMIZ	ABERTURA [mm]	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CAC D19 MEZCLA CONTINUA	CURVA DE FULLER	HUSO GRANULOMÉTRICO INFERIOR	HUSO GRANULOMÉTRICO SUPERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS INFERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS SUPERIOR
		56,00%	18,00%	25,00%	1,00%	100,00%	19,00 [mm]				
2"	50,8	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,0	100,00	100,00	95,09	100,00	98,77	100,00	83,00	100,00	93,77	98,77
3/8"	9,5	100,00	70,20	5,43	100,00	70,99	70,71	60,00	75,00	66,99	74,99
Nº 4	4,8	94,62	5,46	1,36	100,00	55,31	50,05	42,00	60,00	52,31	58,31
Nº 8	2,4	68,51	2,81	1,08	100,00	40,14	35,39	29,00	47,00	37,14	43,14
Nº 30	0,6	35,84	2,04	0,89	99,97	21,66	17,62	15,00	29,00	19,66	23,66
Nº 50	0,3	24,82	1,75	0,76	98,60	15,39	12,50	11,00	21,00	13,39	17,39
Nº 200	0,1	10,24	0,98	0,37	90,01	6,90	6,24	4,00	8,00	5,40	8,40



P.ESP. AG. SECO O BULK AG. PETREO TOTAL (VN E13-67 E14-67 E15-89)

Material	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL
% en Aridos	56,0	18,0	25,0	1,0
G _{sc} : P.E. Ag. Seco/Apar	2,678	2,710	2,701	2,792
% Ab	0,20%	0,34%	0,25%	1,60%
P.ESP. DEL AGREGADO PETREO TOTAL				2,691
P _{ce} : % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA				4,90
G _{ce} : PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO				1,000

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA RICE DE LA MEZCLA (IRAM 6845)

PESO MATERIAL SECO [g]	1319,50	1343,90
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO [g]	622,00	571,00
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO + MEZCLA [g]	1418,70	1384,40
VOLUMEN [cm³]	522,80	530,50
TEMPERATURA DE AGUA [°C]	25,00	25,00
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]	2,524	2,533
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]		2,529
G _{sc} : P.E.EFECTIVO DEL AG. MINERAL DE LA MEZCLA		2,745
P _{sc} : PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO [%]		3,023
P _{sc} : %p/p ASFALTO ABSORBIDO		1,973

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA POR MÉTODO MARSHALL - NORMA DE ENSAYO (VN-E9-86) (IRAM 6845)

PROBETA N°	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO EN EL AIRE [g]	P 5.5.5 [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS				
							DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	VACÍOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACÍOS [%]	ASFALTO EN VOLUMEN [cm³]
1	150	1177,30	1178,47	696,60	481,9	25,0	2,443	3,38	13,65	75,25	12,0
2	150	1179,71	1181,93	695,80	486,1	25,0	2,427	4,03	14,23	71,69	11,9
3	150	1201,20	1202,53	707,30	495,2	25,0	2,426	4,08	14,27	71,44	11,9
PROMEDIO:							2,432	3,827	14,047	72,791	11,916
DESVIACIÓN STANDARD:							0,008	0,318	0,285	1,740	0,039
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:							0,33%	8,32%	2,03%	2,39%	0,33%
A.G.T.0-6		56,0%	%Va DESEADO		4,00						
A.G.T.6-12		18,0%	P _{sc} ESTIMADO		4,83						
A.G.T.12-19		25,0%	CONSTANTE C		0,10						
CAL		1,0%	VAM ESTIMADO		14,06						

CÁLCULO DE FRACCIONES DE ARIDOS - PREPARACION DE MEZCLA

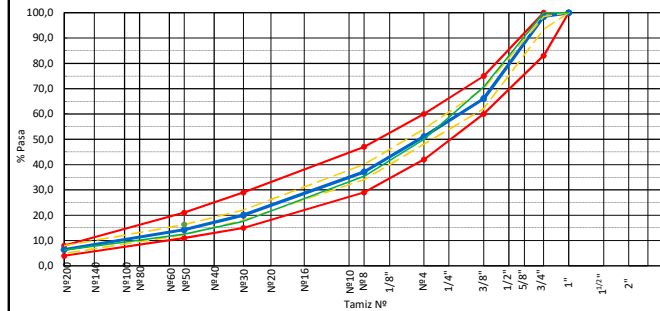
Ensayos	Cantidas	Peso Unitario	MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO	MEJORADOR DE ADHERENCIA [%]
Probetas Marshal	3	1250	2"	1 1/2"						
Rice	2	1000	1 1/2"	1"						
Probetas WTT	0	12000	1"	3/4"			69,98			
Probetas HWTT	0	2500	3/4"	3/8"		306,07	1279,02			
Probetas Gyro	0	5000	3/8"	Nº 4	171,97	664,93	58,11			
PESO EN MEZCLA (gr.)			Nº 4	Nº 8	834,28	27,23	3,94			
ASFALTO (%)			Nº 8	Nº 30	1044,01	7,91	0,02			
MEJORADOR DE ADHERENCIA (%)			Nº 30	Nº 50	352,07	3,00	0,78			
ASFALTO (%)			Nº 50	Nº 200	465,94	7,83	5,52	4,90		
PESO EN ARIDOS (gr.)			Nº 200		327,09	10,10	5,27	51,36		
			TOTAL		3195,36	1027,08	1426,50	57,06	294,00	0,00

Diseño de mezclas - A.G.T.0-6 56% - A.G.T.6-12 18% - A.G.T.12-19 25% - CAL 1% - Pbi: % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA 4,9%

MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO
FRACCIONES		(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"			69,98		
3/4"	3/8"		306,07	1279,02		
3/8"	Nº 4	171,97	664,93	58,11		
Nº 4	Nº 8	834,28	27,23	3,94		
Nº 8	PT #200	2189,11	28,84	15,45	57,06	
TOTAL		3195,36	1027,08	1426,50	57,06	294,00

GRANULOMETRÍA DE MEZCLA DE MATERIALES PETREOS Y FINOS - NORMA DE ENSAYO (VN-E1-65 Y VN-E7-65) (IRAM 1505)

TAMIZ	ABERTURA [mm]	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CAC D19 MEZCLA CONTINUA	CURVA DE FULLER	HUSO GRANULOMÉTRICO INFERIOR	HUSO GRANULOMÉTRICO SUPERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS INFERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS SUPERIOR
		51,50%	17,00%	30,50%	1,00%	100,00%	19,00 [mm]				
2"	50,8	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,0	100,00	100,00	95,09	100,00	98,50	100,00	83,00	100,00	93,50	98,50
3/8"	9,5	100,00	70,20	5,43	100,00	66,09	70,71	60,00	75,00	62,09	70,09
Nº 4	4,8	94,62	5,46	1,36	100,00	51,07	50,05	42,00	60,00	48,07	54,07
Nº 8	2,4	68,51	2,81	1,08	100,00	37,09	35,39	29,00	47,00	34,09	40,09
Nº 30	0,6	35,84	2,04	0,89	99,97	20,07	17,62	15,00	29,00	18,07	22,07
Nº 50	0,3	24,82	1,75	0,76	98,60	14,30	12,50	11,00	21,00	12,30	16,30
Nº 200	0,1	10,24	0,98	0,37	90,01	6,45	6,24	4,00	8,00	4,55	7,55



P.ESP. AG. SECO O BULK DEL AGREGADO PETREO TOTAL [VN E13-67 E14-67 E15-89]

Material	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL
% en Aridos	51,5	17,0	30,5	1,0
G ₆₅ : P.E. Agregado S	2,678	2,710	2,701	2,792
% Ab	0,20%	0,34%	0,25%	1,60%
P.ESP. DEL AGREGADO PETREO TOTAL			2,692	
P ₆₅ : % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA			4,70	
G ₆₅ : PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO			1,000	

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA RICE DE LA MEZCLA (IRAM 6845)

PESO MATERIAL SECO [g]	1319,50	1343,90
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO [g]	622,00	571,00
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO + MEZCLA [g]	1418,70	1384,40
VOLUMEN [cm³]	522,80	530,50
TEMPERATURA DE AGUA [°C]	25,00	25,00
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]	2,524	2,533
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]		2,529
G _{max} : P.E.EFECTIVO DEL AG. MINERAL DE LA MEZCLA		2,735
P ₆₅ : PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO [%]		3,194
P ₆₅ : %p/p ASFALTO ABSORBIDO		1,580

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA POR MÉTODO MARSHALL - NORMA DE ENSAYO (VN-E9-86) (IRAM 6845)

PROBETA N°	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO EN EL AIRE [g]	P S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	PARAMETROS VOLUMÉTRICOS				
							DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	VACIOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACÍOS [%]	ASFALTO EN VOLUMEN [cm³]
4	150	1187,71	1188,38	707,80	480,6	25,0	2,471	2,26	12,49	81,90	11,6
5	150	1149,68	1150,62	687,70	462,9	25,0	2,484	1,78	12,07	85,23	11,7
6	150	1166,75	1167,72	698,60	469,1	25,0	2,487	1,64	11,94	86,26	11,7
PROMEDIO:							2,481	1,895	12,166	84,464	11,659
DESVIACION STANDARD:							0,007	0,266	0,238	1,860	0,032
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:							0,27%	14,02%	1,96%	2,20%	0,27%
A.G.T.0-6		51,5%	%Va DESEADO		4,00						
A.G.T.6-12		17,0%	P ₆₅ ESTIMADO		3,86						
A.G.T.12-19		30,5%	CONSTANTE C		0,10						
CAL		1,0%	VAM ESTIMADO		12,38						

CALCULO DE FRACCIONES DE ARIDOS - PREPARACION DE MEZCLA

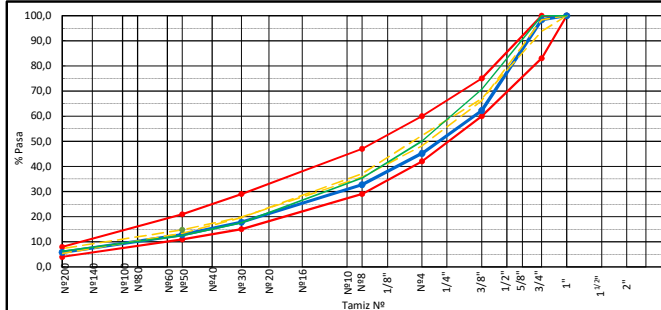
Ensayos	Cantidas	Pesu Unitario	MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO	MEJORADOR DE ADHERENCIA [%]
Probetas Marshal	3	1250	2"	1 1/2"						
Rice	2	1000	1 1/2"	1"						
Probetas WTT	0	12000	1"	3/4"			85,56			
Probetas HWT	0	2500	3/4"	3/8"		289,68	1563,68			
Probetas Gyro	1	5000	3/8"	Nº 4	158,48	629,31	71,05			
PESO EN MEZCLA (gr.)	6000		Nº 4	Nº 8	768,85	25,77	4,82			
ASFALTO [%]	4,70%		Nº 8	Nº 30	962,14	7,48	3,31	0,02		
MEJORADOR DE ADHERENCIA [%]	0,00%		Nº 30	Nº 50	324,46	2,84	2,38	0,78		
ASFALTO [%]	4,70%		Nº 50	Nº 200	429,40	7,41	6,75	4,91		
PESO EN ARIDOS (gr.)	5718		Nº 200		301,44	9,56	6,44	51,47		
TOTAL					2944,77	972,06	1743,99	57,18	282,00	0,00

Diseño de mezclas - A.G.T.0-6 51,5% - A.G.T.6-12 17% - A.G.T.12-19 30,5% - CAL 1% - Pbi: % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA 4,7%

MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO
FRACCIONES		(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"			85,56		
3/4"	3/8"		289,68	1563,68		
3/8"	Nº 4	158,48	629,31	71,05		
Nº 4	Nº 8	768,85	25,77	4,82		
Nº 8	PT #200	2017,44	27,30	18,89	57,18	
TOTAL		2944,77	972,06	1743,99	57,18	282,00

GRANULOMETRÍA DE MEZCLA DE MATERIALES PETREOS Y FINOS - NORMA DE ENSAYO (VN-E1-65 Y VN-E7-65) (IRAM 1505)

TAMIZ	ABERTURA [mm]	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CAC D19 MEZCLA CONTINUA	CURVA DE FULLER	HUSO GRANULOMÉTRICO INFERIOR	HUSO GRANULOMÉTRICO SUPERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS INFERIOR	ENTORNOS DE DISEÑOS SUPERIOR
		45,00%	20,50%	33,50%	1,00%	100,00%	19,00 [mm]				
2"	50,8	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1 1/2"	38,1	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,0	100,00	100,00	95,09	100,00	98,36	100,00	83,00	100,00	93,36	98,36
3/8"	9,5	100,00	70,20	5,43	100,00	62,21	70,71	60,00	75,00	58,21	66,21
Nº 4	4,8	94,62	5,46	1,36	100,00	45,15	50,05	42,00	60,00	42,15	48,15
Nº 8	2,4	68,51	2,81	1,08	100,00	32,77	35,39	29,00	47,00	29,77	35,77
Nº 30	0,6	35,84	2,04	0,89	99,97	17,84	17,62	15,00	29,00	15,84	19,84
Nº 50	0,3	24,82	1,75	0,76	98,60	12,77	12,50	11,00	21,00	10,77	14,77
Nº 200	0,1	10,24	0,98	0,37	90,01	5,83	6,24	4,00	8,00	4,33	7,33



P.ESP. AG. SECO O BULK DEL AGREGADO PETREO TOTAL (VN E13-67 E14-67 E15-89)

Material	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL
% en Aridos	45,0	20,5	33,5	1,0
G ₆₀ : P.E. Agregado S	2,678	2,710	2,701	2,792
% Ab	0,20%	0,34%	0,25%	1,60%
P. ESP. DEL AGREGADO PETREO TOTAL			2,693	
P ₆₀ : % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA			4,50	
G ₆₀ : PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO			1,000	

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA RICE DE LA MEZCLA (IRAM 6845)

PESO MATERIAL SECO [g]	1319,50	1343,90
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO [g]	622,00	571,00
PESO SUMERGIDO DEL FRASCO + MEZCLA [g]	1418,70	1384,40
VOLUMEN [cm³]	522,80	530,50
TEMPERATURA DE AGUA [°C]	25,00	25,00
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]	2,524	2,533
G _{max} : DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]		2,529
G _{max} : P.E.EFECTIVO DEL AG. MINERAL DE LA MEZCLA		2,725
P ₆₀ : PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO [%]		3,396
P ₆₀ : %p/p ASFALTO ABSORBIDO		1,157

ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUENCIA POR MÉTODO MARSHALL - NORMA DE ENSAYO (VN-E9-86) (IRAM 6845)

PROBETA N°	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO EN EL AIRE [g]	P S.5.5 [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS				
							DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	VACIOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACIOS [%]	ASFALTO EN VOLUMEN [cm³]
7	150	1001,69	1002,75	600,90	401,9	25,0	2,493	1,42	11,61	87,78	11,2
8	150	1032,46	1033,03	617,20	415,8	25,0	2,483	1,91	11,96	84,89	11,2
9	150	1315,98	1318,22	780,90	537,3	25,0	2,449	3,14	13,16	76,13	11,0
PROMEDIO:							2,475	2,123	12,245	82,932	11,137
DESVIACIÓN STANDARD:							0,019	0,738	0,661	4,955	0,084
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:							0,75%	34,74%	5,40%	5,97%	0,75%

A.G.T.0-6	45,0%	%Va DESEADO	4,00
A.G.T.6-12	20,5%	P ₆₀ ESTIMADO	3,75
A.G.T.12-19	33,5%	CONSTANTE C	0,10
CAL	1,0%	VAM ESTIMADO	12,43

CALCULO DE FRACCIONES DE ARIDOS - PREPARACION DE MEZCLA

Ensayos	Cantidas	Peso Unitario	MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO	MEJORADOR DE ADHERENCIA (%)
Probetas Marshal	3	1250	2"	1 1/2"						
Rice	2	1000	1 1/2"	1"						
Probetas WTT	0	12000	1"	3/4"			94,17			
Probetas HWTT	0	2500	3/4"	3/8"		350,05	1721,09			
Probetas Gyro	0	5000	3/8"	Nº 4	138,77	760,47	78,20			
PESO EN MEZCLA (gr.)		6000	Nº 4	Nº 8	673,22	31,15	5,30			
ASFALTO (%)		4,50%	Nº 8	Nº 30	842,47	9,04	3,65	0,02		
MEJORADOR DE ADHERENCIA (%)		0,00%	Nº 30	Nº 50	284,10	3,43	2,62	0,78		
ASFALTO (%)		4,50%	Nº 30	Nº 200	375,99	8,96	7,43	4,92		
PESO EN ARIDOS (gr.)		5730	Nº 200		263,94	11,55	7,09	51,57		
TOTAL					2578,50	1174,65	1919,55	57,30	270,00	0,00

Diseño de mezclas - A.G.T.0-6 45% - A.G.T.6-12 20,5% - A.G.T.12-19 33,5% - CAL 1% - Pbi: % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA 4,5%

MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO
FRACCIONES		(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)	(GR.)
2"	1 1/2"					
1 1/2"	1"					
1"	3/4"			94,17		
3/4"	3/8"		350,05	1721,09		
3/8"	Nº 4	138,77	760,47	78,20		
Nº 4	Nº 8	673,22	31,15	5,30		
Nº 8	PT #200	1766,51	32,99	20,79	57,30	
TOTAL		2578,50	1174,65	1919,55	57,30	270,00

Esqueleto	Material				PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS							
	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	Pbi: % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA	Gmm: DENSIDAD MEDIA MÁXIMA RICE DE LA MEZCLA	DENSIDAD MARSHALL [g/cm3]	VACIOS [%]	V.A.M. [%]	Pb,ESTIMADO	%Va DESEADO	VAM ESTIMADO
Fino	56	18	25	1	4,90	2,529	2,432	3,8	14,05	4,8	4,0	14,06
Medio	51,5	17	30,5	1	4,70	2,529	2,481	1,9	12,17	3,9	4,0	12,38
Grueso	45	20,5	33,5	1	4,50	2,529	2,475	1,9	12,25	3,7	4,0	12,43

CÁLCULO DE FRACCIONES DE ARIDOS - PREPARACIÓN DE MEZCLA

DISEÑO DE MEZCLA - A.G.T.0-6 56% - A.G.T.6-12 18% - A.G.T.12-19 25% - CAL 1% - ASFALTO 4,42%								ENSAYOS	CANTIDAD	MASA
MATERIAL		A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL	CEMENTO ASFÁLTICO		PROBETAS MARSHALL	0	1.250 [g]
Pasa	Ret	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)		RICE	2	1.000 [g]
2"	1 ½"							PROBETAS WTT	4	12.000 [g]
1 ½"	1"							PROBETAS HWTT	0	2.500 [g]
1"	¾"			645,9				PROBETAS GYRO	1	5.000 [g]
¾"	⅜"		2825,1	11805,3				PESO EN MEZCLA	55102 [g]	
⅜"	Nº 4	1587,3	6137,3	536,4				ASFALTO	4,42%	
Nº 4	Nº 8	7700,4	251,4	36,4				MEJORADOR DE ADHERENCIA	0,00%	
Nº 8	PT #200	20205,4	266,2	142,6	526,7			ASFALTO	4,42%	
TOTAL - 55101,6 g		29493,0	9479,9	13166,5	526,7	2435,5	PESO EN ÁRIDOS	52666 [g]		

VERIFICACIÓN DE VOLUMÉTRICA DE LA FÓRMULA ADOPTADA												
C.A. [N]	TEMPERATURA MOLDADO [°C]	PESO SUMERGIDO [g]	PESO EN EL AIRE [g]	P.S.5.5 [g]	ALTEZA FUNDIDA [mm]	VOLUMEN [cm3]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS				
								Gnb [g/cm3]	ASFALTO EN VOLUMEN [cm3]	VACÍOS [N]	V.A.M. [N]	V.F.A.[N]
CA30 - 1	150	1222.80	1223.90	719.60	63.6	504.3	25.00	2.424	11.2	3.82	14.08	72.89
CA30 - 2	150	1217.70	1218.20	715.90	63.0	502.3	25.00	2.424	11.2	3.80	14.06	73.00
CA30 - 3	150	1223.60	1223.60	718.10	63.9	504.6	25.00	2.423	11.2	3.83	14.18	72.31
Densidad máx. teórica				2.520				PROM.: 2.423	11.195	3.846	14.107	72.795
C.A. [N]				4.8				DEVIACION STANDARD				
PORCENTAJE DE ASFALTO ABSORBIDO [N]				0.38				COEFICIENTE DE VARIACION:				
PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO [N]				4.25				0.002	0.008	0.269	0.082	0.370
								0.0726	0.0772	0.8506	0.4385	0.5026

Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



CALCULO RELACIÓN Cv/Cs			% CO	4,60 %
AGREGADOS	ESQUELETO GRANULAR SELECCIONADO	% PASA 200	APORTE RELATIVO DE CADA AGREGADO	PESO PARA ELABORAR EL MIX PT200
	100,00 %	6,90 %	100,00 %	200,00 g
A.G.T.0-6	56,00 %	10,24 %	83,06 %	166,11 g
A.G.T.6-12	18,00 %	0,98 %	2,57 %	5,13 g
A.G.T.12-19	25,00 %	0,37 %	1,34 %	2,68 g
CAL	1,00 %	90,01 %	13,04 %	26,08 g

PESO ESPECÍFICO APARENTE VN-E15-89 / IRAM 1520			
PESO (GRS)	50,0	50,1	
VOL. INICIAL (CM3)	0,5	0,8	
VOL. FINAL (CM3)	18,4	18,9	
P.E.A. (gr/cm³)	2,793	2,769	
P.E.A. (gr/cm³) Prom		2,781	

PESO ESPECÍFICO APARENTE VN-E15-89 / IRAM 1520			
	M1	M2	M3
PESO (GRS)	9,9	10,0	10,3
VOLUMEN (CM3)	9,8	9,9	10,1
P.E.A. (GRS/CM3)	2,781	2,781	2,781
Cs	0,365	0,362	0,368
Cs (Promedio)		0,365	

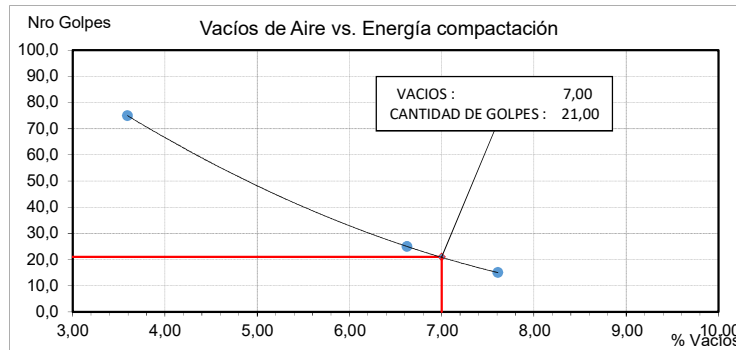
CONC. VOLUMÉTRICA	Contenido Op.
% ASFALTO EN MEZCLA =	4,60
% AGREGADOS =	95,40
% PASA 200 GRAN DISEÑO =	6,9
PESO. ESP. DEL ASFALTO =	1,000
Cv =	0,34
Cs =	0,36
RELACIÓN Cv/Cs =	0,93
REL. EN PESO FILLER/ASFALTO =	1,43

$$Cv = \frac{\text{Vol Filler}}{\text{Vol Filler} + \text{Vol Asfalto}} = \frac{\frac{(\% \text{ pasa 200})}{(\text{P.E.A. del pasa 200})} \times \frac{(\% \text{ Agregado en mezcla})}{100,0}}{\frac{(\% \text{ pasa 200})}{(\text{P.E.A. del pasa 200})} \times \frac{(\% \text{ Agregado en mezcla})}{100,0} + \frac{(\% \text{ Asfalto en mezcla})}{\text{Peso Esp del Asfalto}}}$$

ESQUELETO GRANULAR SELECCIONADO	A.G.T.0-6	A.G.T.6-12	A.G.T.12-19	CAL
% en Aridos	56,000	18,000	25,000	1,000
Gsb: P.E. Agregado Seco(Aparente)	2,678	2,710	2,701	2,792
% Ab	0,20%	0,34%	0,25%	1,60%
Peas: P.ESP.AG. SECO DEL (BULK) AGREGADO MINERAL	2,691			
P.ESP. EFECTIVO DEL AG. MINERAL DE LA MEZCLA	2,745			
Pbi: % P/P CEMENTO ASFÁLTICO DE LA MEZCLA	1,000			
Gmm: DENS.MÁX. MEDIDA RICE DE MEZCLA [g/cm³]	2,520			

RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA - NORMAS DE ENSAYOS UNE- EN 12697 - 23

PROBETA N°	GOLPES	PESO EN EL AIRE [g]	PESO SUMERGIDO [g]	P S.S.S [g]	ALTURA	VOLUMEN [cm³]	DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	VACIOS [%]
6	75,0	1227,8	1231,1	725,7	61,66	505,4	2,429	3,59
11	15,0	1212,3	1230,5	709,8	62,75	520,7	2,328	7,61
12	25,0	1222,4	1236,1	716,6	63,21	519,5	2,353	6,62



Estimadores - Pol grado 2		
x^0	x^1	x^2
172,0	-32,7	1,58
VACIOS		7,0
CANTIDAD DE GOLPES		21
ALTURA		63,5
PESO		1197,3

x	y
0,00	21,00
7,00	21,00
x	y
7,00	0,00
7,00	21,00

DENSIDAD APARENTE (IRAM 6845-2)

PROBETA N°	PESO EN EL AIRE [g]	P S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	ALTURA [mm]	VOLUMEN [cm³]	DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	VACIOS [%]	ACONDICIONAMIENTO (0-25°C) (1-60°C)
P11	1197,3	1206,2	700,7	65,55	505,5	2,369	6,01	0,0
P12	1198,0	1204,6	699,6	65,56	505,0	2,372	5,86	0,0
P13	1200,1	1204,6	704,0	63,97	500,6	2,397	4,87	0,0
P14	1213,5	1220,7	709,6	65,63	511,1	2,374	5,78	1,0
P15	1196,1	1207,0	697,4	67,05	509,6	2,347	6,86	1,0
P16	1199,0	1203,2	704,4	64,43	498,8	2,404	4,61	1,0
PROMEDIOS:						2,377	5,663	
DESVIACIÓN STANDARD:						2,1%	81,8%	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:						0,9%	14,4%	

ACONDICIONAMIENTO Y ROTURAS DE PROBETAS

PROBETA N°	ALTURA PROBETA [cm]	DIÁMETRO [cm]	CORRECCIÓN ALTURA	CARGA [KN]	RTI [MPas]	PROBETAS ACONDICIONADAS 60°C	PROBETAS ACONDICIONADAS 25°C	IRC [%]
P11	6,55	10,160	0,952	9,83	0,940		0,940	91,36%
P12	6,56	10,160	0,952	9,37	0,896		0,896	
P13	6,40	10,160	0,988	8,62	0,844		0,844	
P14	6,56	10,160	0,950	7,90	0,754	0,754		
P15	6,70	10,160	0,923	8,28	0,774	0,774		
P16	6,44	10,160	0,977	9,46	0,920	0,920		
PROMEDIOS:						0,816	0,893	
DESVIACIÓN STANDARD:						9,1%	4,8%	
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:						11,1%	5,3%	

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
Maestría en Ingeniería Vial

ANEXO II
PROBETAS ENSAYADAS

**Análisis del ensayo IDEAL-CT como potencial verificación
mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de
mezclas asfálticas densas contemplado en el PETG de la
DNV 2017**

Alumno: Ing. GONZALEZ BURÓN Joaquín

Director: Ing. CAMPANA Juan Manuel

Co-Director: Ing. BISIO Alejandro

Fecha: Marzo 2025

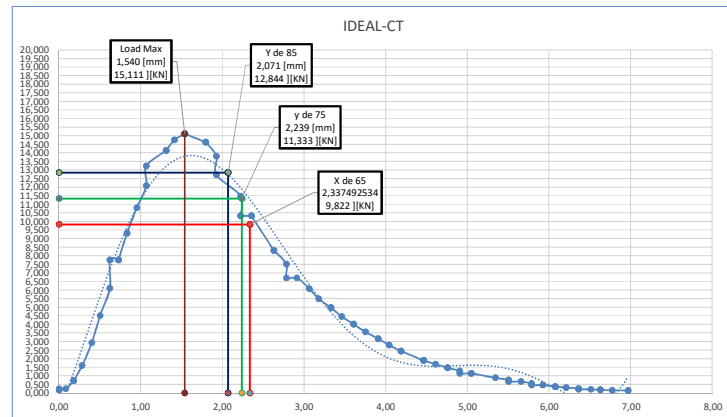
Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por intervalo
1	0.159	4,673	0,00	def	
2	0.246	4,673	0	0,00	-2,46E-14
3	0.246	4,755	0,082	0,08	0,020172
4	0.708	4,852	0,179	0,10	0,068676
5	0.708	4,852	0,179	0,00	0
6	1.601	4,955	0,282	0,10	0,164903
7	2.926	5,074	0,401	0,12	0,348194
8	4.503	5,175	0,502	0,10	0,454803
9	6.107	5,295	0,622	0,12	0,73284
10	7.756	5,295	0,622	0,00	0
11	7.756	5,401	0,728	0,11	0,822136
12	7.756	5,401	0,728	0,00	0
13	9.314	5,505	0,832	0,10	0,968656
14	9.314	5,505	0,832	0,00	0
15	10.804	5,626	0,953	0,12	1,307284
16	12.083	5,741	1,068	0,11	1,389545
17	13.229	5,741	1,068	0,00	0
18	14.134	5,985	1,312	0,24	3,448696
19	14.134	5,985	1,312	0,00	0
20	14.753	6,087	1,414	0,10	1,504806
21	15.111	6.213	1,54	0,13	1,903986
22	15.111	6.213	1,54	0,00	0
23	15.111	6.213	1,54	0,00	0
24	14.618	6,469	1,796	0,26	3,742208
25	14.618	6,469	1,796	0,00	0
26	13.807	6,601	1,928	0,13	1,822524
27	12.723	6,601	1,928	0,00	0
28	11.472	6,897	2,224	0,30	3,395712
29	10.327	6,897	2,224	0,00	0
30	10.327	6,897	2,224	0,00	0
31	10.327	7.03	2,357	0,13	1,373491
32	10.327	7.03	2,357	0,00	0
33	8.307	7,305	2,632	0,27	2,284425
34	8.307	7,305	2,632	0,00	0
35	7.515	7,458	2,785	0,15	1,149795
36	6.708	7,458	2,785	0,00	0
37	6.708	7,586	2,913	0,13	0,858624
38	6.079	7,738	3,065	0,15	0,924008
39	5.488	7,855	3,182	0,12	0,642096
40	4.974	8,002	3,329	0,15	0,731178
41	4.974	8,002	3,329	0,00	0
42	4.456	8,136	3,463	0,13	0,597104
43	4.01	8,283	3,61	0,15	0,58947
44	4.01	8,283	3,61	0,00	0
45	3.556	8,427	3,754	0,14	0,512064
46	3.16	8,583	3,91	0,16	0,49296
47	3.16	8,583	3,91	0,00	0
48	2.787	8,717	4,044	0,13	0,373458
49	2.437	8,861	4,188	0,14	0,350928
50	2.437	8,861	4,188	0,00	0
51	1.889	9,14	4,467	0,28	0,527031
52	1.889	9,14	4,467	0,00	0
53	1.889	9,14	4,467	0,00	0
54	1.679	9,286	4,613	0,15	0,245134
55	1.464	9,433	4,76	0,15	0,215208
56	1.464	9,433	4,76	0,00	0
57	1.278	9,581	4,908	0,15	0,189144
58	1,14	9,581	4,908	0,00	0
59	1,14	9,722	5,049	0,14	0,16074
60	1,14	9,722	5,049	0,00	0
61	0,881	10,019	5,346	0,30	0,261657
62	0,757	10,18	5,507	0,16	0,121877
63	0,659	10,18	5,507	0,00	0
64	0,659	10,332	5,659	0,15	0,100168
65	0,55	10,461	5,788	0,13	0,07095
66	0,452	10,461	5,788	0,00	0
67	0,452	10,599	5,926	0,14	0,062376
68	0,364	10,753	6,08	0,15	0,056056
69	0,364	10,753	6,08	0,00	0
70	0,307	10,886	6,213	0,13	0,040831
71	0,26	11,037	6,364	0,15	0,03926
72	0,213	11,037	6,364	0,00	0
73	0,213	11,188	6,515	0,15	0,032163
74	0,181	11,305	6,632	0,12	0,021177
75	0,181	11,305	6,632	0,00	0
76	0,155	11,449	6,776	0,14	0,02232
77	0,139	11,644	6,971	0,20	0,027105
78	0,139	11,644	6,971	0,00	0
					</

IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 4						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,0	-2,6	0,9	-0,2	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	15,111 [kN]	1,540 [mm]
85%	12,844 [kN]	2,071 [mm]
75%	11,333 [kN]	2,239 [mm]
65%	9,822 [kN]	2,337 [mm]
Load Min	0,139 [kN]	6,971 [mm]

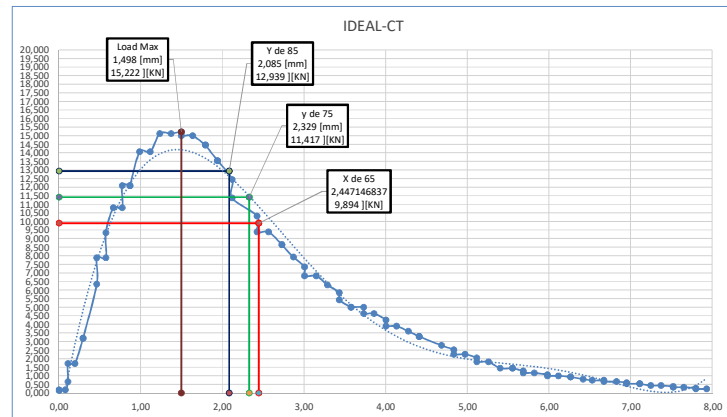
m75	11,362 [N/m]
W	35,168 [J]
Gf	5582,921 [J/m²]
I75	2,239 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr t"	62
CT Index	10,830



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,138	7,167	0,00	0,00	-1,76E-14
2	0,176	7,167	0	0,00	0,013376
3	0,176	7,243	0,076	0,08	0,021549
4	0,653	7,276	0,109	0,03	0
5	1,713	7,276	0,109	0,00	0
6	1,713	7,361	0,194	0,09	0,145605
7	3,188	7,461	0,294	0,10	0,3188
8	3,188	7,461	0,294	0,00	0
9	3,188	7,461	0,294	0,00	0
10	6,339	7,629	0,462	0,17	1,064952
11	7,881	7,629	0,462	0,00	0
12	7,881	7,74	0,573	0,11	0,874791
13	9,339	7,74	0,573	0,00	0
14	10,791	7,831	0,664	0,09	0,981981
15	10,791	7,94	0,773	0,11	1,176219
16	12,082	7,94	0,773	0,00	0
17	12,082	8,036	0,869	0,10	1,159872
18	12,082	8,036	0,869	0,00	0
19	14,057	8,153	0,986	0,12	1,644669
20	14,057	8,284	1,117	0,13	1,841467
21	15,123	8,401	1,234	0,12	1,769391
22	15,123	8,539	1,372	0,14	2,086974
23	15,222	8,665	1,498	0,13	1,917972
24	14,994	8,665	1,498	0,00	0
25	14,994	8,803	1,636	0,14	2,069172
26	14,455	8,96	1,793	0,16	2,269435
27	14,455	8,96	1,793	0,00	0
28	13,539	9,109	1,942	0,15	2,017311
29	13,539	9,109	1,942	0,00	0
30	12,444	9,287	2,12	0,18	2,215032
31	11,371	9,287	2,12	0,00	0
32	10,309	9,592	2,425	0,31	3,144245
33	9,393	9,592	2,425	0,00	0
34	9,393	9,733	2,566	0,14	1,324413
35	8,638	9,897	2,73	0,16	1,416632
36	8,638	9,897	2,73	0,00	0
37	7,922	10,038	2,871	0,14	1,117002
38	7,343	10,175	3,008	0,14	1,005991
39	6,819	10,175	3,008	0,00	0
40	6,819	10,318	3,151	0,14	0,975117
41	6,296	10,456	3,289	0,14	0,868848
42	5,843	10,6	3,433	0,14	0,841392
43	5,425	10,6	3,433	0,00	0
44	4,994	10,743	3,576	0,14	0,714142
45	4,994	10,743	3,576	0,00	0
46	4,994	10,898	3,731	0,15	0,77407
47	4,628	10,898	3,731	0,00	0
48	4,628	11,024	3,857	0,13	0,583128
49	4,252	11,171	4,004	0,15	0,625044
50	3,897	11,171	4,004	0,00	0
51	3,897	11,3	4,133	0,13	0,502713
52	3,597	11,446	4,279	0,15	0,525162
53	3,287	11,579	4,412	0,13	0,437171
54	3,287	11,579	4,412	0,00	0
55	3,287	11,579	4,412	0,00	0
56	2,769	11,853	4,686	0,27	0,758706
57	2,511	12,003	4,836	0,15	0,37665
58	2,25	12,003	4,836	0,00	0
59	2,25	12,141	4,974	0,14	0,3105
60	2,038	12,284	5,117	0,14	0,291434
61	1,807	12,284	5,117	0,00	0
62	1,807	12,429	5,262	0,15	0,262015
63	1,445	12,571	5,404	0,14	0,20519
64	1,445	12,722	5,555	0,15	0,218195
65	1,445	12,722	5,555	0,00	0
66	1,279	12,853	5,686	0,13	0,167549
67	1,164	12,853	5,686	0,00	0
68	1,164	12,99	5,823	0,14	0,159468
69	1,067	13,149	5,982	0,16	0,169653
70	0,993	13,149	5,982	0,00	0
71	0,993	13,285	6,118	0,14	0,135048
72	0,935	13,433	6,266	0,15	0,13838
73	0,935	13,433	6,266	0,00	0
74	0,803	13,587	6,42	0,15	0,123662
75	0,731	13,699	6,532	0,11	0,081872
76	0,731	13,842	6,675	0,14	0,104533
77	0,661	13,842	6,675	0,00	0
78	0,661	13,997	6,83	0,15	0,102455
79	0,599	14,121	6,954	0,12	0,074276
80	0,542	14,121	6,954	0,00	0
81	0,542	14,28	7,113	0,16	0,086178
82	0,542	14,28	7,113	0,00	0
83	0,43	14,416	7,249	0,14	0,05848
84	0,43	14,542	7,375	0,13	0,05418
85	0,376	14,69	7,523	0,15	0,055648
86	0,328	14,69	7,523	0,00	0
87	0,328	14,82	7,653	0,13	0,04264
88	0,279	14,968	7,801	0,15	0,041292
89	0,234	14,968	7,801	0,00	0
90	0,234	15,101	7,934	0,13	0,031122
91	0,191	15,245	8,078	0,14	0,027504
92	0,159	15,245	8,078	0,00	0
93	0,159	15,381	8,214	0,14	0,021624
94	0,143	15,567	8,4	0,19	0,026598

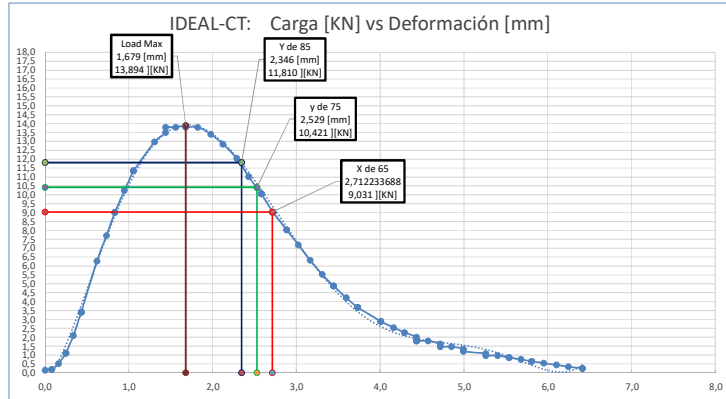
IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 6						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,6	-3,5	1,2	-0,2	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	15,222 [kN]	1,498 [mm]				
85%	12,939 [kN]	2,085 [mm]				
75%	11,417 [kN]	2,329 [mm]				
65%	9,894 [kN]	2,447 [mm]				
Load Min	0,138 [kN]	0,000 [mm]				
			m75	8,411 [N/m]		
			W	42,568 [J]		
			Gf	6757,761 [J/m²]		
			l75	2,329 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	18,419		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,144	6,999	0,00		
2	0,189	7,078	0,079	0,08	0,014931
3	0,189	7,078	0,079	0,00	0
4	0,51	7,159	0,16	0,08	0,04131
5	1,102	7,247	0,248	0,09	0,096976
6	1,102	7,247	0,248	0,00	0
7	2,085	7,336	0,337	0,09	0,185565
8	3,4	7,43	0,431	0,09	0,3196
9	3,4	7,43	0,431	0,00	0
10	3,4	7,43	0,431	0,00	0
11	6,276	7,618	0,619	0,19	1,179888
12	7,707	7,732	0,733	0,11	0,878598
13	9,012	7,83	0,831	0,10	0,883176
14	9,012	7,83	0,831	0,00	0
15	9,012	7,83	0,831	0,00	0
16	10,242	7,945	0,946	0,12	1,17783
17	11,343	8,053	1,054	0,11	1,225044
18	11,343	8,053	1,054	0,00	0
19	11,343	8,053	1,054	0,00	0
20	12,965	8,305	1,306	0,25	3,26718
21	13,498	8,437	1,438	0,13	1,781736
22	13,791	8,437	1,438	0,00	0
23	13,791	8,558	1,559	0,12	1,668711
24	13,894	8,678	1,679	0,12	1,66728
25	13,792	8,678	1,679	0,00	0
26	13,792	8,821	1,822	0,14	1,972256
27	13,397	8,979	1,98	0,16	2,116726
28	12,843	9,121	2,122	0,14	1,823706
29	12,039	9,287	2,288	0,17	1,998474
30	11,024	9,429	2,43	0,14	1,565408
31	10,058	9,58	2,581	0,15	1,518758
32	10,058	9,58	2,581	0,00	0
33	10,058	9,58	2,581	0,00	0
34	9,008	9,723	2,724	0,14	1,288144
35	8,027	9,882	2,883	0,16	1,276293
36	8,027	9,882	2,883	0,00	0
37	7,186	10,022	3,023	0,14	1,00604
38	6,318	10,164	3,165	0,14	0,897156
39	5,531	10,306	3,307	0,14	0,785402
40	4,874	10,443	3,444	0,14	0,667738
41	4,874	10,443	3,444	0,00	0
42	4,214	10,593	3,594	0,15	0,6321
43	3,667	10,73	3,731	0,14	0,502379
44	3,667	10,73	3,731	0,00	0
45	3,667	10,73	3,731	0,00	0
46	2,876	11,008	4,009	0,28	0,799528
47	2,876	11,008	4,009	0,00	0
48	2,534	11,159	4,16	0,15	0,382634
49	2,257	11,29	4,291	0,13	0,295667
50	2,003	11,433	4,434	0,14	0,286429
51	1,787	11,433	4,434	0,00	0
52	1,787	11,433	4,434	0,00	0
53	1,787	11,57	4,571	0,14	0,244819
54	1,616	11,717	4,718	0,15	0,237552
55	1,464	11,717	4,718	0,00	0
56	1,464	11,849	4,85	0,13	0,193248
57	1,33	11,993	4,994	0,14	0,19152
58	1,201	11,993	4,994	0,00	0
59	1,079	12,259	5,26	0,27	0,287014
60	0,967	12,259	5,26	0,00	0
61	0,967	12,401	5,402	0,14	0,137314
62	0,856	12,539	5,54	0,14	0,118128
63	0,856	12,539	5,54	0,00	0
64	0,75	12,68	5,681	0,14	0,10575
65	0,644	12,808	5,809	0,13	0,082432
66	0,644	12,808	5,809	0,00	0
67	0,541	12,952	5,953	0,14	0,077904
68	0,443	13,103	6,104	0,15	0,066893
69	0,34	13,247	6,248	0,14	0,04896
70	0,241	13,415	6,416	0,17	0,040488
71	0,241	13,415	6,416	0,00	0
72	0,241	13,415	6,416	0,00	0

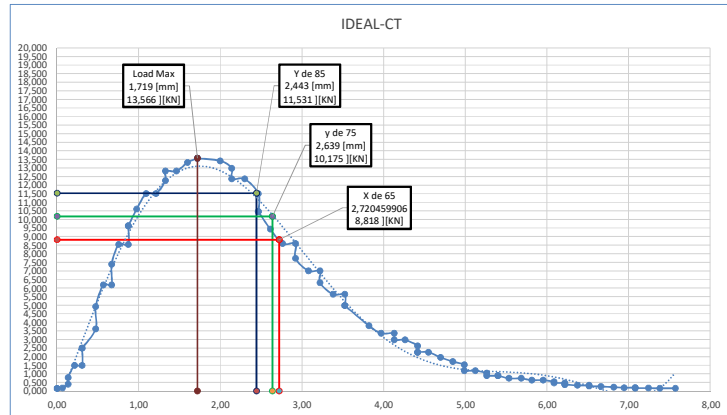
IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 8						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
6,9	-2,1	0,6	-0,1	0,0	0,0	0,0
% Carga max			Carga		Def	
Load Max			13,894 [kN]		1,679 [mm]	
85%			11,810 [kN]		2,346 [mm]	
75%			10,421 [kN]		2,529 [mm]	
65%			9,031 [kN]		2,712 [mm]	
Load Min			0,144 [kN]		0,000 [mm]	
m75			7,591 [N/m]			
W			36,035 [J]			
Gf			5720,518 [J/m²]			
I75			2,529 [mm]			
D			101,600 [mm]			
t			62,000 [mm]			
Corr "t"			62			
CT Index			18,760			



IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 9						
			Estimacion			
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,6	-3,5	1,5	-0,3	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13.566 [lKN]	1.719 [mm]
85%	11.531 [lKN]	2.443 [mm]
75%	10.175 [lKN]	2.639 [mm]
65%	8.818 [lKN]	2.720 [mm]
Load Min	0.144 [lKN]	0.000 [mm]

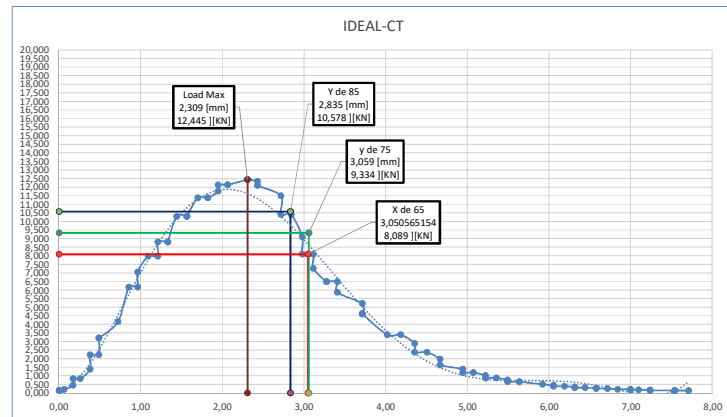
m75	9,784 [N/m]
W	36,826 [l]
Gf	5846,202 [l/m²]
I75	2,639 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr t*	62
CT Index	15,520



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,145	6,594	0,00	0,00	-1,45E-14
2	0,145	6,594	0	0,00	0,0114
3	0,19	6,654	0,06	0,06	0,050064
4	0,447	6,766	0,172	0,11	0
5	0,837	6,766	0,172	0,00	0,073656
6	0,837	6,854	0,26	0,09	0,16632
7	1,386	6,974	0,38	0,12	0
8	2,224	6,974	0,38	0,00	0,237968
9	2,224	7,081	0,487	0,11	0,97619
10	3,204	7,081	0,487	0,00	0,814572
11	3,204	7,081	0,487	0,00	0,672639
12	4,154	7,316	0,722	0,23	0
13	6,171	7,448	0,854	0,13	1,019648
14	6,171	7,557	0,963	0,11	0,947954
15	7,047	7,557	0,963	0,00	0
16	7,966	7,685	1,091	0,13	0
17	7,966	7,804	1,21	0,12	0
18	8,798	7,804	1,21	0,00	0
19	8,798	7,926	1,332	0,12	1,073356
20	8,798	7,926	1,332	0,00	0
21	10,296	8,035	1,441	0,11	1,122264
22	10,296	8,159	1,565	0,12	1,276704
23	10,296	8,159	1,565	0,00	0
24	11,373	8,293	1,699	0,13	1,523982
25	11,373	8,416	1,822	0,12	1,398879
26	11,77	8,542	1,948	0,13	1,48302
27	12,13	8,542	1,948	0,00	0
28	12,13	8,659	2,065	0,12	1,41921
29	12,13	8,659	2,065	0,00	0
30	12,445	8,903	2,309	0,24	3,03658
31	12,445	8,903	2,309	0,00	0
32	12,336	9,026	2,432	0,12	1,517328
33	12,097	9,026	2,432	0,00	0
34	11,502	9,311	2,717	0,29	3,27807
35	10,399	9,311	2,717	0,00	0
36	10,399	9,439	2,845	0,13	1,331072
37	9,091	9,574	2,98	0,14	1,227285
38	8,088	9,574	2,98	0,00	0
39	8,088	9,709	3,115	0,14	1,09188
40	7,259	9,709	3,115	0,00	0
41	6,481	9,872	3,278	0,16	1,056403
42	6,481	9,872	3,278	0,00	0
43	6,481	10,003	3,409	0,13	0,849011
44	5,865	10,003	3,409	0,00	0
45	5,215	10,308	3,714	0,31	1,590575
46	4,611	10,308	3,714	0,00	0
47	4,611	10,308	3,714	0,00	0
48	4,611	10,308	3,714	0,00	0
49	3,395	10,613	4,019	0,31	1,035475
50	3,395	10,779	4,185	0,17	0,56357
51	2,886	10,951	4,357	0,17	0,496392
52	2,371	10,951	4,357	0,00	0
53	2,371	11,1	4,506	0,15	0,353279
54	1,968	11,261	4,667	0,16	0,316848
55	1,628	11,261	4,667	0,00	0
56	1,384	11,54	4,946	0,28	0,386136
57	1,184	11,54	4,946	0,00	0
58	1,184	11,669	5,075	0,13	0,152736
59	1,017	11,819	5,225	0,15	0,15255
60	0,872	11,819	5,225	0,00	0
61	0,872	11,819	5,225	0,00	0
62	0,872	11,951	5,357	0,13	0,115104
63	0,75	12,089	5,495	0,14	0,1035
64	0,656	12,089	5,495	0,00	0
65	0,656	12,232	5,638	0,14	0,093808
66	0,656	12,232	5,638	0,00	0
67	0,504	12,517	5,923	0,29	0,14364
68	0,439	12,651	6,057	0,13	0,058826
69	0,389	12,651	6,057	0,00	0
70	0,389	12,785	6,191	0,13	0,052126
71	0,343	12,911	6,317	0,13	0,043218
72	0,305	12,911	6,317	0,00	0
73	0,305	13,038	6,444	0,13	0,038735
74	0,278	13,174	6,58	0,14	0,037808
75	0,254	13,174	6,58	0,00	0
76	0,254	13,311	6,717	0,14	0,034798
77	0,213	13,437	6,843	0,13	0,026838
78	0,213	13,592	6,998	0,16	0,033015
79	0,188	13,592	6,998	0,00	0
80	0,188	13,592	6,998	0,00	0
81	0,188	13,695	7,101	0,10	0,019364
82	0,165	13,835	7,241	0,14	0,0231
83	0,151	13,835	7,241	0,00	0
84	0,151	13,835	7,241	0,00	0
85	0,139	14,135	7,541	0,30	0,0417
86	0,139	14,135	7,541	0,00	0
87	0,139	14,306	7,712	0,17	0,023769

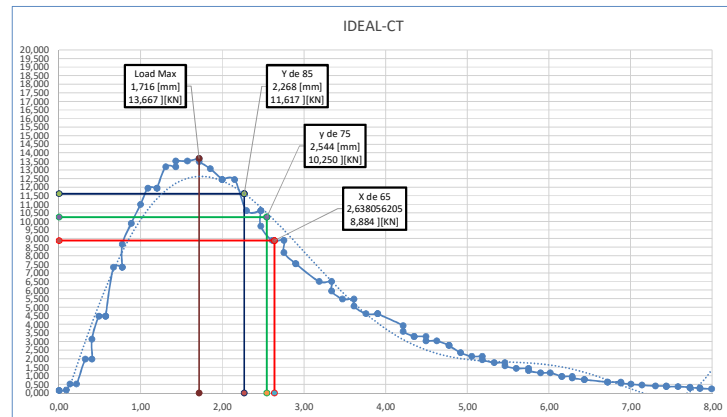
IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 10						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,8	-4,5	2,4	-0,6	0,1	0,0	0,0
% Carga max	Carga		Def			
Load Max	12,445 [kN]		2,309 [mm]			
85%	10,578 [kN]		2,835 [mm]			
75%	9,334 [kN]		3,059 [mm]			
65%	8,089 [kN]		3,051 [mm]			
Load Min	0,139 [kN]		7,541 [mm]			
			m75	11,542 [N/m]		
			W	33,592 [J]		
			Gf	5332,799 [J/m²]		
			I75	3,059 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	13,914		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,14	6,721	0,00	0,00	-1,4E-14
2	0,14	6,721	0	0,00	0,014696
3	0,167	6,809	0,088	0,09	0,023535
4	0,523	6,854	0,133	0,04	0,04184
5	0,523	6,934	0,213	0,08	0,04184
6	1,97	7,043	0,322	0,11	0,21473
7	1,97	7,123	0,402	0,08	0,1576
8	3,133	7,123	0,402	0,00	0
9	4,471	7,21	0,489	0,09	0,388977
10	4,471	7,291	0,57	0,08	0,362151
11	4,471	7,291	0,57	0,00	0
12	7,329	7,387	0,666	0,10	0,703584
13	7,329	7,495	0,774	0,11	0,791532
14	7,329	7,495	0,774	0,00	0
15	8,664	7,495	0,774	0,00	0
16	9,884	7,605	0,884	0,11	1,08724
17	10,991	7,718	0,997	0,11	1,241983
18	11,932	7,811	1,09	0,09	1,109676
19	11,932	7,921	1,2	0,11	1,31252
20	11,932	7,921	1,2	0,00	0
21	13,183	8,028	1,307	0,11	1,410581
22	13,183	8,15	1,429	0,12	1,608326
23	13,518	8,15	1,429	0,00	0
24	13,518	8,294	1,573	0,14	1,946592
25	13,667	8,437	1,716	0,14	1,954381
26	13,498	8,437	1,716	0,00	0
27	13,076	8,572	1,851	0,14	1,76526
28	12,439	8,72	1,999	0,15	1,840972
29	12,439	8,72	1,999	0,00	0
30	12,439	8,871	2,15	0,15	1,878289
31	10,628	9,018	2,297	0,15	1,562316
32	10,628	9,192	2,471	0,17	1,849272
33	10,628	9,192	2,471	0,00	0
34	9,726	9,192	2,471	0,00	0
35	8,896	9,331	2,61	0,14	1,236544
36	8,896	9,475	2,754	0,14	1,281024
37	8,181	9,475	2,754	0,00	0
38	7,534	9,62	2,899	0,15	1,09243
39	7,534	9,62	2,899	0,00	0
40	6,496	9,907	3,186	0,29	1,864352
41	6,496	10,059	3,338	0,15	0,987392
42	5,942	10,059	3,338	0,00	0
43	5,475	10,193	3,472	0,13	0,73365
44	5,475	10,333	3,612	0,14	0,7665
45	5,059	10,333	3,612	0,00	0
46	4,619	10,48	3,759	0,15	0,678993
47	4,619	10,623	3,902	0,14	0,660517
48	4,619	10,623	3,902	0,00	0
49	3,918	10,935	4,214	0,31	1,22416
50	3,583	10,935	4,214	0,00	0
51	3,285	11,071	4,35	0,14	0,44676
52	3,285	11,071	4,35	0,00	0
53	3,285	11,215	4,494	0,14	0,47304
54	3,038	11,215	4,494	0,00	0
55	3,038	11,348	4,627	0,13	0,404054
56	2,769	11,498	4,777	0,15	0,41535
57	2,769	11,498	4,777	0,00	0
58	2,346	11,639	4,918	0,14	0,330786
59	2,13	11,777	5,056	0,14	0,29394
60	2,13	11,905	5,184	0,13	0,27264
61	1,936	11,905	5,184	0,00	0
62	1,767	12,051	5,33	0,15	0,257982
63	1,767	12,183	5,462	0,13	0,233244
64	1,579	12,183	5,462	0,00	0
65	1,43	12,32	5,599	0,14	0,19591
66	1,43	12,473	5,752	0,15	0,21879
67	1,293	12,473	5,752	0,00	0
68	1,167	12,619	5,898	0,15	0,170382
69	1,167	12,739	6,018	0,12	0,14004
70	0,958	12,879	6,158	0,14	0,13412
71	0,958	12,879	6,158	0,00	0
72	0,958	13,007	6,286	0,13	0,122624
73	0,866	13,007	6,286	0,00	0
74	0,774	13,156	6,435	0,15	0,115326
75	0,774	13,156	6,435	0,00	0
76	0,632	13,44	6,719	0,28	0,179488
77	0,632	13,44	6,719	0,00	0
78	0,632	13,603	6,882	0,16	0,103016
79	0,569	13,603	6,882	0,00	0
80	0,511	13,726	7,005	0,12	0,062853
81	0,456	13,862	7,141	0,14	0,062016
82	0,406	14,027	7,306	0,16	0,06699
83	0,406	14,159	7,438	0,13	0,053592
84	0,366	14,159	7,438	0,00	0
85	0,366	14,302	7,581	0,14	0,052338
86	0,328	14,451	7,73	0,15	0,048872
87	0,294	14,451	7,73	0,00	0
88	0,294	14,571	7,85	0,12	0,03528
89	0,262	14,571	7,85	0,00	0
90	0,234	14,715	7,994	0,14	0,033696
91	0,234	14,849	8,128	0,13	0,031356
92	0,207	14,849	8,128	0,00	0
93	0,207	14,849	8,128	0,00	0
94	0,207	14,849	8,128	0,00	0
95	0,16	15,126	8,405	0,28	0,04432
96	0,153	15,268	8,547	0,14	0,021726
97	0,153	15,42	8,699	0,15	0,023256

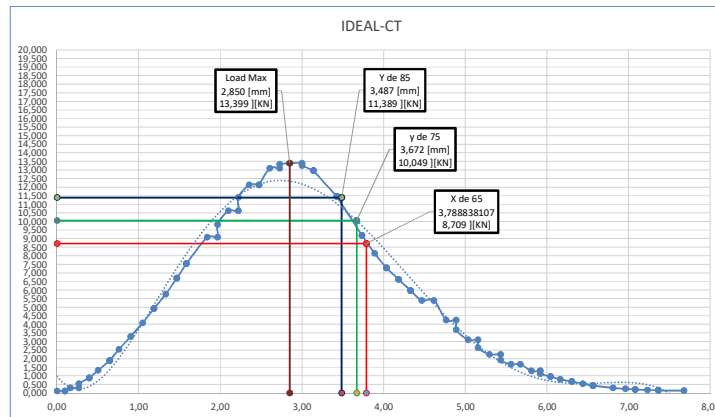
IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 11						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,9	-4,1	1,7	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	13,667 [kN]	1,716 [mm]				
85%	11,617 [kN]	2,268 [mm]				
75%	10,250 [kN]	2,544 [mm]				
65%	8,884 [kN]	2,638 [mm]				
Load Min	0,140 [kN]	0,000 [mm]				
			m75	7,379 [N/m]		
			W	38,834 [J]		
			Gf	6164,856 [J/m²]		
			I75	2,544 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	20,924		



IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%
PROBETA N° 13

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,399][[KN]	2,850 [mm]
85%	11,389][[KN]	3,487 [mm]
75%	10,049][[KN]	3,672 [mm]
65%	8,709][[KN]	3,789 [mm]
Load Min	0,109][[KN]	0,000 [mm]

m75	8,869 [N/m]
W	39,102 [J]
Gf	6207,390 [J/m ²]
l75	3,672 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	25,294



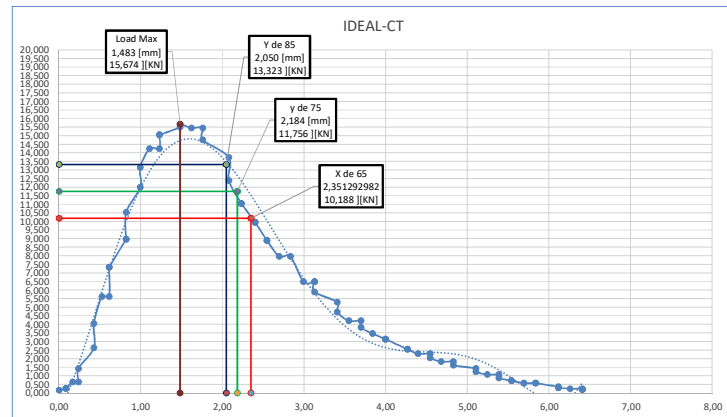
Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
1	0.158	6,897	0,00	def	intervalo
2	0.258	6,981	0,084	0,08	0,021672
3	0.258	6,981	0,084	0,00	0
4	0.637	7,064	0,167	0,08	0,052871
5	0.637	7,134	0,237	0,07	0,04459
6	1.42	7,134	0,237	0,00	0
7	2.63	7,324	0,427	0,19	0,4997
8	4.041	7,324	0,427	0,00	0
9	5.623	7,422	0,525	0,10	0,551054
10	5.623	7,51	0,613	0,09	0,494824
11	7.325	7,51	0,613	0,00	0
12	7.325	7,51	0,613	0,00	0
13	8.962	7,719	0,822	0,21	1,873058
14	8.962	7,719	0,822	0,00	0
15	10.529	7,719	0,822	0,00	0
16	11.99	7.891	0.994	0.17	2,06228
17	13.152	7.891	0.994	0.00	0
18	14.244	8,006	1,109	0,12	1,63806
19	14.244	8,126	1,229	0,12	1,70928
20	15.045	8,126	1,229	0,00	0
21	15.045	8,126	1,229	0,00	0
22	15.501	8,38	1,483	0,25	3,937254
23	15.674	8,38	1,483	0,00	0
24	15.451	8,52	1,623	0,14	2,16314
25	15.451	8,657	1,76	0,14	2,116787
26	14.76	8,657	1,76	0,00	0
27	13.736	8,976	2,079	0,32	4,381784
28	12.389	8,976	2,079	0,00	0
29	11.036	9.13	2.233	0.15	1,699544
30	11.036	9.13	2.233	0.00	0
31	9.946	9,299	2,402	0,17	1,680874
32	9.946	9,299	2,402	0,00	0
33	8.885	9,444	2,547	0,15	1,288325
34	8.885	9,444	2,547	0,00	0
35	7.958	9,594	2,697	0,15	1,1937
36	7.958	9,732	2,835	0,14	1,098204
37	6.481	9,891	2,994	0,16	1,030479
38	6.481	10,026	3,129	0,14	0,874935
39	6.481	10,026	3,129	0,00	0
40	5.886	10,026	3,129	0,00	0
41	5.289	10,305	3,408	0,28	1,475631
42	4.719	10,305	3,408	0,00	0
43	4.206	10,447	3,55	0,14	0,597252
44	4.206	10,596	3,699	0,15	0,626694
45	3.82	10,596	3,699	0,00	0
46	3.462	10,738	3,841	0,14	0,491604
47	3.136	10,896	3,999	0,16	0,495488
48	3.136	10,896	3,999	0,00	0
49	3.136	10,896	3,999	0,00	0
50	2.546	11,166	4,269	0,27	0,68742
51	2.546	11,166	4,269	0,00	0
52	2.283	11,294	4,397	0,13	0,292224
53	2.283	11,443	4,546	0,15	0,340167
54	2.043	11,443	4,546	0,00	0
55	1.828	11,577	4,68	0,13	0,244952
56	1.828	11,728	4,831	0,15	0,276028
57	1.612	11,728	4,831	0,00	0
58	1.426	12,004	5,107	0,28	0,393576
59	1.237	12,004	5,107	0,00	0
60	1.068	12,144	5,247	0,14	0,14952
61	1.068	12,285	5,388	0,14	0,150588
62	0.87	12,285	5,388	0,00	0
63	0.707	12,44	5,543	0,15	0,109585
64	0.707	12,44	5,543	0,00	0
65	0.574	12,592	5,695	0,15	0,087248
66	0.574	12,735	5,838	0,14	0,082082
67	0.574	12,735	5,838	0,00	0
68	0.356	13,014	6,117	0,28	0,099324
69	0.299	13,014	6,117	0,00	0
70	0.299	13,014	6,117	0,00	0
71	0.246	13,158	6,261	0,14	0,035424
72	0.246	13,307	6,41	0,15	0,036654
73	0.197	13,307	6,41	0,00	0
74	0.197	13,307	6,41	0,00	0
75	0.197	13,307	6,41	0,00	0
76	0.197	13,307	6,41	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 14						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
6,6	-1,6	0,4	-0,1	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	15,674 [kN]	1,483 [mm]
85%	13,323 [kN]	2,050 [mm]
75%	11,756 [kN]	2,184 [mm]
65%	10,188 [kN]	2,351 [mm]
Load Min	0,158 [kN]	0,000 [mm]

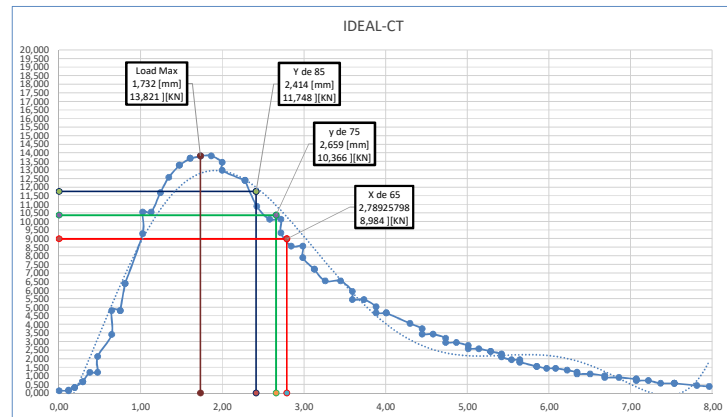
m75	10,392 [N/m]
W	37,084 [J]
Gf	5887,077 [J/m²]
I75	2,184 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr t"	62
CT Index	12,179



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,13	6,717	0,00	0,12	0,01521
2	0,13	6,834	0,117	0,00	0
3	0,161	6,834	0,117	0,00	0
4	0,314	6,907	0,19	0,07	0,022922
5	0,314	6,907	0,19	0,00	0
6	0,65	7,008	0,291	0,10	0,06565
7	0,65	7,008	0,291	0,00	0
8	1,192	7,093	0,376	0,09	0,10132
9	1,192	7,189	0,472	0,10	0,114432
10	2,12	7,189	0,472	0,00	0
11	3,402	7,361	0,644	0,17	0,585144
12	4,799	7,361	0,644	0,00	0
13	4,799	7,466	0,749	0,11	0,503895
14	4,799	7,466	0,749	0,00	0
15	6,376	7,525	0,808	0,06	0,376184
16	6,376	7,525	0,808	0,00	0
17	9,29	7,741	1,024	0,22	2,00664
18	10,545	7,741	1,024	0,00	0
19	10,545	7,846	1,129	0,11	1,107225
20	11,674	7,958	1,241	0,11	1,307488
21	12,573	8,062	1,345	0,10	1,307592
22	13,284	8,191	1,474	0,13	1,713636
23	13,284	8,191	1,474	0,00	0
24	13,683	8,323	1,606	0,13	1,806156
25	13,683	8,323	1,606	0,00	0
26	13,807	8,449	1,732	0,13	1,739682
27	13,821	8,449	1,732	0,00	0
28	13,821	8,581	1,864	0,13	1,824372
29	13,441	8,716	1,999	0,14	1,814535
30	12,977	8,716	1,999	0,00	0
31	12,398	8,994	2,277	0,28	3,446644
32	12,398	8,994	2,277	0,00	0
33	12,398	8,994	2,277	0,00	0
34	10,884	9,14	2,423	0,15	1,589064
35	10,125	9,296	2,579	0,16	1,5795
36	10,125	9,434	2,717	0,14	1,39725
37	9,328	9,434	2,717	0,00	0
38	8,559	9,561	2,844	0,13	1,086993
39	8,559	9,703	2,986	0,14	1,215378
40	7,885	9,703	2,986	0,00	0
41	7,21	9,845	3,128	0,14	1,02382
42	7,21	9,845	3,128	0,00	0
43	6,529	9,977	3,26	0,13	0,861828
44	6,529	10,166	3,449	0,19	1,233981
45	5,913	10,309	3,592	0,14	0,845559
46	5,441	10,309	3,592	0,00	0
47	5,441	10,452	3,735	0,14	0,778063
48	5,024	10,601	3,884	0,15	0,748576
49	4,667	10,601	3,884	0,00	0
50	4,667	10,724	4,007	0,12	0,574041
51	4,667	10,724	4,007	0,00	0
52	4,052	11,017	4,3	0,29	1,187236
53	3,743	11,165	4,448	0,15	0,553964
54	3,427	11,165	4,448	0,00	0
55	3,427	11,299	4,582	0,13	0,459218
56	3,194	11,452	4,735	0,15	0,488682
57	2,935	11,452	4,735	0,00	0
58	2,935	11,583	4,866	0,13	0,384485
59	2,763	11,728	5,011	0,15	0,400635
60	2,577	11,728	5,011	0,00	0
61	2,577	11,859	5,142	0,13	0,337587
62	2,419	12,003	5,286	0,14	0,348336
63	2,419	12,003	5,286	0,00	0
64	2,274	12,138	5,421	0,14	0,30699
65	2,095	12,138	5,421	0,00	0
66	1,935	12,26	5,543	0,12	0,23607
67	1,935	12,361	5,644	0,10	0,195435
68	1,794	12,361	5,644	0,00	0
69	1,794	12,361	5,644	0,00	0
70	1,543	12,569	5,852	0,21	0,320944
71	1,543	12,569	5,852	0,00	0
72	1,436	12,69	5,973	0,12	0,173756
73	1,436	12,8	6,083	0,11	0,15796
74	1,325	12,942	6,225	0,14	0,18815
75	1,203	13,062	6,345	0,12	0,14436
76	1,104	13,062	6,345	0,00	0
77	1,104	13,223	6,506	0,16	0,177744
78	0,997	13,402	6,685	0,18	0,178463
79	0,899	13,402	6,685	0,00	0
80	0,899	13,576	6,859	0,17	0,156426
81	0,809	13,789	7,072	0,21	0,172317
82	0,809	13,789	7,072	0,00	0
83	0,716	13,789	7,072	0,00	0
84	0,716	13,936	7,219	0,15	0,105252
85	0,565	14,086	7,369	0,15	0,08475
86	0,565	14,254	7,537	0,17	0,09492
87	0,565	14,254	7,537	0,00	0
88	0,565	14,254	7,537	0,00	0
89	0,429	14,53	7,813	0,28	0,118404
90	0,376	14,682	7,965	0,15	0,057152
91	0,321	14,682	7,965	0,00	0
92	0,321	14,812	8,095	0,13	0,04173
93	0,278	14,963	8,246	0,15	0,041978
94	0,234	14,963	8,246	0,00	0
95	0,234	15,102	8,385	0,14	0,032526
96	0,167	15,243	8,526	0,14	0,023547
97	0,167	15,382	8,665	0,14	0,023213

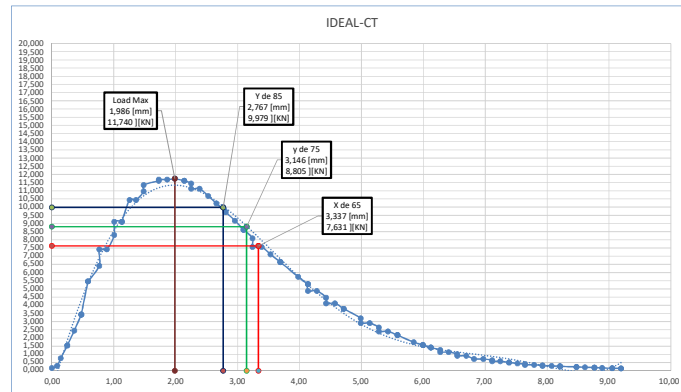
IDEAL CT - CAC D19 CA30 4,6%						
PROBETA N° 17						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
9,2	-3,5	1,3	-0,3	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	13,821 [kN]	1,732 [mm]				
85%	11,748 [kN]	2,414 [mm]				
75%	10,366 [kN]	2,659 [mm]				
65%	8,984 [kN]	2,789 [mm]				
Load Min	0,130 [kN]	0,000 [mm]				
			m75	7,365 [N/m]		
			W	40,030 [J]		
			Gf	6354,712 [J/m²]		
			I75	2,659 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	22,585		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,162	7,114	0,00		
2	0,295	7,198	0,084	0,08	0,02478
3	0,766	7,257	0,143	0,06	0,045194
4	1,542	7,363	0,249	0,11	0,163452
5	1,542	7,363	0,249	0,00	0
6	2,452	7,476	0,362	0,11	0,277076
7	3,434	7,588	0,474	0,11	0,384608
8	3,434	7,588	0,474	0,00	0
9	3,434	7,588	0,474	0,00	0
10	5,461	7,696	0,582	0,11	0,589788
11	5,461	7,696	0,582	0,00	0
12	6,414	7,879	0,765	0,18	1,173762
13	7,418	8,779	0,765	0,00	0
14	7,418	8,002	0,888	0,12	0,912414
15	8,291	8,121	1,007	0,12	0,986629
16	9,107	8,121	1,007	0,00	0
17	9,107	8,244	1,13	0,12	1,120161
18	9,107	8,244	1,13	0,00	0
19	10,438	8,368	1,254	0,12	1,294312
20	10,438	8,472	1,358	0,10	1,085552
21	10,962	8,596	1,482	0,12	1,359288
22	11,35	8,596	1,482	0,00	0
23	11,61	8,839	1,725	0,24	2,82123
24	11,687	8,839	1,725	0,00	0
25	11,687	8,978	1,864	0,14	1,624493
26	11,74	9,1	1,986	0,12	1,43228
27	11,74	9,1	1,986	0,00	0
28	11,615	9,252	2,138	0,15	1,76548
29	11,615	9,252	2,138	0,00	0
30	11,443	9,365	2,251	0,11	1,293059
31	11,124	9,365	2,251	0,00	0
32	11,124	9,5	2,386	0,14	1,50174
33	10,677	9,64	2,526	0,14	1,49478
34	10,23	9,772	2,658	0,13	1,35036
35	9,706	9,918	2,804	0,15	1,417076
36	9,706	9,918	2,804	0,00	0
37	9,174	10,07	2,956	0,15	1,394448
38	8,616	10,209	3,095	0,14	1,197624
39	8,616	10,209	3,095	0,00	0
40	8,093	10,355	3,241	0,15	1,181578
41	7,568	10,355	3,241	0,00	0
42	7,568	10,501	3,387	0,15	1,104928
43	7,114	10,646	3,532	0,15	1,03153
44	6,639	10,804	3,69	0,16	1,048962
45	6,639	10,804	3,69	0,00	0
46	6,639	10,804	3,69	0,00	0
47	5,736	11,094	3,98	0,29	1,66344
48	5,295	11,25	4,136	0,16	0,82602
49	5,295	11,25	4,136	0,00	0
50	4,876	11,25	4,136	0,00	0
51	4,876	11,393	4,279	0,14	0,697268
52	4,468	11,543	4,429	0,15	0,6702
53	4,117	11,543	4,429	0,00	0
54	4,117	11,687	4,573	0,14	0,592848
55	3,785	11,827	4,713	0,14	0,5299
56	3,785	11,827	4,713	0,00	0
57	3,199	12,103	4,989	0,28	0,882924
58	2,912	12,103	4,989	0,00	0
59	2,912	12,249	5,135	0,15	0,425152
60	2,641	12,395	5,281	0,15	0,385586
61	2,403	12,395	5,281	0,00	0
62	2,403	12,542	5,428	0,15	0,353241
63	2,174	12,696	5,582	0,15	0,334796
64	2,174	12,696	5,582	0,00	0
65	2,174	12,696	5,582	0,00	0
66	1,744	12,96	5,846	0,26	0,460416
67	1,574	13,106	5,992	0,15	0,229804
68	1,574	13,106	5,992	0,00	0
69	1,418	13,237	6,123	0,13	0,185758
70	1,418	13,237	6,123	0,00	0
71	1,271	13,388	6,274	0,15	0,191921
72	1,138	13,388	6,274	0,00	0
73	1,138	13,523	6,409	0,14	0,15363
74	1,015	13,662	6,548	0,14	0,141085
75	0,912	13,662	6,548	0,00	0
76	0,912	13,808	6,694	0,15	0,133152
77	0,72	13,934	6,82	0,13	0,09072
78	0,72	14,082	6,968	0,15	0,10656
79	0,645	14,226	7,112	0,14	0,09288
80	0,576	14,226	7,112	0,00	0
81	0,576	14,358	7,244	0,13	0,076032
82	0,503	14,499	7,385	0,14	0,070923
83	0,503	14,499	7,385	0,00	0
84	0,448	14,634	7,52	0,14	0,06048
85	0,397	14,756	7,642	0,12	0,048434
86	0,358	14,756	7,642	0,00	0
87	0,358	14,903	7,789	0,15	0,052626
88	0,329	15,04	7,926	0,14	0,045073
89	0,297	15,04	7,926	0,00	0
90	0,297	15,187	8,073	0,15	0,043659
91	0,268	15,322	8,208	0,13	0,03618
92	0,268	15,322	8,208	0,00	0
93	0,268	15,322	8,208	0,00	0
94	0,231	15,588	8,474	0,27	0,061446
95	0,231	15,588	8,474	0,00	0
96	0,213	15,725	8,611	0,14	0,029181
97	0,188	15,878	8,764	0,15	0,028764
98	0,188	15,878	8,764	0,00	0
99	0,17	16,003	8,889	0,13	0,02125
100	0,151	16,166	9,052	0,16	0,024613
101	0,151	16,166	9,052	0,00	0
102	0,141	16,308	9,194	0,14	0,020022
103	0,141	16,308	9,194	0,00	0

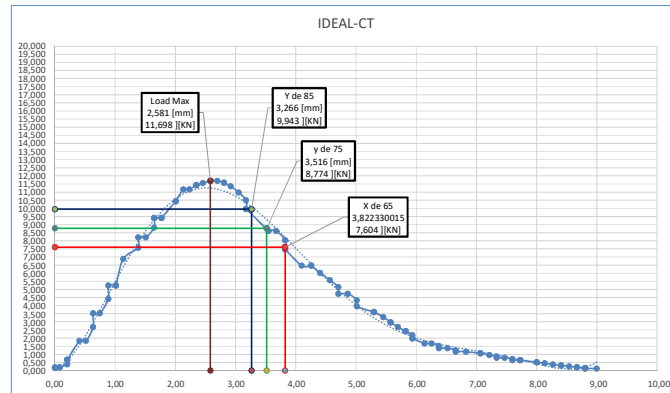
IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%					
PROBETA N° 1					
Estimacion					
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5
9,4	-4,8	2,4	-0,6	0,1	0,0
% Carga max			Carga		
Load Max			Def		
85%			m75		
75%			W		
65%			Gf		
Load Min			I75		
			D		
			t		
			Corr "t"		
			CT Index		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,152	6,599	0,00	0,00	-2,05E-14
2	0,205	6,599	0	0,00	0,015785
3	0,205	6,676	0,077	0,08	0
4	0,205	6,676	0,077	0,00	0,04826
5	0,38	6,803	0,204	0,13	0
6	0,662	6,803	0,204	0,00	0
7	0,662	6,803	0,204	0,00	0
8	1,828	7,007	0,408	0,20	0,372912
9	1,828	7,113	0,514	0,11	0,193768
10	2,676	7,233	0,634	0,12	0,32112
11	3,525	7,233	0,634	0,00	0
12	3,525	7,342	0,743	0,11	0,384225
13	4,412	7,485	0,886	0,14	0,630916
14	5,241	7,485	0,886	0,00	0
15	5,241	7,611	1,012	0,13	0,660366
16	5,241	7,611	1,012	0,00	0
17	6,875	7,733	1,134	0,12	0,83875
18	7,578	7,98	1,381	0,25	1,871766
19	8,214	7,98	1,381	0,00	0
20	8,214	8,106	1,507	0,13	1,034964
21	8,815	8,245	1,646	0,14	1,225285
22	9,409	8,245	1,646	0,00	0
23	9,409	8,245	1,646	0,00	0
24	9,409	8,37	1,771	0,13	1,176125
25	9,409	8,37	1,771	0,00	0
26	10,433	8,605	2,006	0,24	2,451755
27	10,433	8,605	2,006	0,00	0
28	11,169	8,732	2,133	0,13	1,418463
29	11,169	8,829	2,23	0,10	1,083393
30	11,43	8,949	2,35	0,12	1,3716
31	11,43	8,949	2,35	0,00	0
32	11,553	9,055	2,456	0,11	1,224618
33	11,698	9,18	2,581	0,13	1,46225
34	11,698	9,18	2,581	0,00	0
35	11,695	9,297	2,698	0,12	1,368315
36	11,582	9,408	2,809	0,11	1,285602
37	11,582	9,408	2,809	0,00	0
38	11,36	9,519	2,92	0,11	1,26096
39	10,979	9,649	3,05	0,13	1,42727
40	10,503	9,773	3,174	0,12	1,302372
41	9,972	9,773	3,174	0,00	0
42	9,972	9,773	3,174	0,00	0
43	9,972	9,773	3,174	0,00	0
44	8,606	10,145	3,546	0,37	3,201432
45	8,606	10,145	3,546	0,00	0
46	8,606	10,271	3,672	0,13	1,084356
47	8,031	10,423	3,824	0,15	1,220712
48	7,478	10,423	3,824	0,00	0
49	7,478	10,423	3,824	0,00	0
50	6,471	10,694	4,095	0,27	1,753641
51	6,471	10,853	4,254	0,16	1,028889
52	6,471	10,853	4,254	0,00	0
53	6,019	11,002	4,403	0,15	0,896831
54	5,576	11,165	4,566	0,16	0,908888
55	5,157	11,305	4,706	0,14	0,72198
56	4,737	11,305	4,706	0,00	0
57	4,737	11,461	4,862	0,16	0,738972
58	4,333	11,612	5,013	0,15	0,654283
59	3,962	11,612	5,013	0,00	0
60	3,613	11,895	5,296	0,28	1,022479
61	3,613	11,895	5,296	0,00	0
62	3,613	11,895	5,296	0,00	0
63	3,297	12,051	5,452	0,16	0,514332
64	2,973	12,173	5,574	0,12	0,362706
65	2,973	12,173	5,574	0,00	0
66	2,676	12,295	5,696	0,12	0,326472
67	2,423	12,423	5,824	0,13	0,310144
68	2,423	12,423	5,824	0,00	0
69	2,178	12,534	5,935	0,11	0,241758
70	1,986	12,534	5,935	0,00	0
71	1,986	12,534	5,935	0,00	0
72	1,666	12,737	6,138	0,20	0,338198
73	1,666	12,853	6,254	0,12	0,193256
74	1,514	12,974	6,375	0,12	0,183194
75	1,378	12,974	6,375	0,00	0
76	1,378	13,117	6,518	0,14	0,197054
77	1,249	13,256	6,657	0,14	0,173611
78	1,16	13,256	6,657	0,00	0
79	1,16	13,424	6,825	0,17	0,19488
80	1,057	13,665	7,066	0,24	0,254737
81	1,057	13,665	7,066	0,00	0
82	0,955	13,812	7,213	0,15	0,140385
83	0,868	13,934	7,335	0,12	0,105896
84	0,785	13,934	7,335	0,00	0
85	0,785	14,068	7,469	0,13	0,10519
86	0,714	14,196	7,597	0,13	0,091392
87	0,644	14,196	7,597	0,00	0
88	0,644	14,324	7,725	0,13	0,082432
89	0,644	14,324	7,725	0,00	0
90	0,509	14,599	8	0,28	0,139975
91	0,509	14,599	8	0,00	0
92	0,447	14,733	8,134	0,13	0,059898
93	0,373	14,867	8,268	0,13	0,049982
94	0,316	15,005	8,406	0,14	0,043608
95	0,316	15,005	8,406	0,00	0
96	0,261	15,138	8,539	0,13	0,034713
97	0,205	15,268	8,669	0,13	0,02665
98	0,205	15,268	8,669	0,00	0
99	0,158	15,403	8,804	0,14	0,02133
100	0,158	15,403	8,804	0,00	0
101	0,125	15,403	8,804	0,00	0
102	0,125	15,596	8,997	0,19	0,024125

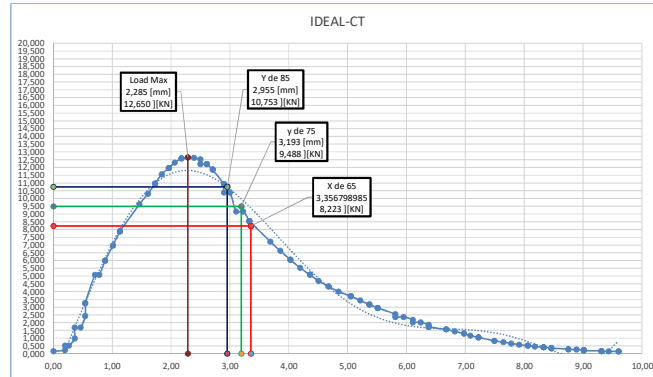
IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 5						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
9,3	-3,2	1,2	-0,2	0,0	0,0	0
% Carga max	Carga		Def			
Load Max	11,698 [kN]	2,581 [mm]			m75	4,202 [N/m]
85%	9,943 [kN]	3,266 [mm]			W	41,879 [J]
75%	8,774 [kN]	3,516 [mm]			Gf	6648,340 [J/mm²]
65%	7,604 [kN]	3,822 [mm]			I75	3,516 [mm]
Load Min	0,125 [kN]	8,804 [mm]			D	101,600 [mm]
					t	62,000 [mm]
					Corr "t"	62
					CT Index	54,758



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,159	6,617	0,00	def	0,046295
2	0,235	6,814	0,197	0,20	0
3	0,52	6,814	0,197	0,00	0,0338
4	0,52	6,879	0,262	0,06	0,097812
5	0,988	6,978	0,361	0,10	0
6	1,684	6,978	0,361	0,00	0,170084
7	1,684	7,079	0,462	0,10	0,189384
8	2,428	7,157	0,54	0,08	0
9	3,253	7,157	0,54	0,00	0
10	3,253	7,157	0,54	0,00	0
11	5,086	7,322	0,705	0,17	0,83919
12	5,086	7,395	0,778	0,07	0,371278
13	6	7,494	0,877	0,10	0,594
14	6	7,494	0,877	0,00	0
15	6,973	7,629	1,012	0,14	0,941355
16	6,973	7,629	1,012	0,00	0
17	7,881	7,747	1,13	0,12	0,929958
18	7,881	7,747	1,13	0,00	0
19	7,881	7,747	1,13	0,00	0
20	9,63	8,08	1,463	0,33	3,20679
21	10,304	8,222	1,605	0,14	1,463168
22	10,961	8,345	1,728	0,12	1,348203
23	10,961	8,345	1,728	0,00	0
24	11,554	8,457	1,84	0,11	1,294048
25	11,964	8,578	1,961	0,12	1,447644
26	11,964	8,578	1,961	0,00	0
27	12,311	8,677	2,06	0,10	1,218789
28	12,585	8,793	2,176	0,12	1,45986
29	12,585	8,793	2,176	0,00	0
30	12,65	8,902	2,285	0,11	1,37885
31	12,625	9,006	2,389	0,10	1,313
32	12,519	9,114	2,497	0,11	1,352052
33	12,218	9,114	2,497	0,00	0
34	12,218	9,223	2,606	0,11	1,331762
35	12,218	9,223	2,606	0,00	0
36	11,874	9,324	2,707	0,10	1,199274
37	11,874	9,324	2,707	0,00	0
38	10,931	9,515	2,898	0,19	2,087821
39	10,931	9,515	2,898	0,00	0
40	10,383	9,515	2,898	0,00	0
41	10,383	9,617	3	0,10	1,059066
42	9,164	9,722	3,105	0,10	0,96222
43	9,164	9,842	3,225	0,12	1,09968
44	8,546	9,946	3,329	0,10	0,888784
45	8,546	9,946	3,329	0,00	0
46	8,546	9,946	3,329	0,00	0
47	8,546	9,946	3,329	0,00	0
48	7,223	10,303	3,686	0,36	2,578611
49	6,634	10,472	3,855	0,17	1,121146
50	6,055	10,643	4,026	0,17	1,035405
51	6,055	10,643	4,026	0,00	0
52	5,536	10,808	4,191	0,16	0,91344
53	5,089	10,977	4,36	0,17	0,860041
54	5,089	10,977	4,36	0,00	0
55	4,695	11,12	4,503	0,14	0,671385
56	4,331	11,292	4,675	0,17	0,744932
57	4,331	11,292	4,675	0,00	0
58	4,004	11,461	4,844	0,17	0,676676
59	3,708	11,671	5,054	0,21	0,77868
60	3,708	11,671	5,054	0,00	0
61	3,43	11,831	5,214	0,16	0,5488
62	3,171	11,986	5,369	0,16	0,491505
63	3,171	11,986	5,369	0,00	0
64	2,938	12,127	5,51	0,14	0,414258
65	2,938	12,127	5,51	0,00	0
66	2,541	12,428	5,811	0,30	0,764841
67	2,361	12,428	5,811	0,00	0
68	2,361	12,567	5,95	0,14	0,328179
69	2,186	12,723	6,106	0,16	0,341016
70	2,016	12,723	6,106	0,00	0
71	2,016	12,859	6,242	0,14	0,274176
72	1,866	12,992	6,375	0,13	0,248178
73	1,715	12,992	6,375	0,00	0
74	1,715	12,992	6,375	0,00	0
75	1,566	13,29	6,673	0,30	0,466668
76	1,566	13,29	6,673	0,00	0
77	1,434	13,437	6,82	0,15	0,210798
78	1,301	13,593	6,976	0,16	0,202956
79	1,301	13,593	6,976	0,00	0
80	1,165	13,701	7,084	0,11	0,12582
81	1,051	13,839	7,222	0,14	0,145038
82	1,051	13,839	7,222	0,00	0
83	1,051	13,839	7,222	0,00	0
84	0,831	14,11	7,493	0,27	0,225201
85	0,831	14,11	7,493	0,00	0
86	0,745	14,263	7,646	0,15	0,113985
87	0,657	14,397	7,78	0,13	0,088038
88	0,583	14,531	7,914	0,13	0,078122
89	0,521	14,678	8,061	0,15	0,076587
90	0,521	14,678	8,061	0,00	0
91	0,46	14,799	8,182	0,12	0,05566
92	0,416	14,946	8,329	0,15	0,061152
93	0,416	14,946	8,329	0,00	0
94	0,416	14,946	8,329	0,00	0
95	0,384	15,08	8,463	0,13	0,051456
96	0,343	15,08	8,463	0,00	0
97	0,303	15,366	8,749	0,29	0,086658
98	0,269	15,366	8,749	0,00	0
99	0,269	15,506	8,889	0,14	0,03766
100	0,234	15,629	9,012	0,12	0,028782
101	0,234	15,629	9,012	0,00	0
102	0,202	15,629	9,012	0,00	0
103	0,179	15,93	9,313	0,30	0,053879
104	0,153	15,93	9,313	0,00	0
105	0,153	16,054	9,437	0,12	0,018972
106	0,145	16,22	9,603	0,17	0,02407
107	0,145	16,22	9,603	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 7						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
9,7	-3,5	1,4	-0,3	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	12,650 [kN]	2,285 [mm]	m75	6,295 [N/m]		
85%	10,753 [kN]	2,955 [mm]	W	43,267 [J]		
75%	9,488 [kN]	3,193 [mm]	Gf	6868,640 [J/m²]		
65%	8,223 [kN]	3,357 [mm]	I75	3,193 [mm]		
Load Min	0,145 [kN]	9,603 [mm]	D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	34,289		

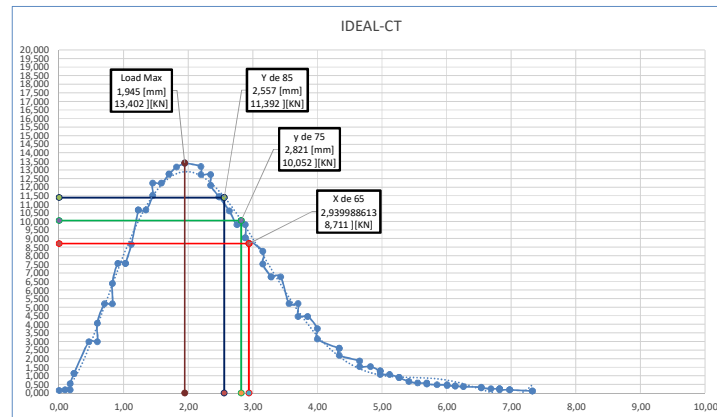


Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
1	0,147	6,633	0,00	def	intervalo
2	0,177	6,725	0,092	0,09	0,016284
3	0,177	6,804	0,171	0,08	0,013983
4	0,536	6,804	0,171	0,00	0
5	1,138	6,866	0,233	0,06	0,070556
6	1,138	6,866	0,233	0,00	0
7	2,984	7,095	0,462	0,23	0,683336
8	2,984	7,224	0,591	0,13	0,384936
9	4,059	7,224	0,591	0,00	0
10	5,193	7,336	0,703	0,11	0,581616
11	5,193	7,457	0,824	0,12	0,628353
12	6,376	7,457	0,824	0,00	0
13	7,551	7,543	0,91	0,09	0,649386
14	7,551	7,661	1,028	0,12	0,891018
15	7,551	7,661	1,028	0,00	0
16	8,66	7,751	1,118	0,09	0,7794
17	10,671	7,859	1,226	0,11	1,152466
18	10,671	7,859	1,226	0,00	0
19	10,671	7,977	1,344	0,12	1,259178
20	11,514	8,081	1,448	0,10	1,197456
21	12,226	8,081	1,448	0,00	0
22	12,226	8,217	1,584	0,14	1,662736
23	12,767	8,335	1,702	0,12	1,506506
24	12,767	8,335	1,702	0,00	0
25	13,177	8,453	1,82	0,12	1,554886
26	13,889	8,578	1,945	0,13	1,673625
27	13,402	8,578	1,945	0,00	0
28	13,199	8,83	2,197	0,25	3,326148
29	12,733	8,83	2,197	0,00	0
30	12,733	8,98	2,347	0,15	1,90995
31	12,109	8,98	2,347	0,00	0
32	11,436	9,11	2,477	0,13	1,48668
33	11,436	9,11	2,477	0,00	0
34	10,609	9,269	2,636	0,16	1,686831
35	9,809	9,387	2,754	0,12	1,157462
36	9,809	9,516	2,883	0,13	1,265361
37	9,048	9,516	2,883	0,00	0
38	9,048	9,516	2,883	0,00	0
39	8,256	9,787	3,154	0,27	2,237376
40	7,521	9,787	3,154	0,00	0
41	6,763	9,917	3,284	0,13	0,87919
42	6,763	9,917	3,284	0,00	0
43	6,763	10,063	3,43	0,15	0,987398
44	5,207	10,194	3,561	0,13	0,682117
45	5,207	10,334	3,701	0,14	0,72898
46	4,458	10,334	3,701	0,00	0
47	4,458	10,482	3,849	0,15	0,659784
48	3,749	10,632	3,999	0,15	0,56235
49	3,142	10,632	3,999	0,00	0
50	2,601	10,969	4,336	0,34	0,876537
51	2,601	10,969	4,336	0,00	0
52	2,186	10,969	4,336	0,00	0
53	1,861	11,286	4,653	0,32	0,589937
54	1,534	11,286	4,653	0,00	0
55	1,534	11,454	4,821	0,17	0,257712
56	1,279	11,604	4,971	0,15	0,19185
57	1,279	11,604	4,971	0,00	0
58	1,073	11,604	4,971	0,00	0
59	1,073	11,751	5,118	0,15	0,157731
60	0,899	11,897	5,264	0,15	0,131254
61	0,899	11,897	5,264	0,00	0
62	0,665	12,049	5,416	0,15	0,10108
63	0,576	12,184	5,551	0,14	0,07776
64	0,576	12,327	5,694	0,14	0,082368
65	0,517	12,327	5,694	0,00	0
66	0,471	12,485	5,852	0,16	0,074418
67	0,471	12,639	6,006	0,15	0,07253

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 8						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,5	-3,7	1,6	-0,4	0,0	0,0	0,0

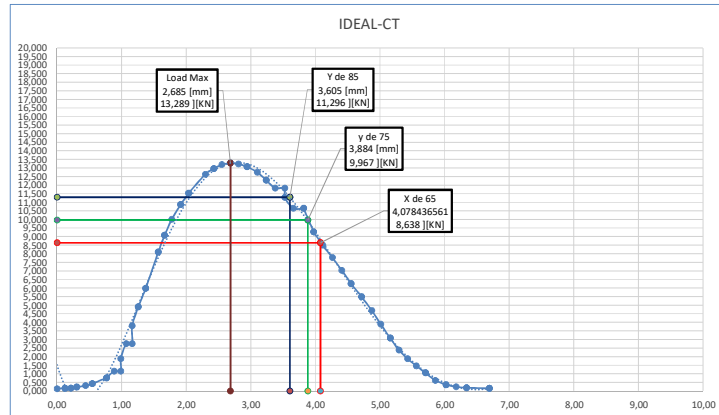
% Carga max	Carga	Def	m75	6,997 [N/m]
Load Max	13,402 [kN]	1,945 [mm]	W	35,215 [J]
85%	11,392 [kN]	2,557 [mm]	Gf	5590,421 [J/m²]
75%	10,052 [kN]	2,821 [mm]	I75	2,821 [mm]
65%	8,711 [kN]	2,940 [mm]	D	101,600 [mm]
Load Min	0,111 [kN]	7,329 [mm]	t	62,000 [mm]
			Corr "t"	62
			CT Index	22,182



IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 9						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
6,7	-1,5	0,7	-0,2	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,289 [kN]	2,685 [mm]
85%	11,296 [kN]	3,605 [mm]
75%	9,967 [kN]	3,884 [mm]
65%	8,638 [kN]	4,078 [mm]
Load Min	0,130 [kN]	0,000 [mm]

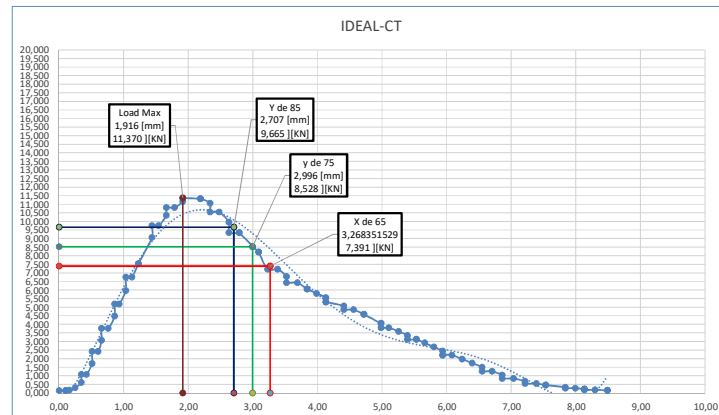
m75	5,615 [N/m]
W	40,220 [J]
Gf	6384,972 [J/m²]
I75	3,884 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	43,472



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,132	6,204	0,00		
2	0,132	6,305	0,101	0,10	0,013332
3	0,132	6,305	0,101	0,00	0
4	0,16	6,363	0,159	0,06	0,00928
5	0,298	6,451	0,247	0,09	0,026224
6	0,61	6,548	0,344	0,10	0,05917
7	1,077	6,548	0,344	0,00	0
8	1,077	6,626	0,422	0,08	0,084006
9	1,714	6,716	0,512	0,09	0,15426
10	2,417	6,716	0,512	0,00	0
11	2,417	6,807	0,603	0,09	0,219947
12	3,067	6,861	0,657	0,05	0,165618
13	3,764	6,861	0,657	0,00	0
14	3,764	6,964	0,76	0,10	0,387692
15	4,475	7,064	0,86	0,10	0,4475
16	5,183	7,064	0,86	0,00	0
17	5,183	7,133	0,929	0,07	0,357627
18	5,965	7,237	1,033	0,10	0,62036
19	6,752	7,237	1,033	0,00	0
20	6,752	7,332	1,128	0,09	0,64144
21	7,533	7,432	1,228	0,10	0,7533
22	7,533	7,432	1,228	0,00	0
23	9,067	7,642	1,438	0,21	1,90407
24	9,757	7,642	1,438	0,00	0
25	9,757	7,745	1,541	0,10	1,004971
26	10,356	7,864	1,66	0,12	1,232364
27	10,808	7,864	1,66	0,00	0
28	10,808	7,991	1,787	0,13	1,372616
29	11,16	8,12	1,916	0,13	1,43964
30	11,37	8,12	1,916	0,00	0
31	11,37	8,12	1,916	0,00	0
32	11,325	8,392	2,188	0,27	3,0804
33	11,325	8,392	2,188	0,00	0
34	11,065	8,543	2,339	0,15	1,670815
35	10,545	8,543	2,339	0,00	0
36	10,545	8,682	2,478	0,14	1,465755
37	9,955	8,833	2,629	0,15	1,503205
38	9,349	8,833	2,629	0,00	0
39	9,349	8,993	2,789	0,16	1,49584
40	9,349	8,993	2,789	0,00	0
41	8,216	9,295	3,091	0,30	2,481232
42	8,216	9,295	3,091	0,00	0
43	7,216	9,434	3,23	0,14	1,003024
44	7,216	9,587	3,383	0,15	1,104048
45	6,787	9,725	3,521	0,14	0,936606
46	6,426	9,725	3,521	0,00	0
47	6,426	9,894	3,69	0,17	1,085994
48	6,053	10,043	3,839	0,15	0,901897
49	6,053	10,043	3,839	0,00	0
50	5,799	10,189	3,985	0,15	0,846654
51	5,556	10,333	4,129	0,14	0,800064
52	5,297	10,333	4,129	0,00	0
53	5,297	10,333	4,129	0,00	0
54	5,071	10,614	4,41	0,28	1,424951
55	4,854	10,614	4,41	0,00	0
56	4,854	10,764	4,56	0,15	0,7281
57	4,582	10,922	4,718	0,16	0,723956
58	4,582	10,922	4,718	0,00	0
59	4,058	11,188	4,984	0,27	1,079428
60	4,058	11,188	4,984	0,00	0
61	3,795	11,188	4,984	0,00	0
62	3,795	11,309	5,105	0,12	0,459195
63	3,586	11,462	5,258	0,15	0,548658
64	3,345	11,599	5,395	0,14	0,458265
65	3,123	11,599	5,395	0,00	0
66	3,123	11,736	5,532	0,14	0,427851
67	3,123	11,736	5,532	0,00	0
68	2,921	11,866	5,662	0,13	0,37973
69	2,682	12,005	5,801	0,14	0,372798
70	2,44	12,143	5,939	0,14	0,33672
71	2,207	12,143	5,939	0,00	0
72	2,207	12,143	5,939	0,00	0
73	2,207	12,284	6,08	0,14	0,311187
74	1,971	12,445	6,241	0,16	0,317331
75	1,739	12,598	6,394	0,15	0,266067
76	1,496	12,753	6,549	0,15	0,23188
77	1,26	12,753	6,549	0,00	0
78	1,26	12,908	6,704	0,15	0,1953
79	1,036	13,063	6,859	0,16	0,16058
80	0,84	13,063	6,859	0,00	0
81	0,84	13,24	7,036	0,18	0,14868
82	0,677	13,419	7,215	0,18	0,121183
83	0,544	13,419	7,215	0,00	0
84	0,544	13,592	7,388	0,17	0,094112
85	0,459	13,739	7,535	0,15	0,067473
86	0,459	13,739	7,535	0,00	0
87	0,335	14,043	7,839	0,30	0,10184
88	0,279	14,043	7,839	0,00	0
89	0,279	14,197	7,993	0,15	0,042966
90	0,222	14,339	8,135	0,14	0,031524
91	0,222	14,339	8,135	0,00	0
92	0,178	14,339	8,135	0,00	0
93	0,178	14,503	8,299	0,16	0,029192
94	0,15	14,694	8,49	0,19	0,02865
95	0,15	14,694	8,49	0,00	0

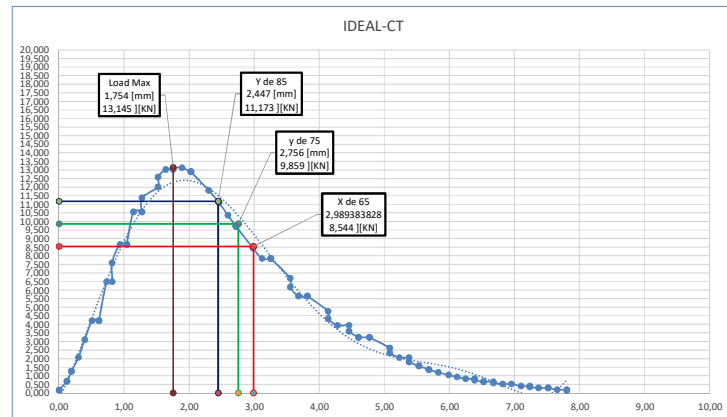
IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 10						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,7	-2,9	1,4	-0,4	0,1	0,0	0,0
% Carga max			Carga		Def	
Load Max			11,370 [kN]		1,916 [mm]	
85%			9,665 [kN]		2,707 [mm]	
75%			8,528 [kN]		2,996 [mm]	
65%			7,391 [kN]		3,268 [mm]	
Load Min			0,132 [kN]		0,000 [mm]	
m75			4,051 [N/m]			
W			38,357 [J]			
Gf			6089,117 [J/m²]			
I75			2,996 [mm]			
D			101,600 [mm]			
t			62,000 [mm]			
Corr "t"			62			
CT Index			44,325			



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,161	6,727	0,00	0,00	-1,61E-14
2	0,161	6,727	0	0,00	0,08136
3	0,678	6,847	0,12	0,12	0
4	0,678	6,847	0,12	0,00	0,086733
5	1,257	6,916	0,189	0,07	0
6	1,257	6,916	0,189	0,00	0,223992
7	2,074	7,024	0,297	0,11	0,300409
8	3,097	7,121	0,394	0,10	0,480738
9	4,217	7,235	0,508	0,11	0,442785
10	4,217	7,34	0,613	0,11	0
11	4,217	7,34	0,613	0,00	0,771239
12	6,481	7,459	0,732	0,12	0,531442
13	6,481	7,541	0,814	0,08	0
14	7,583	7,541	0,814	0,00	1,056764
15	8,662	7,663	0,936	0,12	0,900848
16	8,662	7,767	1,04	0,10	0,00
17	8,662	7,767	1,04	0,00	1,098136
18	10,559	7,871	1,144	0,10	1,383229
19	10,559	8,002	1,275	0,13	0
20	10,559	8,002	1,275	0,00	0
21	11,376	8,002	1,275	0,00	0
22	12,01	8,247	1,52	0,24	2,94245
23	12,583	8,247	1,52	0,00	0
24	13,028	8,37	1,643	0,12	1,602444
25	13,028	8,481	1,754	0,11	1,446108
26	13,145	8,481	1,754	0,00	0
27	13,124	8,618	1,891	0,14	1,797988
28	12,898	8,755	2,028	0,14	1,767026
29	12,898	8,755	2,028	0,00	0
30	12,898	8,755	2,028	0,00	0
31	11,813	9,027	2,3	0,27	3,213136
32	11,116	9,186	2,459	0,16	1,767444
33	11,116	9,186	2,459	0,00	0
34	10,356	9,323	2,596	0,14	1,418772
35	9,715	9,448	2,721	0,13	1,214375
36	9,715	9,448	2,721	0,00	0
37	9,715	9,448	2,721	0,00	0
38	8,451	9,707	2,98	0,26	2,188809
39	8,451	9,707	2,98	0,00	0
40	7,838	9,847	3,12	0,14	1,09732
41	7,838	9,981	3,254	0,13	1,050292
42	7,838	9,981	3,254	0,00	0
43	7,838	9,981	3,254	0,00	0
44	6,688	10,281	3,554	0,30	2,0064
45	6,173	10,281	3,554	0,00	0
46	5,644	10,409	3,682	0,13	0,722432
47	5,644	10,545	3,818	0,14	0,767584
48	5,644	10,545	3,818	0,00	0
49	4,758	10,864	4,137	0,32	1,517802
50	4,329	10,864	4,137	0,00	0
51	3,941	11,009	4,282	0,15	0,571445
52	3,941	11,185	4,458	0,18	0,693616
53	3,59	11,185	4,458	0,00	0
54	3,239	11,331	4,604	0,15	0,472894
55	3,239	11,331	4,604	0,00	0
56	3,239	11,5	4,773	0,17	0,547391
57	3,239	11,5	4,773	0,00	0
58	2,615	11,812	5,085	0,31	0,81588
59	2,326	11,812	5,085	0,00	0
60	2,058	11,959	5,232	0,15	0,302526
61	2,058	12,107	5,38	0,15	0,304584
62	1,806	12,107	5,38	0,00	0
63	1,57	12,26	5,533	0,15	0,24021
64	1,57	12,26	5,533	0,00	0
65	1,36	12,414	5,687	0,15	0,20944
66	1,36	12,414	5,687	0,00	0
67	1,192	12,558	5,831	0,14	0,171648
68	1,047	12,717	5,99	0,16	0,166473
69	0,935	12,848	6,121	0,13	0,122485
70	0,825	12,978	6,251	0,13	0,10725
71	0,825	13,116	6,389	0,14	0,11385
72	0,743	13,116	6,389	0,00	0
73	0,65	13,253	6,526	0,14	0,08905
74	0,65	13,253	6,526	0,00	0
75	0,65	13,405	6,678	0,15	0,0988
76	0,581	13,405	6,678	0,00	0
77	0,52	13,548	6,821	0,14	0,07436
78	0,52	13,681	6,954	0,13	0,06916
79	0,397	13,829	7,102	0,15	0,058756
80	0,397	13,966	7,239	0,14	0,054389
81	0,341	13,966	7,239	0,00	0
82	0,294	14,1	7,373	0,13	0,039396
83	0,294	14,246	7,519	0,15	0,042924
84	0,294	14,246	7,519	0,00	0
85	0,186	14,387	7,66	0,14	0,026226
86	0,186	14,532	7,805	0,15	0,02697
87	0,148	14,532	7,805	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 11						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,2	-3,1	1,2	-0,3	0,0	0,0	0,0
% Carga max			Carga		Def	
Load Max			13,145 [kN]	1,754 [mm]		
85%			11,173 [kN]	2,447 [mm]		
75%			9,859 [kN]	2,756 [mm]		
65%			8,544 [kN]	2,989 [mm]		
Load Min			0,148 [kN]	7,805 [mm]		
			m75	4,843 [N/m]		
			W	39,298 [J]		
			Gf	6238,535 [J/m²]		
			I75	2,756 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	34,947		



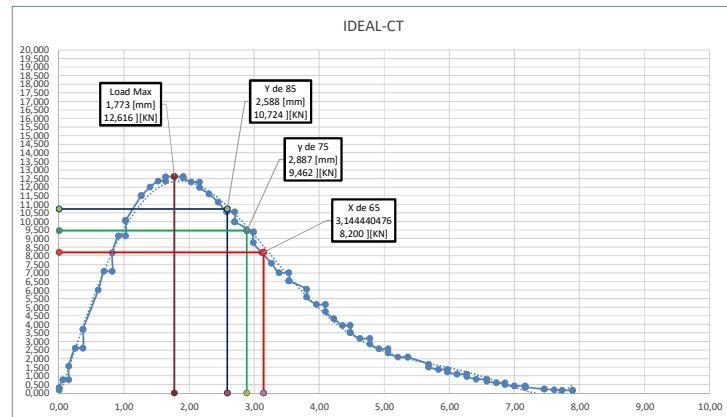
Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,163	6,844	0,00	def	
2	0,313	6,844	0	0,00	-3,13E-14
3	0,765	6,902	0,058	0,06	0,04437
4	0,765	6,993	0,149	0,09	0,069615
5	1,566	6,993	0,149	0,00	0
6	2,61	7,094	0,25	0,10	0,26361
7	2,61	7,21	0,366	0,12	0,30276
8	3,709	7,21	0,366	0,00	0
9	3,709	7,21	0,366	0,00	0
10	5,994	7,445	0,601	0,24	1,40859
11	7,091	7,534	0,69	0,09	0,631099
12	7,091	7,662	0,818	0,13	0,907648
13	8,164	7,662	0,818	0,00	0
14	9,156	7,757	0,913	0,09	0,86982
15	9,156	7,865	1,021	0,11	0,988848
16	10,056	7,865	1,021	0,00	0
17	10,056	7,865	1,021	0,00	0
18	10,056	7,865	1,021	0,00	0
19	11,503	8,108	1,264	0,24	2,795229
20	11,503	8,108	1,264	0,00	0
21	11,996	8,242	1,398	0,13	1,607464
22	12,352	8,367	1,523	0,13	1,544
23	12,352	8,479	1,635	0,11	1,383424
24	12,601	8,479	1,635	0,00	0
25	12,616	8,617	1,773	0,14	1,741008
26	12,616	8,752	1,908	0,14	1,70316
27	12,547	8,752	1,908	0,00	0
28	12,299	8,875	2,031	0,12	1,512777
29	12,299	9,004	2,16	0,13	1,586571
30	11,985	9,004	2,16	0,00	0
31	11,601	9,148	2,304	0,14	1,670544
32	11,123	9,29	2,446	0,14	1,579466
33	10,553	9,42	2,576	0,13	1,37189
34	10,553	9,543	2,699	0,12	1,298019
35	9,983	9,543	2,699	0,00	0
36	9,983	9,543	2,699	0,00	0
37	9,384	9,831	2,987	0,29	2,702592
38	9,384	9,831	2,987	0,00	0
39	8,762	9,831	2,987	0,00	0
40	8,182	9,961	3,117	0,13	1,06366
41	7,558	10,11	3,266	0,15	1,126142
42	7,011	10,226	3,382	0,12	0,813276
43	7,011	10,376	3,532	0,15	1,05165
44	6,528	10,376	3,532	0,00	0
45	6,528	10,376	3,532	0,00	0
46	6,047	10,649	3,805	0,27	1,650831
47	5,589	10,649	3,805	0,00	0
48	5,157	10,801	3,957	0,15	0,783864
49	5,157	10,938	4,094	0,14	0,706509
50	4,74	10,938	4,094	0,00	0
51	4,326	11,069	4,225	0,13	0,566706
52	3,934	11,2	4,356	0,13	0,515354
53	3,934	11,32	4,476	0,12	0,47208
54	3,519	11,32	4,476	0,00	0
55	3,519	11,32	4,476	0,00	0
56	3,172	11,47	4,626	0,15	0,4758
57	3,172	11,624	4,78	0,15	0,488488
58	2,853	11,624	4,78	0,00	0
59	2,578	11,762	4,918	0,14	0,355764
60	2,578	11,902	5,058	0,14	0,36092
61	2,329	11,902	5,058	0,00	0
62	2,093	12,055	5,211	0,15	0,320229
63	2,093	12,205	5,361	0,15	0,31395
64	2,093	12,205	5,361	0,00	0
65	1,681	12,527	5,683	0,32	0,541282
66	1,508	12,527	5,683	0,00	0
67	1,364	12,678	5,834	0,15	0,205964
68	1,364	12,814	5,97	0,14	0,185504
69	1,219	12,814	5,97	0,00	0
70	1,094	12,964	6,12	0,15	0,1641
71	1,094	13,112	6,268	0,15	0,161912
72	0,958	13,112	6,268	0,00	0
73	0,803	13,257	6,413	0,15	0,116435
74	0,803	13,42	6,576	0,16	0,130889
75	0,686	13,42	6,576	0,00	0
76	0,586	13,569	6,725	0,15	0,087314
77	0,586	13,7	6,856	0,13	0,076766
78	0,486	13,7	6,856	0,00	0
79	0,405	13,845	7,001	0,15	0,058725
80	0,405	14,011	7,167	0,17	0,06723
81	0,334	14,011	7,167	0,00	0
82	0,334	14,011	7,167	0,00	0
83	0,223	14,303	7,459	0,29	0,065116
84	0,223	14,303	7,459	0,00	0
85	0,179	14,457	7,613	0,15	0,027566
86	0,151	14,579	7,735	0,12	0,018422
87	0,151	14,74	7,896	0,16	0,024311
88	0,138	14,74	7,896	0,00	0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 12						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,0	-2,4	0,8	-0,2	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	12,616 [kN]	1,773 [mm]
85%	10,724 [kN]	2,588 [mm]
75%	9,462 [kN]	2,887 [mm]
65%	8,200 [kN]	3,144 [mm]
Load Min	0,138 [kN]	7,896 [mm]

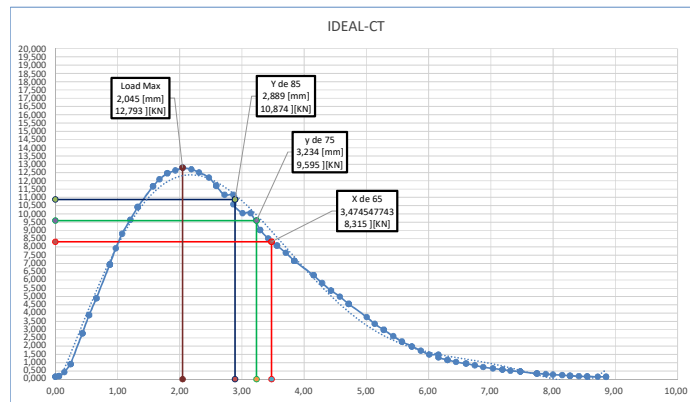
m75	4,531 [N/m]
W	40,979 [J]
Gf	6505,471 [J/m²]
I75	2,887 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	40,795



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,15	6,798	0,00		
2	0,15	6,798	0	0,00	-1,5E-14
3	0,184	6,857	0,059	0,06	0,010856
4	0,184	6,857	0,059	0,00	0
5	0,426	6,944	0,146	0,09	0,037062
6	0,911	7,044	0,246	0,10	0,0911
7	0,911	7,044	0,246	0,00	0
8	2,772	7,234	0,436	0,19	0,52668
9	2,772	7,234	0,436	0,00	0
10	3,879	7,341	0,543	0,11	0,415053
11	3,879	7,341	0,543	0,00	0
12	4,9	7,46	0,662	0,12	0,5831
13	4,9	7,46	0,662	0,00	0
14	6,939	7,675	0,877	0,22	1,491885
15	6,939	7,675	0,877	0,00	0
16	6,939	7,675	0,877	0,00	0
17	7,925	7,771	0,973	0,10	0,7608
18	8,802	7,872	1,074	0,10	0,889002
19	9,645	8,003	1,205	0,13	1,263495
20	10,419	8,122	1,324	0,12	1,239861
21	10,419	8,122	1,324	0,00	0
22	10,419	8,122	1,324	0,00	0
23	11,674	8,368	1,57	0,25	2,871804
24	11,674	8,368	1,57	0,00	0
25	12,096	8,472	1,674	0,10	1,257984
26	12,462	8,598	1,8	0,13	1,570212
27	12,462	8,598	1,8	0,00	0
28	12,632	8,727	1,929	0,13	1,629528
29	12,793	8,843	2,045	0,12	1,483988
30	12,793	8,843	2,045	0,00	0
31	12,793	8,843	2,045	0,00	0
32	12,704	8,985	2,187	0,14	1,803968
33	12,512	9,108	2,31	0,12	1,538976
34	12,198	9,267	2,469	0,16	1,939482
35	11,701	9,383	2,585	0,12	1,357316
36	11,701	9,383	2,585	0,00	0
37	11,162	9,517	2,719	0,13	1,495708
38	11,162	9,66	2,862	0,14	1,596166
39	10,579	9,66	2,862	0,00	0
40	10,044	9,808	3,01	0,15	1,486512
41	10,044	9,936	3,138	0,13	1,285632
42	9,028	10,087	3,289	0,15	1,363228
43	9,028	10,087	3,289	0,00	0
44	8,513	10,219	3,421	0,13	1,123716
45	8,082	10,36	3,562	0,14	1,139562
46	8,082	10,36	3,562	0,00	0
47	7,646	10,503	3,705	0,14	1,093378
48	7,16	10,638	3,84	0,14	0,9666
49	7,16	10,638	3,84	0,00	0
50	7,16	10,638	3,84	0,00	0
51	6,293	10,95	4,152	0,31	1,963416
52	6,293	10,95	4,152	0,00	0
53	5,814	11,085	4,287	0,14	0,78489
54	5,363	11,229	4,431	0,14	0,772272
55	5,363	11,229	4,431	0,00	0
56	4,993	11,371	4,573	0,14	0,709006
57	4,553	11,514	4,716	0,14	0,651079
58	4,553	11,514	4,716	0,00	0
59	4,553	11,514	4,716	0,00	0
60	3,756	11,802	5,004	0,29	1,081728
61	3,348	11,931	5,133	0,13	0,431892
62	2,985	12,078	5,28	0,15	0,438795
63	2,985	12,078	5,28	0,00	0
64	2,602	12,228	5,43	0,15	0,3903
65	2,269	12,369	5,571	0,14	0,319929
66	2,269	12,369	5,571	0,00	0
67	1,979	12,529	5,731	0,16	0,31664
68	1,979	12,529	5,731	0,00	0
69	1,728	12,673	5,875	0,14	0,248832
70	1,49	12,807	6,009	0,13	0,19966
71	1,49	12,954	6,156	0,15	0,21903
72	1,315	12,954	6,156	0,00	0
73	1,165	13,1	6,302	0,15	0,17009
74	1,165	13,1	6,302	0,00	0
75	1,041	13,237	6,439	0,14	0,142617
76	0,944	13,398	6,6	0,16	0,151984
77	0,944	13,398	6,6	0,00	0
78	0,834	13,54	6,742	0,14	0,118428
79	0,729	13,675	6,877	0,14	0,098415
80	0,647	13,83	7,032	0,15	0,100285
81	0,576	13,981	7,183	0,15	0,086976
82	0,576	13,981	7,183	0,00	0
83	0,513	14,111	7,313	0,13	0,06669
84	0,461	14,271	7,473	0,16	0,07376
85	0,461	14,271	7,473	0,00	0
86	0,461	14,271	7,473	0,00	0
87	0,343	14,537	7,739	0,27	0,091238
88	0,343	14,537	7,739	0,00	0
89	0,343	14,537	7,739	0,00	0
90	0,307	14,68	7,882	0,14	0,043901
91	0,273	14,797	7,999	0,12	0,031941
92	0,241	14,944	8,146	0,15	0,035427
93	0,206	15,071	8,273	0,13	0,026162
94	0,206	15,071	8,273	0,00	0
95	0,178	15,212	8,414	0,14	0,025098
96	0,162	15,345	8,547	0,13	0,021546
97	0,162	15,345	8,547	0,00	0
98	0,146	15,516	8,718	0,17	0,024966
99	0,146	15,65	8,852	0,13	0,019564
100	0,138	15,65	8,852	0,00	0

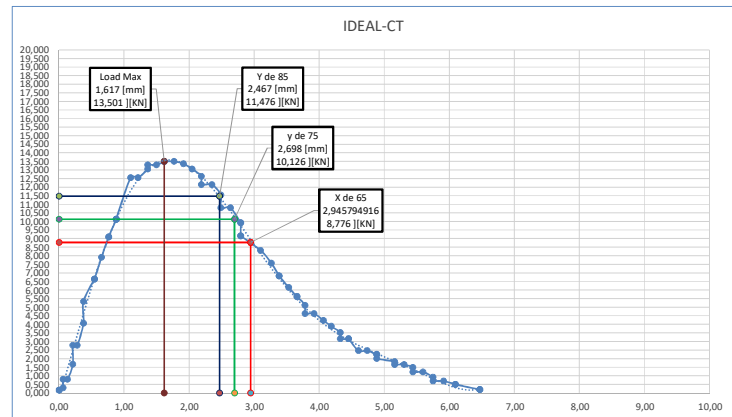
IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 14						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
9,0	-3,9	1,8	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	12,793 [kN]	2,045 [mm]				
85%	10,874 [kN]	2,889 [mm]				
75%	9,595 [kN]	3,234 [mm]				
65%	8,315 [kN]	3,475 [mm]				
Load Min	0,138 [kN]	8,852 [mm]				
			m75	4,371 [N/m]		
			W	44,150 [J]		
			Gf	7008,770 [J/m²]		
			I75	3,234 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	51,047		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,16	6,857	0,00	0,00	-1,6E-14
2	0,16	6,857	0	0,06	0,018178
3	0,298	6,918	0,061	0,00	0
4	0,792	6,918	0,061	0,07	0,053064
5	0,792	6,985	0,128	0,08	0,138444
6	1,668	7,068	0,211	0,07	0,18626
7	2,78	7,068	0,211	0,10	0,393917
8	2,78	7,135	0,278	0,00	0
9	4,061	7,232	0,375	0,17	1,12812
10	5,334	7,232	0,375	0,11	0,846477
11	6,636	7,402	0,545	0,11	1,009323
12	6,636	7,402	0,545	0,00	0
13	7,911	7,509	0,652	0,11	1,154592
14	9,093	7,62	0,763	0,11	1,30928
15	9,093	7,62	0,763	0,15	1,93214
16	10,128	7,734	0,877	0,00	0
17	10,128	7,734	0,877	0,13	1,782334
18	10,128	7,734	0,877	0,12	1,632169
19	10,128	7,734	0,877	0,00	0
20	12,552	7,957	1,1	0,15	2,02515
21	12,552	8,071	1,214	0,15	1,93807
22	13,055	8,219	1,362	0,13	1,736714
23	13,301	8,219	1,362	0,14	1,806519
24	13,301	8,353	1,496	0,00	0
25	13,489	8,474	1,617	0,15	2,50556
26	13,501	8,474	1,617	0,16	1,241316
27	13,501	8,624	1,767	0,12	0,8184
28	13,366	8,769	1,912	0,00	0
29	13,058	8,902	2,045	0,15	1,557911
30	12,633	9,045	2,188	0,16	1,597216
31	12,149	9,045	2,188	0,00	0
32	12,149	9,206	2,349	0,16	1,955989
33	11,542	9,344	2,487	0,14	1,592796
34	10,792	9,344	2,487	0,00	0
35	10,792	9,492	2,635	0,15	1,597216
36	9,923	9,649	2,792	0,16	1,557911
37	9,923	9,649	2,792	0,00	0
38	9,161	9,649	2,792	0,00	0
39	9,161	9,649	2,792	0,00	0
40	8,308	9,956	3,099	0,31	2,50556
41	7,569	10,12	3,263	0,16	1,241316
42	6,82	10,24	3,383	0,12	0,8184
43	6,82	10,24	3,383	0,00	0
44	6,156	10,386	3,529	0,15	0,898776
45	5,622	10,514	3,657	0,13	0,719616
46	5,622	10,514	3,657	0,00	0
47	5,104	10,639	3,782	0,13	0,638
48	4,63	10,639	3,782	0,00	0
49	4,63	10,777	3,92	0,14	0,63894
50	4,222	10,922	4,065	0,15	0,61219
51	3,884	11,042	4,185	0,12	0,46608
52	3,518	11,182	4,325	0,14	0,49252
53	3,16	11,182	4,325	0,00	0
54	3,16	11,31	4,453	0,13	0,40448
55	3,16	11,31	4,453	0,00	0
56	2,466	11,46	4,603	0,15	0,3699
57	2,466	11,596	4,739	0,14	0,335376
58	2,242	11,742	4,885	0,15	0,327332
59	2,242	11,742	4,885	0,00	0
60	2,008	11,742	4,885	0,00	0
61	1,824	12,018	5,161	0,28	0,503424
62	1,654	12,018	5,161	0,00	0
63	1,654	12,163	5,306	0,15	0,23983
64	1,484	12,297	5,44	0,13	0,198856
65	1,22	12,297	5,44	0,00	0
66	1,22	12,452	5,595	0,15	0,1891
67	0,912	12,607	5,75	0,15	0,14136
68	0,695	12,607	5,75	0,00	0
69	0,695	12,771	5,914	0,16	0,11398
70	0,497	12,951	6,094	0,18	0,08946
71	0,497	12,951	6,094	0,00	0
72	0,192	13,326	6,469	0,38	0,072
73	0,192	13,326	6,469	0,00	0
74	0,192	13,326	6,469	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 15						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
6,6	-1,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
% Carga max			Carga		Def	
Load Max			13,501 [kN]		1,617 [mm]	
85%			11,476 [kN]		2,467 [mm]	
75%			10,126 [kN]		2,698 [mm]	
65%			8,776 [kN]		2,945 [mm]	
Load Min			0,160 [kN]		0,000 [mm]	
m75			5,645 [N/m]			
W			40,777 [J]			
Gf			6473,346 [J/m²]			
I75			2,698 [mm]			
D			101,600 [mm]			
t			62,000 [mm]			
Corr "t"			62			
CT Index			30,450			

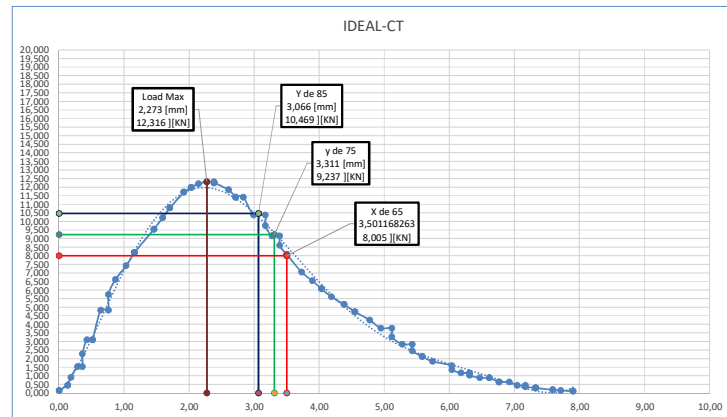


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
1	0.135	6,689	0,00	def	intervalo
2	0.135	6,689	0	0,00	-1.35E-14
3	0.451	6,823	0,134	0,13	0,060434
4	0.451	6,823	0,134	0,00	0
5	0.906	6,871	0,182	0,05	0,043488
6	1.533	6,972	0,283	0,10	0,154833
7	1.533	7,048	0,359	0,08	0,116508
8	2.275	7,048	0,359	0,00	0
9	3,1	7,116	0,427	0,07	0,2108
10	3,1	7,206	0,517	0,09	0,279
11	3,1	7,206	0,517	0,00	0
12	4,825	7,328	0,639	0,12	0,58865
13	4,825	7,447	0,758	0,12	0,574175
14	5,744	7,447	0,758	0,00	0
15	6,612	7,556	0,867	0,11	0,720708
16	7,421	7,719	1,03	0,16	1,209623
17	8,194	7,847	1,158	0,13	1,048833
18	8,194	7,847	1,158	0,00	0
19	8,194	7,847	1,158	0,00	0
20	8,194	7,847	1,158	0,00	0
21	9,541	8,147	1,458	0,30	2,8623
22	9,541	8,147	1,458	0,00	0
23	10,218	8,282	1,593	0,14	1,37943
24	10,795	8,391	1,702	0,11	1,176655
25	10,795	8,391	1,702	0,00	0
26	11,711	8,607	1,918	0,22	2,529576
27	11,711	8,607	1,918	0,00	0
28	11,986	8,72	2,031	0,11	1,354418
29	11,986	8,72	2,031	0,00	0
30	12,193	8,833	2,144	0,11	1,377809
31	12,316	8,962	2,273	0,13	1,588764
32	12,316	9,072	2,383	0,11	1,35476
33	12,258	9,072	2,383	0,00	0
34	12,258	9,072	2,383	0,00	0
35	12,258	9,072	2,383	0,00	0
36	11,849	9,294	2,605	0,22	2,630478
37	11,414	9,403	2,714	0,11	1,244126
38	11,414	9,403	2,714	0,00	0
39	11,414	9,522	2,833	0,12	1,358266
40	10,377	9,68	2,991	0,16	1,639566
41	10,377	9,859	3,17	0,18	1,857483
42	9,762	9,859	3,17	0,00	0
43	9,163	9,963	3,274	0,10	0,952952
44	9,163	10,08	3,391	0,12	1,072071
45	8,607	10,08	3,391	0,00	0
46	8,086	10,188	3,499	0,11	0,873288
47	8,086	10,188	3,499	0,00	0
48	8,086	10,188	3,499	0,00	0
49	7,049	10,419	3,73	0,23	1,628319
50	6,542	10,583	3,894	0,16	1,072888
51	6,068	10,724	4,035	0,14	0,855588
52	6,068	10,724	4,035	0,00	0
53	5,605	10,878	4,189	0,15	0,86317
54	5,167	11,069	4,38	0,19	0,986897
55	5,167	11,069	4,38	0,00	0
56	4,734	11,237	4,548	0,17	0,795312
57	4,734	11,237	4,548	0,00	0
58	4,247	11,465	4,776	0,23	0,968316
59	3,777	11,637	4,948	0,17	0,649644
60	3,777	11,806	5,117	0,17	0,638313
61	3,273	11,806	5,117	0,00	0
62	2,84	11,966	5,277	0,16	0,4544
63	2,84	12,119	5,43	0,15	0,43452
64	2,455	12,119	5,43	0,00	0
65	2,131	12,271	5,582	0,15	0,323912
66	2,131	12,271	5,582	0,00	0
67	1,843	12,431	5,742	0,16	0,29488
68	1,592	12,729	6,04	0,30	0,474416
69	1,35	12,729	6,04	0,00	0
70	1,169	12,868	6,179	0,14	0,162491
71	1,169	13	6,311	0,13	0,154308
72	1,032	13	6,311	0,00	0
73	0,885	13,156	6,467	0,16	0,13806
74	0,885	13,305	6,616	0,15	0,131865
75	0,885	13,305	6,616	0,00	0
76	0,634	13,453	6,764	0,15	0,093832
77	0,634	13,453	6,764	0,00	0
78	0,634	13,612	6,923	0,16	0,100806
79	0,439	13,733	7,044	0,12	0,053119
80	0,439	13,859	7,17	0,13	0,055314
81	0,36	13,859	7,17	0,00	0
82	0,288	14,016	7,327	0,16	0,045216
83	0,288	14,016	7,327	0,00	0
84	0,288	14,016	7,327	0,00	0
85	0,183	14,278	7,589	0,26	0,047946
86	0,183	14,278	7,589	0,00	0
87	0,143	14,403	7,714	0,13	0,017875
88	0,105	14,592	7,903	0,19	0,019845
89	0,105	14,592	7,903	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 16						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,0	-2,4	1,0	-0,3	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	12,316 [kN]	2,273 [mm]
85%	10,469 [kN]	3,066 [mm]
75%	9,237 [kN]	3,311 [mm]
65%	8,005 [kN]	3,501 [mm]
Load Min	0,105 [kN]	7,903 [mm]

m75	5,666 [N/m]
W	41,720 [J]
Gf	6623,102 [J/m²]
I75	3,311 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr t"	62
CT Index	38,094



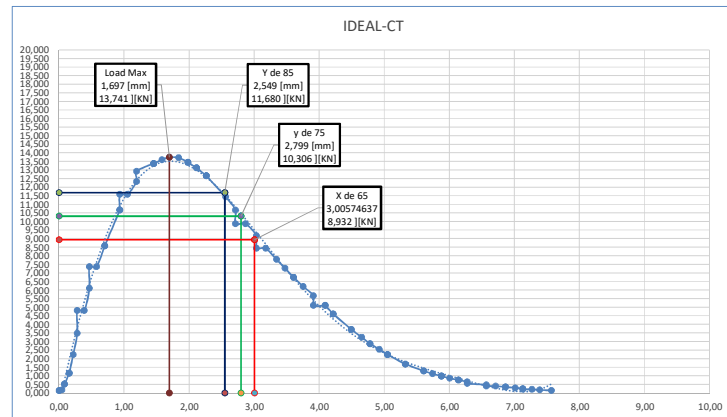
Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
1	0,138	6,801	0,00	def	intervalo
2	0,138	6,801	0	0,00	-1,38E-14
3	0,173	6,845	0,044	0,04	0,007612
4	0,514	6,885	0,084	0,04	0,02056
5	0,514	6,885	0,084	0,00	0
6	1,155	6,958	0,157	0,07	0,084315
7	1,155	6,958	0,157	0,00	0
8	2,232	7,018	0,217	0,06	0,13392
9	3,481	7,08	0,279	0,06	0,215822
10	4,804	7,08	0,279	0,00	0
11	4,804	7,188	0,387	0,11	0,518832
12	6,108	7,267	0,466	0,08	0,482532
13	7,357	7,267	0,466	0,00	0
14	7,357	7,377	0,576	0,11	0,80927
15	8,577	7,503	0,702	0,13	1,080702
16	8,577	7,503	0,702	0,00	0
17	10,667	7,736	0,935	0,23	2,48541
18	10,667	7,736	0,935	0,00	0
19	11,58	7,736	0,935	0,00	0
20	11,58	7,851	1,05	0,12	1,3317
21	12,329	7,992	1,191	0,14	1,738389
22	12,927	7,992	1,191	0,00	0
23	13,37	8,255	1,454	0,26	3,51631
24	13,37	8,255	1,454	0,00	0
25	13,37	8,255	1,454	0,00	0
26	13,601	8,382	1,581	0,13	1,727327
27	13,741	8,498	1,697	0,12	1,593956
28	13,741	8,639	1,838	0,14	1,933533
29	13,445	8,783	1,982	0,14	1,93608
30	13,445	8,783	1,982	0,00	0
31	13,125	8,914	2,113	0,13	1,719375
32	13,125	8,914	2,113	0,00	0
33	12,669	9,064	2,263	0,15	1,90035
34	12,669	9,064	2,263	0,00	0
35	12,669	9,064	2,263	0,00	0
36	11,432	9,362	2,561	0,30	3,406736
37	10,661	9,512	2,711	0,15	1,59915
38	9,864	9,512	2,711	0,00	0
39	9,864	9,667	2,866	0,15	1,52892
40	9,165	9,835	3,034	0,17	1,53972
41	8,434	9,835	3,034	0,00	0
42	8,434	9,977	3,176	0,14	1,197628
43	7,791	10,144	3,343	0,17	1,301097
44	4,274	10,274	3,473	0,13	0,94562
45	6,733	10,407	3,606	0,13	0,895489
46	6,733	10,407	3,606	0,00	0
47	6,207	10,555	3,754	0,15	0,918636
48	5,665	10,713	3,912	0,16	0,89507
49	5,102	10,713	3,912	0,00	0
50	5,102	10,894	4,093	0,18	0,923462
51	5,102	10,894	4,093	0,00	0
52	4,602	11,016	4,215	0,12	0,561444
53	4,602	11,016	4,215	0,00	0
54	3,701	11,295	4,494	0,28	1,032579
55	3,701	11,295	4,494	0,00	0
56	3,249	11,454	4,653	0,16	0,516591
57	2,865	11,582	4,781	0,13	0,36672
58	2,865	11,582	4,781	0,00	0
59	2,541	11,726	4,925	0,14	0,365904
60	2,231	11,851	5,05	0,13	0,278875
61	2,231	11,851	5,05	0,00	0
62	2,231	11,851	5,05	0,00	0
63	1,676	12,126	5,325	0,27	0,4609
64	1,676	12,126	5,325	0,00	0
65	1,274	12,408	5,607	0,28	0,359268
66	1,274	12,408	5,607	0,00	0
67	1,118	12,543	5,742	0,14	0,15093
68	0,984	12,679	5,878	0,14	0,133824
69	0,984	12,679	5,878	0,00	0
70	0,984	12,679	5,878	0,00	0
71	0,858	12,805	6,004	0,13	0,108108
72	0,75	12,942	6,141	0,14	0,10275
73	0,75	12,942	6,141	0,00	0
74	0,645	13,076	6,275	0,13	0,08643
75	0,552	13,076	6,275	0,00	0
76	0,469	13,37	6,569	0,29	0,137886
77	0,399	13,37	6,569	0,00	0
78	0,399	13,514	6,713	0,14	0,057456
79	0,349	13,665	6,864	0,15	0,052699
80	0,349	13,665	6,864	0,00	0
81	0,295	13,815	7,014	0,15	0,04425
82	0,248	13,932	7,131	0,12	0,029016
83	0,21	13,932	7,131	0,00	0
84	0,21	14,072	7,271	0,14	0,0294
85	0,173	14,192	7,391	0,12	0,02076
86	0,145	14,371	7,57	0,18	0,025955
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0
					0

IDEAL CT - CAC D19 AM3 4,6%						
PROBETA N° 17						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,7	-2,6	1,0	-0,2	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,741 [kN]	1,697 [mm]
85%	11,680 [kN]	2,549 [mm]
75%	10,306 [kN]	2,799 [mm]
65%	8,932 [kN]	3,006 [mm]
Load Min	0,138 [kN]	0,000 [mm]

m75	6,014 [N/m]
W	43,309 [J]
Gf	6875,360 [J/m²]
I75	2,799 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	31,498



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 4

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,314][[KN]	1,179 [mm]
85%	11,317][[KN]	1,873 [mm]
75%	9,986][[KN]	2,075 [mm]
65%	8,654][[KN]	2,243 [mm]
Load Min	0,139][[KN]	6,634 [mm]

Graph of Load (kN) vs. Displacement (mm) for the ICD-CT specimen. The curve shows a peak load of 13,314 kN at a displacement of 1,179 mm. Other points of interest are marked: at y=75 mm, the load is 9,986 kN; at y=85 mm, the load is 11,317 kN; and at x=65 mm, the load is 8,654 kN.

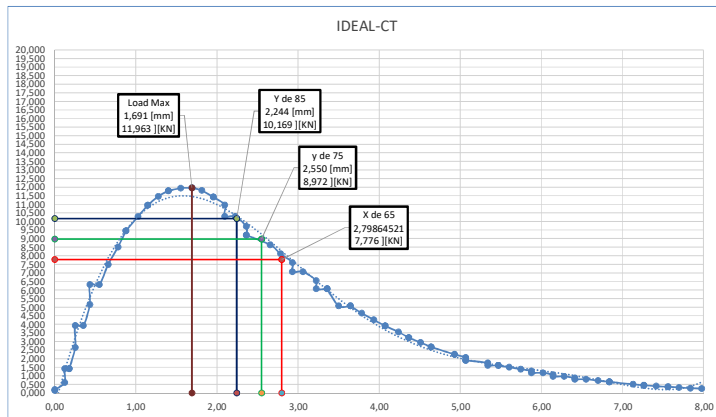
Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,148	6,67	0,00		
2	0,193	6,67	0	0,00	-1,93E-14
3	0,602	6,791	0,121	0,12	0,072842
4	1,415	6,791	0,121	0,00	0
5	1,415	6,848	0,178	0,06	0,080655
6	1,415	6,848	0,178	0,00	0
7	2,648	6,922	0,252	0,07	0,195952
8	3,927	6,922	0,252	0,00	0
9	3,927	7,02	0,35	0,10	0,384846
10	5,156	7,102	0,432	0,08	0,422792
11	6,315	7,102	0,432	0,00	0
12	6,315	7,219	0,549	0,12	0,738855
13	7,483	7,328	0,658	0,11	0,815647
14	8,505	7,449	0,779	0,12	1,029105
15	9,457	7,547	0,877	0,10	0,926786
16	9,457	7,547	0,877	0,00	0
17	10,285	7,696	1,026	0,15	1,532465
18	10,946	7,816	1,146	0,12	1,31352
19	10,946	7,816	1,146	0,00	0
20	11,458	7,946	1,276	0,13	1,48954
21	11,786	8,07	1,4	0,12	1,461464
22	11,786	8,07	1,4	0,00	0
23	11,939	8,222	1,552	0,15	1,814728
24	11,963	8,361	1,691	0,14	1,662857
25	11,963	8,361	1,691	0,00	0
26	11,81	8,482	1,812	0,12	1,42901
27	11,422	8,625	1,955	0,14	1,633346
28	11,422	8,625	1,955	0,00	0
29	10,954	8,766	2,096	0,14	1,544514
30	10,293	8,766	2,096	0,00	0
31	10,293	8,895	2,225	0,13	1,327797
32	9,709	9,031	2,361	0,14	1,320424
33	9,197	9,031	2,361	0,00	0
34	9,197	9,031	2,361	0,00	0
35	8,634	9,325	2,655	0,29	2,538396
36	8,117	9,454	2,784	0,13	1,047093
37	7,597	9,599	2,929	0,15	1,101565
38	7,062	9,599	2,929	0,00	0
39	7,062	9,73	3,06	0,13	0,925122
40	6,55	9,892	3,222	0,16	1,0611
41	6,069	9,892	3,222	0,00	0
42	6,069	10,028	3,358	0,14	0,825384
43	6,069	10,028	3,358	0,00	0
44	5,079	10,171	3,501	0,14	0,726297
45	5,079	10,314	3,644	0,14	0,726297
46	5,079	10,314	3,644	0,00	0
47	4,649	10,456	3,786	0,14	0,660158
48	4,263	10,603	3,933	0,15	0,626661
49	3,913	10,743	4,073	0,14	0,54782
50	3,913	10,743	4,073	0,00	0
51	3,549	10,908	4,238	0,16	0,585585
52	3,225	11,035	4,365	0,13	0,409575
53	3,225	11,035	4,365	0,00	0
54	2,943	11,179	4,509	0,14	0,423792
55	2,68	11,309	4,639	0,13	0,3484
56	2,68	11,309	4,639	0,00	0
57	2,245	11,599	4,929	0,29	0,65105
58	2,245	11,599	4,929	0,00	0
59	2,065	11,737	5,067	0,14	0,28497
60	1,902	11,737	5,067	0,00	0
61	1,902	11,737	5,067	0,00	0
62	1,75	12,009	5,339	0,27	0,476
63	1,607	12,009	5,339	0,00	0
64	1,607	12,139	5,469	0,13	0,20891
65	1,607	12,139	5,469	0,00	0
66	1,495	12,273	5,603	0,13	0,20033
67	1,386	12,416	5,746	0,14	0,198198
68	1,28	12,548	5,878	0,13	0,16896
69	1,169	12,548	5,878	0,00	0
70	1,169	12,69	6,02	0,14	0,165998
71	1,063	12,813	6,143	0,12	0,130749
72	0,961	12,813	6,143	0,00	0
73	0,961	12,95	6,28	0,14	0,131657
74	0,877	13,082	6,412	0,13	0,115764
75	0,795	13,082	6,412	0,00	0
76	0,795	13,222	6,552	0,14	0,1113
77	0,718	13,368	6,698	0,15	0,104828
78	0,645	13,507	6,837	0,14	0,089655
79	0,645	13,507	6,837	0,00	0
80	0,645	13,507	6,837	0,00	0
81	0,504	13,801	7,131	0,29	0,148176
82	0,446	13,933	7,263	0,13	0,058872
83	0,446	13,933	7,263	0,00	0
84	0,446	13,933	7,263	0,00	0
85	0,395	14,086	7,416	0,15	0,060435
86	0,358	14,232	7,562	0,15	0,052268
87	0,358	14,232	7,562	0,00	0
88	0,32	14,368	7,698	0,14	0,04352
89	0,277	14,508	7,838	0,14	0,03878
90	0,253	14,647	7,977	0,14	0,035167
91	0,224	14,772	8,102	0,13	0,028
92	0,224	14,772	8,102	0,00	0
93	0,196	14,923	8,253	0,15	0,029596
94	0,164	15,06	8,39	0,14	0,022468
95	0,164	15,06	8,39	0,00	0
96	0,151	15,222	8,552	0,16	0,024462
97	0,112	15,222	8,552	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%						
PROBETA N° 5						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,9	-4,0	1,6	-0,4	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	11,963 [kN]	1,691 [mm]
85%	10,169 [kN]	2,244 [mm]
75%	8,972 [kN]	2,550 [mm]
65%	7,776 [kN]	2,799 [mm]
Load Min	0,112 [kN]	8,552 [mm]

m75	4,314 [N/m]
W	37,331 [J]
Gf	5926,229 [J/m²]
I75	2,550 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	34,475



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 6

% Carga max	Carga	Def
Load Max	11,559][kN]	1,159 [mm]
85%	9,825][kN]	1,884 [mm]
75%	8,669][kN]	2,092 [mm]
65%	7,513][kN]	2,364 [mm]
Load Min	0,159][kN]	0,000 [mm]

IDEAL-CT

Load Max
1,159 [mm]
11,559 [KN]

Y de 85
1,884 [mm]
9,825 [KN]

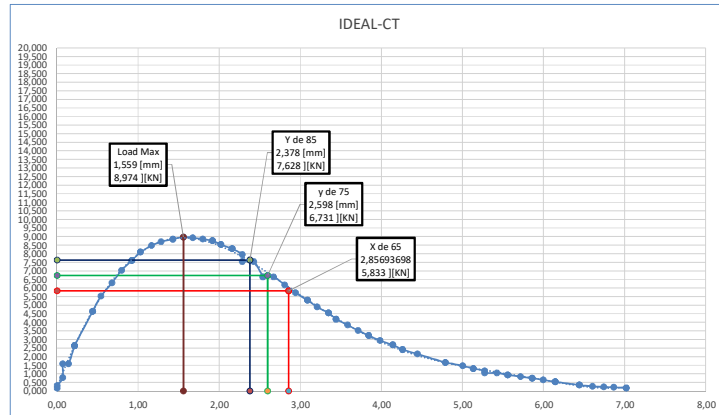
Y de 75
2,092 [mm]
8,669 [KN]

X de 65
2,364101628
7,513 [KN]

IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%						
PROBETA N° 7						
Estimacion						
x*0	x*1	x*2	x*3	x*4	x*5	x*6
7,3	-2,5	0,8	-0,1	0,0	0,0	0,0

% Carga max	Carga	Def
Load Max	8.974 [kN]	1,559 [mm]
85%	7,628 [kN]	2,378 [mm]
75%	6,731 [kN]	2,598 [mm]
65%	5,833 [kN]	2,857 [mm]
Load Min	0,161 [kN]	0,000 [mm]

m75	3,748 [N/m]
W	28,102 [J]
Gf	4461,262 [J/m²]
I75	2,598 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr "t"	62
CT Index	30,433



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 8

% Carga max	Carga	Def
Load Max	12,303 [kN]	1,384 [mm]
85%	10,458 [kN]	2,138 [mm]
75%	9,227 [kN]	2,373 [mm]
65%	7,997 [kN]	2,501 [mm]
Load Min	0,139 [kN]	0,000 [mm]

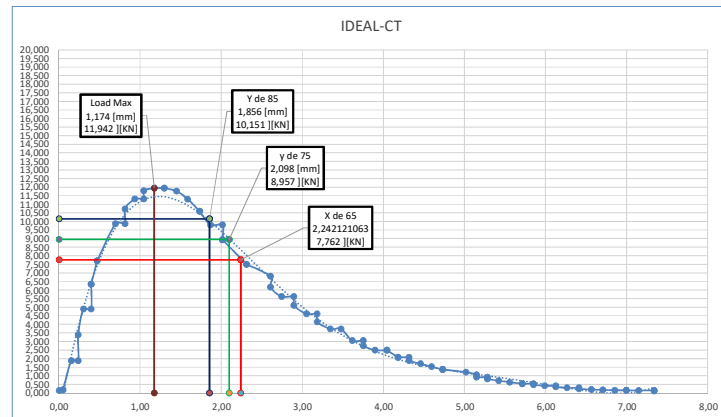
Gráfico de carga vs. desplazamiento para el modelo IDEAL-CT. La curva muestra una carga máxima de 12,303 kN a un desplazamiento de 1,384 mm. Se detallan los estados de carga y desplazamiento en los puntos de 65, 75 y 85 mm de desplazamiento.

Desplazamiento (mm)	Carga (kN)
1.384	12.303
2.138	10.458
2.373	9.227
2.501	7.997

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,139	6,797	0,00	def	
2	0,18	6,845	0,048	0,05	0,00864
3	0,18	6,845	0,048	0,00	0
4	1,88	6,949	0,152	0,10	0,19552
5	1,88	7,033	0,236	0,08	0,15792
6	3,387	7,033	0,236	0,00	0
7	4,89	7,098	0,301	0,06	0,31785
8	4,89	7,192	0,395	0,09	0,45966
9	6,335	7,192	0,395	0,00	0
10	6,335	7,192	0,395	0,00	0
11	7,705	7,266	0,469	0,07	0,57017
12	7,705	7,266	0,469	0,00	0
13	9,866	7,492	0,695	0,23	2,229716
14	9,866	7,611	0,814	0,12	1,174054
15	10,729	7,611	0,814	0,00	0
16	11,312	7,731	0,934	0,12	1,35744
17	11,312	7,842	1,045	0,11	1,255632
18	11,785	7,842	1,045	0,00	0
19	11,942	7,971	1,174	0,13	1,540518
20	11,942	8,096	1,299	0,13	1,49275
21	11,942	8,096	1,299	0,00	0
22	11,769	8,247	1,45	0,15	1,777119
23	11,295	8,383	1,586	0,14	1,53612
24	10,598	8,531	1,734	0,15	1,568504
25	10,598	8,531	1,734	0,00	0
26	9,801	8,665	1,868	0,13	1,313334
27	9,801	8,812	2,015	0,15	1,440747
28	8,93	8,812	2,015	0,00	0
29	8,93	8,812	2,015	0,00	0
30	8,93	8,812	2,015	0,00	0
31	7,497	9,11	2,313	0,30	2,234106
32	7,497	9,11	2,313	0,00	0
33	6,803	9,405	2,608	0,30	2,006885
34	6,168	9,405	2,608	0,00	0
35	5,62	9,542	2,745	0,14	0,76994
36	5,62	9,693	2,896	0,15	0,84862
37	5,103	9,693	2,896	0,00	0
38	4,61	9,849	3,052	0,16	0,71916
39	4,61	9,979	3,182	0,13	0,5993
40	4,145	9,979	3,182	0,00	0
41	3,734	10,143	3,346	0,16	0,612376
42	3,734	10,275	3,478	0,13	0,492888
43	3,051	10,414	3,617	0,14	0,424089
44	3,051	10,55	3,753	0,14	0,414936
45	2,752	10,55	3,753	0,00	0
46	2,493	10,696	3,899	0,15	0,363978
47	2,493	10,841	4,044	0,15	0,361485
48	2,493	10,841	4,044	0,00	0
49	2,074	10,979	4,182	0,14	0,286212
50	2,074	10,979	4,182	0,00	0
51	2,074	11,113	4,316	0,13	0,277916
52	1,886	11,113	4,316	0,00	0
53	1,7	11,256	4,459	0,14	0,2431
54	1,528	11,391	4,594	0,14	0,20628
55	1,367	11,529	4,732	0,14	0,188646
56	1,367	11,529	4,732	0,00	0
57	1,367	11,529	4,732	0,00	0
58	1,208	11,815	5,018	0,29	0,345488
59	1,054	11,946	5,149	0,13	0,138074
60	0,919	11,946	5,149	0,00	0
61	0,919	12,081	5,284	0,14	0,124065
62	0,814	12,081	5,284	0,00	0
63	0,714	12,22	5,423	0,14	0,099246
64	0,624	12,355	5,558	0,14	0,08424
65	0,538	12,51	5,713	0,15	0,08339
66	0,538	12,51	5,713	0,00	0
67	0,538	12,649	5,852	0,14	0,074782
68	0,475	12,649	5,852	0,00	0
69	0,415	12,787	5,99	0,14	0,05727
70	0,415	12,924	6,127	0,14	0,056855
71	0,354	12,924	6,127	0,00	0
72	0,298	13,062	6,265	0,14	0,041124
73	0,298	13,21	6,413	0,15	0,044104
74	0,244	13,21	6,413	0,00	0
75	0,198	13,363	6,566	0,15	0,030294
76	0,174	13,504	6,707	0,14	0,024534
77	0,155	13,652	6,855	0,15	0,02294
78	0,155	13,794	6,997	0,14	0,02201
79	0,151	13,794	6,997	0,00	0
80	0,144	13,947	7,15	0,15	0,022032
81	0,144	14,138	7,341	0,19	0,027504
82	0,112	14,138	7,341	0,00	0

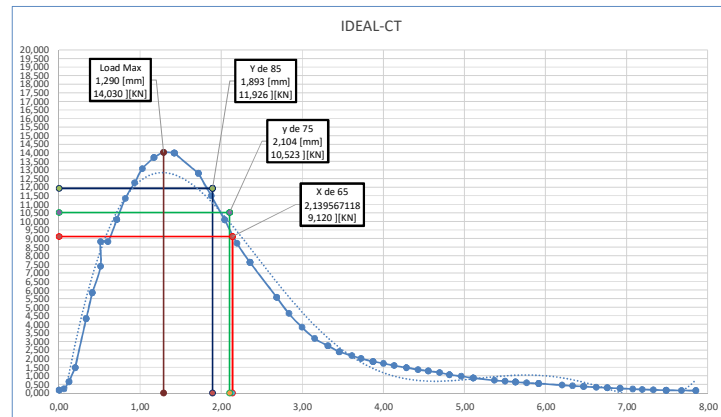
IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%						
PROBETA N° 9						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
7,4	-3,5	1,6	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,942 [kN]	1,174 [mm]				
85%	10,151 [kN]	1,856 [mm]				
75%	8,957 [kN]	2,098 [mm]				
65%	7,762 [kN]	2,242 [mm]				
Load Min	0,112 [kN]	7,341 [mm]				
			m75	6,192 [N/m]		
			W	30,744 [J]		
			Gf	4880,550 [J/m²]		
			I75	2,098 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	16,279		



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,158	6,509	0,00		
2	0,158	6,509	0	0,00	-1,58E-14
3	0,241	6,568	0,059	0,06	0,014219
4	0,652	6,632	0,123	0,06	0,041728
5	0,652	6,632	0,123	0,00	0
6	1,473	6,707	0,198	0,08	0,110475
7	1,473	6,707	0,198	0,00	0
8	4,332	6,844	0,335	0,14	0,593484
9	4,332	6,844	0,335	0,00	0
10	5,838	6,918	0,409	0,07	0,432012
11	5,838	6,918	0,409	0,00	0
12	7,389	7,021	0,512	0,10	0,761067
13	8,821	7,021	0,512	0,00	0
14	8,821	7,111	0,602	0,09	0,79389
15	10,106	7,221	0,712	0,11	1,11166
16	10,106	7,221	0,712	0,00	0
17	11,343	7,326	0,817	0,11	1,191015
18	12,258	7,441	0,932	0,12	1,40967
19	13,077	7,536	1,027	0,09	1,242315
20	13,723	7,678	1,169	0,14	1,948666
21	13,723	7,678	1,169	0,00	0
22	14,03	7,799	1,29	0,12	1,69763
23	13,988	7,931	1,422	0,13	1,846416
24	13,988	7,931	1,422	0,00	0
25	13,988	7,931	1,422	0,00	0
26	12,805	8,227	1,718	0,30	3,79028
27	12,805	8,227	1,718	0,00	0
28	11,499	8,386	1,877	0,16	1,828341
29	10,093	8,552	2,043	0,17	1,675438
30	10,093	8,552	2,043	0,00	0
31	8,725	8,704	2,195	0,15	1,3262
32	7,612	8,864	2,355	0,16	1,21792
33	7,612	8,864	2,355	0,00	0
34	7,612	8,864	2,355	0,00	0
35	5,569	9,194	2,685	0,33	1,83777
36	5,569	9,194	2,685	0,00	0
37	4,633	9,344	2,835	0,15	0,69495
38	3,833	9,505	2,996	0,16	0,617113
39	3,175	9,662	3,153	0,16	0,498475
40	2,743	9,826	3,317	0,16	0,449852
41	2,743	9,826	3,317	0,00	0
42	2,394	9,965	3,456	0,14	0,332766
43	2,394	9,965	3,456	0,00	0
44	2,168	10,121	3,612	0,16	0,338208
45	2,009	10,234	3,725	0,11	0,227017
46	1,828	10,381	3,872	0,15	0,268716
47	1,828	10,381	3,872	0,00	0
48	1,828	10,381	3,872	0,00	0
49	1,722	10,51	4,001	0,13	0,222138
50	1,596	10,642	4,133	0,13	0,210672
51	1,475	10,793	4,284	0,15	0,222725
52	1,475	10,793	4,284	0,00	0
53	1,36	10,937	4,428	0,14	0,19584
54	1,274	11,063	4,554	0,13	0,160524
55	1,274	11,063	4,554	0,00	0
56	1,19	11,203	4,694	0,14	0,1666
57	1,062	11,325	4,816	0,12	0,129564
58	1,062	11,325	4,816	0,00	0
59	0,972	11,471	4,962	0,15	0,141912
60	0,87	11,617	5,108	0,15	0,12702
61	0,87	11,617	5,108	0,00	0
62	0,87	11,617	5,108	0,00	0
63	0,733	11,878	5,369	0,26	0,191313
64	0,684	12,01	5,501	0,13	0,090288
65	0,638	12,139	5,63	0,13	0,082302
66	0,638	12,139	5,63	0,00	0
67	0,638	12,139	5,63	0,00	0
68	0,586	12,276	5,767	0,14	0,080282
69	0,549	12,425	5,916	0,15	0,081801
70	0,549	12,425	5,916	0,00	0
71	0,549	12,425	5,916	0,00	0
72	0,454	12,714	6,205	0,29	0,131206
73	0,412	12,842	6,333	0,13	0,052736
74	0,374	12,98	6,471	0,14	0,051612
75	0,374	12,98	6,471	0,00	0
76	0,331	13,135	6,626	0,15	0,051305
77	0,296	13,271	6,762	0,14	0,040256
78	0,296	13,271	6,762	0,00	0
79	0,264	13,429	6,92	0,16	0,041712
80	0,264	13,429	6,92	0,00	0
81	0,23	13,585	7,076	0,16	0,03588
82	0,201	13,702	7,193	0,12	0,023517
83	0,177	13,84	7,331	0,14	0,024426
84	0,154	13,997	7,488	0,16	0,024178
85	0,154	13,997	7,488	0,00	0
86	0,154	13,997	7,488	0,00	0
87	0,147	14,186	7,677	0,19	0,027783
88	0,132	14,363	7,854	0,18	0,023364
89	0,132	14,363	7,854	0,00	0

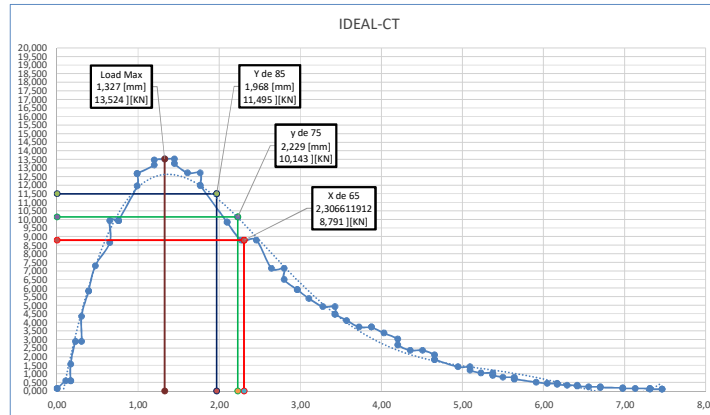
IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%						
PROBETA N° 11						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
8,1	-4,8	1,9	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max		Carga	Def			
Load Max		14,030 [kN]	1,290 [mm]			
85%		11,926 [kN]	1,893 [mm]			
75%		10,523 [kN]	2,104 [mm]			
65%		9,120 [kN]	2,140 [mm]			
Load Min		0,132 [kN]	7,854 [mm]			



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 12

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,524][KN]	1,327 [mm]
85%	11,495][KN]	1,968 [mm]
75%	10,143][KN]	2,229 [mm]
65%	8,791][KN]	2,307 [mm]
Load Min	0,101][KN]	7,313 [mm]

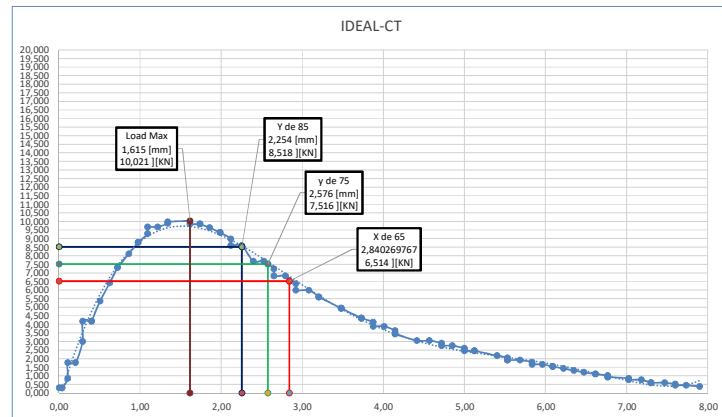
m75	7,992 [N/m]
W	34,783 [J]
Gf	5521,838 [J/m ²]
l75	2,229 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr ^{tu} t ^{tu}	62
CT index	15,161



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,298	6,813	0,00		
2	0,298	6,852	0,039	0,04	0,011622
3	0,85	6,919	0,106	0,07	0,05695
4	1,768	6,919	0,106	0,00	0
5	1,768	7,015	0,202	0,10	0,169728
6	2,994	7,103	0,29	0,09	0,263472
7	4,186	7,103	0,29	0,00	0
8	4,186	7,214	0,401	0,11	0,464646
9	4,186	7,214	0,401	0,00	0
10	5,355	7,32	0,507	0,11	0,56763
11	6,42	7,438	0,625	0,12	0,75756
12	7,322	7,535	0,722	0,10	0,710234
13	7,322	7,535	0,722	0,00	0
14	8,113	7,673	0,86	0,14	1,119594
15	8,782	7,788	0,975	0,12	1,00993
16	8,782	7,788	0,975	0,00	0
17	9,288	7,905	1,092	0,12	1,086696
18	9,675	7,905	1,092	0,00	0
19	9,675	8,029	1,216	0,12	1,1997
20	9,888	8,153	1,34	0,12	1,226112
21	9,975	8,153	1,34	0,00	0
22	10,021	8,428	1,615	0,28	2,755775
23	9,855	8,428	1,615	0,00	0
24	9,855	8,551	1,738	0,12	1,212165
25	9,855	8,551	1,738	0,00	0
26	9,638	8,671	1,858	0,12	1,15656
27	9,355	8,799	1,986	0,13	1,19744
28	9,355	8,799	1,986	0,00	0
29	8,975	8,931	2,118	0,13	1,1847
30	8,594	8,931	2,118	0,00	0
31	8,594	9,065	2,252	0,13	1,151596
32	7,685	9,209	2,396	0,14	1,10664
33	7,685	9,337	2,524	0,13	0,98368
34	7,235	9,463	2,65	0,13	0,91161
35	6,819	9,463	2,65	0,00	0
36	6,819	9,605	2,792	0,14	0,968298
37	6,371	9,733	2,92	0,13	0,815488
38	5,988	9,733	2,92	0,00	0
39	5,988	9,894	3,081	0,16	0,964068
40	5,594	10,017	3,204	0,12	0,688062
41	5,594	10,017	3,204	0,00	0
42	4,941	10,292	3,479	0,28	1,358775
43	4,941	10,292	3,479	0,00	0
44	4,941	10,292	3,479	0,00	0
45	4,36	10,541	3,728	0,25	1,08564
46	4,36	10,541	3,728	0,00	0
47	4,36	10,541	3,728	0,00	0
48	4,124	10,687	3,874	0,15	0,602104
49	3,883	10,687	3,874	0,00	0
50	3,883	10,823	4,01	0,14	0,528088
51	3,637	10,958	4,145	0,14	0,490995
52	3,445	10,958	4,145	0,00	0
53	3,445	10,958	4,145	0,00	0
54	3,053	11,227	4,414	0,27	0,821257
55	3,053	11,38	4,567	0,15	0,467109
56	2,899	11,531	4,718	0,15	0,437749
57	2,756	11,531	4,718	0,00	0
58	2,756	11,663	4,85	0,13	0,363792
59	2,605	11,812	4,999	0,15	0,388145
60	2,457	11,812	4,999	0,00	0
61	2,457	11,935	5,122	0,12	0,302211
62	2,457	11,935	5,122	0,00	0
63	2,175	12,216	5,403	0,28	0,611175
64	2,047	12,344	5,531	0,13	0,262016
65	1,915	12,344	5,531	0,00	0
66	1,915	12,344	5,531	0,00	0
67	1,915	12,498	5,685	0,15	0,29491
68	1,791	12,647	5,834	0,15	0,266859
69	1,666	12,647	5,834	0,00	0
70	1,666	12,775	5,962	0,13	0,213248
71	1,54	12,901	6,088	0,13	0,19404
72	1,54	12,901	6,088	0,00	0
73	1,425	13,035	6,222	0,13	0,19095
74	1,312	13,164	6,351	0,13	0,169248
75	1,205	13,287	6,474	0,12	0,148215
76	1,102	13,43	6,617	0,14	0,157586
77	1,102	13,43	6,617	0,00	0
78	1,011	13,58	6,767	0,15	0,15165
79	0,926	13,58	6,767	0,00	0
80	0,926	13,58	6,767	0,00	0
81	0,848	13,839	7,026	0,26	0,219632
82	0,765	13,839	7,026	0,00	0
83	0,765	13,995	7,182	0,16	0,11934
84	0,594	14,113	7,3	0,12	0,070092
85	0,594	14,113	7,3	0,00	0
86	0,594	14,283	7,47	0,17	0,10098
87	0,515	14,414	7,601	0,13	0,067465
88	0,45	14,414	7,601	0,00	0
89	0,45	14,548	7,735	0,13	0,0603
90	0,376	14,714	7,901	0,17	0,062416
91	0,319	14,714	7,901	0,00	0
92	0,319	14,861	8,048	0,15	0,046893
93	0,274	15,024	8,211	0,16	0,044662
94	0,226	15,024	8,211	0,00	0
95	0,193	15,321	8,508	0,30	0,057321
96	0,162	15,321	8,508	0,00	0
97	0,162	15,474	8,661	0,15	0,024786

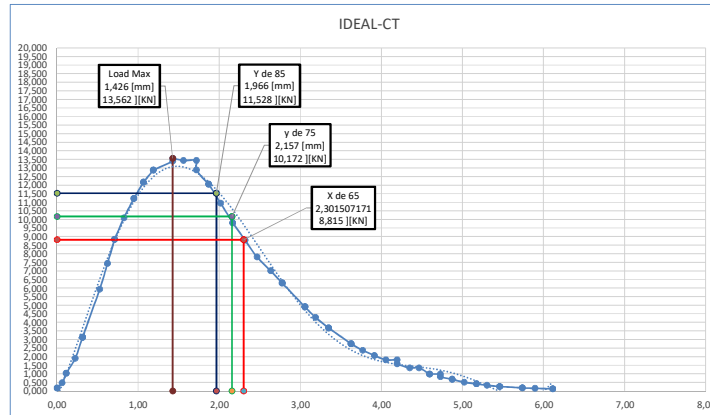
IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%						
PROBETA N° 14						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
9,0	-3,1	1,1	-0,3	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga		Def			
Load Max	10,021 [kN]	1,615 [mm]				
85%	8,518 [kN]	2,254 [mm]				
75%	7,516 [kN]	2,576 [mm]				
65%	6,514 [kN]	2,840 [mm]				
Load Min	0,162 [kN]	8,508 [mm]				
m75	3,421 [N/m]					
W	34,120 [J]					
Gf	5416,498 [J/m²]					
I75	2,576 [mm]					
D	101,600 [mm]					
t	62,000 [mm]					
Corr "t"	62					
CT Index	40,133					



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 16

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,562][KN]	1,426 [mm]
85%	11,528][KN]	1,966 [mm]
75%	10,172][KN]	2,157 [mm]
65%	8,815][KN]	2,302 [mm]
Load Min	0,124][KN]	6,115 [mm]

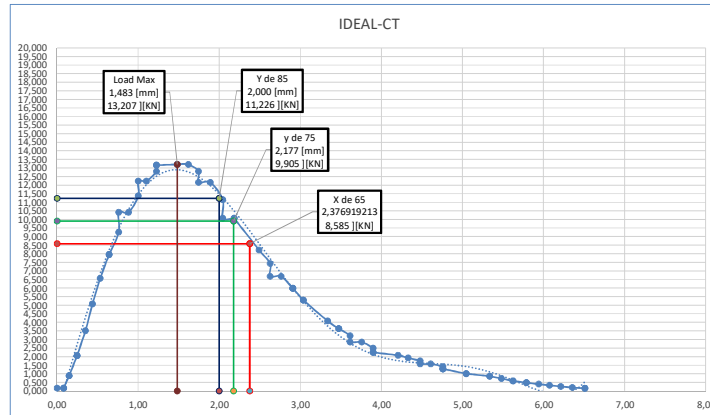
m75	8,081 [N/m]
W	30,936 [J]
Gf	4911,160 [J/m ²]
l75	2,157 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr ^{tu} t ^{tu}	62
CT index	12,903



IDEAL CT - CAC D19 CA30 3,6%
PROBETA N° 17

% Carga max	Carga	Def
Load Max	13,207 [kN]	1,483 [mm]
85%	11,226 [kN]	2,000 [mm]
75%	9,905 [kN]	2,177 [mm]
65%	8,585 [kN]	2,377 [mm]
Load Min	0,155 [kN]	6,511 [mm]

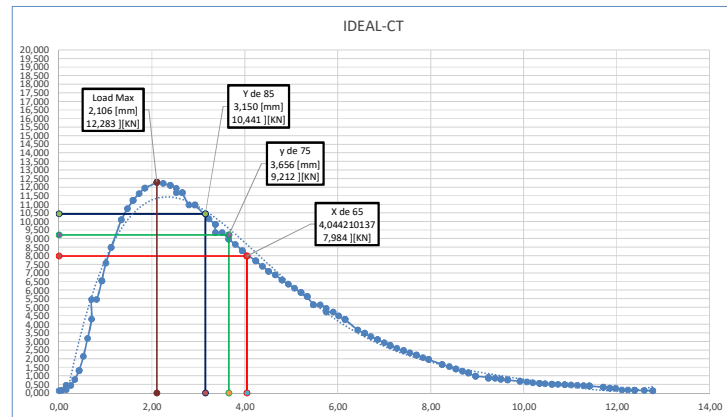
m75	7,010 [N/m]
W	32,286 [J]
Gf	5125,406 [J/m ²]
l75	2,177 [mm]
D	101,600 [mm]
t	62,000 [mm]
Corr ^{tu} t ²⁸	62
CT index	15,670



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,119	6,795	0,00	0,043733	0,009204
2	0,156	6,854	0,059	0,06	0,017108
3	0,182	6,948	0,153	0,09	0
4	0,433	6,948	0,153	0,00	0
5	0,433	6,948	0,153	0,00	0
6	0,433	7,049	0,254	0,10	0,043733
7	0,778	7,132	0,337	0,08	0,064574
8	1,303	7,228	0,433	0,10	0,125088
9	1,303	7,228	0,433	0,00	0
10	2,13	7,318	0,523	0,09	0,1917
11	3,174	7,409	0,614	0,09	0,288834
12	4,295	7,494	0,699	0,09	0,365075
13	5,45	7,494	0,699	0,00	0
14	5,45	7,604	0,809	0,11	0,5995
15	6,535	7,716	0,921	0,11	0,73192
16	6,535	7,716	0,921	0,00	0
17	7,566	7,802	1,007	0,09	0,650676
18	8,478	7,916	1,121	0,11	0,966492
19	8,478	7,916	1,121	0,00	0
20	10,095	8,134	1,339	0,22	2,20071
21	10,095	8,134	1,339	0,00	0
22	10,744	8,267	1,472	0,13	1,428952
23	11,229	8,387	1,592	0,12	1,34748
24	11,229	8,387	1,592	0,00	0
25	11,229	8,387	1,592	0,00	0
26	11,626	8,519	1,724	0,13	1,534632
27	11,945	8,642	1,847	0,12	1,469235
28	11,945	8,642	1,847	0,00	0
29	12,283	8,901	2,106	0,26	3,181297
30	12,283	8,901	2,106	0,00	0
31	12,214	9,037	2,242	0,14	1,661104
32	12,096	9,188	2,393	0,15	1,826496
33	12,096	9,188	2,393	0,00	0
34	11,928	9,319	2,524	0,13	1,562568
35	11,671	9,319	2,524	0,00	0
36	11,671	9,448	2,653	0,13	1,505559
37	11,671	9,448	2,653	0,00	0
38	10,957	9,592	2,797	0,14	1,577808
39	10,957	9,72	2,925	0,13	1,402496
40	10,957	9,72	2,925	0,00	0
41	10,146	10,021	3,226	0,30	3,053946
42	9,825	10,162	3,367	0,14	1,385325
43	9,825	10,162	3,367	0,00	0
44	9,348	10,162	3,367	0,00	0
45	9,348	10,305	3,51	0,14	1,336764
46	8,965	10,446	3,651	0,14	1,264065
47	8,965	10,446	3,651	0,00	0
48	8,657	10,589	3,794	0,14	1,237951
49	8,289	10,739	3,944	0,15	1,24335
50	8,289	10,739	3,944	0,00	0
51	7,698	11,027	4,232	0,29	2,217024
52	7,698	11,027	4,232	0,00	0
53	7,38	11,172	4,377	0,15	1,0701
54	7,093	11,302	4,507	0,13	0,92209
55	7,093	11,302	4,507	0,00	0
56	6,877	11,45	4,655	0,15	1,017796
57	6,584	11,594	4,799	0,14	0,948096
58	6,584	11,594	4,799	0,00	0
59	6,333	11,73	4,935	0,14	0,861288
60	6,108	11,863	5,068	0,13	0,812364
61	5,849	12,003	5,208	0,14	0,81886
62	5,849	12,003	5,208	0,00	0
63	5,621	12,136	5,341	0,13	0,747593
64	5,621	12,136	5,341	0,00	0
65	5,133	12,27	5,475	0,13	0,687822
66	5,133	12,27	5,475	0,00	0
67	5,133	12,417	5,622	0,15	0,754551
68	4,927	12,545	5,75	0,13	0,630656
69	4,717	12,545	5,75	0,00	0
70	4,717	12,696	5,901	0,15	0,712267
71	4,486	12,813	6,018	0,12	0,524862
72	4,292	12,949	6,154	0,14	0,583712
73	4,292	12,949	6,154	0,00	0
74	4,292	12,949	6,154	0,00	0
75	3,668	13,226	6,431	0,28	1,016036
76	3,477	13,375	6,58	0,15	0,518073
77	3,477	13,375	6,58	0,00	0
78	3,285	13,508	6,713	0,13	0,436905
79	3,105	13,649	6,854	0,14	0,437805
80	3,105	13,649	6,854	0,00	0
81	2,927	13,796	7,001	0,15	0,430269
82	2,765	13,923	7,128	0,13	0,351155
83	2,765	13,923	7,128	0,00	0
84	2,596	14,069	7,274	0,15	0,379016
85	2,467	14,213	7,418	0,14	0,355248
86	2,467	14,213	7,418	0,00	0
87	2,338	14,347	7,552	0,13	0,313292
88	2,205	14,488	7,693	0,14	0,310905
89	2,205	14,488	7,693	0,00	0
90	2,059	14,627	7,832	0,14	0,286201
91	1,953	14,751	7,956	0,12	0,242172
92	1,953	14,751	7,956	0,00	0
93	1,658	15,041	8,246	0,29	0,48082
94	1,658	15,041	8,246	0,00	0
95	1,533	15,194	8,399	0,15	0,234549
96	1,395	15,337	8,542	0,14	0,199485
97	1,395	15,337	8,542	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 1						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
13,3	-6,4	2,9	-0,7	0,1	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	12,283 [kN]	2,106 [mm]				
85%	10,441 [kN]	3,150 [mm]				
75%	9,212 [kN]	3,656 [mm]				
65%	7,984 [kN]	4,044 [mm]				
Load Min	0,119 [kN]	0,000 [mm]				
m75			2,747 [N/m]			
W			55,857 [J]			
Gf			8867,353 [J/m²]			
I75			3,656 [mm]			
D			101,600 [mm]			
t			62,000 [mm]			
Corr "t"			62			
CT Index			116,154			

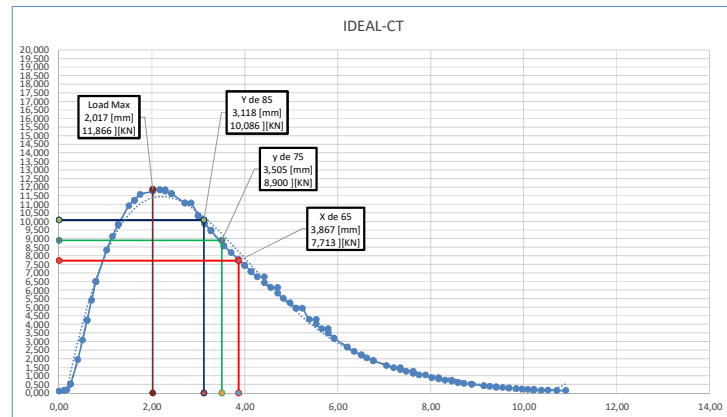


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	1,26	15,481	8,69		
99	1,158	15,608	8,813	0,13	0,147066
100	1,158	15,608	8,813	0,00	0
101	1,158	15,608	8,813	0,00	0
102	0,971	15,761	8,966	0,15	0,148563
103	0,971	15,761	8,966	0,00	0
104	0,909	16,037	9,242	0,28	0,250884
105	0,846	16,037	9,242	0,00	0
106	0,846	16,18	9,385	0,14	0,120978
107	0,803	16,304	9,509	0,12	0,099572
108	0,803	16,304	9,509	0,00	0
109	0,758	16,45	9,655	0,15	0,110668
110	0,758	16,45	9,655	0,00	0
111	0,674	16,718	9,923	0,27	0,180632
112	0,674	16,718	9,923	0,00	0
113	0,634	16,864	10,069	0,15	0,092564
114	0,588	16,993	10,198	0,13	0,075852
115	0,554	17,138	10,343	0,15	0,08033
116	0,554	17,138	10,343	0,00	0
117	0,526	17,256	10,461	0,12	0,062068
118	0,504	17,405	10,61	0,15	0,075096
119	0,504	17,405	10,61	0,00	0
120	0,504	17,405	10,61	0,00	0
121	0,495	17,534	10,739	0,13	0,063855
122	0,481	17,681	10,886	0,15	0,070707
123	0,481	17,681	10,886	0,00	0
124	0,464	17,816	11,021	0,13	0,06264
125	0,445	17,951	11,156	0,14	0,060075
126	0,426	18,086	11,291	0,13	0,05751
127	0,403	18,211	11,416	0,13	0,050375
128	0,403	18,211	11,416	0,00	0
129	0,403	18,211	11,416	0,00	0
130	0,332	18,51	11,715	0,30	0,099268
131	0,332	18,51	11,715	0,00	0
132	0,277	18,65	11,855	0,14	0,03878
133	0,269	18,65	11,855	0,00	0
134	0,269	18,777	11,982	0,13	0,034163
135	0,172	18,91	12,115	0,13	0,022876
136	0,172	19,042	12,247	0,13	0,022704
137	0,15	19,185	12,39	0,14	0,02145
138	0,15	19,185	12,39	0,00	0
139	0,15	19,185	12,39	0,00	0
140	0,145	19,392	12,597	0,21	0,030015
141	0,122	19,576	12,781	0,18	0,022448

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,103	7,066	0,00		
2	0,156	7,179	0,113	0,11	0,017628
3	0,156	7,179	0,113	0,00	0
4	0,181	7,235	0,169	0,06	0,010136
5	0,512	7,314	0,248	0,08	0,040448
6	0,512	7,314	0,248	0,00	0
7	0,512	7,314	0,248	0,00	0
8	1,943	7,47	0,404	0,16	0,303108
9	3,085	7,569	0,503	0,10	0,305415
10	4,232	7,669	0,603	0,10	0,4232
11	4,232	7,669	0,603	0,00	0
12	4,232	7,669	0,603	0,00	0
13	5,409	7,764	0,698	0,10	0,513855
14	6,498	7,858	0,792	0,09	0,610812
15	6,498	7,858	0,792	0,00	0
16	6,498	7,858	0,792	0,00	0
17	8,332	8,089	1,023	0,23	1,924692
18	9,126	8,217	1,151	0,13	1,168128
19	9,814	8,339	1,273	0,12	1,197308
20	9,814	8,339	1,273	0,00	0
21	9,814	8,339	1,273	0,00	0
22	9,814	8,339	1,273	0,00	0
23	10,915	8,569	1,503	0,23	2,51045
24	11,231	8,69	1,624	0,12	1,358951
25	11,231	8,69	1,624	0,00	0
26	11,572	8,81	1,744	0,12	1,38864
27	11,759	9,083	2,017	0,27	3,210207
28	11,866	9,083	2,017	0,00	0
29	11,847	9,235	2,169	0,15	1,800744
30	11,847	9,235	2,169	0,00	0
31	11,847	9,35	2,284	0,12	1,362405
32	11,771	9,35	2,284	0,00	0
33	11,619	9,487	2,421	0,14	1,591803
34	11,619	9,487	2,421	0,00	0
35	11,073	9,774	2,708	0,29	3,177951
36	11,073	9,774	2,708	0,00	0
37	11,073	9,907	2,841	0,13	1,472709
38	10,327	10,06	2,994	0,15	1,580031
39	10,327	10,06	2,994	0,00	0
40	9,863	10,195	3,129	0,14	1,331505
41	9,459	10,336	3,27	0,14	1,333719
42	9,459	10,336	3,27	0,00	0
43	9,459	10,336	3,27	0,00	0
44	8,577	10,615	3,549	0,28	2,392983
45	8,577	10,615	3,549	0,00	0
46	8,178	10,768	3,702	0,15	1,251234
47	7,804	10,922	3,856	0,15	1,201816
48	7,439	11,058	3,992	0,14	1,011704
49	7,439	11,058	3,992	0,00	0
50	7,076	11,199	4,133	0,14	0,997716
51	7,076	11,199	4,133	0,00	0
52	6,768	11,332	4,266	0,13	0,900144
53	6,768	11,483	4,417	0,15	1,021968
54	6,423	11,483	4,417	0,00	0
55	6,149	11,624	4,558	0,14	0,867009
56	6,149	11,77	4,704	0,15	0,897754
57	5,821	11,77	4,704	0,00	0
58	5,51	11,894	4,828	0,12	0,68324
59	5,249	12,038	4,972	0,14	0,755856
60	4,94	12,166	5,1	0,13	0,63232
61	4,94	12,166	5,1	0,00	0
62	4,94	12,302	5,236	0,14	0,67184
63	4,292	12,453	5,387	0,15	0,648092
64	4,292	12,601	5,535	0,15	0,635216
65	4,019	12,601	5,535	0,00	0
66	3,741	12,723	5,657	0,12	0,456402
67	3,741	12,859	5,793	0,14	0,508776
68	3,5	12,859	5,793	0,00	0
69	3,5	12,859	5,793	0,00	0
70	3,19	12,984	5,918	0,13	0,39875
71	3,19	12,984	5,918	0,00	0
72	2,671	13,27	6,204	0,29	0,763906
73	2,671	13,27	6,204	0,00	0
74	2,42	13,417	6,351	0,15	0,35574
75	2,213	13,575	6,509	0,16	0,349654
76	2,213	13,575	6,509	0,00	0
77	2,044	13,689	6,623	0,11	0,233016
78	1,884	13,827	6,761	0,14	0,259992
79	1,884	13,827	6,761	0,00	0
80	1,884	13,827	6,761	0,00	0
81	1,599	14,114	7,048	0,29	0,458913
82	1,469	14,268	7,202	0,15	0,226226
83	1,469	14,412	7,346	0,14	0,211536
84	1,347	14,412	7,346	0,00	0
85	1,261	14,538	7,472	0,13	0,158886
86	1,261	14,686	7,62	0,15	0,186628
87	1,145	14,686	7,62	0,00	0
88	1,145	14,686	7,62	0,00	0
89	1,051	14,815	7,749	0,13	0,135579
90	1,051	14,955	7,889	0,14	0,14714
91	0,888	15,088	8,022	0,13	0,118104
92	0,888	15,236	8,17	0,15	0,131424
93	0,805	15,236	8,17	0,00	0
94	0,743	15,372	8,306	0,14	0,101048
95	0,743	15,517	8,451	0,15	0,107735
96	0,675	15,517	8,451	0,00	0
97	0,611	15,652	8,586	0,13	0,082485

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 2						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
11,0	-4,7	2,0	-0,5	0,1	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,866 [kN]	2,017 [mm]				
85%	10,086 [kN]	3,118 [mm]				
75%	8,900 [kN]	3,505 [mm]				
65%	7,713 [kN]	3,867 [mm]				
Load Min	0,103 [kN]	0,000 [mm]				
			m75	3,166 [N/m]		
			W	49,261 [J]		
			Gf	7820,173 [J/m²]		
			I75	3,505 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	85,202		

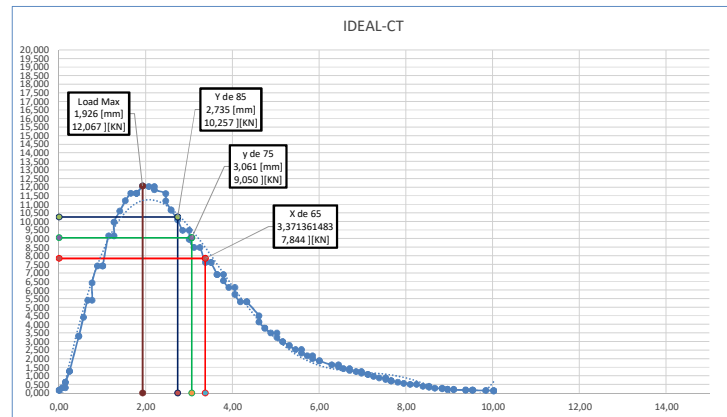


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,611	15,652	8,59		
99	0,554	15,78	8,714	0,13	0,070912
100	0,504	15,948	8,882	0,17	0,084672
101	0,504	15,948	8,882	0,00	0
102	0,417	16,209	9,143	0,26	0,108837
103	0,417	16,209	9,143	0,00	0
104	0,382	16,337	9,271	0,13	0,048896
105	0,345	16,475	9,409	0,14	0,04761
106	0,345	16,475	9,409	0,00	0
107	0,345	16,475	9,409	0,00	0
108	0,319	16,616	9,55	0,14	0,044979
109	0,282	16,752	9,686	0,14	0,038352
110	0,282	16,752	9,686	0,00	0
111	0,252	16,906	9,84	0,15	0,038808
112	0,224	17,029	9,963	0,12	0,027552
113	0,206	17,158	10,092	0,13	0,026574
114	0,206	17,289	10,223	0,13	0,026986
115	0,186	17,289	10,223	0,00	0
116	0,186	17,289	10,223	0,00	0
117	0,163	17,449	10,383	0,16	0,02608
118	0,158	17,59	10,524	0,14	0,022278
119	0,14	17,778	10,712	0,19	0,02632
120	0,14	17,973	10,907	0,20	0,0273

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,146	7,125	0,00	0,00	-1,62E-14
2	0,162	7,125	0	0,00	0,022348
3	0,302	7,199	0,074	0,07	0,021442
4	0,302	7,27	0,145	0,07	0
5	0,617	7,27	0,145	0,00	0
6	0,617	7,27	0,145	0,00	0
7	1,257	7,366	0,241	0,10	0,120672
8	1,257	7,366	0,241	0,00	0
9	3,302	7,581	0,456	0,22	0,70993
10	3,302	7,581	0,456	0,00	0
11	4,404	7,687	0,562	0,11	0,466824
12	5,399	7,786	0,661	0,10	0,534501
13	5,399	7,887	0,762	0,10	0,545299
14	6,419	7,887	0,762	0,00	0
15	7,4	8,011	0,886	0,12	0,9176
16	7,4	8,131	1,006	0,12	0,888
17	7,4	8,131	1,006	0,00	0
18	9,161	8,268	1,143	0,14	1,255057
19	9,161	8,393	1,268	0,13	1,145125
20	9,954	8,393	1,268	0,00	0
21	10,602	8,527	1,402	0,13	1,420668
22	11,201	8,652	1,527	0,13	1,400125
23	11,636	8,778	1,653	0,13	1,466136
24	11,636	8,913	1,788	0,14	1,57086
25	11,636	8,913	1,788	0,00	0
26	11,636	8,913	1,788	0,00	0
27	12,067	9,051	1,926	0,14	1,665246
28	12,067	9,051	1,926	0,00	0
29	12,034	9,196	2,071	0,15	1,74493
30	12,034	9,321	2,196	0,13	1,50425
31	11,856	9,321	2,196	0,00	0
32	11,624	9,584	2,459	0,26	3,057112
33	11,197	9,584	2,459	0,00	0
34	10,665	9,707	2,582	0,12	1,311795
35	10,665	9,707	2,582	0,00	0
36	10,083	9,861	2,736	0,15	1,552782
37	9,48	9,975	2,85	0,11	1,08072
38	9,48	10,126	3,001	0,15	1,43148
39	8,942	10,126	3,001	0,00	0
40	8,474	10,237	3,112	0,11	0,940614
41	8,474	10,375	3,25	0,14	1,169412
42	7,608	10,5	3,375	0,13	0,951
43	7,608	10,63	3,505	0,13	0,98904
44	7,608	10,63	3,505	0,00	0
45	6,9	10,771	3,646	0,14	0,9729
46	6,9	10,771	3,646	0,00	0
47	6,9	10,917	3,792	0,15	1,0074
48	6,536	10,917	3,792	0,00	0
49	6,145	11,04	3,915	0,12	0,755835
50	6,145	11,179	4,054	0,14	0,854155
51	5,744	11,179	4,054	0,00	0
52	5,307	11,305	4,18	0,13	0,668682
53	5,307	11,454	4,329	0,15	0,790743
54	5,307	11,454	4,329	0,00	0
55	4,499	11,736	4,611	0,28	1,268718
56	4,132	11,736	4,611	0,00	0
57	3,771	11,871	4,746	0,14	0,509085
58	3,771	11,871	4,746	0,00	0
59	3,492	12,006	4,881	0,14	0,47142
60	3,492	12,151	5,026	0,15	0,50634
61	3,228	12,151	5,026	0,00	0
62	2,981	12,284	5,159	0,13	0,396473
63	2,981	12,284	5,159	0,00	0
64	2,759	12,435	5,31	0,15	0,416609
65	2,523	12,578	5,453	0,14	0,360789
66	2,523	12,717	5,592	0,14	0,350697
67	2,32	12,717	5,592	0,00	0
68	2,16	12,848	5,723	0,13	0,28296
69	2,16	12,973	5,848	0,13	0,27
70	1,998	12,973	5,848	0,00	0
71	1,868	13,129	6,004	0,16	0,291408
72	1,868	13,129	6,004	0,00	0
73	1,639	13,415	6,29	0,29	0,468754
74	1,639	13,57	6,445	0,16	0,254045
75	1,522	13,57	6,445	0,00	0
76	1,415	13,683	6,558	0,11	0,159895
77	1,415	13,825	6,7	0,14	0,20093
78	1,308	13,825	6,7	0,00	0
79	1,242	13,976	6,851	0,15	0,187542
80	1,242	14,098	6,973	0,12	0,151524
81	1,157	14,098	6,973	0,00	0
82	1,07	14,248	7,123	0,15	0,1605
83	1,07	14,248	7,123	0,00	0
84	0,969	14,378	7,253	0,13	0,12597
85	0,878	14,509	7,384	0,13	0,115018
86	0,878	14,657	7,532	0,15	0,129944
87	0,786	14,657	7,532	0,00	0
88	0,7	14,784	7,659	0,13	0,0889
89	0,7	14,784	7,659	0,00	0
90	0,7	14,784	7,659	0,00	0
91	0,622	14,936	7,811	0,15	0,094544
92	0,556	15,073	7,948	0,14	0,076172
93	0,495	15,224	8,099	0,15	0,074745
94	0,495	15,368	8,243	0,14	0,07128
95	0,384	15,517	8,392	0,15	0,057216
96	0,384	15,657	8,532	0,14	0,05376
97	0,332	15,657	8,532	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 4						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
10,0	-4,0	1,4	-0,3	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga		Def			
Load Max	12,067 [kN]	1,926 [mm]				
85%	10,257 [kN]	2,735 [mm]				
75%	9,050 [kN]	3,061 [mm]				
65%	7,844 [kN]	3,371 [mm]				
Load Min	0,102 [kN]	10,023 [mm]				
			m75	3,792 [N/m]		
			W	42,808 [J]		
			Gf	6795,705 [J/m²]		
			l75	3,061 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	54,003		

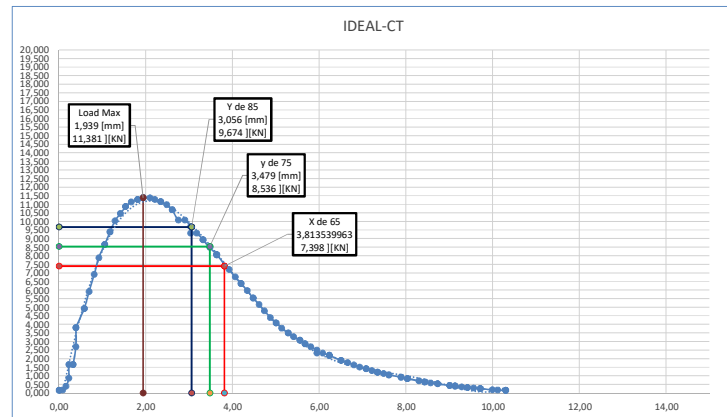


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,278	15,791	8,67		
99	0,278	15,959	8,834	0,17	0,046704
100	0,239	15,959	8,834	0,00	0
101	0,207	16,082	8,957	0,12	0,025461
102	0,207	16,082	8,957	0,00	0
103	0,207	16,226	9,101	0,14	0,029808
104	0,187	16,226	9,101	0,00	0
105	0,167	16,503	9,378	0,28	0,046259
106	0,163	16,503	9,378	0,00	0
107	0,158	16,66	9,535	0,16	0,024806
108	0,158	16,66	9,535	0,00	0
109	0,158	16,66	9,535	0,00	0
110	0,142	16,971	9,846	0,31	0,044162
111	0,142	17,148	10,023	0,18	0,025134
112	0,102	17,148	10,023	0,00	0

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de	Trabajo por
				def	intervalo
1	0,152	7,151	0,00	0,00	-1,52E-14
2	0,152	7,151	0	0,08	0,013776
3	0,168	7,233	0,082	0,08	0,028725
4	0,383	7,308	0,157	0,07	0,05934
5	0,86	7,377	0,226	0,00	0
6	1,658	7,377	0,226	0,10	0,159168
7	1,658	7,473	0,322	0,00	0
8	1,658	7,473	0,322	0,07	0,174655
9	2,687	7,538	0,387	0,00	0
10	3,804	7,538	0,387	0,20	0,96432
11	3,804	7,538	0,387	0,00	0
12	4,92	7,734	0,583	0,00	0
13	4,92	7,734	0,583	0,11	0,64419
14	5,91	7,843	0,692	0,12	0,822171
15	6,909	7,962	0,811	0,11	0,82761
16	7,882	8,067	0,916	0,14	1,186694
17	8,662	8,204	1,053	0,00	0
18	8,662	8,204	1,053	0,12	1,14558
19	9,39	8,326	1,175	0,12	1,14558
20	9,39	8,326	1,175	0,12	1,164524
21	10,039	8,442	1,291	0,12	1,297288
22	10,462	8,566	1,415	0,12	1,3038
23	10,865	8,686	1,535	0,00	0
24	10,865	8,686	1,535	0,13	1,425408
25	11,136	8,814	1,663	0,15	1,64615
26	11,275	8,96	1,809	0,00	0
27	11,275	8,96	1,809	0,13	1,47953
28	11,381	9,09	1,939	0,00	0
29	11,381	9,09	1,939	0,16	1,786189
30	11,377	9,247	2,096	0,11	1,263696
31	11,283	9,359	2,208	0,14	1,50633
32	11,158	9,494	2,343	0,00	0
33	11,158	9,494	2,343	0,14	1,525386
34	10,974	9,633	2,482	0,13	1,366912
35	10,679	9,761	2,61	0,00	0
36	10,679	9,761	2,61	0,14	1,441297
37	10,079	9,904	2,753	0,15	1,481613
38	10,079	10,051	2,9	0,13	1,2901
39	9,7	10,184	3,033	0,00	0
40	9,315	10,184	3,033	0,14	1,32273
41	9,315	10,326	3,175	0,14	1,286064
42	8,931	10,47	3,319	0,00	0
43	8,931	10,47	3,319	0,15	1,299429
44	8,493	10,623	3,472	0,16	1,30572
45	8,06	10,785	3,634	0,00	0
46	8,06	10,785	3,634	0,00	0
47	8,06	10,785	3,634	0,00	0
48	8,06	10,785	3,634	0,00	0
49	7,199	11,071	3,92	0,29	2,058914
50	6,76	11,214	4,063	0,14	0,96668
51	6,373	11,349	4,198	0,14	0,860355
52	6,373	11,349	4,198	0,00	0
53	5,967	11,49	4,339	0,14	0,841347
54	5,531	11,628	4,477	0,14	0,763278
55	5,531	11,628	4,477	0,00	0
56	5,15	11,764	4,613	0,14	0,7004
57	4,786	11,887	4,736	0,12	0,588678
58	4,391	12,024	4,873	0,14	0,601567
59	4,079	12,156	5,005	0,13	0,538428
60	4,079	12,156	5,005	0,00	0
61	3,771	12,287	5,136	0,13	0,494001
62	3,494	12,436	5,285	0,15	0,520606
63	3,494	12,436	5,285	0,00	0
64	3,283	12,56	5,409	0,12	0,407092
65	3,079	12,705	5,554	0,15	0,446455
66	3,079	12,705	5,554	0,00	0
67	2,859	12,822	5,671	0,12	0,334503
68	2,859	12,822	5,671	0,00	0
69	2,686	12,956	5,805	0,13	0,359924
70	2,502	13,1	5,949	0,14	0,360288
71	2,32	13,1	5,949	0,00	0
72	2,32	13,231	6,08	0,13	0,30392
73	2,189	13,385	6,234	0,15	0,337106
74	2,189	13,385	6,234	0,00	0
75	2,189	13,385	6,234	0,00	0
76	1,891	13,655	6,504	0,27	0,51057
77	1,891	13,655	6,504	0,00	0
78	1,772	13,808	6,657	0,15	0,271116
79	1,631	13,949	6,798	0,14	0,229971
80	1,506	14,084	6,933	0,14	0,20331
81	1,407	14,232	7,081	0,15	0,208236
82	1,407	14,232	7,081	0,00	0
83	1,301	14,366	7,215	0,13	0,174334
84	1,202	14,495	7,344	0,13	0,155058
85	1,202	14,495	7,344	0,00	0
86	1,202	14,495	7,344	0,00	0
87	1,129	14,636	7,485	0,14	0,159189
88	1,051	14,759	7,608	0,12	0,129273
89	1,051	14,759	7,608	0,00	0
90	0,918	15,038	7,887	0,28	0,256122
91	0,918	15,038	7,887	0,00	0
92	0,835	15,185	8,034	0,15	0,122745
93	0,835	15,185	8,034	0,00	0
94	0,835	15,185	8,034	0,00	0
95	0,702	15,451	8,3	0,27	0,186732
96	0,635	15,584	8,433	0,13	0,084455
97	0,635	15,584	8,433	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 5						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
10,7	-4,3	1,6	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,381 [kN]	1,939 [mm]	m75	3,007 [N/m]		
85%	9,674 [kN]	3,056 [mm]	W	46,000 [J]		
75%	8,536 [kN]	3,479 [mm]	Gf	7302,452 [J/m²]		
65%	7,398 [kN]	3,814 [mm]	I75	3,479 [mm]		
Load Min	0,150 [kN]	10,303 [mm]	D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	83,163		

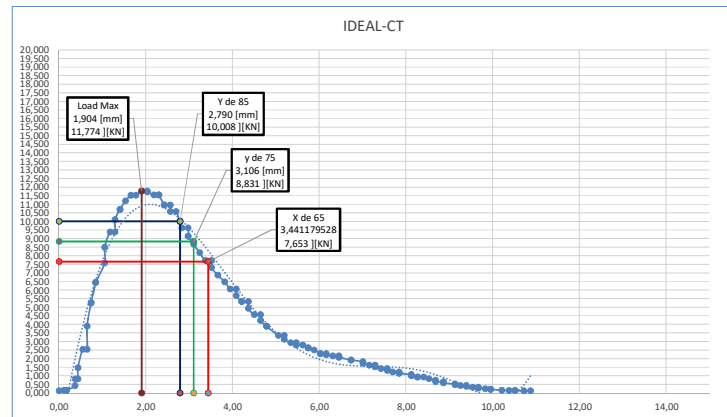


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,578	15,72	8,57		
99	0,528	15,881	8,73	0,16	0,085008
100	0,528	15,881	8,73	0,00	0
101	0,433	16,157	9,006	0,28	0,119508
102	0,433	16,157	9,006	0,00	0
103	0,395	16,285	9,134	0,13	0,05056
104	0,395	16,285	9,134	0,00	0
105	0,395	16,285	9,134	0,00	0
106	0,351	16,438	9,287	0,15	0,053703
107	0,314	16,569	9,418	0,13	0,041134
108	0,314	16,569	9,418	0,00	0
109	0,282	16,712	9,561	0,14	0,040326
110	0,247	16,867	9,716	0,16	0,038285
111	0,247	16,867	9,716	0,00	0
112	0,247	16,867	9,716	0,00	0
113	0,183	17,144	9,993	0,28	0,050691
114	0,168	17,268	10,117	0,12	0,020832
115	0,15	17,454	10,303	0,19	0,0279
116	0,15	17,454	10,303	0,00	0
117	0,15	17,454	10,303	0,00	0

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,125	7,073	0,00	def	
2	0,154	7,184	0,111	0,11	0,017094
3	0,154	7,242	0,169	0,06	0,008932
4	0,154	7,242	0,169	0,00	0
5	0,421	7,442	0,369	0,20	0,0842
6	0,82	7,442	0,369	0,00	0
7	0,82	7,509	0,436	0,07	0,05494
8	1,464	7,509	0,436	0,00	0
9	2,539	7,619	0,546	0,11	0,27929
10	2,539	7,72	0,647	0,10	0,256439
11	3,9	7,72	0,647	0,00	0
12	5,249	7,811	0,738	0,09	0,477659
13	5,249	7,811	0,738	0,00	0
14	6,444	7,914	0,841	0,10	0,663732
15	6,444	7,914	0,841	0,00	0
16	7,578	8,124	1,051	0,21	1,59138
17	8,498	8,124	1,051	0,00	0
18	9,379	8,249	1,176	0,13	1,172375
19	9,379	8,364	1,291	0,12	1,078585
20	10,103	8,364	1,291	0,00	0
21	10,697	8,477	1,404	0,11	1,208761
22	10,697	8,477	1,404	0,00	0
23	11,196	8,603	1,53	0,13	1,410696
24	11,521	8,732	1,659	0,13	1,486209
25	11,521	8,845	1,772	0,11	1,301873
26	11,774	8,977	1,904	0,13	1,554168
27	11,774	9,109	2,036	0,13	1,554168
28	11,725	9,109	2,036	0,00	0
29	11,537	9,259	2,186	0,15	1,73055
30	11,537	9,374	2,301	0,12	1,326755
31	11,537	9,374	2,301	0,00	0
32	10,954	9,501	2,428	0,13	1,391158
33	10,954	9,501	2,428	0,00	0
34	10,954	9,639	2,566	0,14	1,511652
35	10,576	9,639	2,566	0,00	0
36	10,576	9,774	2,701	0,14	1,42776
37	9,625	9,907	2,834	0,13	1,280125
38	9,625	10,049	2,976	0,14	1,36675
39	9,133	10,049	2,976	0,00	0
40	9,133	10,049	2,976	0,00	0
41	8,665	10,178	3,105	0,13	1,117785
42	8,177	10,314	3,241	0,14	1,112072
43	7,717	10,453	3,38	0,14	1,072663
44	7,717	10,593	3,52	0,14	1,08038
45	7,302	10,593	3,52	0,00	0
46	6,869	10,734	3,661	0,14	0,968529
47	6,475	10,894	3,821	0,16	1,036
48	6,057	11,019	3,946	0,13	0,757125
49	6,057	11,16	4,087	0,14	0,854037
50	5,677	11,16	4,087	0,00	0
51	5,322	11,288	4,215	0,13	0,681216
52	5,322	11,288	4,215	0,00	0
53	5,322	11,439	4,366	0,15	0,803622
54	4,931	11,439	4,366	0,00	0
55	4,56	11,577	4,504	0,14	0,62928
56	4,56	11,72	4,647	0,14	0,65208
57	4,223	11,72	4,647	0,00	0
58	3,886	11,858	4,785	0,14	0,536268
59	3,886	11,858	4,785	0,00	0
60	3,355	12,132	5,059	0,27	0,91927
61	3,355	12,268	5,195	0,14	0,45628
62	3,121	12,268	5,195	0,00	0
63	2,93	12,415	5,342	0,15	0,43071
64	2,93	12,542	5,469	0,13	0,37211
65	2,792	12,542	5,469	0,00	0
66	2,792	12,696	5,623	0,15	0,429968
67	2,621	12,819	5,746	0,12	0,322383
68	2,621	12,819	5,746	0,00	0
69	2,497	12,957	5,884	0,14	0,344586
70	2,285	13,102	6,029	0,15	0,331325
71	2,285	13,102	6,029	0,00	0
72	2,285	13,234	6,161	0,13	0,30162
73	2,225	13,234	6,161	0,00	0
74	2,157	13,387	6,314	0,15	0,330021
75	2,157	13,527	6,454	0,14	0,30198
76	2,082	13,527	6,454	0,00	0
77	2,082	13,527	6,454	0,00	0
78	1,915	13,807	6,734	0,28	0,5362
79	1,915	13,807	6,734	0,00	0
80	1,817	14,082	7,009	0,28	0,499675
81	1,726	14,082	7,009	0,00	0
82	1,617	14,228	7,155	0,15	0,236082
83	1,617	14,361	7,288	0,13	0,215061
84	1,514	14,361	7,288	0,00	0
85	1,42	14,497	7,424	0,14	0,19312
86	1,42	14,641	7,568	0,14	0,20448
87	1,313	14,641	7,568	0,00	0
88	1,219	14,767	7,694	0,13	0,153594
89	1,219	14,915	7,842	0,15	0,180412
90	1,143	14,915	7,842	0,00	0
91	1,143	14,915	7,842	0,00	0
92	1,071	15,195	8,122	0,28	0,29988
93	0,996	15,195	8,122	0,00	0
94	0,922	15,34	8,267	0,15	0,13369
95	0,922	15,34	8,267	0,00	0
96	0,922	15,481	8,408	0,14	0,130002
97	0,824	15,606	8,533	0,13	0,103

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 6						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
10,7	-3,1	0,6	-0,1	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,774 [kN]	1,904 [mm]				
85%	10,008 [kN]	2,790 [mm]				
75%	8,831 [kN]	3,106 [mm]				
65%	7,653 [kN]	3,441 [mm]				
Load Min	0,119 [kN]	10,720 [mm]				
			m75	3,618 [N/m]		
			W	43,728 [J]		
			Gf	6941,819 [J/m²]		
			I75	3,106 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	58,665		

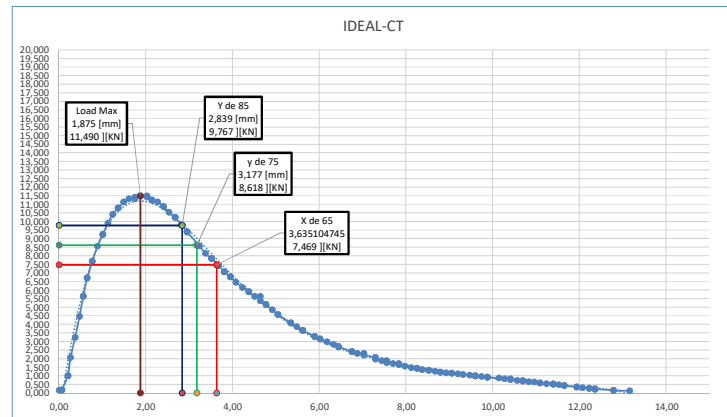


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,746	15,759	8,69		
99	0,652	15,759	8,686	0,00	0
100	0,652	15,937	8,864	0,18	0,116056
101	0,575	15,937	8,864	0,00	0
102	0,525	16,207	9,134	0,27	0,14175
103	0,473	16,207	9,134	0,00	0
104	0,428	16,33	9,257	0,12	0,052644
105	0,428	16,466	9,393	0,14	0,058208
106	0,381	16,466	9,393	0,00	0
107	0,327	16,617	9,544	0,15	0,049377
108	0,327	16,742	9,669	0,13	0,040875
109	0,286	16,742	9,669	0,00	0
110	0,286	16,742	9,669	0,00	0
111	0,244	16,903	9,83	0,16	0,039284
112	0,211	17,025	9,952	0,12	0,025742
113	0,211	17,025	9,952	0,00	0
114	0,211	17,025	9,952	0,00	0
115	0,155	17,286	10,213	0,26	0,040455
116	0,148	17,45	10,377	0,16	0,024272
117	0,148	17,591	10,518	0,14	0,020868
118	0,138	17,591	10,518	0,00	0
119	0,119	17,793	10,72	0,20	0,024038
120	0,119	17,948	10,875	0,16	0,018445

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,15	1,39	0,00	0,00	0,010688
2	0,167	1,454	0,064	0,06	0
3	0,167	1,454	0,064	0,00	0
4	0,167	1,454	0,064	0,00	0
5	0,996	1,596	0,206	0,14	0,141432
6	0,996	1,596	0,206	0,00	0
7	2,063	1,656	0,266	0,06	0,12378
8	3,243	1,761	0,371	0,11	0,340515
9	4,465	1,861	0,471	0,10	0,4465
10	5,638	1,948	0,558	0,09	0,490506
11	5,638	1,948	0,558	0,00	0
12	6,706	2,038	0,648	0,09	0,60354
13	6,706	2,038	0,648	0,00	0
14	7,677	2,156	0,766	0,12	0,905886
15	7,677	2,156	0,766	0,00	0
16	8,549	2,274	0,884	0,12	1,008782
17	9,243	2,397	1,007	0,12	1,136889
18	9,243	2,397	1,007	0,00	0
19	9,906	2,517	1,127	0,12	1,18872
20	10,418	2,624	1,234	0,11	1,114726
21	10,781	2,751	1,361	0,13	1,369187
22	10,781	2,751	1,361	0,00	0
23	11,126	2,879	1,489	0,13	1,424128
24	11,32	3	1,61	0,12	1,36972
25	11,32	3,137	1,747	0,14	1,55084
26	11,414	3,137	1,747	0,00	0
27	11,49	3,265	1,875	0,13	1,47072
28	11,49	3,415	2,025	0,15	1,7235
29	11,429	3,415	2,025	0,00	0
30	11,242	3,53	2,14	0,11	1,29283
31	11,242	3,53	2,14	0,00	0
32	11,14	3,66	2,27	0,13	1,4482
33	10,875	3,798	2,408	0,14	1,50075
34	10,875	3,798	2,408	0,00	0
35	10,528	3,926	2,536	0,13	1,347584
36	10,236	4,067	2,677	0,14	1,443276
37	10,236	4,067	2,677	0,00	0
38	9,811	4,213	2,823	0,15	1,432406
39	9,389	4,344	2,954	0,13	1,229959
40	9,389	4,344	2,954	0,00	0
41	9,389	4,344	2,954	0,00	0
42	8,57	4,625	3,235	0,28	2,40817
43	8,144	4,764	3,374	0,14	1,132016
44	7,83	4,91	3,52	0,15	1,14318
45	7,83	4,91	3,52	0,00	0
46	7,429	5,072	3,682	0,16	1,203498
47	7,058	5,201	3,811	0,13	0,910482
48	7,058	5,201	3,811	0,00	0
49	6,767	5,344	3,954	0,14	0,967681
50	6,767	5,344	3,954	0,00	0
51	6,453	5,47	4,08	0,13	0,813078
52	6,156	5,621	4,231	0,15	0,929556
53	5,898	5,767	4,377	0,15	0,861108
54	5,898	5,767	4,377	0,00	0
55	5,631	5,901	4,511	0,13	0,754554
56	5,631	6,032	4,642	0,13	0,737661
57	5,366	6,032	4,642	0,00	0
58	5,149	6,162	4,772	0,13	0,66937
59	5,149	6,162	4,772	0,00	0
60	4,844	6,307	4,917	0,15	0,70238
61	4,567	6,439	5,049	0,13	0,602844
62	4,567	6,439	5,049	0,00	0
63	4,088	6,732	5,342	0,29	1,197784
64	4,088	6,732	5,342	0,00	0
65	3,864	6,874	5,484	0,14	0,548688
66	3,653	7,006	5,616	0,13	0,482196
67	3,653	7,006	5,616	0,00	0
68	3,653	7,006	5,616	0,00	0
69	3,29	7,285	5,895	0,28	0,91791
70	3,29	7,285	5,895	0,00	0
71	3,143	7,413	6,023	0,13	0,402304
72	3,143	7,413	6,023	0,00	0
73	2,974	7,572	6,182	0,16	0,472866
74	2,825	7,725	6,335	0,15	0,432225
75	2,689	7,838	6,448	0,11	0,303857
76	2,689	7,838	6,448	0,00	0
77	2,689	7,838	6,448	0,00	0
78	2,41	8,142	6,752	0,30	0,73264
79	2,41	8,142	6,752	0,00	0
80	2,304	8,266	6,876	0,12	0,285696
81	2,304	8,418	7,028	0,15	0,350208
82	2,204	8,418	7,028	0,00	0
83	2,076	8,684	7,294	0,27	0,552216
84	1,976	8,684	7,294	0,00	0
85	1,878	8,832	7,442	0,15	0,277944
86	1,878	8,944	7,554	0,11	0,210336
87	1,77	8,944	7,554	0,00	0
88	1,709	9,088	7,698	0,14	0,246096
89	1,709	9,228	7,838	0,14	0,23926
90	1,656	9,228	7,838	0,00	0
91	1,656	9,228	7,838	0,00	0
92	1,557	9,368	7,978	0,14	0,21798
93	1,478	9,513	8,123	0,14	0,21431
94	1,429	9,645	8,255	0,13	0,188628
95	1,429	9,645	8,255	0,00	0
96	1,361	9,765	8,375	0,12	0,16332
97	1,321	9,915	8,525	0,15	0,19815

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 7						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
13,6	-5,3	1,4	-0,2	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,490 [kN]	1,875 [mm]				
85%	9,767 [kN]	2,839 [mm]				
75%	8,618 [kN]	3,177 [mm]				
65%	7,469 [kN]	3,635 [mm]				
Load Min	0,120 [kN]	13,159 [mm]				
			m75	2,885 [N/m]		
			W	51,551 [J]		
			Gf	8183,764 [J/m²]		
			l75	3,177 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	88,688		



	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	1,321	9,915	8,53		
99	1,258	10,061	8,671	0,15	0,183668
100	1,212	10,186	8,796	0,13	0,1515
101	1,212	10,186	8,796	0,00	0
102	1,172	10,319	8,929	0,13	0,155876
103	1,143	10,444	9,054	0,13	0,142875
104	1,143	10,444	9,054	0,00	0
105	1,109	10,587	9,197	0,14	0,158587
106	1,068	10,707	9,317	0,12	0,12816
107	1,038	10,86	9,47	0,15	0,158814
108	0,988	10,989	9,599	0,13	0,127452
109	0,988	10,989	9,599	0,00	0
110	0,988	10,989	9,599	0,00	0
111	0,959	11,133	9,743	0,14	0,138096
112	0,917	11,267	9,877	0,13	0,122878
113	0,917	11,267	9,877	0,00	0
114	0,917	11,267	9,877	0,00	0
115	0,864	11,539	10,149	0,27	0,235008
116	0,823	11,669	10,279	0,13	0,10699
117	0,823	11,802	10,412	0,13	0,109459
118	0,773	11,802	10,412	0,00	0
119	0,728	11,951	10,561	0,15	0,108472
120	0,728	12,084	10,694	0,13	0,096824
121	0,686	12,084	10,694	0,00	0
122	0,652	12,222	10,832	0,14	0,089976
123	0,634	12,348	10,958	0,13	0,079884
124	0,579	12,48	11,09	0,13	0,076428
125	0,579	12,48	11,09	0,00	0
126	0,539	12,63	11,24	0,15	0,08085
127	0,511	12,786	11,396	0,16	0,079716
128	0,511	12,786	11,396	0,00	0
129	0,511	12,786	11,396	0,00	0
130	0,471	12,92	11,53	0,13	0,063114
131	0,422	13,042	11,652	0,12	0,051484
132	0,422	13,042	11,652	0,00	0
133	0,341	13,33	11,94	0,29	0,098208
134	0,341	13,33	11,94	0,00	0
135	0,301	13,463	12,073	0,13	0,040033
136	0,265	13,614	12,224	0,15	0,040015
137	0,265	13,614	12,224	0,00	0
138	0,223	13,75	12,36	0,14	0,030328
139	0,223	13,75	12,36	0,00	0
140	0,223	13,75	12,36	0,00	0
141	0,223	13,75	12,36	0,00	0
142	0,156	14,176	12,786	0,43	0,066456
143	0,145	14,176	12,786	0,00	0
144	0,12	14,549	13,159	0,37	0,04476

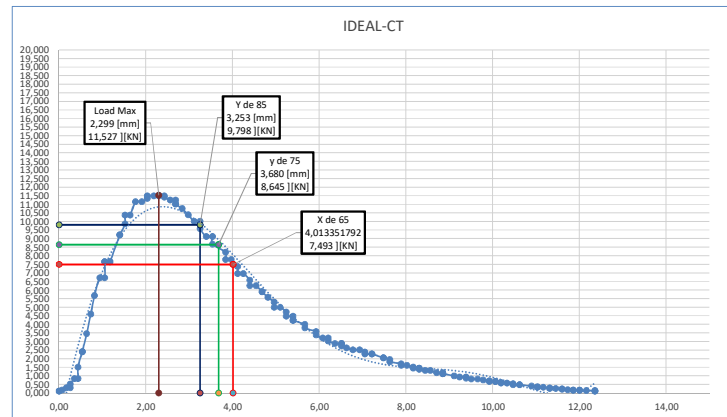
Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,105	7,049	0,00	0,00	-1,05E-14
2	0,105	7,049	0	0,08	0,012692
3	0,167	7,125	0,076	0,09	0,027824
4	0,296	7,219	0,17	0,09	0,026344
5	0,296	7,308	0,259	0,00	0
6	0,512	7,308	0,259	0,10	0,080995
7	0,835	7,405	0,356	0,08	0,067635
8	0,835	7,486	0,437	0,00	0
9	1,502	7,486	0,437	0,10	0,2405
10	2,405	7,586	0,537	0,00	0
11	2,405	7,586	0,537	0,10	0,341649
12	3,451	7,685	0,636	0,10	0,43643
13	4,594	7,78	0,731	0,09	0,493986
14	5,678	7,867	0,818	0,12	0,818864
15	6,712	7,989	0,94	0,11	0,745032
16	6,712	8,1	1,051	0,00	0
17	7,645	8,1	1,051	0,00	0
18	7,645	8,1	1,051	0,12	0,94798
19	7,645	8,224	1,175	0,00	0
20	7,645	8,224	1,175	0,23	2,073825
21	9,217	8,449	1,4	0,00	0
22	9,217	8,449	1,4	0,12	1,18296
23	9,858	8,569	1,52	0,00	0
24	10,369	8,569	1,52	0,12	1,213173
25	10,369	8,686	1,637	0,13	1,404018
26	11,143	8,812	1,763	0,14	1,604592
27	11,143	8,956	1,907	0,13	1,462989
28	11,341	9,085	2,036	0,15	1,712159
29	11,491	9,085	2,036	0,11	1,314078
30	11,491	9,234	2,185	0,13	1,482855
31	11,527	9,348	2,299	0,00	0
32	11,495	9,348	2,299	0,14	1,474244
33	11,495	9,477	2,428	0,14	1,529728
34	11,42	9,477	2,428	0,12	1,372256
35	11,248	9,613	2,564	0,00	0
36	11,248	9,735	2,686	0,00	0
37	11,014	9,735	2,686	0,15	1,64475
38	11,014	9,735	2,686	0,14	1,474244
39	10,75	9,888	2,839	0,14	1,35108
40	10,382	10,03	2,981	0,14	1,371096
41	10,008	10,165	3,116	0,00	0
42	10,008	10,302	3,253	0,14	1,295324
43	9,578	10,302	3,253	0,14	1,295324
44	9,122	10,444	3,395	0,00	0
45	9,122	10,586	3,537	0,00	0
46	8,671	10,586	3,537	0,15	0,906105
47	8,21	10,888	3,839	0,14	0,814062
48	7,776	10,888	3,839	0,00	0
49	7,776	11,02	3,971	0,15	0,75249
50	7,37	11,167	4,118	0,14	0,756756
51	6,958	11,167	4,118	0,00	0
52	6,958	11,297	4,248	0,15	0,90454
53	6,571	11,448	4,399	0,15	0,992221
54	6,249	11,448	4,399	0,14	0,86066
55	6,249	11,593	4,544	0,00	0
56	5,899	11,731	4,682	0,15	0,906105
57	5,899	11,731	4,682	0,14	0,814062
58	5,574	11,866	4,817	0,00	0
59	5,292	12,009	4,96	0,14	0,75249
60	4,988	12,009	4,96	0,14	0,756756
61	4,988	12,148	5,099	0,00	0
62	4,719	12,288	5,239	0,14	0,66066
63	4,469	12,288	5,239	0,14	0,66066
64	4,469	12,444	5,395	0,16	0,697164
65	4,233	12,444	5,395	0,00	0
66	4,233	12,444	5,395	0,15	0,906105
67	3,993	12,717	5,668	0,27	1,090089
68	3,786	12,717	5,668	0,00	0
69	3,574	12,978	5,929	0,26	0,932814
70	3,381	12,978	5,929	0,00	0
71	3,202	13,129	6,08	0,15	0,483502
72	3,202	13,258	6,209	0,13	0,413058
73	3,028	13,258	6,209	0,00	0
74	2,882	13,413	6,364	0,16	0,44671
75	2,882	13,561	6,512	0,15	0,426536
76	2,882	13,561	6,512	0,00	0
77	2,739	13,561	6,512	0,00	0
78	2,627	13,678	6,629	0,12	0,307359
79	2,508	13,824	6,775	0,15	0,366168
80	2,508	13,981	6,932	0,16	0,393756
81	2,374	14,102	7,053	0,12	0,287254
82	2,272	14,102	7,053	0,00	0
83	2,272	14,264	7,215	0,16	0,368064
84	2,272	14,264	7,215	0,00	0
85	2,048	14,528	7,479	0,26	0,540672
86	2,048	14,528	7,479	0,00	0
87	1,938	14,676	7,627	0,15	0,286824
88	1,814	14,676	7,627	0,00	0
89	1,699	14,94	7,891	0,26	0,448536
90	1,608	14,94	7,891	0,00	0
91	1,608	15,073	8,024	0,13	0,213864
92	1,51	15,218	8,169	0,15	0,21895
93	1,44	15,218	8,169	0,00	0
94	1,44	15,354	8,305	0,14	0,19584
95	1,44	15,354	8,305	0,00	0
96	1,379	15,354	8,305	0,00	0
97	1,313	15,495	8,446	0,14	0,185133

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 8						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
12,7	-4,9	1,8	-0,4	0,0	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	11,527 [kN]	2,299 [mm]	m75	3,034 [N/m]		
85%	9,798 [kN]	3,253 [mm]	W	50,643 [J]		
75%	8,645 [kN]	3,680 [mm]	Gf	8039,630 [J/m²]		
65%	7,493 [kN]	4,013 [mm]	I75	3,680 [mm]		
Load Min	0,103 [kN]	12,359 [mm]	D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	95,989		

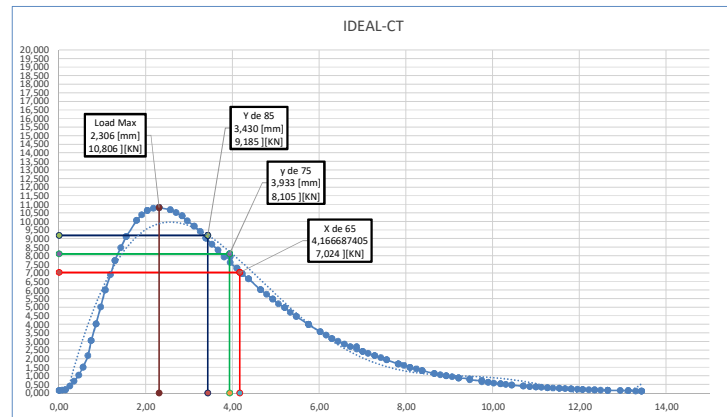


	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	1,313	15,612	8,56	0,15	0,1711
99	1,18	15,757	8,708	0,14	0,16992
100	1,18	15,901	8,852	0,00	0
101	1,119	15,901	8,852	0,00	0
102	1,119	15,901	8,852	0,00	0
103	1,119	15,901	8,852	0,26	0,25818
104	0,993	16,161	9,112	0,13	0,115
105	0,92	16,286	9,237	0,15	0,13892
106	0,92	16,437	9,388	0,00	0
107	0,858	16,437	9,388	0,12	0,09684
108	0,807	16,557	9,508	0,14	0,116208
109	0,807	16,701	9,652	0,13	0,099396
110	0,753	16,833	9,784	0,14	0,096722
111	0,706	16,97	9,921	0,00	0
112	0,66	16,97	9,921	0,14	0,09306
113	0,66	17,111	10,062	0,00	0
114	0,66	17,111	10,062	0,13	0,078948
115	0,612	17,24	10,191	0,00	0
116	0,571	17,24	10,191	0,14	0,081082
117	0,571	17,382	10,333	0,14	0,07378
118	0,527	17,522	10,473	0,00	0
119	0,476	17,522	10,473	0,15	0,070924
120	0,476	17,671	10,622	0,00	0
121	0,476	17,671	10,622	0,28	0,110275
122	0,401	17,946	10,897	0,14	0,049046
123	0,358	18,083	11,034	0,00	0
124	0,323	18,083	11,034	0,13	0,043282
125	0,323	18,217	11,168	0,15	0,042483
126	0,289	18,364	11,315	0,00	0
127	0,259	18,364	11,315	0,14	0,036001
128	0,259	18,503	11,454	0,15	0,03478
129	0,235	18,651	11,602	0,00	0
130	0,211	18,651	11,602	0,13	0,023936
131	0,187	18,779	11,73	0,13	0,020864
132	0,163	18,907	11,858	0,00	0
133	0,163	18,907	11,858	0,15	0,023798
134	0,163	19,053	12,004	0,00	0
135	0,152	19,053	12,004	0,16	0,021666
136	0,138	19,21	12,161	0,20	0,027324
137	0,138	19,408	12,359	0,00	0
138	0,103	19,408	12,359	0,00	0
139	0,103	19,408	12,359	0,00	0

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,142	6,776	0,00	0,00	-1,42E-14
2	0,142	6,776	0	0,00	0,011304
3	0,157	6,848	0,072	0,07	0,013135
4	0,185	6,919	0,143	0,07	0
5	0,185	6,919	0,143	0,00	0,043142
6	0,407	7,025	0,249	0,11	0,063612
7	0,684	7,118	0,342	0,09	0,115218
8	1,038	7,229	0,453	0,11	0,1501
9	1,501	7,329	0,553	0,10	0
10	1,501	7,329	0,553	0,00	0,242816
11	2,168	7,441	0,665	0,11	0,225848
12	3,052	7,515	0,739	0,07	0
13	3,052	7,515	0,739	0,00	0,457824
14	4,016	7,629	0,853	0,11	0
15	4,016	7,629	0,853	0,00	0,530954
16	5,009	7,735	0,959	0,11	0,636848
17	6,008	7,841	1,065	0,11	0
18	6,008	7,841	1,065	0,00	0,820743
19	6,897	7,96	1,184	0,12	0,788052
20	7,726	8,062	1,286	0,10	0
21	7,726	8,062	1,286	0,00	1,169136
22	8,472	8,2	1,424	0,14	1,121268
23	9,116	8,323	1,547	0,12	0
24	9,116	8,323	1,547	0,00	2,435246
25	10,063	8,565	1,789	0,24	0
26	10,063	8,565	1,789	0,00	1,183548
27	10,382	8,679	1,903	0,11	1,38229
28	10,633	8,809	2,033	0,13	0
29	10,633	8,809	2,033	0,00	1,529198
30	10,769	8,951	2,175	0,14	1,415586
31	10,806	9,082	2,306	0,13	0
32	10,806	9,082	2,306	0,00	2,765343
33	10,806	9,082	2,306	0,00	0
34	10,677	9,341	2,565	0,26	0
35	10,677	9,341	2,565	0,00	1,377596
36	10,516	9,472	2,696	0,13	1,435453
37	10,327	9,611	2,835	0,14	0
38	10,327	9,611	2,835	0,00	1,234674
39	10,038	9,734	2,958	0,12	1,537182
40	9,729	9,892	3,116	0,16	0
41	9,729	9,892	3,116	0,00	1,300374
42	9,423	10,03	3,254	0,14	1,191828
43	9,029	10,162	3,386	0,13	0
44	9,029	10,162	3,386	0,00	1,196046
45	8,667	10,3	3,524	0,14	1,174248
46	8,328	10,441	3,665	0,14	1,134133
47	7,931	10,584	3,808	0,14	1,094478
48	7,931	10,722	3,946	0,14	0
49	7,607	10,722	3,946	0,00	1,141547
50	7,271	10,879	4,103	0,16	0
51	7,271	10,879	4,103	0,00	0,841192
52	6,952	11	4,224	0,12	0
53	6,952	11	4,224	0,00	0,965265
54	6,657	11,145	4,369	0,15	0
55	6,657	11,145	4,369	0,00	1,662348
56	6,023	11,421	4,645	0,28	0
57	6,023	11,421	4,645	0,00	0,799667
58	5,753	11,56	4,784	0,14	0,788256
59	5,474	11,704	4,928	0,14	0
60	5,474	11,704	4,928	0,00	0,6747
61	5,19	11,834	5,058	0,13	0,730737
62	4,971	11,981	5,205	0,15	0
63	4,971	11,981	5,205	0,00	0,592704
64	4,704	12,107	5,331	0,13	0,62426
65	4,459	12,247	5,471	0,14	0
66	4,459	12,247	5,471	0,00	1,125744
67	3,992	12,529	5,753	0,28	0
68	3,992	12,529	5,753	0,00	0
69	3,992	12,529	5,753	0,00	0,955152
70	3,992	12,529	5,753	0,00	0
71	3,564	12,797	6,021	0,27	0
72	3,564	12,797	6,021	0,00	0,465198
73	3,371	12,935	6,159	0,14	0,42411
74	3,165	13,069	6,293	0,13	0
75	3,165	13,069	6,293	0,00	0,429858
76	3,006	13,212	6,436	0,14	0,41537
77	2,845	13,358	6,582	0,15	0,3672
78	2,7	13,494	6,718	0,14	0,3969
79	2,7	13,641	6,865	0,15	0
80	2,557	13,641	6,865	0,00	0,326835
81	2,421	13,776	7	0,14	0
82	2,421	13,776	7	0,00	0,289926
83	2,301	13,902	7,126	0,13	0,334642
84	2,173	14,056	7,28	0,15	0
85	2,173	14,056	7,28	0,00	0,289473
86	2,053	14,197	7,421	0,14	0,256823
87	1,931	14,33	7,554	0,13	0
88	1,931	14,33	7,554	0,00	0,458261
89	1,691	14,601	7,825	0,27	0
90	1,691	14,601	7,825	0,00	0,210255
91	1,691	14,601	7,825	0,00	0,204792
92	1,605	14,732	7,956	0,13	0
93	1,484	14,87	8,094	0,14	0
94	1,484	14,87	8,094	0,00	0,204692
95	1,402	15,016	8,24	0,15	0,174468
96	1,302	15,15	8,374	0,13	0
97	1,302	15,15	8,374	0,00	

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 9						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
13,6	-7,9	4,2	-1,2	0,2	0,0	0,0
% Carga max			Carga		Def	
Load Max			10,806 [kN]		2,306 [mm]	
85%			9,185 [kN]		3,430 [mm]	
75%			8,105 [kN]		3,933 [mm]	
65%			7,024 [kN]		4,167 [mm]	
Load Min			0,100 [kN]		13,432 [mm]	
m75			2,932 [N/m]			
W			48,247 [J]			
Gf			7659,277 [J/m²]			
l75			3,933 [mm]			
D			101,600 [mm]			
t			62,000 [mm]			
Corr "t"			62			
CT Index			101,122			



	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	1,128	15,428	8,65		
99	1,128	15,428	8,652	0,00	0
100	1,056	15,567	8,791	0,14	0,146784
101	0,994	15,705	8,929	0,14	0,137172
102	0,994	15,705	8,929	0,00	0
103	0,938	15,842	9,066	0,14	0,128506
104	0,877	15,991	9,215	0,15	0,130673
105	0,877	15,991	9,215	0,00	0
106	0,877	15,991	9,215	0,00	0
107	0,82	16,248	9,472	0,26	0,21074
108	0,764	16,248	9,472	0,00	0
109	0,707	16,525	9,749	0,28	0,195839
110	0,707	16,525	9,749	0,00	0
111	0,656	16,525	9,749	0,00	0
112	0,62	16,673	9,897	0,15	0,09176
113	0,62	16,673	9,897	0,00	0
114	0,573	16,799	10,023	0,13	0,072198
115	0,532	16,957	10,181	0,16	0,084056
116	0,532	16,957	10,181	0,00	0
117	0,495	17,077	10,301	0,12	0,0594
118	0,456	17,215	10,439	0,14	0,062928
119	0,456	17,215	10,439	0,00	0
120	0,403	17,484	10,708	0,27	0,108407
121	0,403	17,484	10,708	0,00	0
122	0,365	17,631	10,855	0,15	0,053655
123	0,347	17,774	10,998	0,14	0,049621
124	0,347	17,774	10,998	0,00	0
125	0,324	17,901	11,125	0,13	0,041148
126	0,296	18,041	11,265	0,14	0,04144
127	0,296	18,041	11,265	0,00	0
128	0,282	18,168	11,392	0,13	0,035814
129	0,269	18,312	11,536	0,14	0,038736
130	0,269	18,312	11,536	0,00	0
131	0,25	18,447	11,671	0,13	0,03375
132	0,232	18,586	11,81	0,14	0,032248
133	0,232	18,586	11,81	0,00	0
134	0,215	18,731	11,955	0,15	0,031175
135	0,2	18,853	12,077	0,12	0,0244
136	0,2	18,853	12,077	0,00	0
137	0,182	18,996	12,22	0,14	0,026026
138	0,182	19,128	12,352	0,13	0,024024
139	0,165	19,128	12,352	0,00	0
140	0,159	19,263	12,487	0,14	0,021465
141	0,154	19,429	12,653	0,17	0,025564
142	0,154	19,429	12,653	0,00	0
143	0,154	19,429	12,653	0,00	0
144	0,142	19,718	12,942	0,29	0,041038
145	0,139	19,903	13,127	0,18	0,025715
146	0,139	19,903	13,127	0,00	0
147	0,108	20,072	13,296	0,17	0,018252
148	0,1	20,208	13,432	0,14	0,0136

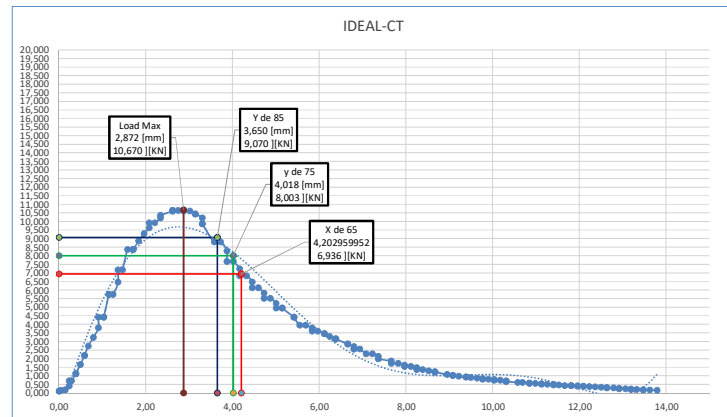
Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,105	6,582	0,00	def	
2	0,105	6,582	0	0,00	-1,05E-14
3	0,155	6,634	0,052	0,05	0,00806
4	0,174	6,722	0,14	0,09	0,015312
5	0,404	6,813	0,231	0,09	0,036764
6	0,704	6,813	0,231	0,00	0
7	0,704	6,867	0,285	0,05	0,038016
8	1,125	6,971	0,389	0,10	0,117
9	1,125	6,971	0,389	0,00	0
10	1,655	7,075	0,493	0,10	0,17212
11	2,184	7,168	0,586	0,09	0,203112
12	2,184	7,168	0,586	0,00	0
13	2,732	7,257	0,675	0,09	0,243148
14	3,232	7,374	0,792	0,12	0,378144
15	3,797	7,491	0,909	0,12	0,444249
16	4,415	7,491	0,909	0,00	0
17	4,415	7,613	1,031	0,12	0,53863
18	4,415	7,613	1,031	0,00	0
19	5,744	7,73	1,148	0,12	0,672048
20	5,744	7,73	1,148	0,00	0
21	5,744	7,827	1,245	0,10	0,557168
22	6,454	7,942	1,36	0,12	0,74221
23	7,175	7,942	1,36	0,00	0
24	7,175	8,044	1,462	0,10	0,73185
25	8,36	8,161	1,579	0,12	0,97812
26	8,36	8,293	1,711	0,13	1,10352
27	8,36	8,293	1,711	0,00	0
28	8,865	8,418	1,836	0,13	1,108125
29	9,293	8,542	1,96	0,12	1,152332
30	9,625	8,662	2,08	0,12	1,155
31	9,918	8,662	2,08	0,00	0
32	9,918	8,79	2,208	0,13	1,269504
33	10,203	8,921	2,339	0,13	1,336593
34	10,359	8,921	2,339	0,00	0
35	10,591	9,202	2,62	0,28	2,976071
36	10,638	9,202	2,62	0,00	0
37	10,638	9,202	2,62	0,00	0
38	10,638	9,328	2,746	0,13	1,340388
39	10,67	9,454	2,872	0,13	1,34442
40	10,608	9,454	2,872	0,00	0
41	10,608	9,6	3,018	0,15	1,548768
42	10,432	9,725	3,143	0,13	1,304
43	10,432	9,725	3,143	0,00	0
44	10,203	9,885	3,303	0,16	1,63248
45	9,853	9,885	3,303	0,00	0
46	9,853	9,885	3,303	0,00	0
47	8,794	10,161	3,579	0,28	2,427144
48	8,794	10,309	3,727	0,15	1,301512
49	8,274	10,456	3,874	0,15	1,216278
50	7,667	10,456	3,874	0,00	0
51	7,667	10,599	4,017	0,14	1,096381
52	7,235	10,748	4,166	0,15	1,078015
53	6,831	10,748	4,166	0,00	0
54	6,831	10,904	4,322	0,16	1,065636
55	6,465	11,036	4,454	0,13	0,85338
56	6,13	11,036	4,454	0,00	0
57	6,13	11,18	4,598	0,14	0,88272
58	5,816	11,307	4,725	0,13	0,738632
59	5,513	11,307	4,725	0,00	0
60	5,513	11,454	4,872	0,15	0,810411
61	5,214	11,588	5,006	0,13	0,698676
62	4,946	11,588	5,006	0,00	0
63	4,946	11,726	5,144	0,14	0,682548
64	4,946	11,726	5,144	0,00	0
65	4,413	12,001	5,419	0,27	1,213575
66	4,413	12,001	5,419	0,00	0
67	3,945	12,133	5,551	0,13	0,52074
68	3,945	12,271	5,689	0,14	0,54441
69	3,778	12,419	5,837	0,15	0,559144
70	3,598	12,419	5,837	0,00	0
71	3,598	12,548	5,966	0,13	0,464142
72	3,453	12,701	6,119	0,15	0,528309
73	3,453	12,701	6,119	0,00	0
74	3,29	12,825	6,243	0,12	0,40796
75	3,149	12,964	6,382	0,14	0,437711
76	3,149	12,964	6,382	0,00	0
77	3,149	12,964	6,382	0,00	0
78	2,852	13,24	6,658	0,28	0,787152
79	2,852	13,24	6,658	0,00	0
80	2,695	13,383	6,801	0,14	0,385385
81	2,559	13,383	6,801	0,00	0
82	2,559	13,383	6,801	0,00	0
83	2,559	13,521	6,939	0,14	0,353142
84	2,275	13,663	7,081	0,14	0,32305
85	2,275	13,809	7,227	0,15	0,33215
86	2,13	13,947	7,365	0,14	0,29394
87	1,98	13,947	7,365	0,00	0
88	1,858	14,245	7,663	0,30	0,553684
89	1,719	14,245	7,663	0,00	0
90	1,719	14,404	7,822	0,16	0,273321
91	1,619	14,548	7,966	0,14	0,233136
92	1,536	14,548	7,966	0,00	0
93	1,536	14,695	8,113	0,15	0,225792
94	1,46	14,832	8,25	0,14	0,20002
95	1,46	14,832	8,25	0,00	0
96	1,362	14,832	8,25	0,00	0
97	1,362	14,97	8,388	0,14	0,187956

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 10						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
15,0	-9,3	4,6	-1,3	0,2	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	10,670 [kN]	2,872 [mm]				
85%	9,070 [kN]	3,650 [mm]				
75%	8,003 [kN]	4,018 [mm]				
65%	6,936 [kN]	4,203 [mm]				
Load Min	0,105 [kN]	0,000 [mm]				
			m75	3,862 [N/m]		
			W	47,964 [J]		
			Gf	7614,322 [J/m²]		
			I75	4,018 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	77,977		



	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	1,288	15,108	8,53		
99	1,217	15,252	8,67	0,14	0,175248
100	1,217	15,252	8,67	0,00	0
101	1,217	15,252	8,67	0,00	0
102	1,068	15,534	8,952	0,28	0,301176
103	1,012	15,665	9,083	0,13	0,132572
104	1,012	15,665	9,083	0,00	0
105	0,97	15,799	9,217	0,13	0,12998
106	0,922	15,965	9,383	0,17	0,153052
107	0,922	15,965	9,383	0,00	0
108	0,896	16,08	9,498	0,11	0,10304
109	0,862	16,222	9,64	0,14	0,122404
110	0,836	16,353	9,771	0,13	0,109516
111	0,802	16,353	9,771	0,00	0
112	0,802	16,486	9,904	0,13	0,106666
113	0,765	16,614	10,032	0,13	0,09792
114	0,765	16,614	10,032	0,00	0
115	0,737	16,614	10,032	0,00	0
116	0,737	16,757	10,175	0,14	0,105391
117	0,701	16,895	10,313	0,14	0,096738
118	0,673	16,895	10,313	0,00	0
119	0,673	16,895	10,313	0,00	0
120	0,608	17,159	10,577	0,26	0,160512
121	0,608	17,271	10,689	0,11	0,068096
122	0,581	17,429	10,847	0,16	0,091798
123	0,556	17,429	10,847	0,00	0
124	0,556	17,568	10,986	0,14	0,077284
125	0,527	17,708	11,126	0,14	0,07378
126	0,506	17,708	11,126	0,00	0
127	0,506	17,844	11,262	0,14	0,068816
128	0,489	17,985	11,403	0,14	0,068949
129	0,464	17,985	11,403	0,00	0
130	0,464	18,11	11,528	0,13	0,058
131	0,42	18,245	11,663	0,14	0,0567
132	0,42	18,396	11,814	0,15	0,06342
133	0,42	18,396	11,814	0,00	0
134	0,4	18,54	11,958	0,14	0,0576
135	0,4	18,54	11,958	0,00	0
136	0,381	18,675	12,093	0,14	0,051435
137	0,381	18,675	12,093	0,00	0
138	0,368	18,814	12,232	0,14	0,051152
139	0,352	18,946	12,364	0,13	0,046464
140	0,329	19,084	12,502	0,14	0,045402
141	0,311	19,216	12,634	0,13	0,041052
142	0,291	19,216	12,634	0,00	0
143	0,291	19,371	12,789	0,15	0,045105
144	0,269	19,498	12,916	0,13	0,034163
145	0,244	19,498	12,916	0,00	0
146	0,244	19,646	13,064	0,15	0,036112
147	0,224	19,772	13,19	0,13	0,028224
148	0,203	19,772	13,19	0,00	0

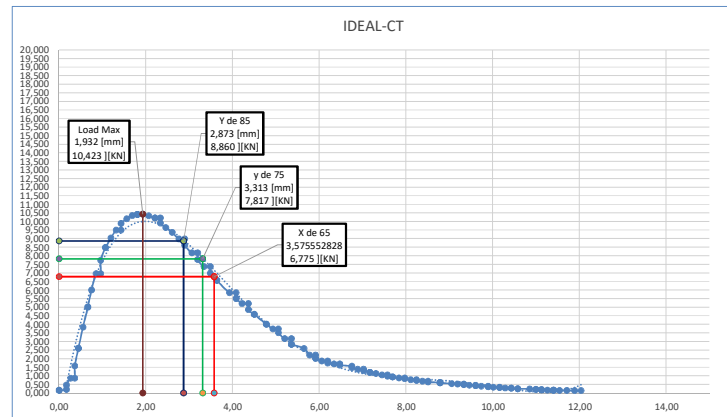
Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,143	7,067	0,00	0,00	-1,57E-14
2	0,157	7,067	0	0,00	0,034
3	0,2	7,237	0,17	0,17	0
4	0,452	7,237	0,17	0,00	0,084744
5	0,856	7,336	0,269	0,10	0,080464
6	0,856	7,43	0,363	0,09	0
7	1,576	7,43	0,363	0,00	0,213036
8	2,598	7,512	0,445	0,08	0
9	2,598	7,512	0,445	0,00	0,409596
10	3,828	7,619	0,552	0,11	0,560896
11	5,008	7,731	0,664	0,11	0
12	5,008	7,731	0,664	0,00	0,504084
13	6,001	7,815	0,748	0,08	0,737124
14	6,954	7,921	0,854	0,11	0,737124
15	6,954	8,027	0,96	0,11	0
16	7,732	8,027	0,96	0,00	0,940614
17	8,474	8,138	1,071	0,11	0
18	8,474	8,138	1,071	0,00	1,129375
19	9,035	8,263	1,196	0,13	1,149016
20	9,496	8,384	1,317	0,12	1,063552
21	9,496	8,496	1,429	0,11	0
22	9,882	8,496	1,429	0,00	1,339932
23	10,151	8,628	1,561	0,13	1,293125
24	10,345	8,753	1,686	0,13	1,269898
25	10,409	8,875	1,808	0,12	0
26	10,409	8,875	1,808	0,00	1,292452
27	10,409	8,875	1,808	0,00	1,404744
28	10,423	8,999	1,932	0,12	1,48993
29	10,329	9,135	2,068	0,14	0
30	10,205	9,281	2,214	0,15	1,26542
31	10,205	9,281	2,214	0,00	0
32	10,205	9,405	2,338	0,12	1,17669
33	9,91	9,405	2,338	0,00	1,40415
34	9,645	9,527	2,46	0,12	1,39159
35	9,361	9,677	2,61	0,15	1,203052
36	8,978	9,832	2,765	0,16	0
37	8,978	9,966	2,899	0,13	1,355556
38	8,613	9,966	2,899	0,00	1,069746
39	8,166	10,132	3,065	0,17	0
40	8,166	10,263	3,196	0,13	0
41	7,768	10,263	3,196	0,00	0
42	7,37	10,41	3,343	0,15	1,08339
43	7,37	10,555	3,488	0,15	1,06865
44	6,987	10,555	3,488	0,00	0
45	6,562	10,705	3,638	0,15	0,9843
46	6,562	10,705	3,638	0,00	0
47	5,846	10,999	3,932	0,29	1,718724
48	5,846	11,15	4,083	0,15	0,882746
49	5,505	11,15	4,083	0,00	0
50	5,505	11,15	4,083	0,00	0
51	5,209	11,286	4,219	0,14	0,708424
52	5,209	11,434	4,367	0,15	0,770932
53	4,853	11,434	4,367	0,00	0
54	4,577	11,57	4,503	0,14	0,622472
55	4,577	11,57	4,503	0,00	0
56	4,001	11,85	4,783	0,28	1,12028
57	4,001	11,85	4,783	0,00	0
58	3,729	11,997	4,93	0,15	0,548163
59	3,729	12,126	5,059	0,13	0,481041
60	3,512	12,126	5,059	0,00	0
61	3,162	12,271	5,204	0,15	0,45849
62	3,162	12,428	5,361	0,16	0,496434
63	2,829	12,428	5,361	0,00	0
64	2,829	12,428	5,361	0,00	0
65	2,588	12,716	5,649	0,29	0,745344
66	2,204	12,847	5,78	0,13	0,288724
67	2,204	12,983	5,916	0,14	0,299744
68	2,018	12,983	5,916	0,00	0
69	2,018	12,983	5,916	0,00	0
70	1,86	13,126	6,059	0,14	0,26598
71	1,86	13,262	6,195	0,14	0,25296
72	1,739	13,262	6,195	0,00	0
73	1,688	13,408	6,341	0,15	0,246448
74	1,688	13,54	6,473	0,13	0,222816
75	1,622	13,54	6,473	0,00	0
76	1,555	13,821	6,754	0,28	0,436955
77	1,47	13,821	6,754	0,00	0
78	1,384	13,953	6,886	0,13	0,182688
79	1,384	14,09	7,023	0,14	0,189608
80	1,29	14,09	7,023	0,00	0
81	1,193	14,237	7,17	0,15	0,175371
82	1,193	14,237	7,17	0,00	0
83	1,127	14,374	7,307	0,14	0,154399
84	1,044	14,515	7,448	0,14	0,147204
85	1,044	14,641	7,574	0,13	0,131544
86	0,976	14,641	7,574	0,00	0
87	0,929	14,76	7,693	0,12	0,110551
88	0,929	14,76	7,693	0,00	0
89	0,867	14,906	7,839	0,15	0,126582
90	0,867	15,037	7,97	0,13	0,113577
91	0,825	15,037	7,97	0,00	0
92	0,768	15,176	8,109	0,14	0,106752
93	0,768	15,311	8,244	0,14	0,10368
94	0,722	15,311	8,244	0,00	0
95	0,677	15,446	8,379	0,14	0,091395
96	0,677	15,578	8,511	0,13	0,089364
97	0,636	15,578	8,511	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 11						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
12,5	-8,2	4,2	-1,2	0,2	0,0	0,0
% Carga max	Carga	Def				
Load Max	10,423 [kN]	1,932 [mm]	m75	2,966 [N/m]		
85%	8,860 [kN]	2,873 [mm]	W	41,162 [J]		
75%	7,817 [kN]	3,313 [mm]	Gf	6534,537 [J/m²]		
65%	6,775 [kN]	3,576 [mm]	I75	3,313 [mm]		
Load Min	0,132 [kN]	11,889 [mm]	D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	71,831		



	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,603	15,853	8,79		
99	0,585	15,853	8,786	0,00	0
100	0,585	15,853	8,786	0,00	0
101	0,585	15,853	8,786	0,00	0
102	0,537	16,124	9,057	0,27	0,145527
103	0,511	16,258	9,191	0,13	0,068474
104	0,511	16,402	9,335	0,14	0,073584
105	0,478	16,402	9,335	0,00	0
106	0,451	16,529	9,462	0,13	0,057277
107	0,451	16,674	9,607	0,15	0,065395
108	0,418	16,674	9,607	0,00	0
109	0,387	16,803	9,736	0,13	0,049923
110	0,387	16,963	9,896	0,16	0,06192
111	0,357	16,963	9,896	0,00	0
112	0,329	17,084	10,017	0,12	0,039809
113	0,329	17,228	10,161	0,14	0,047376
114	0,308	17,228	10,161	0,00	0
115	0,282	17,358	10,291	0,13	0,03666
116	0,282	17,496	10,429	0,14	0,038916
117	0,266	17,496	10,429	0,00	0
118	0,246	17,647	10,58	0,15	0,037146
119	0,246	17,647	10,58	0,00	0
120	0,228	17,923	10,856	0,28	0,062928
121	0,209	18,066	10,999	0,14	0,029887
122	0,191	18,066	10,999	0,00	0
123	0,191	18,194	11,127	0,13	0,024448
124	0,171	18,194	11,127	0,00	0
125	0,158	18,332	11,265	0,14	0,021804
126	0,158	18,47	11,403	0,14	0,021804
127	0,158	18,47	11,403	0,00	0
128	0,151	18,47	11,403	0,00	0
129	0,148	18,609	11,542	0,14	0,020572
130	0,142	18,779	11,712	0,17	0,02414
131	0,132	18,956	11,889	0,18	0,023364
132	0,132	19,107	12,04	0,15	0,019932

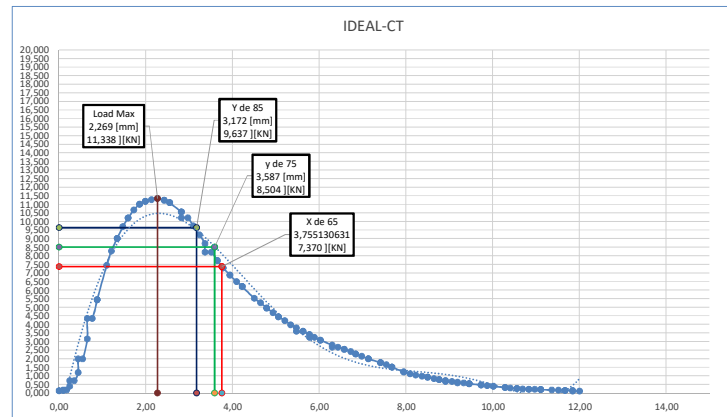
Laboratorio de Investigaciones Viales
Universidad de Buenos Aires
Facultad de Ingeniería



Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
1	0,119	6,856	0,00	def	
2	0,119	6,856	0	0,00	-1,19E-14
3	0,148	6,956	0,1	0,10	0,0148
4	0,165	6,956	0,1	0,00	0
5	0,165	7,03	0,174	0,07	0,01221
6	0,383	7,1	0,244	0,07	0,02681
7	0,713	7,1	0,244	0,00	0
8	0,713	7,206	0,35	0,11	0,075578
9	1,185	7,296	0,44	0,09	0,10665
10	1,985	7,296	0,44	0,00	0
11	1,985	7,399	0,543	0,10	0,204455
12	3,151	7,507	0,651	0,11	0,340308
13	4,343	7,507	0,651	0,00	0
14	4,343	7,622	0,766	0,12	0,499445
15	5,432	7,734	0,878	0,11	0,608384
16	5,432	7,734	0,878	0,00	0
17	5,432	7,734	0,878	0,00	0
18	7,441	7,954	1,098	0,22	1,63702
19	8,274	8,062	1,206	0,11	0,893592
20	9,008	8,195	1,339	0,13	1,198064
21	9,008	8,195	1,339	0,00	0
22	9,692	8,326	1,47	0,13	1,269652
23	10,203	8,449	1,593	0,12	1,254969
24	10,203	8,449	1,593	0,00	0
25	10,67	8,579	1,723	0,13	1,3871
26	11,003	8,713	1,857	0,13	1,474402
27	11,003	8,713	1,857	0,00	0
28	11,168	8,844	1,988	0,13	1,463008
29	11,168	8,844	1,988	0,00	0
30	11,271	8,989	2,133	0,15	1,634295
31	11,338	9,125	2,269	0,14	1,541968
32	11,238	9,28	2,424	0,15	1,74189
33	11,238	9,28	2,424	0,00	0
34	11,095	9,406	2,55	0,13	1,39797
35	11,095	9,406	2,55	0,00	0
36	10,557	9,675	2,819	0,27	2,839833
37	10,557	9,675	2,819	0,00	0
38	10,212	9,675	2,819	0,00	0
39	10,212	9,826	2,97	0,15	1,542012
40	9,743	9,949	3,093	0,12	1,198389
41	9,213	10,096	3,24	0,15	1,354311
42	8,706	10,221	3,365	0,13	1,08825
43	8,21	10,221	3,365	0,00	0
44	8,21	10,369	3,513	0,15	1,21508
45	7,711	10,505	3,649	0,14	1,048696
46	7,711	10,505	3,649	0,00	0
47	7,287	10,642	3,786	0,14	0,998319
48	7,287	10,642	3,786	0,00	0
49	6,867	10,798	3,942	0,16	1,071252
50	6,867	10,798	3,942	0,00	0
51	6,49	10,948	4,092	0,15	0,9735
52	6,212	11,079	4,223	0,13	0,813772
53	6,212	11,079	4,223	0,00	0
54	6,212	11,079	4,223	0,00	0
55	5,516	11,358	4,502	0,28	1,538964
56	5,252	11,505	4,649	0,15	0,772044
57	4,947	11,645	4,789	0,14	0,69258
58	4,947	11,645	4,789	0,00	0
59	4,678	11,792	4,936	0,15	0,687666
60	4,439	11,915	5,059	0,12	0,545997
61	4,439	11,915	5,059	0,00	0
62	4,21	12,064	5,208	0,15	0,62729
63	3,973	12,195	5,339	0,13	0,520463
64	3,792	12,33	5,474	0,14	0,51192
65	3,593	12,33	5,474	0,00	0
66	3,593	12,483	5,627	0,15	0,549729
67	3,593	12,483	5,627	0,00	0
68	3,405	12,63	5,774	0,15	0,500535
69	3,241	12,63	5,774	0,00	0
70	3,241	12,744	5,888	0,11	0,369474
71	3,071	12,882	6,026	0,14	0,423798
72	3,071	12,882	6,026	0,00	0
73	2,787	13,153	6,297	0,27	0,755277
74	2,665	13,153	6,297	0,00	0
75	2,665	13,287	6,431	0,13	0,35711
76	2,544	13,433	6,577	0,15	0,371424
77	2,544	13,433	6,577	0,00	0
78	2,413	13,582	6,726	0,15	0,359537
79	2,274	13,698	6,842	0,12	0,263784
80	2,274	13,698	6,842	0,00	0
81	2,137	13,837	6,981	0,14	0,297043
82	1,988	13,99	7,134	0,15	0,304164
83	1,988	13,99	7,134	0,00	0
84	1,763	14,268	7,412	0,28	0,490114
85	1,763	14,268	7,412	0,00	0
86	1,763	14,268	7,412	0,00	0
87	1,644	14,405	7,549	0,14	0,225228
88	1,506	14,53	7,674	0,13	0,18825
89	1,506	14,53	7,674	0,00	0
90	1,506	14,53	7,674	0,00	0
91	1,223	14,805	7,949	0,28	0,336325
92	1,223	14,805	7,949	0,00	0
93	1,116	14,949	8,093	0,14	0,160704
94	1,037	15,079	8,223	0,13	0,13481
95	0,97	15,225	8,369	0,15	0,14162
96	0,914	15,357	8,501	0,13	0,120648
97	0,914	15,357	8,501	0,00	0

IDEAL CT - CAC D19 CA30 5,6%						
PROBETA N° 12						
Estimacion						
x^0	x^1	x^2	x^3	x^4	x^5	x^6
12,2	-6,2	3,0	-0,8	0,1	0,0	0,0
% Carga max	Carga		Def			
Load Max	11,338 [kN]	2,269 [mm]				
85%	9,637 [kN]	3,172 [mm]				
75%	8,504 [kN]	3,587 [mm]				
65%	7,370 [kN]	3,755 [mm]				
Load Min	0,106 [kN]	11,844 [mm]				
			m75	3,886 [N/m]		
			W	46,469 [J]		
			Gf	7376,941 [J/m²]		
			l75	3,587 [mm]		
			D	101,600 [mm]		
			t	62,000 [mm]		
			Corr "t"	62		
			CT Index	67,034		



	Load (kN)	Displacement (mm)	Def neta	Intervalo de def	Trabajo por intervalo
98	0,833	15,503	8,65		
99	0,774	15,621	8,765	0,12	0,091332
100	0,774	15,621	8,765	0,00	0
101	0,719	15,77	8,914	0,15	0,107131
102	0,665	15,77	8,914	0,00	0
103	0,665	15,919	9,063	0,15	0,099085
104	0,626	16,044	9,188	0,13	0,07825
105	0,581	16,044	9,188	0,00	0
106	0,581	16,189	9,333	0,15	0,084245
107	0,539	16,313	9,457	0,12	0,066836
108	0,539	16,313	9,457	0,00	0
109	0,539	16,313	9,457	0,00	0
110	0,465	16,591	9,735	0,28	0,12927
111	0,465	16,591	9,735	0,00	0
112	0,424	16,729	9,873	0,14	0,058512
113	0,388	16,872	10,016	0,14	0,055484
114	0,388	16,872	10,016	0,00	0
115	0,314	17,142	10,286	0,27	0,08478
116	0,314	17,142	10,286	0,00	0
117	0,283	17,262	10,406	0,12	0,03396
118	0,256	17,414	10,558	0,15	0,038912
119	0,256	17,414	10,558	0,00	0
120	0,23	17,549	10,693	0,13	0,03105
121	0,213	17,691	10,835	0,14	0,030246
122	0,213	17,691	10,835	0,00	0
123	0,206	17,829	10,973	0,14	0,028428
124	0,195	17,963	11,107	0,13	0,02613
125	0,195	17,963	11,107	0,00	0
126	0,195	17,963	11,107	0,00	0
127	0,195	17,963	11,107	0,00	0
128	0,166	18,221	11,365	0,26	0,042828
129	0,16	18,372	11,516	0,15	0,02416
130	0,146	18,527	11,671	0,16	0,02263
131	0,146	18,527	11,671	0,00	0
132	0,141	18,7	11,844	0,17	0,024393
133	0,106	18,7	11,844	0,00	0
134	0,106	18,861	12,005	0,16	0,017066

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA
ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTINUA
Maestría en Ingeniería Vial

ANEXO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

**Análisis del ensayo IDEAL-CT como potencial verificación
mecánica del fallo por fisuración en el proceso de diseño de
mezclas asfálticas densas contemplado en el PETG de la
DNV 2017**

Alumno: Ing. GONZALEZ BURÓN Joaquín

Director: Ing. CAMPANA Juan Manuel

Co-Director: Ing. BISIO Alejandro

Fecha: Marzo 2025

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19

Tipo de mezcla	VACIOS [%]	Carga Máx [kN]	l_{75} :deformación vertical al $\{PPP\}_{75}$ [mm]	$ m_{75} $ pendiente o módulo al $\{PPP\}_{75}$ [N/m]	Gf:Energía de fractura [J/m ²]	CT Index	COV	Tipo de mezcla
CA30 3,6% 20G	8,87	13,21	2,18	7,01	5125,41	16,96	29,6%	CA30 3,6% 20G
	8,85	13,52	2,23	7,99	5521,84	16,39		
	6,34	14,03	2,10	11,38	4909,87	9,39		
CA30 3,6% 40G	7,33	13,56	2,16	8,08	4911,16	13,61	25,2%	CA30 3,6% 40G
	6,76	12,30	2,37	6,77	5445,92	19,50		
	6,34	11,94	2,10	6,19	4880,55	16,95		
CA30 3,6% 60G	6,07	13,31	2,07	7,19	5071,66	14,75	23,3%	CA30 3,6% 60G
	6,38	11,56	2,09	4,81	5218,15	22,94		
	5,58	8,97	2,60	3,75	4461,23	31,00		
CA30 3,6% 80G	5,60	10,02	2,58	3,42	5416,50	41,24	14,6%	CA30 3,6% 80G
	5,09	11,96	2,55	4,31	5926,23	34,67		
	4,29	11,70	3,52	4,20	6648,34	57,07		
AM3 4,6%	3,82	12,79	3,23	4,37	7008,77	52,00	24,6%	AM3 4,6%
	4,12	11,74	3,15	4,12	6483,77	49,86		
	4,19	11,37	3,00	4,05	6089,12	44,85		
	3,61	13,29	3,88	5,61	6384,97	44,05		
	3,84	12,62	2,89	4,53	6505,47	41,28		
	3,94	12,32	3,31	5,67	6623,10	38,64		
	4,26	13,15	2,76	4,84	6238,54	35,52		
	4,07	12,65	3,19	6,29	6868,64	34,70		
	4,23	13,74	2,80	6,01	6875,36	31,88		
	3,68	13,40	2,82	7,00	5590,42	22,47		
	4,15	13,50	2,70	5,64	6473,35	30,78		
	4,67	13,40	3,67	8,87	6207,39	25,88		
CA30 4,6%	4,47	13,82	2,66	7,37	6354,71	23,41	27,9%	CA30 4,6%
	4,64	13,67	2,54	7,38	6164,86	21,30		
	4,76	13,89	2,53	7,59	5720,52	19,09		
	4,39	15,22	2,33	8,41	6757,76	18,71		
	4,43	13,57	2,64	9,78	5846,20	15,73		
	5,35	12,45	3,06	11,54	5332,80	14,33		
	4,53	15,67	2,18	10,39	5887,08	12,44		
	4,61	15,11	2,24	11,36	5582,92	11,08		
CA30 5,6% 80G	1,15	12,28	3,66	2,75	8867,35	115,00	10,0%	CA30 5,6% 80G
	1,23	10,81	3,93	2,93	7659,28	99,87		
CA30 5,6% 60G	2,10	11,53	3,68	3,03	8039,63	96,76	7,1%	CA30 5,6% 60G
	1,26	11,87	3,50	3,17	7820,17	84,28		
	1,32	11,49	3,18	2,89	8183,76	88,09		
CA30 5,6% 40G	1,66	10,67	4,02	3,86	7614,32	77,58	7,8%	CA30 5,6% 40G
	1,71	10,42	3,31	2,97	6534,54	72,49		
	1,59	11,34	3,59	3,89	7376,94	66,36		
CA30 5,6% 20G	2,78	12,07	3,06	3,79	6795,71	55,02	24,3%	CA30 5,6% 20G
	3,01	11,38	3,48	3,01	7302,45	85,41		
	2,70	11,77	3,11	3,62	6941,82	60,26		

PROBETA N°	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO EN EL AIRE [g]	P.S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS						Indirect Tension Asphalt Cracking Test (IDEAL CT)						
									ASFALTO EN VOLUMEN [cm³]	VACIOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACÍOS [%]	ALTURA DE PROBETA [cm]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA	Carga Máx [kN]	l ₇₅ :deformación vertical al [PPP] ₇₅ [mm]	m ₇₅ pendiente o módulo al [PPP] ₇₅ [N/m]	Gf:Energía de fractura [J/m²]	D: diámetro de la probeta [mm]	CT Index	
4	150	1201,1	1202,1	703,8	498,3	25,0	1,0	2,410	11,1	4,61	15,7	70,6	63,42	1,02	15,11	2,24	11,36	5582,92	101,60	11,08	
6	150	1202,0	1203,5	706,0	497,5	25,0	1,0	2,416	11,1	4,39	15,5	71,7	62,98	1,02	15,22	2,33	8,41	6757,76	101,60	18,71	
8	150	1196,9	1198,2	700,9	497,3	25,0	1,0	2,407	11,1	4,76	15,8	70,0	63,09	1,02	13,89	2,53	7,59	5720,52	101,60	19,09	
9	150	1201,0	1201,9	704,6	497,3	25,0	1,0	2,415	11,1	4,43	15,5	71,5	62,83	1,01	13,57	2,64	9,78	5846,20	101,60	15,73	
10	150	1205,2	1207,4	703,5	503,9	25,0	1,0	2,392	11,0	5,35	16,4	67,3	63,87	1,03	12,45	3,06	11,54	5332,80	101,60	14,33	
11	150	1203,6	1204,9	705,4	499,5	25,0	1,0	2,410	11,1	4,64	15,7	70,5	63,11	1,02	13,67	2,54	7,38	6164,86	101,60	21,30	
13	150	1197,5	1199,6	702,5	497,1	25,0	1,0	2,409	11,1	4,67	15,8	70,4	63,44	1,02	13,40	3,67	8,87	6207,39	101,60	25,88	
14	150	1203,1	1206,0	707,3	498,7	25,0	1,0	2,413	11,1	4,53	15,6	71,0	63,32	1,02	15,67	2,18	10,39	5887,08	101,60	12,44	
17	150	1198,5	1201,2	704,7	496,5	25,0	1,0	2,414	11,1	4,47	15,6	71,3	64,27	1,04	13,82	2,66	7,37	6354,71	101,60	23,41	
C.A. [%]:	4,60			2,527			PROMEDIOS:	2,410	11,1	4,7	15,7	70,5			13,5	3,0	8,1	6317,0	101,6	18,0	
DESVIACIÓN STANDARD:									0,01	0,03	0,29	0,26	1,32								5,02
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:									0,3%	0,3%	6,2%	1,6%	1,9%								27,9%

PROBETA N°	TEMPERATURA MOLDEO [°C]	PESO EN EL AIRE [g]	P S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm3]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	DENSIDAD MARSHALL [g/cm3]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS						Indirect Tension Asphalt Cracking Test (IDEAL CT)					
									ASFALTO EN VOLUMEN [cm3]	VACÍOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACÍOS [%]	ALTURA DE PROBETA [cm]	FACTOR DE CORRECCION POR ALTURA	Carga Máx [kN]	L_75:deformación vertical al [PPP]_75 [mm]	m_75 pendiente o módulo al [PPP]_75 [N/m2]	Gf:Energía de fractura [J/m²]	D: diámetro de la probeta [mm]	CT Index
1	150	1202,2	1203,0	706,9	496,1	25,0	1,0	2,423	11,1	4,12	15,3	73,0	63,42	1,02	11,74	3,15	4,12	6483,77	101,60	49,86
5	150	1201,7	1202,4	705,6	496,8	25,0	1,0	2,419	11,1	4,29	15,4	72,2	64,61	1,04	11,70	3,52	4,20	6648,34	101,60	57,07
7	150	1202,8	1203,5	707,4	496,1	25,0	1,0	2,425	11,2	4,07	15,2	73,3	62,75	1,01	12,65	3,19	6,29	6868,64	101,60	34,70
8	150	1203,1	1204,2	710,0	494,2	25,0	1,0	2,434	11,2	3,68	14,9	75,3	62,80	1,01	13,40	2,82	7,00	5590,42	101,60	22,47
9	150	1203,4	1204,1	710,1	494,0	25,0	1,0	2,436	11,2	3,61	14,8	75,6	62,82	1,01	13,29	3,88	5,61	6384,97	101,60	44,05
10	150	1192,3	1193,2	700,8	492,4	25,0	1,0	2,421	11,1	4,19	15,3	72,7	62,73	1,01	11,37	3,00	4,05	6089,12	101,60	44,85
11	150	1203,8	1204,6	707,1	497,5	25,0	1,0	2,420	11,1	4,26	15,4	72,3	63,01	1,02	13,15	2,76	4,84	6238,54	101,60	35,52
12	150	1201,3	1202,0	707,7	494,3	25,0	1,0	2,430	11,2	3,84	15,0	74,4	62,74	1,01	12,62	2,89	4,53	6505,47	101,60	41,28
14	150	1199,4	1200,2	706,8	493,4	25,0	1,0	2,431	11,2	3,82	15,0	74,5	63,16	1,02	12,79	3,23	4,37	7008,77	101,60	52,00
15	150	1201,6	1203,1	707,1	496,0	25,0	1,0	2,423	11,1	4,15	15,3	72,9	62,67	1,01	13,50	2,70	5,64	6473,35	101,60	30,78
16	150	1196,6	1199,6	706,7	492,9	25,0	1,0	2,428	11,2	3,94	15,1	73,9	62,89	1,01	12,32	3,31	5,67	6623,10	101,60	38,64
17	150	1199,8	1200,8	705,1	495,7	25,0	1,0	2,420	11,1	4,23	15,4	72,5	62,76	1,01	13,74	2,80	6,01	6875,36	101,60	31,88
C.A. [%]:	4,60			2,527			PROMEDIOS:	2,426	11,2	4,0	15,2	73,5			12,7	3,1	5,7	6459,0	101,6	40,3
DESVIACIÓN STANDARD:								0,01	0,03	0,23	0,21	1,18								9,92
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:								0,2%	0,2%	5,8%	1,4%	1,6%								24,6%

Indirect Tensile Asphalt Cracking Test (IDEAL-CT) - ASTM D8225-19 - CAC D19 CA30 3,6%

PROBETA N°	GOLPES POR CARA	PESO EN EL AIRE [g]	P.S.S.S [g]	PESO SUMERGIDO [g]	VOLUMEN [cm³]	TEMPERATURA DE AGUA [°C]	CORRECCIÓN POR TEMPERATURA	DENSIDAD MARSHALL [g/cm³]	PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS					Indirect Tension Asphalt Cracking Test (IDEAL CT)						CT Index
									ASFALTO EN VOLUMEN [cm³]	VACÍOS [%]	V.A.M. [%]	RELACIÓN BETUN/VACÍOS [%]	ALTURA DE PROBETA [cm]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR ALTURA	Carga Máx [kN]	I ₇₅ :deformación vertical al [PPP] ₇₅ [mm]	m ₇₅ pendiente o módulo al [PPP] ₇₅ [N/m]	Gf:Energía de fractura [J/m²]	D: diámetro de la probeta [mm]	
17	20	1198,8	1205,4	691,8	513,6	25,0	1,0	2,334	8,4	8,87	17,3	48,6	67,11	1,08	13,21	2,18	7,01	5125,41	101,60	16,96
12	20	1203,8	1212,7	697,1	515,6	25,0	1,0	2,335	8,4	8,85	17,3	48,7	67,03	1,08	13,52	2,23	7,99	5521,84	101,60	16,39
11	20	1200,9	1206,5	705,9	500,6	25,0	1,0	2,399	8,6	6,34	15,0	57,7	65,16	1,05	14,03	2,10	11,38	4909,87	101,60	9,39
C.A. [%]:	3,60			2,561			PROMEDIOS:	2,356	8,482	8,021	16,502	51,672			13,587	2,170	8,792	5185,705	101,600	14,248
DESVIACIÓN STANDARD:									0,04	0,13	1,45	1,32	5,18							4,22
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:									1,6%	1,6%	18,1%	8,0%	10,0%							29,6%
16	40	1201,1	1207,9	701,9	506,0	25,0	1,0	2,374	8,5	7,33	15,9	53,8	65,39	1,05	13,56	2,16	8,08	4911,16	101,60	13,61
8	40	1203,7	1207,5	703,5	504,0	25,0	1,0	2,388	8,6	6,76	15,4	56,0	64,36	1,04	12,30	2,37	6,77	5445,92	101,60	19,50
C.A. [%]:	3,60			2,561			PROMEDIOS:	2,381	8,572	7,042	15,614	54,917			12,933	2,265	7,426	5178,540	101,600	16,557
DESVIACIÓN STANDARD:									0,01	0,04	0,40	0,37	1,52							4,17
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:									0,4%	0,4%	5,7%	2,3%	2,8%							25,2%
4	60	1200,5	1206,8	707,8	499,0	25,0	1,0	2,406	8,7	6,07	14,7	58,8	63,45	1,02	13,31	2,07	7,19	5071,66	101,60	14,75
9	60	1202,1	1206,7	705,6	501,1	25,0	1,0	2,399	8,6	6,34	15,0	57,7	64,55	1,04	11,94	2,10	6,19	4880,55	101,60	16,95
6	60	1200,2	1205,5	705,0	500,5	25,0	1,0	2,398	8,6	6,38	15,0	57,5	63,70	1,03	11,56	2,09	4,81	5218,15	101,60	22,94
C.A. [%]:	3,60			2,561			PROMEDIOS:	2,401	8,643	6,265	14,908	57,983			12,272	2,088	6,063	5056,787	101,600	18,212
DESVIACIÓN STANDARD:									0,00	0,02	0,17	0,15	0,70							4,24
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:									0,2%	0,2%	2,7%	1,0%	1,2%							23,3%
5	80	1198,2	1200,5	707,6	492,9	25,0	1,0	2,431	8,8	5,09	13,8	63,2	62,34	1,01	11,96	2,55	4,31	5926,23	101,60	34,67
14	80	1197,6	1203,3	708,0	495,3	25,0	1,0	2,418	8,7	5,60	14,3	60,9	63,70	1,03	10,02	2,58	3,42	5416,50	101,60	41,24
7	80	1197,4	1202,8	707,7	495,1	25,0	1,0	2,419	8,7	5,58	14,3	61,0	63,15	1,02	8,97	2,60	3,75	4461,23	101,60	31,00
C.A. [%]:	3,60			2,561			PROMEDIOS:	2,423	8,721	5,424	14,145	61,672			10,319	2,574	3,828	5267,984	101,600	35,633
DESVIACIÓN STANDARD:									0,01	0,03	0,29	0,26	1,34							5,19
COEFICIENTE DE VARIACIÓN:									0,3%	0,3%	5,3%	1,8%	2,2%							14,6%

